



# SUSTAINABILITY IN DEBATE

SUSTENTABILIDADE EM DEBATE



## EDITORIAL

The role of science in the Age of Denial and in times of pandemic: sustainability at the heart of the debate

## DOSSIER

Impacts, vulnerability and adaptation to climate change in Brazil: an integrated approach

## ARTICLES VARIA

Environmental impacts and infrastructure in Agrarian Reform settlements in Minas Gerais, Brazil

Methodological proposal to analyze land use and land cover changes: the case of Santa Catarina state in Brazil from 2000 to 2010

Good for whom? Reactions to oil palm contract farming in the Amazonian state of Pará, Brazil

Copyright © 2020 by Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília.  
Total or partial reproduction of the articles is allowed provided that the source is properly cited.

#### **UNIVERSITY OF BRASILIA**

Rector: Márcia Abrahão

#### **CENTER FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

Director: Maurício de Carvalho Amazonas

#### **ENERGY AND ENVIRONMENT LABORATORY – INSTITUTE OF TECHNOLOGY**

Director: Antonio Cesar Pinho Brasil Junior

#### **LABORATORY OF CONSTRUCTED ENVIRONMENT, INCLUSION AND SUSTAINABILITY**

Coordinator: Raquel Naves Blumenschein

#### **SUSTAINABILITY IN DEBATE JOURNAL**

Editors-in-chief: Carlos Hiroo Saito e Marcel Bursztyn

Executive Editors: Gabriela Litre e Melissa Curi

Cover Designer : Paula Simas de Andrade

Indexation and Communication Editor: Melissa Curi

Reviews Editor: Gabriela Litre

Website Administration: Melissa Curi e BCE / UnB

Editing: Flávio Ramos / Editora IABS / [www.editoraiabs.com.br](http://www.editoraiabs.com.br)

Text Formatting: Javiera de la Fuente C. / IABS

Proofreading: Stela Máris Zica

English translation: Cristiana Dobre

Graphic Designer: Stefania Montiel

Cover Picture: Marcel Bursztyn

Frequency: Quarterly

Peer-review process: *double blind peer-review*

Support: Brazilian Institute for Development and Sustainability - IABS and Research Support Foundation of the DF

Federal Project: *Internationzalication and increase in the Scientific Impacto of the Sustainabilityh in Debate Journal*

Format: eletrônica

Submissions Website: [www.revista.sustentabilidade.unb.br](http://www.revista.sustentabilidade.unb.br)

Publisher Address: Campus Universitário Darcy Ribeiro - Gleba A, Bloco C - Av. L3 Norte, Asa Norte - Brasília-DF, CEP: 70.904-970

Phones: 55(61) 3107-6000, 3107-6001, 3107-6002, Fax: 3107-5972

*E-mail*: [sustentabilidade.debate@gmail.com](mailto:sustentabilidade.debate@gmail.com) | Site: [www.cds.unb.br](http://www.cds.unb.br)

Author Guidelines: <http://periodicos.unb.br/index.php/sust/about/submissions#authorGuidelines>

Publication Ethics and Malpractice Statement:

<http://periodicos.unb.br/index.php/sust/about/editorialPolicies#custom-4>

---

Sustentabilidade em Debate – Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, v. 11, n.3 (2010 - 2020), Brasília, DF, Brasil.

Quarterly - ISSN Eletrônico 2179-9067

Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável.

**CDU 304:577**

---





## Editorial Board / *Conselho Editorial*

### President / *Presidente*

Carlos Hiroo Saito - Universidade de Brasília

### Members / *Membros*

Alan Cavalcanti Cunha	Universidade Federal do Amapá
Arun Agrawal	University of Michigan
Anthony Hall	London School of Economics
Asher Kiperstok	Universidade Federal da Bahia
Bertha Becker (falecida)	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Boaventura de Sousa Santos	Universidade de Coimbra
Carolina Joana da Silva	Universidade do Estado do Mato Grosso
Francisco Ferreira Cardoso	Universidade do Estado de São Paulo
Gabriele Bammer	The Australian National University
Hassan Zaoual (falecido)	Université du Littoral, Côte d'Opale
Hervé Thery	Universidade de São Paulo
Ignacy Sachs	L'École des Hautes Études en Sciences Sociales
Jalcione Almeida	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Jean-François Tourrand	La Recherche Agronomique pour le Développement
Joan Martinez-Allier	Universitat Autònoma de Barcelona
Laura Maria Goulart Duarte	Universidade de Brasília
Leila da Costa Ferreira	Universidade Estadual de Campinas
Lúcia da Costa Ferreira	Universidade Estadual de Campinas
Marilene Corrêa da Silva Freitas	Universidade Federal da Amazonas
Mário Monzoni	Fundação Getúlio Vargas
Martin Coy	Universität Innsbruck
Merilee Grindle	Harvard University
Michael Burns	Harvard University
Michele Betsill	Colorado State University
Neli Aparecida de Mello Théry	Universidade de São Paulo
Othon Henry Leonardos	Universidade de Brasília
Roberto Bartholo Jr.	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Suely Salgueiro Chacon	Universidade Federal do Ceará
Umberto Maturana	Universidade do Chile
Vandana Shiva	Research Foundation for Science, Technology and Natural Resource Policy

## Reviewers of *SeD* in 2020

The *Sustainability in Debate* editorial team thanks the following professionals for their willingness to issue opinions on the papers submitted, contributing to the management of the journal

Adriana Monteiro da Costa

Alfredo Kingo Oyama Homma

André Sá

Andréa Souza Santos

Antônio C. P. Brasil Júnior

Alfredo Ribeiro

Aliny Patricia Pires

Ariane de Almeida Rodrigues

Carlos Alberto Cioce Sampaio

Carlos Eduardo Reboratti

Carlos Lobo

Carolina Alzate Gouzy

Carolina Milhorange

Celso Freitas

David Franklin da Silva Guimarães

Diego Lindoso

Edmilson Rui

Eugenia Kelly Luciano Batista

Fabício Silva

Felipe Miranda

Fernando Amaro Pessoa

Franklin Roberto Costa

Frederico Wagner Lopes

Frederico Yuri Hanai

Gil Célio de Castro Cardoso

Igor Simoni Homem de Carvalho

James Augusto Pires Tiburcio

Jefersson Santos

Joel Henrique Ellwanger

Jorge Luiz Costa Pinto

José Luiz de Andrade Franco

Joseph Weiss

Kátia Canil

Kelly Cristina Costa Maia

Larisa Ho Bech Gaivizzo

Laura Bachi

Leandro Giatti

Leise Kelly de Oliveira

Letícia Cunha da Hungria

Lívia Poliana Santana Cavalcante

Luciana Turatti

Marcelo Antonio Nero

Mariana Piva

Max Paulo Rocha

Patrícia Mesquita

Paulo Barni

Paulo Santos

Raquel Caribé Grando

Raul Reis Amorim

Regina Alvalá

Ricardo de Camargo

Ricardo Folhes

Ricardo Soares

Ricardo Vieira Araújo

Rodrigo Spinelli

Romero Gomes Pereira da Silva

Rosane Seluchinesk

Rudi Van Els

Sílvia Borges Lúcio

Silvia Midori Saito

Sonia Maria Carvalho Ribeiro

Stoécio Maia

# Table of Contents / Sumário

## Editorial / Editorial

The role of science in the Age of Denial and in times of pandemic: sustainability at the heart of the debate / *O papel da ciência na Era do Negacionismo e nos tempos de pandemia: a sustentabilidade no centro do debate*

Marcel Bursztyn, Gabriela Litre, Melissa Curi e Carlos Hiroo Saito

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.35623.....8

## Dossier / Dossiê

Impacts, vulnerability and adaptation to climate change in Brazil: an integrated approach / *Impactos, vulnerabilidade e adaptação à mudança do clima no Brasil: uma abordagem integrada*

José Antônio Marengo, Saulo Rodrigues-Filho, Diogo Victor Santos

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.35624.....14

The Nexus+ Approach applied to studies of impacts, vulnerability and adaptation to climate change in Brazil / *A Abordagem Nexus+ aplicada a estudos de impactos, vulnerabilidade e adaptação à mudança do Clima no Brasil*

Sonia Maria Viggiani Coutinho, Diogo V. Santos, Marcel Bursztyn, José Antônio Marengo, Saulo Rodrigues-Filho, André F. P. Lucena, Daniel Andres Rodriguez, Stoécio Malta Ferreira Maia

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33514.....24

Future rainfall and temperature changes in Brazil under global warming levels of 1.5°C, 2°C and 4°C / *Mudanças futuras de precipitação e temperatura no Brasil a partir dos níveis de aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C*

Diego Jatobá dos Santos, George Ulguim Pedra, Marcelo Guatura Barbosa da Silva, Carlos, Augusto Guimarães Júnior, Lincoln Muniz Alves, Gilvan Sampaio, José Antônio Marengo

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33933.....57

Adaptation opportunities for water security in Brazil / *Oportunidades de adaptação para a segurança hídrica no Brasil*

Vânia Rosa Pereira, Daniel Andrés Rodriguez, Sonia Maria Viggiani Coutinho, Diogo Victor Santos, José Antônio Marengo

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33858.....91

Implications of climate change impacts for the Brazilian electricity mix / *Implicações dos impactos das mudanças climáticas na matriz elétrica brasileira*

Eveline Vasquez-Arroyo, Dan Abensur Gandelman, Fabio da Silva, Letícia Magalar, Diogo Victor Santos, André F. P. Lucena

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33998.....122



Climate impacts in the Brazilian energy security: analysis of observed events and adaptation options / *Impactos climáticos na segurança energética no Brasil: análise de eventos observados e opções de adaptação*

Eveline Vasquez-Arroyo, Fábio da Silva, Alberto Santos, Deborah Cordeiro, José Antônio Marengo, André F. P. Lucena

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33838..... 157

Impacts of extreme climate events on Brazilian agricultural production / *Impactos da ocorrência de eventos climáticos extremos na produção agrícola brasileira*

André Luiz de Carvalho, Diogo V. Santos, José Antônio Marengo, Sonia Maria Viggiani Coutinho, Stoécio Malta Ferreira Maia

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33814..... 197

Projections of Brazilian biomes resilience and socio-environmental risks to climate change / *Projeções de resiliência dos biomas brasileiros e riscos socioambientais às mudanças climáticas*

Patrícia F. Pinho, Luciano J. S. Anjos, Saulo Rodrigues-Filho, Diogo V. Santos, Peter M. Toledo

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33918..... 225

Climate change and disasters: analysis of the Brazilian regional inequality / *Mudanças climáticas e desastres: análise da desigualdade regional brasileira*

Leticia Palazzi Perez, Saulo Rodrigues-Filho, José Antônio Marengo, Diogo V. Santos, Lucas Mikosz

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33813..... 260

Impacts of heat stress conditions on mortality from respiratory and cardiovascular diseases in Brazil / *Impactos das condições de estresse térmico na mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares no Brasil*

Beatriz Fátima Alves de Oliveira, Ludmilla da Silva Viana Jacobson, Leticia Palazzi Perez, Ismael Henrique Silveira, Washington Leite Junger, Sandra de Souza Hacon

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33970..... 297

Impact of global warming on Potential Years of Life Lost by cardiopulmonary diseases in Brazilian capital cities / *Impacto do aquecimento global nos anos potenciais de vida perdidos por doenças cardiorrespiratórias em capitais brasileiras*

Ludmilla da Silva Viana Jacobson, Beatriz Fátima Alves de Oliveira, Leticia Palazzi Perez, Sandra de Souza Hacon

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33989..... 331

Vector-borne diseases in Brazil: climate change and future global warming scenarios / *Doenças transmitidas por vetores no Brasil: mudanças climáticas e cenários futuros de aquecimento global*

Bruno Moreira de Carvalho, Leticia Palazzi Perez, Beatriz Fátima Alves de Oliveira, Ludmila da Silva Viana Jacobson, Marco Aurélio Horta, Andréa Sobral, Sandra de Souza Hacon

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33985..... 361

Climate Change and Brazil's coastal zone: socio-environmental vulnerabilities and action strategies / *Mudanças Climáticas e a zona costeira do Brasil: vulnerabilidades socioambientais e estratégias de ação*  
Paulo Horta, Patricia F. Pinho, Lidiane Gouvêa, Guido Grimaldi, Giovanna Destri, Carolina Melissa Mueller, Lyllyan Rocha, José Bonomi Barufi, Leonardo Rorig, Jorge Assis, Letícia Cotrim da Cunha

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33845..... 405

## Articles Varia / Artigos Varia

Environmental impacts and infrastructure in Agrarian Reform settlements in Minas Gerais, Brazil / *Impactos ambientais e infraestrutura de assentamentos da Reforma Agrária em Minas Gerais, Brasil*  
Luciane Cleonice Durante, Onélia Carmem Rossetto, Giseli Dalla Nora, Paulo Cesar Venere, Olivan da Silva Rabelo, Raoni Florentino da Silva Teixeira

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.26653..... 445

Methodological proposal to analyze land use and land cover changes: the case of Santa Catarina state in Brazil from 2000 to 2010 / *Metodologia de análise das dinâmicas do uso e cobertura da terra: o caso do estado de Santa Catarina, Brasil entre 2000 e 2010*  
Juliana Mio de Souza, Eduarda Marques da Costa

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.32395..... 485

Good for whom? Reactions to oil palm contract farming in the Amazonian state of Pará, Brazil / *Bom para quem? As reações à dendeicultura por contrato na Amazônia paraense*  
Paula Egyto Tavares, Dalva Maria da Mota

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.31664..... 518

## Editorial

# The role of science in the Age of Denial and in times of pandemic: sustainability at the heart of the debate

Marcel Bursztyn, Gabriela Litre, Melissa Curi e Carlos Hiroo Saito

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.35623

The *annus horribilis* of 2020, whose analysis was the subject of SeD's Editorial in April<sup>1</sup>, was marked, in all of its respects, by the spectrum of the Covid-19 Pandemic.

The events that occurred in the year allowed us to reflect on where our societies lie in the 21st century. The example is a parable which represents the dark and obscure side of our failures and misdirections, but also signals a radiant facet of humanity, which is our incredible ability to overcome adversities and rise from the ashes, through ingenuity and art.

The year 2020 has already begun with the shocking news that a Chinese city –Wuhan– had been plagued by a dangerous disease, which led authorities to take the drastic measure of quarantining its entire population, something that was never seen or imagined before. Regardless of the discussion around the geographical and temporal origin of the pandemic, that “*Chinese virus*”, as some Western leaders called it, including the then U.S. President Donald Trump and Brazilian President Jair Bolsonaro, soon spread all across the world, and took by surprise even the rich countries of the northern hemisphere.

Health systems did not know how to react and, infrastructure could not accommodate so many sick people. Many died because of the lack of artificial ventilation equipment in hospitals, something that does not require much technology, but production was concentrated in factories also from China unable to meet so many urgent requests. The dismantling of the Social Welfare State, with worsened social inequalities even with the 2030 Agenda, revealed the vulnerability of populations, especially the poorest. The privatization of health services has also intensified this context.

Many rulers were sceptical of admitting the seriousness of the problem. Even with the alluvial of daily death figures, and the exponential growth of those infected by the disease, they preferred the convenience of denial or, at the very least, wavered in acting quickly and responsibly. In the rush of denialism, they challenged scientists and common sense itself. The United Kingdom prime minister, Boris Johnson, only ceased to be a denialist of the pandemic when he was affected by the disease and felt its gravity in his skin. In the United States, Trump never accepted the facts. He preferred to maintain his usual posture of denying the warnings of science and adopted an arrogant, distorted and lying narrative of reality. He struggled with reality; fought with science and prescribed chloroquine as the cure. He was disavowed by the facts and defeated at the polls, a result also denied.

Lukashenko, the Belarusian folkloric tyrant, suggested to his fellow citizens to drink vodka against the pandemic. He gained worldwide visibility as a clown, aside from his dictator image. In Brazil, the official stance of the federal government was not much different: scientific denialism and dissemination of fake news, such as the adoption of scientifically refuted drugs as treatment.

1 | <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/30982>



More than half of the ministerial office had already got contaminated, and the government discourse remained faithful to denial, including the famous claim that the virus would be a “*gripezinha*”, a small flue, pronounced by Bolsonaro on at least two occasions (and denied by the author in November 2020, when Brazil recorded 168,662 deaths and 6,017,605 positive tests to Covid-19, thus generating a curious “denial of denial”)<sup>2</sup>. Two health ministers, both doctors and politically identified with the government, resigned. In the war against the facts, a military General took over the portfolio and does nothing but diversionist manoeuvres, as in a battle strategy.

But as the world of politics plunged into the rush of fighting with the inescapable reality of mass death, the world of science, silent and having to face crystallized threats of cutouts to the funds dedicated to research<sup>3</sup>, was taking up the challenge. Around the world, a multitude of research centres, universities and laboratories assumed the responsibility of producing anti-Covid-19 vaccines in record time. According to the WHO, there are now over 165 vaccines in development. The effort also mobilized scientists and researchers from other fields of knowledge, who studied the pandemic as a typical interdisciplinary case. They had the flexibility and discernment to change their objects of study, to contribute to the general effort to understand and face the problem.

In Brazil, the Butantã Institute of the State of São Paulo is coordinating the trial of a vaccine (Coronovac, from the Chinese company Sinovac) that, to date, has presented itself as one of the safest in the world<sup>4</sup>. But it is not the only one. In less than ten months, since the beginning of the research work, several vaccines prepared by different laboratories were ready to be applied on a large scale in December 2020. Never in the history of public health has the cycle between identifying the disease and discovering its prevention been so short! From prevention to combat, and the production of vaccines, science must maintain its coherence with its safety protocols. That is, science must be more scientific than ever.

On the frontline of the battle, health professionals have given body and soul to save lives and, in many cases, to test the vaccines created by science. The sacrifice was not solely personal or professional: many paid with their lives. According to the Pan American Health Organization (PAHO), the Region of the Americas had the largest number of infected health professionals in the world, with nearly 570,000 health professionals who became ill and over 2,500 who succumbed to the virus.

Brazil is the third country with most deaths of health professionals due to COVID-19, after the EE.UU and Mexico. Since the beginning of the pandemic, 226 health professionals died, and 257,000 have got infected by the new coronavirus, affirms the Ministry of Health. Among the deaths, the most touched categories were nursing technicians and auxiliaries (38.5%), physicians (21.7%) and nurses (15.9%). However, even the magnitude of this heroic commitment seems to have been denied by the authorities: an Amnesty International survey reported that at least 634 health workers died in Brazil after contracting Covid-19. The number is 50% higher than that reported by the Brazilian government<sup>5</sup>.

The finding remains: the dichotomy between the times of politics (usually the short term, duration of a mandate, further shortened by election campaigns) and the time of science (usually the long term, research time and experimentation cycles), proved, in this case, to be a false dilemma. Science was much more agile than politics. While many politicians acted like an ostrich, hiding its head in a hole and having no vision beyond sectoral and even personal interests, scientists acted responsibly. It is a lesson of moral strength, but it is also the signal that we humans are resilient.

This experience brings us hard lessons in the interdisciplinary field: science, scientific culture and transparency of information go hand in hand with democracy. Fighting for our resilience nowadays also involves rebuilding democracy and renegotiating rights.

2 | <https://istoe.com.br/bolsonaro-mente-em-live-e-diz-que-nunca-chamou-covid-19-de-gripezinha/>

3 | <https://voca.abril.com.br/carreira/cortes-bolsas-pesquisa-ciencia/>

4 | <https://www.dw.com/es/brasil-coronovac-la-vacuna-m%C3%A1s-segura-hasta-ahora/a-55364182>

5 | <https://www.metropoles.com/brasil/brasil-e-o-3o-pais-com-mais-mortes-de-profissionais-da-saude-por-covid-19>

The **sustainability** of our future, capable of preventing and facing this and new pandemics, depends on avoiding the spread of the virus of authoritarianism and the apology to intolerance, violence and naturalization of social inequality. It also passes, in all nations, through the conscious engagement of everyone regarding their sociopolitical, solidarity and environmental responsibility.

Each nation must contribute because the pandemic has harshly revealed how interconnected we are. It is just another facet of our interdependence, already treated by ocean pollution, the movement of goods, climate change. More than ever, our Sustainability is in Debate.

In this issue, *SeD* presents the Dossier “Impact, Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Brazil: an Integrated Approach”, composed of twelve articles. The research comprises the Impacts, Vulnerability and Adaptation (IVA) studies, developed within the framework of the project that subsidized the preparation of the Fourth National Communication of Brazil (4NC) to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).

Also composing this edition, we have the *Varia* section, with three articles. The first one, written by Luciane Cleonice Durante et al., with the title *Environmental impacts and infrastructure in Agrarian Reform settlements in Minas Gerais, Brazil*, aims to analyze the potential environmental effects arising from infrastructure conditions in land reform settlements in the state of Minas Gerais.

In the article *Methodological proposal to analyze land-use changes: the case of Santa Catarina state between 2000 and 2010*, the authors Juliana Mio de Souza and Eduarda Marques da Costa check on the dynamics of land use and land cover, relating them to potential driving forces.

Finally, the authors Paula Egyto Tavares and Dalva Maria da Mota, in the article *Good for whom? Dendeiculture reactions by contract in Amazon paraense*, analyze the act of acceptance and resistance to dendeiculture by contract in Irituia. The research included reviewing documents and secondary data, and interviewing family farmers producing oil, trade unionists and representatives of municipal agencies.

We wish everyone a happy new year, with more health and science!

## The Editors

## Editorial

# O papel da ciência na Era do Negacionismo e nos tempos de pandemia: a sustentabilidade no centro do debate

Marcel Bursztyn, Gabriela Litre, Melissa Curi e Carlos Hiroo Saito

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.35623

O *annus horribilis* de 2020, cuja análise foi tema do editorial da Revista SeD de abril<sup>1</sup>, foi marcado em todos os aspectos pelo espectro da pandemia do Covid-19.

Os eventos ocorridos no ano nos permitem uma importante reflexão sobre o modo como nossas sociedades se situam no século 21. O exemplo é uma parábola, que representa o lado tenebroso e obscuro de nossas falhas e descaminhos, mas sinaliza também uma faceta radiante da humanidade, que é a nossa incrível capacidade de superar adversidades e renascermos, pelo nosso engenho e arte, melhores ainda.

O ano de 2020 já começou com a chocante notícia de que uma cidade chinesa – Wuhan – havia sido assolada por uma grave doença, que levou as autoridades a adotar a drástica medida de determinar o confinamento de toda a sua população, algo nunca visto ou mesmo imaginado. Independentemente do debate sobre a origem geográfica e temporal da pandemia, aquele “vírus chinês”, como alguns líderes ocidentais o chamaram, incluído o então presidente dos Estados Unidos, Donald Trump, e o presidente brasileiro, Jair Bolsonaro, logo se espalhou pelo mundo, e pegou até os países ricos do hemisfério norte de surpresa.

Os sistemas de saúde não sabiam como reagir e a infraestrutura não era capaz de acolher tantos enfermos. Muitos morreram por falta de equipamentos hospitalares de ventilação artificial, algo que não demanda muita tecnologia mas cuja produção estava concentrada em fábricas também na China, que não tinham como atender a tantos pedidos de urgência. O desmonte do Estado de Bem-Estar Social, com agravamento das desigualdades sociais mesmo em vista da Agenda 2030, revelou a vulnerabilidade das populações, sobretudo as mais carentes. A privatização da saúde também reforçou este contexto.

Muitos governantes foram céticos em admitir a gravidade do problema. Mesmo diante do aluvião de cifras de mortes diárias, e do crescimento exponencial dos contagiados pela doença, preferiram a comodidade da negação ou, no mínimo, titubearam diante do imperativo de agir rápida e responsabilmente. No ímpeto da negação, desafiaram cientistas e o próprio senso comum. O primeiro-ministro do Reino Unido, Boris Johnson, só deixou de ser um negacionista da pandemia quando ele próprio foi acometido pela doença e sentiu na própria pele a sua gravidade. Nos Estados Unidos, Trump nunca aceitou os fatos. Preferiu manter sua postura usual de negar os alertas da ciência e adotar uma narrativa arrogante, distorcida e mentirosa da realidade. Brigou com a realidade; brigou com a ciência e prescreveu cloroquina como remédio. Foi desmentido pelos fatos e derrotado nas urnas, cujo resultado, aliás, também negou.

Lukashenko, o folclórico tirano da Bielorrússia, sugeriu que seus concidadãos tomassem vodca, contra a pandemia. Ganhou visibilidade mundial como palhaço, além de ditador. No Brasil, a postura oficial do

1 | <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/30982>



governo federal não foi muito diferente: negacionismo científico e difusão de notícias falsas, inclusive sobre a adoção de medicamentos cientificamente refutados como tratamento.

Mais da metade do gabinete ministerial já havia sido contaminada, mas o discurso governamental se manteve fiel à negação, incluindo a famosa afirmação de que o vírus seria uma “gripezinha”, pronunciada por Bolsonaro em ao menos duas ocasiões (e negada pelo próprio autor em novembro de 2020, quando o Brasil registrava 168.662 óbitos e 6.017.605 diagnósticos pela Covid-19, gerando assim uma curiosa “negação da negação”)<sup>2</sup>. Dois ministros da saúde, ambos médicos e politicamente identificados com o governo, optaram por pedir demissão. Na guerra contra os fatos, um militar assume a pasta e nada faz além de manobras diversionistas, como na estratégia de batalha.

Mas enquanto o mundo da política mergulhava numa roda-viva de brigar com a realidade iniludível da morte massificada, o mundo da ciência, em silêncio e mesmo diante de ameaças cristalizadas em recortes aos fundos dedicados à pesquisa<sup>3</sup>, debruçava-se no enfrentamento do desafio. Em todo o mundo, uma infinidade de centros de pesquisa, universidades e laboratórios assumiam a responsabilidade de, em tempo recorde, produzir vacinas anti-Covid-19. De acordo com a OMS, hoje são mais de 165 vacinas em desenvolvimento. O esforço mobilizou também cientistas e pesquisadores de outros campos do conhecimento, que passaram a estudar a pandemia como um típico caso interdisciplinar. Tiveram a flexibilidade e o discernimento de mudar seus objetos de estudo, de modo a contribuir com o esforço geral de entender e enfrentar o problema.

No Brasil, o Instituto Butantã do Estado de São Paulo está coordenando o ensaio de uma vacina (a Coronovac, da empresa chinesa Sinovac) que, até o momento, tem se apresentado como uma das mais seguras do mundo<sup>4</sup>. Mais não é a única. Em menos de 10 meses, desde o início dos trabalhos de pesquisa, várias vacinas elaboradas por diferentes laboratórios já estavam prontas para serem aplicadas em grande escala a partir de dezembro de 2020. Nunca na história da saúde pública o ciclo entre identificação da moléstia e descoberta da sua prevenção foi tão curto! Da prevenção para o combate, e a produção de vacinas, a ciência deve guardar sua coerência com seus próprios protocolos de segurança. Ou seja, a ciência deve ser mais científica do que nunca.

No front de batalha, profissionais da área da saúde colocaram-se de corpo e alma para salvar vidas e em muitos casos para testar as vacinas criadas pela ciência. O sacrifício não foi unicamente pessoal ou familiar: muitos entregaram a própria vida. Segundo a Organização Pan-Americana da Saúde - OPAS, a região das Américas teve o maior número de profissionais de saúde infectados no mundo, com quase 570 mil profissionais de saúde que ficaram doentes e mais de 2,5 mil que sucumbiram ao vírus.

O Brasil é o terceiro país com mais mortes de profissionais da saúde pelo COVID-19, depois dos EE.UU e México: segundo o Ministério da Saúde, desde o início da pandemia, 226 profissionais de saúde morreram e outros 257 mil foram infectados pelo novo coronavírus. Entre as mortes em decorrência da covid-19, as categorias mais vitimadas foram técnicos e auxiliares de enfermagem (38,5%), médicos (21,7%) e enfermeiros (15,9%). Porém, até a magnitude dessa entrega heroica parece ter sido negada pelas autoridades: um levantamento da Anistia Internacional informou que pelo menos 634 trabalhadores da saúde morreram no Brasil, depois de contrair Covid-19. O número é 50% maior do que o divulgado pelo governo brasileiro<sup>5</sup>.

Fica a constatação: a dicotomia entre os tempos da política (geralmente o curto prazo, duração de um mandato, encurtado ainda mais pela premência das campanhas eleitorais) e o tempo da ciência (geralmente o longo prazo, duração dos ciclos de pesquisa e experimentação), mostrou-se, neste caso, um falso dilema. A ciência foi muito mais ágil do que a política. Enquanto muitos políticos agiam como o

2 | <https://istoe.com.br/bolsonaro-mente-em-live-e-diz-que-nunca-chamou-covid-19-de-gripezinha/>

3 | <https://voceza.abril.com.br/carreira/cortes-bolsas-pesquisa-ciencia/>

4 | <https://www.dw.com/es/brasil-coronovac-la-vacuna-m%C3%A1s-segura-hasta-ahora/a-55364182>

5 | <https://www.metropoles.com/brasil/brasil-e-o-3o-pais-com-mais-mortes-de-profissionais-da-saude-por-covid-19>

avestruz, que esconde a cabeça no buraco e não veem além dos interesses setoriais e mesmo pessoais, cientistas agiam com responsabilidade. É uma lição de força moral, mas é também a sinalização de que nós, humanos, somos resilientes.

Esta experiência nos traz duras lições no terreno interdisciplinar: ciência, cultura científica e transparência da informação andam de mãos dadas com a democracia. Lutar por nossa resiliência nos tempos atuais passa também por reconstruir a democracia e reafirmar direitos.

A **sustentabilidade** do nosso porvir, capaz de prevenir e enfrentar essa e novas pandemias, passa por evitarmos que o vírus do autoritarismo e da apologia à intolerância, violência e naturalização da desigualdade social se espalhe pelo mundo. Passa, também, em todas as nações, pelo engajamento de cada pessoa de forma consciente no que se refere à sua responsabilidade sociopolítica, solidária e ambiental.

Cada nação deve dar sua contribuição, porque a pandemia revelou duramente o quanto estamos interconectados. É apenas mais uma faceta da nossa interdependência, já tratada pela poluição dos oceanos, pela circulação de mercadorias, pelas mudanças climáticas. Mais do que nunca nossa Sustentabilidade está em Debate.

No presente número, *SeD* apresenta o Dossiê “Impacto, Vulnerabilidade e Adaptação à Mudança do Clima no Brasil: uma Abordagem Integrada”, composto por doze artigos. As pesquisas compõem os estudos de Impactos, Vulnerabilidade e Adaptação (IVA), desenvolvidos no âmbito do projeto que subsidiou a elaboração da Quarta Comunicação Nacional do Brasil (4CN) à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC).

Compondo também esta edição, temos a seção *Varia*, com três artigos. O primeiro, dos autores Luciane Cleonice Durante et al., com o título *Environmental impacts and infrastructure in Agrarian Reform settlements in Minas Gerais, Brazil* (“Impactos ambientais e infraestrutura de assentamentos da Reforma Agrária em Minas Gerais, Brasil”), tem como objetivo analisar os potenciais impactos ambientais decorrentes das condições de infraestrutura em assentamentos da reforma agrária, no estado de Minas Gerais.

O artigo *Methodological proposal to analyze land use and land cover changes: the case of Santa Catarina state in Brazil from 2000 to 2010* (“Metodologia de análise das dinâmicas do uso e cobertura da terra: o caso do estado de Santa Catarina -Brasil entre 2000 e 2010”), das autoras Juliana Mio de Souza e Eduarda Marques da Costa, faz uma verificação da dinâmica do uso e cobertura da terra, relacionando-a com potenciais forças motrizes.

Por fim, as autoras Paula Egyto Tavares e Dalva Maria da Mota, no artigo *Good for whom? Dendeiculture reactions by contract in Amazon paraense* (“Bom para quem? As reações à dendeicultura por contrato na Amazônia paraense”), analisam as reações de aceitação e resistência à dendeicultura por contrato em Irituia. A pesquisa contou com a revisão de documentos e de dados secundários, e com a realização de entrevistas com agricultores(as) familiares produtores(as) de dendê, sindicalista e representantes de órgãos municipais.

Desejamos a todas e todos um ótimo ano novo, com mais saúde e mais ciência!

## Os Editores

# Impacts, vulnerability and adaptation to climate change in Brazil: an integrated approach

José Antônio Marengo<sup>a</sup>

Saulo Rodrigues-Filho<sup>b</sup>

Diogo Victor Santos<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Center for Monitoring and Early Warnings of Natural Disasters - Cemaden,  
São José dos Campos, SP, Brazil  
E-mail: jose.marengo@cemaden.gov.br

<sup>b</sup> Sustainable Development Center, University of Brasilia (CDS/UnB), Brasília, DF, Brazil  
E-mail: saulofilhocds@gmail.com

<sup>c</sup> Ministry of Science, Technology and Innovations (MCTI),  
Brasília, DF, Brazil  
E-mail: diogo.santos@mctic.gov.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.35624

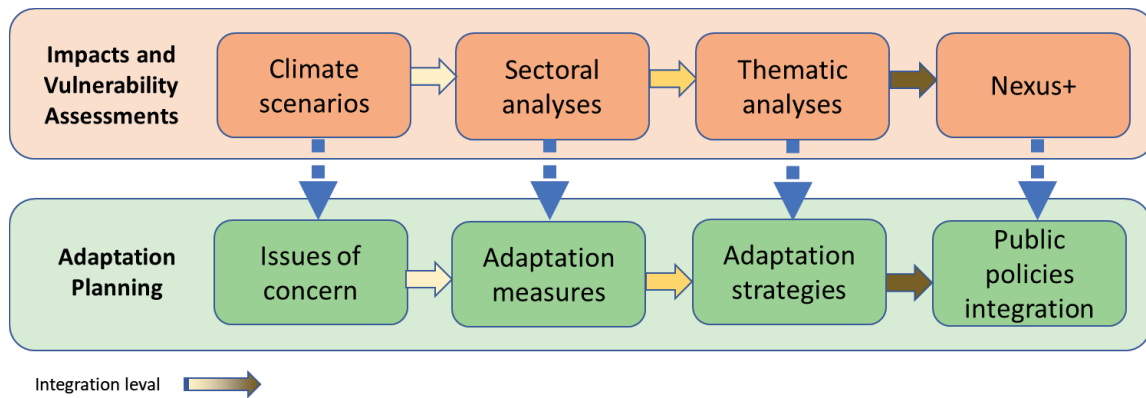
This dossier aims at presenting progresses in knowledge production on the identification of impacts and vulnerability assessment as essential steps for planning and implementing adaptation to climate change in Brazil. In this regard, it contains articles organized with elements from studies on Impacts, Vulnerability and Adaptation (IVA), which have been commissioned in the scope of the project that guided the preparation for the Fourth National Communication of Brazil (4NC) to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). The 4NC is a government document, coordinated by the Ministry of Science, Technology and Innovations (MCTI in the Portuguese acronym), and is supported by the United Nations Development Program (UNDP), funded by a donation from the Global Environment Facility (GEF), and in partnership with the Brazilian Network on Global Climate Change Research (Rede CLIMA)<sup>1</sup>.

The present study adopted an interdisciplinary strategy based on the *Nexus+* integrated approach aiming to assist the integration of public policies around the adaptation agenda in Brazil and reflect the progress in the science towards assessing and managing climate-related risks.

According to the contribution of the Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), in the face of deep uncertainty scenarios, it is recommended that conceptual models start from decision-making, or “*policy-first*”, instead of those that start from the investigation of more direct causal relations, or “*science-first*”. The latter are more oriented towards supporting the formulation of incremental adaptation actions, while the former require knowledge of this theme’s complexity and represent a more systemic perspective. As per Figure 1, the further it moves to the right, towards greater integration, the more “*policy-first*” models become applicable.

1 | The authors are responsible for the data and analyses presented herein, which do not necessarily express the position of the institutions involved.





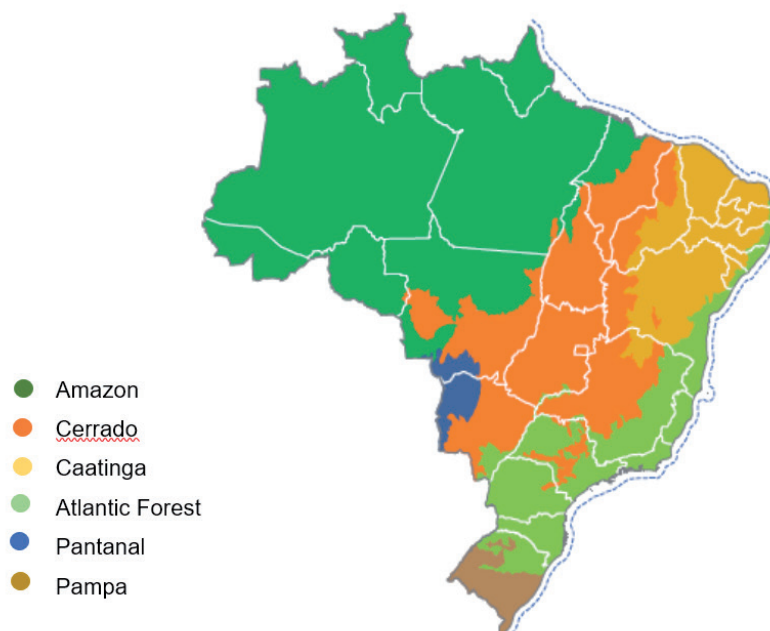
**Figure 1 |** Impacts and vulnerabilities assessments as background for adaptation planning (relationships in blue arrows), according to the integration level.

Source: Elaborated by the authors.

Using the *Nexus+* approach led to structuring IVA studies around water, energy, food and socio-environmental securities (ecosystem services, disasters and health), with territorial sections to be analysed per Brazilian biomes, coastal zones and cities.

Climate-related impacts that have already been observed within the Brazilian territory were considered, as well as global warming scenarios of 1.5°C, 2°C e 4°C above pre-industrial levels, or only SWL1, SWL2 and SWL4 (*Specific Warming Levels*<sup>2</sup>).

At first, the interrelationships among conditioning factors for risks or impacts were analysed in the scope of each security; then potential synergies and *trade-offs* were identified among the adaptation options related to the securities. The outcomes highlighted adaptation opportunities in line with environmental conservation, promotion of the country's socioeconomic development, and reduction of inequalities.



**Figure 2 |** Territorial division of Brazilian terrestrial biomes.

Source: Based on IBGE ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)).

2 | Variation of the global average anomaly of surface air temperature in relation to the pre-industrial period (approximately 1870-1899).

Assessments and analyses focused on climate-related impacts and risks that require urgent action, taking into account the influence of climate and non-climate factors, according to the conceptual structure proposed by the WGII/AR5/IPCC (2014).

The series of articles begin with the description of the Nexus+ approach, followed by a description of the climate change scenarios used (according to Specific Warming Levels – SWL). As for the security analyses, the themes: water, energy, food and socio-environmental (disasters and health) securities are further explored. At last, aspects related to the coastal zones of Brazil are analysed.

The initial article (COUTINHO et al., 2020) details the methodological approach adopted in the development process of the studies on Impacts, Vulnerability and Adaptation, which supported the articles presented herein. It explains the conceptual choices and procedures that structured the work, as well as the innovation it represents.

Climate change projected among the different global warming levels has been analysed for rainfall, temperature and extreme climate indexes (dos SANTOS et al., 2020). The projections indicate robust differences in regional climate characteristics and include the following increments: in the minimum and maximum air temperature close to the surface to all the country's regions; in extremes of heat, particularly in northern Brazil, in the occurrence of intense rainfall in Southern and Southeastern Brazil; and in the probability of droughts and rain deficits in some regions of the Amazon and Northeastern Brazil.

Adaptation opportunities for water security in Brazil in the different biomes are covered in the correspondent article (PEREIRA et al., 2020). The expected reduction of water availability in future climate scenarios was discussed, considering not only changes in water supply but also the increasing projections of withdrawal within the next 20 years, and the current conflicts arising from multiple uses of water.

This suggests a scenario that amplifies the existing challenges for the near future. Water crises like the one that occurred in Southeastern Brazil during the summer of 2014 are likely to be more frequent in the future. Imbalances between the demand and availability of quality water in a multi-sectoral context underline the relevance of the integrated Nexus+ approach (which considers socio-environmental security together with the water-energy-food tripod, usually taken as pillars for the Nexus approach). Articulation among different institutions and public policies in multi-scale approaches (municipal, water basins, state and federal), as well as taking into account climate uncertainty when planning actions are challenges that still need to be overcome in managing water resources, which are crucial to guide adaptation actions.

Hydroelectric generation is responsible for supplying most of the electricity in Brazil, around 70%. Like other renewable sources, water is highly sensitive to meteorological variables, so that climate change may have a considerable impact on it. The article assesses climate change impacts on hydroelectric generation and its consequences for the Brazilian electricity system (VASQUEZ-ARROYO et al., 2020). Scenario data for Specific Warming Levels (SWL2 and SWL4) are used, sourced from two regional climate models. Outcomes indicate that the electric system's adaptive capacity in light of the decrease in hydroelectric generation includes a growing penetration of other renewable and thermoelectric sources using natural gas, generating an increase in the system's marginal cost in order to meet the demand in 2030. In relation to greenhouse gas emissions, an increase in SWL2 scenarios is projected due to an increase in thermal power plant discharges, however with a reduction in SWL4 scenarios when other renewable sources (besides hydropower) have an increased share in the energy mix.

The occurrence and intensity of extreme climate events can also affect energy systems (VASQUEZ-ARROYO et al., 2020). Impacts on hydroelectric generation, transmission and distribution systems, bioenergetic cultures and energy demand are assessed. The 2014 drought in Southeastern Brazil significantly reduced the average generation of the Três Marias Hydroelectric Power Plant (and other

plants downstream) and also halted the 2014/2015 sugarcane harvest in the Center-Southern region. A heat wave in January 2019 might have caused a relevant increase in residential energy consumption in the Southeastern region.

Brazil is a major global food producer and stands out as a pillar for food security at a global level (CARVALHO et al., 2020). Occurrence of extreme climate events at present shows that climate is a challenge for the sector across the country, with consequences felt at the global context. Variations in the rainfall regime will directly affect food production, especially smallholders. Other extremes such as heat waves, landslides and floods may also affect food security, both in agricultural production as well as in transport and storage of products.

Different governmental agencies and programmes data, as well as climate projections made by the National Institute for Space Research (INPE, in the Portuguese acronym) were used. Especially in the past decade, results have shown the occurrence of great production losses with consequences in food prices due to droughts and other climate factors in several of the country's biomes. Important food crops in the Brazilian staple of food products, such as corn, beans, wheat and rice may be affected, mainly due to the water deficit associated with droughts, whose impacts vary depending on the region.

Climate change impacts on natural systems have been considered as one of the world's main environment transformation drivers (in addition to land use changes and other factors). This article addresses the concept of resilience that has been adopted in the scope of climate change and used in ecology to explain the ecosystem transition thresholds that, when crossed, would imply the inability of forests and other habitats to regenerate (while conserving their characteristic features) in the face of various external disturbances (PINHO et al., 2020).

The article uses a conceptual framework that combines the theory of critical transitions to distribution modeling in future scenarios, with the gradual increase of global temperature throughout this century, in order to show the way biome ecological resilience will be changed and what are the possible risks and repercussions for socio-environmental security in Brazil. The alternative of using biome resilience modeling is presented to point out possible paths for adaptive strategies, such as reforestation and the establishment of priority areas for conservation in the country.

The socio-environmental component also presents an analysis of Brazilian urban vulnerability to disasters (such as landslides and floods), based on impacts that have already been observed and mapped, in relation to present climate and future climate scenarios (PEREZ et al., 2020). The analyses considered the Brazilian social inequality context. Focus on socially vulnerable populations living at risk and the precarious urbanization process are fundamental aspects in order to understand climate-related impacts in future scenarios.

Aspects of risk and exposure to heat stress conditions, and its potential repercussion in mortality from cardiovascular and respiratory diseases in Brazilian capitals are evaluated (OLIVEIRA et al., 2020). Depending on the warming level (SWL1,5, SWL2 and SWL4), a significant increase in heat stress is observed country-wide in the RCP 8.5<sup>3</sup> scenario using the *Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)* indicator, especially in the Northern and Center-West regions. Mortality from cardiovascular and respiratory diseases may increase depending on warming levels, and present different results among capital cities.

The Article of JACOBSON et al. (2020) assesses future global warming impact on the Years of Life Lost (YLL) due to heart diseases in adults ( $\geq 45$  years) and respiratory diseases in the elderly ( $\geq 60$  years) in every capital of Brazil. Rio de Janeiro and São Paulo presented the highest YLL index (attributable to global warming) for the scenarios evaluated (SWL1,5, SWL2 and SWL4). Results of this research suggest that the impact of exposure to temperature on YLL tends to increase as the level of global warming increases

---

3 | Representative Concentration Pathways (RCPs), correspond to peak stabilization scenarios, or late 21st century of the radiative forcing in  $m W.m^{-2}$ . In the case of RCP 8.5, reference is made to 8,5  $W.m^{-2}$ .

The article of CARVALHO et al. (2020) shows that climate change affects human health either directly or indirectly, and related impacts are complex and depend on several variables. The various climate change impacts on health include a change in the spatial distribution of vector-borne diseases, such as visceral leishmaniasis, yellow fever and malaria in Brazil, in different scenarios of global warming. In these future scenarios, visceral leishmaniasis found more favorable climate conditions in the Southeastern and Southern regions of Brazil, while climate in the Northern and Center-West regions gradually became more favorable to yellow fever. In malaria scenarios, an increase in favorable climate conditions to its high incidence in the Atlantic Forest biome was observed, where currently “extra-Amazonian” cases occur.

The coastal zone, where most of the Brazilian population is concentrated, has a central role for the discussion of vulnerability and adaptation tools in the face of climate change (HORTA et al., 2020). Water ecosystems represent a source of food for humans and also the abundant and rich biodiversity in coastal environments. They also have the function to absorb and retain carbon dioxide, a greenhouse gas that plays a central role in climate change. Adaptation based on ecosystems must receive special attention in discussions that envisage the reduction of vulnerability and adaptation of coastal communities.

All the articles that make up this dossier propose adaptation measures to climate change and point at possible repercussions for water, energy, food and socio-environmental securities, and climate itself. In general, it may be stated that negative impacts and risks related to climate extremes and climate change surpass the benefits and are aggravated by anthropic pressure factors in all securities. This is manifested heterogeneously within the territory and according to socioeconomic conditions and biophysical characteristics. Adaptation implementation will be more efficient when it takes into consideration synergies and trade-offs, with the former prevailing over the latter, having been identified as more urgent the improvement in management capacities, reduction of structural vulnerabilities and maintenance of ecosystem services.

The work presented in this dossier brings innovative outcomes, mainly with regard to the integration among sectors and subjects, both in understanding impacts and risks as well as in proposing solutions. The process attempted to identify priority issues, where adaptation would be more relevant (in the different levels of warming assessed herein), in addition to exploring aspects to be considered in the scope of public management, in order to make these actions more effective, as well as to support different segments of the civil society and academy in comprehending problems and implementing adaptation options.

## **Dossier Editors**

# Impactos, vulnerabilidade e adaptação à mudança do clima no Brasil: uma abordagem integrada

José Antônio Marengo<sup>a</sup>

Saulo Rodrigues-Filho<sup>c</sup>

Diogo Victor Santos<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – Cemaden,  
São José dos Campos, SP, Brasil  
End. Eletrônico: jose.marengo@cemaden.gov.br

<sup>b</sup> Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília (CDS/UnB),  
Brasília, DF, Brasil  
End. Eletrônico: sauloFILHOCDS@gmail.com

<sup>c</sup> Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), Brasília, DF, Brasil  
End. Eletrônico: diogo.santos@mctic.gov.br

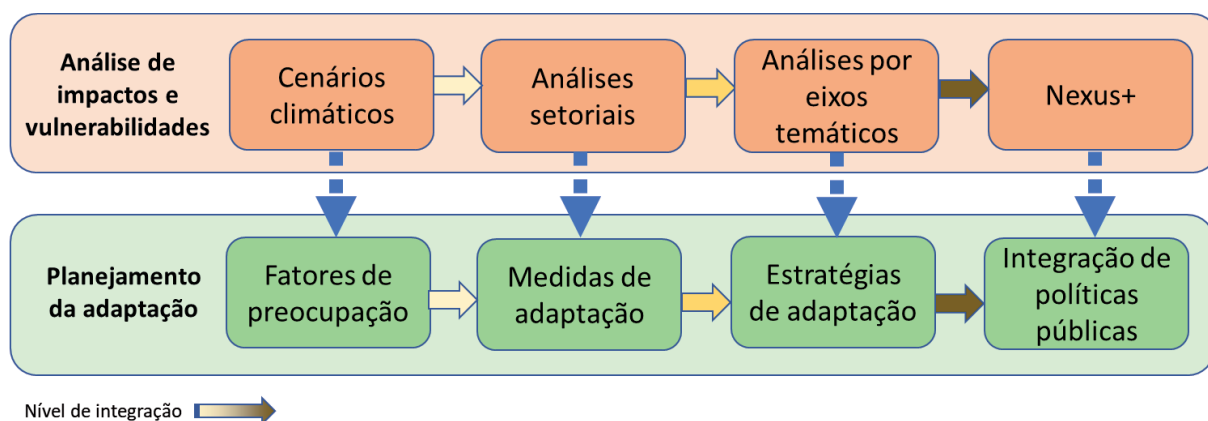
doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.35624

O presente Dossiê visa apresentar avanços na produção de conhecimento sobre identificação de impactos e avaliação da vulnerabilidade, enquanto etapas indispensáveis para o planejamento e a implementação da adaptação à mudança do clima no Brasil. Nesse sentido, contém artigos organizados com elementos extraídos de estudos de Impactos, Vulnerabilidade e Adaptação (IVA), contratados no âmbito do projeto que subsidiou a elaboração da Quarta Comunicação Nacional do Brasil (4CN) à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC). A 4CN é um documento de governo, cuja coordenação é exercida pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), e conta com o apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e a doação de recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF na sigla em inglês), além da parceria científica da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede CLIMA)<sup>1</sup>.

Tendo em vista subsidiar a integração de políticas públicas em torno da agenda de adaptação no Brasil, e refletir os avanços da ciência na avaliação e gestão de riscos relacionados ao clima, adotou-se neste trabalho uma estratégia metodológica interdisciplinar, com base na abordagem integrada *Nexus+*.

Segundo a contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), diante de cenários de incertezas profundas, preconiza-se a adoção de modelos conceituais que partem do contexto da tomada de decisão, ou “*policy-first*”, em detrimento daqueles que partem da investigação de relações causais mais diretas, ou “*science-first*”. Esses últimos são mais orientados a apoiar a formulação de ações de adaptação incrementais, enquanto os primeiros exigem o reconhecimento da complexidade do tema e representam uma perspectiva mais sistêmica. Conforme a Figura 1, quanto mais se caminha para a direita, no sentido de maior integração, modelos “*policy-first*” passam a ter maior aplicabilidade.

1 | A responsabilidade sobre os dados e análises apresentados é dos autores e não expressam necessariamente as posições das instituições envolvidas.



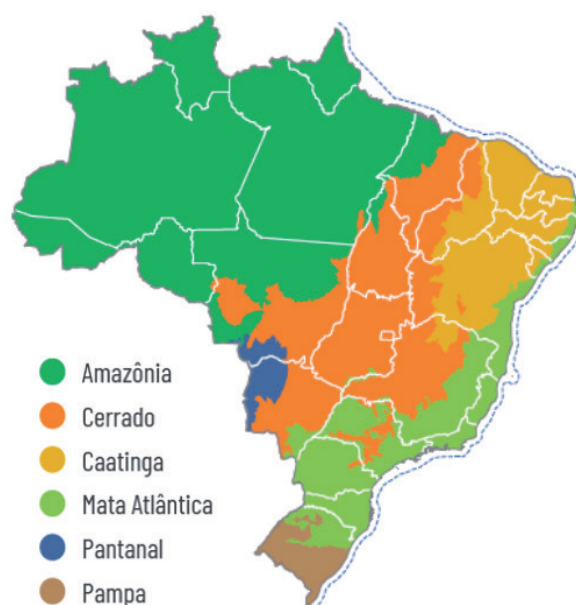
**Figura 1** | Análises de impactos e vulnerabilidades como subsídio ao planejamento da adaptação (relações nas setas azuis), conforme o nível de integração.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A utilização da abordagem *Nexus+* implicou a estruturação dos estudos de IVA a partir das seguranças hídrica, energética, alimentar e socioambiental (serviços ecossistêmicos, desastres e saúde), com recortes territoriais de análise segundo os biomas brasileiros, zonas costeiras e cidades.

Foram considerados os impactos relacionados ao clima já observados sobre o território brasileiro, bem como cenários de aquecimento global de 1,5 °C, 2 °C e 4 °C acima dos níveis pré-industriais, ou somente SWL1, SWL2 e SWL4 (*Specific Warming Levels*<sup>2</sup>).

Analisou-se, em um primeiro nível, as inter-relações entre fatores condicionantes dos impactos ou riscos no âmbito de cada uma das seguranças; e em segundo nível, identificou-se potenciais sinergias e conflitos de escolha (*trade-offs*) entre opções de adaptação relacionadas às seguranças. Resultados ressaltaram oportunidades de adaptação em consonância com a conservação ambiental, a promoção do desenvolvimento socioeconômico do país e a redução de desigualdades.



**Figura 2** - Divisão territorial dos biomas terrestres brasileiros.

Fonte: Baseado em IBGE ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)).

2 | Variação da anomalia média global da temperatura do ar à superfície em relação ao período pré-industrial (aproximadamente 1870-1899).



As investigações e análises focaram nos impactos e riscos relacionados ao clima que requerem ações urgentes, considerando a influência de fatores climáticos e não climáticos, conforme estrutura conceitual proposta pelo IPCC.

A série de artigos do Dossiê se inicia com a descrição da aplicação da abordagem Nexus+ nos estudos realizados, e em seguida, apresentam-se cenários de mudança do clima no Brasil (por nível de aquecimento médio global). A partir de então, são aprofundadas questões relativas às seguranças hídrica, energética, alimentar e socioambiental (desastres e saúde). Por fim, em caráter transversal, trata-se de aspectos relativos às zonas costeiras no país.

O artigo inicial (COUTINHO et al., 2020) detalha a abordagem metodológica adotada no processo de desenvolvimento dos estudos de Impactos, Vulnerabilidade e Adaptação realizados, e que subsidiaram os demais artigos aqui apresentados. Explica as escolhas realizadas em termos de estrutura conceitual e procedimentos, bem como as inovações do trabalho.

As mudanças climáticas projetadas entre os diferentes níveis de aquecimento global foram analisadas para a precipitação, temperatura e índices de extremos climáticos (dos SANTOS et al., 2020). As projeções indicam diferenças robustas nas características climáticas regionais, e incluem os seguintes incrementos: na temperatura mínima e máxima do ar próximo à superfície para todas as regiões do País; nos extremos de calor, em particular no norte do País, na ocorrência de chuva intensa no Sul e Sudeste do Brasil; e na probabilidade de secas e déficits de chuva em algumas regiões da Amazônia e Nordeste.

Oportunidades de adaptação para a segurança hídrica nos diferentes biomas brasileiros são tratadas no artigo correspondente (PEREIRA et al., 2020). Foram discutidas a redução da disponibilidade hídrica prevista em cenários de clima futuro, considerando não apenas mudanças na oferta de água, mas também as projeções crescentes de retirada para os próximos 20 anos e os atuais conflitos de uso múltiplo. Isso sugere um cenário de amplificação dos desafios já existentes no futuro próximo. Crises hídricas como a que se verificou Sudeste do Brasil, no verão de 2014, podem ser mais frequentes no futuro.

Os desequilíbrios entre demanda e disponibilidade de água com qualidade num contexto multissetorial evidenciam a relevância do tratamento integrado pela abordagem *Nexus+* (que considera a segurança socioambiental em conjunto com o tripé água-alimento-energia, que usualmente serve de base à abordagem *Nexus*). A articulação entre diferentes instituições e políticas públicas em abordagens multiescalas (municipal, de bacias hidrográficas, estadual e federal), assim como a consideração da incerteza climática nas ações de planejamento, ainda são desafios a serem superados na gestão dos recursos hídricos, que são fundamentais para direcionar ações de adaptação.

A geração hidrelétrica é responsável por ofertar a maior parte da eletricidade no Brasil, cerca de 70%. Tal como outras fontes renováveis, a fonte hídrica tem alta sensibilidade a variáveis meteorológicas, de maneira que mudanças climáticas podem ter impacto considerável sobre o recurso. O estudo analisa os impactos das mudanças climáticas na geração hidrelétrica e suas consequências para o sistema elétrico brasileiro (VASQUEZ-ARROYO et al., 2020). São utilizados dados de cenários de níveis específicos de aquecimento médio global (SWL2 e SWL4), provenientes de dois modelos climáticos regionalizados.

Os resultados indicam que a capacidade adaptativa do sistema elétrico frente à queda de geração hidrelétrica inclui uma maior penetração de outras fontes renováveis e termelétricas a gás natural, gerando um aumento no custo marginal do sistema para atendimento da demanda em 2030. Quanto às emissões de gases de efeito estufa, projeta-se um aumento nos cenários SWL2 com o aumento do despacho de termelétricas, mas uma redução nos cenários em que se atinge o SWL4, quando outras fontes renováveis (além da hídrica) passam a ter maior participação na matriz elétrica.

A ocorrência e a intensidade de eventos climáticos extremos podem afetar os sistemas energéticos (VASQUEZ-ARROYO et al., 2020). Os impactos na geração hidrelétrica, sistemas de transmissão e

distribuição, culturas bioenergéticas e demanda de energia são avaliados. A seca ocorrida no Sudeste do Brasil em 2014 reduziu significativamente a geração média da usina hidrelétrica de Três Marias (e outras usinas à jusante) e também causou uma quebra da safra 2014/2015 de cana-de-açúcar na região Centro-Sul. Uma onda de calor em janeiro de 2019 pode ter causado um considerável aumento do consumo residencial de energia na região Sudeste.

O Brasil é um grande produtor mundial de alimentos e se destaca como pilar da segurança alimentar em escala planetária (CARVALHO et al., 2020). A ocorrência de eventos climáticos extremos no presente mostra que o clima é um desafio para o setor em todo o País, com consequências a serem sentidas no contexto mundial. Variações no regime de chuvas afetarão diretamente a produção de alimentos, em especial da agricultura familiar. Outros extremos como ondas de calor, deslizamentos de terra, enchentes e enxurradas podem também afetar a segurança alimentar, tanto na produção agrícola e pecuária, quanto no transporte e armazenamento dos produtos. Foram utilizados dados de diferentes agências e programas governamentais, assim de projeções climáticas produzidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Os resultados mostraram, sobretudo na última década, a ocorrência de elevadas perdas de produção e consequências nos preços de alimentos decorrentes de secas e outros fatores climáticos em vários biomas do país. Culturas importantes de alimentos na cesta básica do brasileiro, como milho, feijão, trigo e arroz podem ser comprometidos, devido, sobretudo, ao déficit hídrico associado a secas, cujos impactos variam regionalmente.

Impactos da mudança do clima sobre os sistemas naturais têm sido considerados como um dos principais vetores de transformações ambientais no mundo (além de mudanças no uso da terra e outros fatores). O estudo trata do conceito de resiliência que tem sido empregado no âmbito das mudanças climáticas, e utilizado na ecologia para entender os limiares de transição ecossistêmicos que, quando ultrapassados, implicariam na incapacidade de florestas e outros habitats de se regenerarem (conservando seus atributos característicos) frente a diversas perturbações externas (PINHO et al., 2020).

O artigo utiliza um arcabouço conceitual que une a teoria das transições críticas à modelagem de distribuição em cenários futuros, com o aumento gradativo de temperatura global até o final do século, a fim de evidenciar de que forma a resiliência ecológica dos biomas será alterada e quais os possíveis riscos e repercussões para a segurança socioambiental no Brasil. Apresenta-se a possibilidade de se usar a modelagem de resiliência dos biomas para apontar possíveis trajetórias para estratégias adaptativas, tais como reflorestamento e estabelecimento de áreas prioritárias para conservação no País.

A componente socioambiental apresenta uma análise da vulnerabilidade urbana brasileira aos desastres (como deslizamentos de terra, inundações, enxurradas e alagamentos), com base em impactos já observados e mapeados, em relação ao clima presente e aos cenários climáticos futuros (PEREZ et al., 2020). As análises levaram em consideração o contexto brasileiro de desigualdades sociais. O foco sobre as populações socialmente vulneráveis morando em situação de risco no presente e o processo de urbanização precária são aspectos fundamentais para compreensão dos impactos relacionados ao clima em cenários futuros.

Os aspectos de saúde e risco da exposição às condições de estresse térmico e seu potencial impacto na mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias nas capitais brasileiras são avaliados (OLIVEIRA et al., 2020). De acordo com os níveis de aquecimento (SWL1,5, SWL2 e SWL4), no cenário RCP 8.5<sup>3</sup>, e usando o indicador *Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)*, observa-se um aumento significativo das condições de estresse térmico para o Brasil, sobretudo nas regiões Norte e Centro-Oeste. A mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias pode aumentar, conforme os níveis de aquecimento, e apresentar resultados heterogêneos entre as capitais.

3 | As Trajetórias Representativas de Concentração de GEE, ou Representative Concentration Pathways (RCPs), correspondem a cenários de estabilização, de pico ou ao final do século XXI da forçante radiativa em W.m-2. No caso do cenário RCP 8.5, faz-se referência a 8,5 W.m-2.

O artigo de JACOBSON et al. (2020) avalia o impacto futuro do aquecimento global nos Anos Potenciais de Vidas Perdidos (YLL) para as doenças cardiovasculares em adultos ( $\geq 45$  anos) e respiratória em idosos ( $\geq 60$  anos) em todas as capitais do Brasil. Para os níveis de aquecimento avaliados (SWL1,5, SWL2 e SWL4), Rio de Janeiro e São Paulo apresentaram o maior índice de YLL atribuível ao aquecimento global. Os resultados desta pesquisa sugerem que o impacto da exposição à temperatura sobre o YLL tende a crescer conforme aumenta o nível de aquecimento global.

O estudo de CARVALHO et al. (2020) mostra que as mudanças climáticas afetam a saúde humana direta ou indiretamente, e seus impactos são complexos e dependentes de diversas variáveis. Dentre os diversos impactos das mudanças climáticas na saúde estão a alteração na distribuição espacial de doenças transmitidas por vetores, entre elas leishmaniose visceral, febre amarela e malária no Brasil, em diferentes cenários de aquecimento global. Nesses cenários futuros, a leishmaniose visceral encontrou condições climáticas mais favoráveis à sua ocorrência nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, enquanto o clima nas regiões Norte e Centro-Oeste se tornou gradativamente mais favorável à febre amarela. Nos cenários para malária foi observado aumento nas condições climáticas favoráveis à sua alta incidência no bioma Mata Atlântica, onde atualmente ocorrem casos “extra-amazônicos”.

A zona costeira, território onde se concentra boa parte da população brasileira, guarda papéis centrais para a discussão da vulnerabilidade e das ferramentas de adaptação diante das mudanças climáticas (HORTA et al., 2019). Ecossistemas aquáticos representam fonte de alimentos para os humanos e também para a abundante e rica biodiversidade em ambientes costeiros. Compreendem também a função de absorver e reter dióxido de carbono, gás de efeito estufa que tem papel central nas mudanças climáticas. A adaptação baseada em ecossistemas deve receber atenção especial nas discussões que vislumbrem a redução da vulnerabilidade e adaptação das comunidades costeiras.

Os artigos que compõem o presente dossiê apresentam propostas de medidas de adaptação às mudanças climáticas e apontam possíveis repercussões nas seguranças hídrica, energética, alimentar, socioambiental e no próprio clima. Em geral, podemos dizer que os impactos negativos e os riscos relacionados aos extremos e mudança do clima superam os benefícios e, em todas as seguranças, são agravados por fatores antrópicos de pressão. Isso se manifesta de forma heterogênea dentro do território e de acordo com as condições socioeconômicas e características biofísicas. A implementação da adaptação será mais eficaz ao considerar sinergias e compensações, com as primeiras prevalecendo sobre as últimas, tendo-se identificado como mais urgentes a melhoria de capacidades de gestão, redução de vulnerabilidades estruturais e manutenção de serviços ecossistêmicos.

Os trabalhos apresentados neste dossiê trazem resultados inovadores, principalmente no que diz respeito à integração entre setores e temas, tanto no entendimento de impactos e riscos, quanto na proposição de soluções. O processo buscou identificar questões prioritárias, onde a adaptação seria mais relevante (nos diferentes níveis de aquecimento avaliados), além de explorar aspectos a serem considerados no âmbito da gestão pública, a fim de tornar essas ações mais efetivas, bem como apoiar diferentes segmentos da sociedade civil e do meio acadêmico no entendimento dos problemas e na implementação de opções de adaptação.

## **Editores do Dossiê**

# The Nexus+ Approach applied to studies of impacts, vulnerability and adaptation to climate change in Brazil

*A Abordagem Nexus+ aplicada a estudos de impactos,  
vulnerabilidade e adaptação à mudança do clima*

Sonia Maria Viggiani Coutinho<sup>a</sup>

Diogo V. Santos<sup>d</sup>

Marcel Bursztyn<sup>c</sup>

José Antônio Marengo<sup>d</sup>

Saulo Rodrigues-Filho<sup>e</sup>

André F. P. Lucena<sup>f</sup>

Daniel Andres Rodriguez <sup>g</sup>

Stoécio Malta Ferreira Maia<sup>h</sup>

<sup>a</sup> Institute of Advanced Studies, University of São Paulo, São Paulo, SP, Brazil  
E-mail: scoutinho@usp.br

<sup>c</sup> Ministry of Science, Technology and Innovations, MCTI, Brasília, DF, Brazil  
E-mail: diogo.santos@mctic.gov.br

<sup>c</sup> Center for Sustainable Development, University of Brasilia, DF, Brazil  
E-mail: marcel.cds@gmail.com

<sup>d</sup> Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters - Cemaden,  
São José dos Campos, SP, Brazil  
E-mail: jose.marengo@cemaden.gov.br

<sup>e</sup> Center for Sustainable Development, University of Brasilia, DF, Brazil  
E-mail: saulofilhocds@gmail.com

<sup>f</sup> Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: andreLucena@ppe.ufrj.br

<sup>g</sup> Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: daniel.andres@coc.ufrj.br

<sup>h</sup> Federal Institute of Alagoas, Maceió, AL, Brazil  
E-mail: stoecio.maia@ifal.edu.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33514

Received: 21/08/2020  
Accepted: 09/11/2020

ARTICLE – DOSSIER

*Data and results presented in this article were developed under the project of the “Fourth National Communication and Biennial Update Reports of Brazil to the Climate Convention”, coordinated by the Ministry of Science, Technology and Innovations, with the support of the United Nations Development Programme and resources of the Global Environment Facility, to which we offer our thanks.*

## ABSTRACT

This article aims at presenting the methodological framework applied to the Impacts, Vulnerability and Adaptation (IVA) component of the Fourth National Communication of Brazil (4CN in the Portuguese acronym) to the United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC. The methodology adopted in this article considers the application of the *Nexus+* integrated approach, based on impacts and vulnerabilities studies for water, energy, food, and socio-environmental securities. As an attempt to encompass major territories of Brazilian biomes, coastal zones and cities, multidimensional observed and projected impacts and their risk factors for each security were analyzed. In addition, from an inventory of adaptation options in light of the *Nexus+* approach, their synergies and trade-offs were assessed.

**Keywords:** *Nexus+* approach. Climate Change. Impacts. Vulnerability and Adaptation. Brazil.

## RESUMO

*Este artigo tem por objetivo apresentar o escopo metodológico para a elaboração da componente de Impactos, Vulnerabilidade e Adaptação (IVA) à mudança do clima, integrante da Quarta Comunicação Nacional (4CN) do Brasil à Convenção do Clima. A opção metodológica adotada contempla a aplicação da abordagem integrada *Nexus+* com base em estudos de impactos e vulnerabilidades para as seguranças hídricas, energética, alimentar e socioambiental, nos territórios dos biomas brasileiros, zonas costeiras e cidades. Para cada uma das seguranças, houve identificação dos impactos observados; análise dos fatores condicionantes de risco; definição e avaliação dos impactos-chave; análise integrada dos impactos em uma base territorial; levantamento, seleção e análise de opções de adaptação à luz da abordagem *Nexus+*, com identificação de sinergias e trade-offs. O processo adotado possibilitou um olhar integrado entre os fatores condicionantes de risco, os impactos e as interfaces entre as opções de adaptação propostas.*

**Palavras-chave:** *Abordagem Nexus+*. Mudanças Climáticas. Vulnerabilidade e Adaptação. Brasil.

## 1 INTRODUCTION

Based on global emergencies at different scales, the perception of human vulnerability regarding natural human-induced climate change has assumed the status of an urgent issue. This perception is a result of the growing scientific knowledge on the potential harmful effects of climate change to society, considering different time and spatial scales. As an expression of human vulnerability, research applied to climate change has shown a high interdependence with economic and socioecological systems. It also reveals population vulnerability to climate-related disasters, whether for excess or absence of rain, under a new global pattern of rising temperatures.

In this context, the study of climate change and the actions to tackle it have intensified since late the 20th century, with the accumulation of evidence that natural climate variability experiences significant human driven interference. These implications are such that the environmental agenda has been progressively overlapped by the climate agenda (RODRIGUES-FILHO *et al.*, 2016).

The urgency of the issue becomes even more evident when the effects of the profound structural inequality affect the population's ability to cope with impacts. Among them, there is a lack of adequate housing, sanitation conditions and its health effects, for example. Issues related to food, water, and energy security, in addition to the socio-environmental dimension, have great interconnection and their understanding is essential for planning public policies for more resilient societies.

Therefore, a complex arrangement of public policies is needed to mitigate the causes and adapt to climate change effects, in order to meet the growing demand for water, energy and food. Notwithstanding, both the accelerated environmental degradation and urban sprawl pose further pressure to solve this wicked problem, avoiding the collapse of the ecosystem services on which we depend.

Brazil, as a signatory to the United Nations Framework Convention on Climate Change, has undertaken efforts to implement actions as agreed under the Convention, among which a comprehensive reporting initiative called National Communications, the first of which was submitted in 2004. In the scope of preparing the Fourth National Communication, coordinated by the Ministry of Science, Technology and Innovations, studies on Impacts, Vulnerability and Adaptation (IVA) to climate change were conducted, among others.

Unlike the Third National Communication, which was prepared based on sectors, the 4NC sought greater integration based on water, energy, food, and socio-environmental securities, adopting biomes, the coastal zone and cities as territorial snapshots. Securities also represent more systemic approaches on sectoral/theme axes provided for by the National Adaptation Plan (2016) and cover most of their topics.

This article aims at presenting the methodology developed for the preparation of the 4NC regarding the IVA component. The conceptual and methodological approach aims to assess the climate change impacts and vulnerabilities, under the scope of the four securities, including the Nexus+ approach. Finally, the inter-relations among securities were considered under a crosscutting and integrated perspective, especially applied to adaptation contexts.

## 2 WHY IT IS CRUCIAL TO INTEGRATE POLICIES

The Federal Constitution (1988) provides that the Public Authority, in all its levels, shall preserve and defend the environment (Art. 225), establishing that the environment is to be addressed in public policies in an integrated manner, at all levels of government.

It is necessary to make a distinction between “policy integration” and “integrating policies”, with regard to managing aspects related to climate change. While the former is about incorporating climate change adaptation and mitigation goals into sectoral policy-making, the latter refers to crosscutting policies since their conception.

Policy integration towards climate issues has developed from environmental movements and different perspectives (RIETIG, 2012). This may be understood as “the incorporation of climate change adaptation and mitigation goals into all stages of policy-making in other sectors (whether environmental or non-environmental), thus minimizing contradictions among climate policies and other policies (...). This makes it possible that incentives and mechanisms of different policies, climate or not, are not in conflict” (VAN BOMMEL and KUINDERSMA, 2008, p.17), or, on the other hand, these synergies are enhanced, just like in the National Policy on the Environment (1981), the National Plan on Climate Change (2008), the National Policy on Climate Change (2009, Art. 11), and the National Plan on Adaptation to Climate Change (2016-2020) (MERCURE et al., 2019).

Policy integration is discussed in the literature on Nexus e Nexus+ approaches (HAGEMANN and KIRSCHKE, 2017; HOWELLS and ROGNER 2014; PAHL-WOSTL, 2017; SCOTT, 2017; WEITZ *et al.*, 2017; RINGLER, BHADURI e LAWFORD, 2013; CASTRO e BURSZTYN, 2019; ARAUJO *et al.*, 2019).



Difficulties in integrating climate policies in Brazil involve sectors that work specifically towards achieving goals. In this regard, there are gaps in governance processes which narrow the possibilities of coordinating broader and related initiatives, and generate inconsistencies between the objectives of climate policies and sectoral policies (ADELLE and RUSSEL, 2013; MICKWITZ et al., 2009; WEITZ et al., 2017; BURSZTYN and BURSZTYN, 2017; CASTRO; SABOURIN; BURSZTYN, 2020).

Among the gaps that may undermine the crosscutting approach of policies and the necessary cooperative action among the sectors involved in environmental policy, Neves (2012) mentions the public sector's administrative tradition. Usually, each theme is organized in a fragmented way and dealt with by a specific sector, in addition to the territorial scales of environmental issues that often cross borders and occur at different time scales than electoral mandates.

Some examples of integrating policies are the Brazilian National Policy on Water Resources and the Integrated Management of Water Resources, the National System of Protected Areas, the Ecological-Economic Zoning, the National Coastal Management Plan, the National Plan for Risk Management and Response to Natural Disasters, and the Citizenship Territories Program. The territorial configuration of these instruments does not necessarily take into consideration state and municipalities borders, thus requiring collaborative governance, comprehensive legislation, and integrated plans and programs.

The Integrated Management of Water Resources defines Water Basin as the territorial unit of the National Policy on Water Resources. Although this territorial delimitation progresses towards a decentralized management, with broad participation, there is still a lack of agreement between the territorial scale of the National Policy on Water Resources and that of the Master Plans, or even the management of groundwater. It is pivotal to integrate water resources with environmental management, estuarine and coastal systems, sectoral policies, and coordination with other related resources (SOARES, THEODORO and JACOB, 2008; ROGERS and HALL, 2003).

There are several tools for regulating land use in water basins, aiming at conserving water resources together with socioeconomic development (AQUINO and MOTA, 2019), such as Environmental Zoning, including the definition of Permanent Preservation Areas, Protected Areas, and also the control of land parceling in river basins.

Regarding climate change, one way to make this integration work and to reduce risks and sensitivities (KLEIN et al., 2007) is to implement adaptation measures "as part of a broader suite of measures within existing development processes and decision cycles" (OECD, 2009, p.60). By recognizing the cyclical nature of the adaptation process, the incorporation of climate-related risks into policy instruments must be promoted in a systemic way (UNDP, 2009; IPCC, 2014).

### 3 THE 4NC'S METHODOLOGICAL APPROACH TO ASSESS IMPACTS AND VULNERABILITIES

#### 3.1 THE NEXUS APPROACH IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

The first studies on the Nexus approach date back to the 90s and addressed the relationship water-food, and also considered the idea of "virtual water" – that is, all water involved in the production process of any industrial or agricultural good, water scarcity and food trade (ALLAN, 1998 and 2003).

Developments on the topic have found their way onto the agenda of international organizations during the 2000s, expanding to a relationship among water-energy-food (ARTIOLI, ACUTO AND MCARTHUR, 2017; ENDO et al., 2017; MULLER, 2015; FAO, 2014; BELLFIELD, 2015; BIGGS et al., 2015; ALLOUCHE, MIDDLETON and GYAWALI, 2014; SHANNAK, MABREY and VITTORIO, 2018), with special attention

during the Bonn Conference 2011 (*Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus – Solutions for a Green Economy*).

The concept came up as a response to climate and social changes, as a crosscutting approach to address interdependences and limits after repeated water, energy, and food-price crises in emerging countries. The main focus was on promoting safe access to basic services (HOFF, 2011; ARTIOLI, ACUTO and MCARTHUR, 2017).

Such approach is also used in reports focusing on interdisciplinary solutions aimed at tackling the challenges to water, energy and food supply for all. It manages the synergies and trade-offs among them and deals with understanding how these interactions (which cannot be addressed only by one sector's specific method), are shaped by environmental, economic, social, and political changes (WORLD ECONOMIC FORUM, 2011; FUTURE EARTH, 2014).

Adaptation actions that enhance other actions, or bring co-benefits along with other objectives, may be understood as synergic. Some actions minimize certain risks but aggravate others, thus generating trade-offs. For instance, the same water that generates energy is also used for water supply and food production (MILHORANCE; SABOURIN; BURSZTYN, 2018). Hence, besides water supply, management of water resources needs to consider energy and food production demand.

The resources considered by the Nexus approach have been experiencing significant stress and deficits, with growing demands expected in the coming years, due to the increase in population and urbanization, together with climate change impacts. This increase in demand will come with significant challenges, since the resources addressed by the Nexus approach are fundamental for the proper functioning of society (BAZILIAN et al., 2011).

Therefore, the expression "security" is incorporated into the Nexus approach along with the words water, energy and food, in the context of climate change (HOFF, 2011; PARDOE *et al.*, 2018; FROESE and SCHILLING, 2019; ENDO *et al.*, 2017; AGRAWAL and LEMOS, 2015).

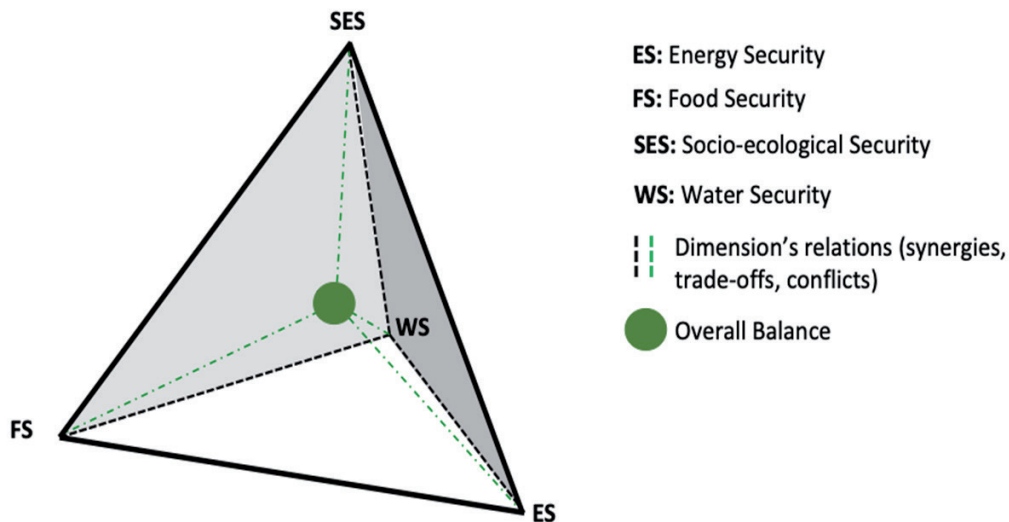
Securities are not only related to the availability of resources (water, food, energy), but also to the access and fair distribution of these resources through the population, together with health, environmental protection, and socioeconomic development policies, which poses major political and institutional challenges. Such a conceptual and methodological option is an evolution, if compared to sectoral approaches (IISD, 2013; RINGLER, BHADURI and LAWFORDE, 2013, P.617; SIMPSON and JEWITT, 2019).

The IPCC's Fifth Assessment Report (AR5) indicates that climate change is undermining the livelihood of millions of people worldwide. It also highlights the importance of maintaining livelihoods, early adaptation in contexts of high poverty and vulnerability, reducing disaster risk, and social protection in different contexts. Additionally, it draws on the ethical and political dimensions of engaging with local and traditional knowledge about climate change (IPCC, 2014), introducing the idea of socio-environmental security.

The socio-environmental dynamics or, as some authors prefer, the socio-ecological dynamics, show the relationship between human existence and the ecosystems through the appropriation of natural resources, or the delivery of ecosystem services of provision, support and regulation for the well-being of the population (MEA, 2005; OSTROM, 2009).

Differences in populations vulnerability and exposure arise from non-climate factors and multidimensional inequalities, often produced by social development processes, and shape the risks of climate change and extreme events (IPCC, 2014; PNUD 2008; OLSSOM et al., 2014; SMITH, 2007; ERIKSEN and O'BRIEN 2007). Therefore, socially, economically and culturally marginalized populations are also the most vulnerable to climate change.

Based on Milhorance and Bursztyn (2019, p. 216) and on Araújo et al. (2019), the analytical framework of the *Nexus+* approach, adopted in the 4NC, converges with the work of Biggs et al. (2014) and Agrawal and Lemos (2015), adding, in the scope of adaptation strategies, the socio-ecological dimension to the nexus among water-food-energy (Figure 1).



**Figure 1** | Illustration of the Nexus+ approach

*Source: Araújo et al., 2019, p.64.*

### 3.2 ASSESSMENT OF IMPACTS AND VULNERABILITIES

The technical-scientific literature often describes risk as the probability of hazardous events or trends to occur, multiplied by their impacts in case they do occur. The IPCC (2014a) sees risk in a more flexible way: as the potential for consequences, in which a diversity of values is at stake and where the outcome is uncertain.

Climate change is only one of the many processes that influence the risks to the systems above, and it is overlapped by socio-economic, political, and other types of environmental changes, which are unevenly distributed across the territory. Thus, it is necessary to encompass the multiple sources of risk generation, considering how climate-related risks can be reduced or exacerbated by other biophysical or socio-economic processes, even beyond geographical borders (KLEIN *et al.*, 2017).

For the analyses of risks, or potential impacts from climate-driven stressful stimuli, the following causal chain was considered:

- the current impacts related to climate (climate variability and climate change).
- interactions among climate, socioeconomic factors and other non-climate pressures that could increase vulnerability and/or exposure to variability and climate change.
- impact chains, which can act individually or in combination, directly or indirectly, on individual sectors or in a crosscutting manner (CCRA, 2017).

The assessments focused on impact factors and problems. Then, in reverse, climate and non-climate drivers were explored. This non-traditional approach, based on Reeder e Ranger (2011), instead of starting with the generation and interpretation of climate projections for adaptation planning, started

with the context, the drivers, and its impacts, and then assessed the climate and non-climate conditions, as a means of supporting adaptation strategies that are more appropriate and capable of enhancing transformations (Figure 2).

The use of this approach is also reported in the preparation of the *UK Climate Change Risk Assessment*, with a method based on three steps: 1 – understanding present vulnerabilities, based on the assessment of current climate-related risks and opportunities, as well as adaptation levels; 2 – understanding future vulnerabilities and adaptation, based on an assessment of how climate change and socio-economic factors can change future climate-related risks and opportunities; and 3 – prioritize risks and opportunities for which additional actions are needed (on a five-year horizon). In this work, the identification and prioritization of risks and impacts is a preponderant element in the analysis process, with emphasis on the role of non-climate multipliers (WARREN et al., 2016).

Wise et al. (2014) stress the importance of considering the historical context and the path in which the socio-ecological system is grounded, in order to understand existing vulnerabilities and support future planning and responses.

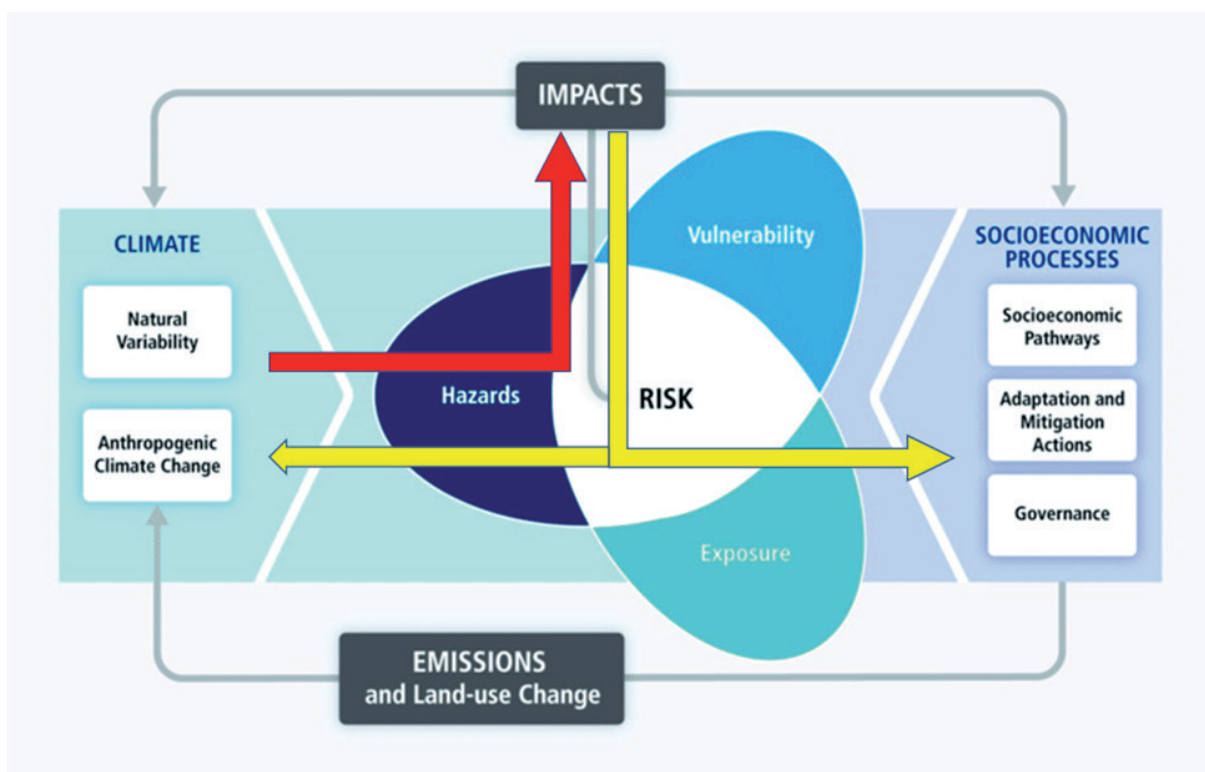


Figure 2 | Illustration of AR5's Working Group II main concepts, with adaptations

Source: adapted from IPCC, 2012, p.3.

The risk of climate-related impacts results from the interaction between climate threats (including dangerous events and trends) and the vulnerability and exposure of human and natural systems. Changes in the climate system (left) and socioeconomic processes, including adaptation and mitigation (right) are the determining risks, exposure and vulnerability factors.

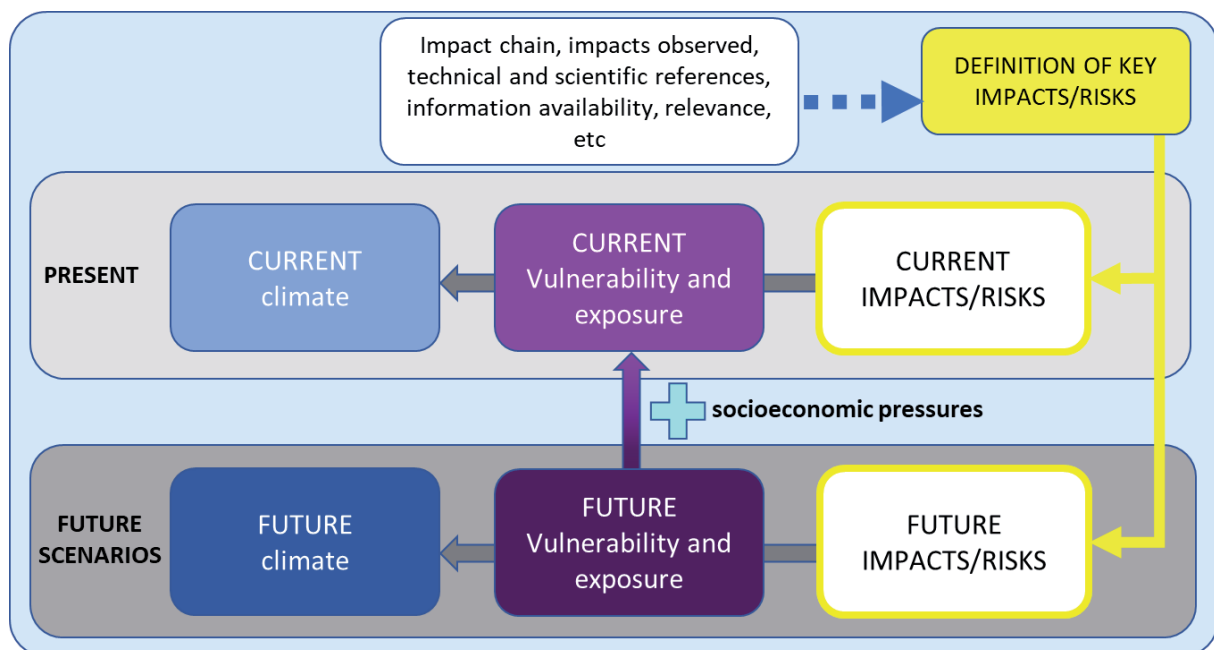
Understanding non-climate socio-economic trends, such as economic growth and demographic (population) changes, can be just as important in determining future climate-related impacts and associated economic costs, as changing the frequency or intensity of climate extremes. When these are not considered, it may be assumed that future climate change will occur in a world similar to today, which is not realistic, since the relationships between climate change, its impacts, mitigation

and adaptation vary according to the socio-economic context and are not linear (WARREN et al., 2015, 2016; EVANS et al., 2004).

This broader assessment of conditioning factors for climate-related impacts can support an adequate adaptation plan. According to Wise *et al.* (2014), adaptation is part of a path of changes and responses, in which intention and result would not only be risk reduction, but also an approach of systemic vulnerability factors in dynamic systems.

Buth *et al.* (2017) recommend the creation of impact chains to assess the cause-effect relationship between climate stimuli and possible climate impacts. They may help understand, systematize and prioritize what factors in a system influence climate extremes and climate change impacts. This includes both direct climate impacts on biophysical and socio-economic systems, which are the result of a simple cause-effect action, and indirect climate impacts that are the result of a secondary reaction, or when they are part of a chain of reactions.

Studies and analysis of the key impacts and vulnerabilities have been carried out for water, energy, food, and socio-environmental securities, with specific conclusions according to the territory. Some issues or sectors have been addressed in a crosscutting manner. For each security, the studies considered the following steps: conceptualization, relevance and governance of each security; delineation of the impact chains and conditioning factors; identification of observed impacts (current); characterization and evaluation of future key impacts, considering trends in climate and non-climate pressure factors (socio-economic and environmental); integrated analysis of key impacts and vulnerabilities on a territorial basis (Figure 3); interrelation with other securities; survey and selection of adaptation options, with identification of synergies and trade-offs.



**Figure 3 |** Outline of the methodological approach adopted for the 4NC for the assessment of impacts and vulnerabilities

Source: Prepared by the authors

The assessment of impacts and vulnerabilities in the context of securities was carried out based on specific methods related to each field of knowledge, available information and references, and conditioning factors considered critical. As an illustration, a risk modeling has been adopted, focusing on climate projections and non-climate factors, when available, historical analysis of impacts related to



climate, development of a risk factor index, among other methodological approaches (whose details and main results are presented in other articles of this dossier).

During a workshop carried out in 2019, with 41 participants, including representatives of the government and academia, results of the analysis of current and future impacts and vulnerabilities were presented in the context of the four securities, followed by the identification of adaptation options, considering the territorial specificities, circumstantial and conditioning factors for each of the securities (MCTI, 2019).

The process was oriented in a crosscutting manner, and involved multidisciplinary interactions, which led to the identification of adaptation options for each security, based on selection criteria such as: i. options that consider current climate variability and/or arise from “no-regret” measures, that is, those that are justified even in the absence of future climate change; ii. options that lead to decisions with long-term repercussions or have lasting consequences; or iii. options that are linked to a long implementation period (structural and slow measures).

Those criteria are based on the need mentioned by *Wise et al.* (2014) for adaptive actions focused on both near-vulnerability causes (incremental) and broader and systemic (transformational) long-term changes. This kind of approach is justified, since most adaptation efforts so far have adopted a rationalistic and linear scientific approach, based on a static comparison of a reference scenario, which focuses on specific risks, rather than the generic and complex risks that characterize real-world decision-making (DOWNING *et al.*, 2012).

The IPCC (2014) recognizes that adaptation measures are becoming more integrated into political structures, which can avoid incompatibilities with planning objectives, facilitate the combination of various sources of financing, and reduce the possibility of “maladaptive” actions, enabling better action regarding uncertainty on the extent of climate change and the nature of its impacts.

There are significant co-benefits, synergies and trade-offs among different adaptation responses. Such interactions occur within and between regions (IPCC, 2014), and must be taken into account for the formulation and implementation of adaptation options. Sectoral political approaches may result in competing and/or counterproductive actions. Therefore, changes towards integrated approaches, with political coherence between sectors, can maximize gains, optimize trade-offs, and avoid negative impacts. Synergies may be understood as adaptation actions that enhance other actions, or bring co-benefits with other objectives (DI GIULIO *et al.*, 2017). However, there are adaptation actions that minimize certain risks, but aggravate other actions, generating trade-offs.

Twenty-eight adaptation options have been identified from the selection criteria described above, among which five are related to socio-economics, six to the environment within the scope of socio-environmental security, six to food security, six to energy security, and four to water security.

## 4 INTERFACES OF ADAPTATION OPTIONS AMONG WATER, ENERGY, FOOD AND SOCIO-ENVIRONMENTAL SECURITIES

Some interfaces of the options for adapting one security with the others are described below.

### 4.1 WATER SECURITY INTERFACES WITH OTHER SECURITIES

When it comes to synergies among the adaptation options, water occupies a central position among securities, and its governance – complex in itself and challenged to integrate energy and food security regarding climate change impacts – stands out, requiring more complex and diverse arrangements, cited as “multilevel coordination challenges” (PAHL-WOSTL, 2009).



Thus, strengthening capacities and the political-institutional articulation for crosscutting approaches with other policies, at different levels, can amplify the management and more efficient use of water, avoiding crises and low water availability impacts, favoring water availability for food and energy production.

Promoting actions for the efficient use of water as well as prioritizing the use of reclaimed water in the industrial, agricultural and urban sectors are adaptation measures that offer synergy with other securities, considering the multiple uses of water.

Incrementing infrastructure interventions may guarantee water supply for human consumption and use in productive activities, and reduce the risks associated with critical events, such as droughts and floods, benefiting the energy and food production sectors. However, purely structural/physical interventions have a high environmental cost and may influence fisheries management adversely, and cause the removal of vegetation, loss of connectivity in protected areas and alteration of water ecosystems, generating trade-offs with socio-environmental security.

Options that strengthen the integration of green infrastructure and integrated management of natural resources with gray infrastructure for water production and protection of water resources have synergy with integrated urban planning, minimizing the risk of disasters.

## 4.2 ENERGY SECURITY INTERFACES WITH OTHER SECURITIES

In Brazil, renewable energy sources (water, solar, wind power, and biomass) already present vulnerabilities due to climate change. Actions that strengthen the resilience and adaptive capacity of the energy system can be beneficial for all other securities. Measures of efficiency and energy conservation in all user sectors can contribute to the reduction of the energy demand.

Improving the physical energy infrastructure can contribute to stability and/or increase energy supply, but there would be trade-offs with other securities. Of note, are the impacts of the constructions on the environment and ecosystem services, the reduction of water availability for other uses and the reduction of areas for the production of food and fishing resources, in addition to emissions increase of local air pollutants and greenhouse gases - GHG, in the case of thermoelectric plants.

Further complementarity studies of water energy source, considering as adaptation options - for example, the implementation of hybrid wind-photovoltaic plants and the incentive to decentralized energy generation, from non-water renewable sources - can benefit water security in resource availability for other users, including agriculture.

Incentives to bioenergy, with genetic improvement, may make crops feasible in future climate scenarios, and may contribute to water security in terms of availability of the resource to other users (with complementary use to hydroelectric plants), although the demand for irrigation may increase (with an increase in sugarcane and soybean cultivation areas). For food and socio-environmental security, trade-offs may be generated by the advancement of these crops over preservation areas and agricultural production for consumption within the country.

On the other hand, the uses of residual biomass as an alternative source of energy can generate synergies with other securities, since it is based on the use of agricultural, agro-industrial and urban solid waste, thus giving destination to such waste that would otherwise be forwarded for disposal.

### 4.3 FOOD SECURITY INTERFACES WITH OTHER SECURITIES

Food security may generate synergies with the other securities, especially when adaptation options include maintaining and restoring natural environments and/or via sustainable agriculture, with the development of agricultural varieties and management systems adapted to climate change.

The reduction and/or management of the use of fire, efficient use of water in agriculture, increased productivity, and promotion of integrated systems are adaptation options that present synergies with the other securities. Agricultural management without the use of fire minimizes the occurrence of forest fires, protecting the ecosystems and contributing to soil conservation.

Increased productivity to the detriment of soil quality and greater use of pesticides may cause trade-offs with socio-environmental, water and food securities. Likewise, irrigation may generate trade-offs with the other securities, by reducing water availability for other uses.

Strengthening agro-climate risk monitoring systems and risk-transfer mechanisms (such as credit and farming insurance) may assist producers in managing rural risk, creating synergy with socio-environmental security. However, the eventual migration of crops to more favorable areas may increase the demand for land-use conversion and cause loss of ecosystem services, which is a trade-off for socio-environmental and water security.

Technical assistance and income transfer measures for traditional populations and smallholder farmers may enable them to use more adequate technologies, allowing them to settle to the land, contributing to their subsistence and maintenance of protected areas.

Improving the food distribution and storage infrastructure may favor some smallholder farmers, linking agricultural production to market demands, creating synergies with the other securities

Incentive to urban agriculture help to reduce the pressure of urban areas on ecosystems and rural areas, enhancing synergies with other securities.

### 4.4 SOCIO-ENVIRONMENTAL SECURITY INTERFACES WITH OTHER SECURITIES

Ecosystem services provide several benefits to human needs, and it is essential to keep them as a synergy for all securities. Adaptation actions based on the integrated management of natural resources are the ones that contribute the most to the overall balance of *Nexus+*. Such actions can involve Ecosystem-Based Adaptation (EBA), Nature-Based Solutions, among others.

Economic, social, environmental, and cultural benefits can be obtained by using EBA, since healthy environments play an important role in protecting infrastructure and expanding human security, acting as natural barriers and reducing the impacts of disasters caused by extreme weather and climate events.

Maintenance and recovery of areas with natural vegetation favor pollination, benefiting both ecological balance and agricultural production (MEA, 2005), and contribute to reducing the risk of a water crisis, particularly in the face of future climate stress (OZMENT, DIFRANCESCO and GARTNER, 2015). Preserving the Amazon and restoring native forests in the Brazilian Southeastern region favor conditions for water jets to continue acting and feeding reservoirs (FUNDAÇÃO BOTICÁRIO and ICLEI, 2015), creating synergy with energy security.

Integrated urban planning stands out, prioritizing afforestation, soil permeability, urban agriculture, intelligent densification of regularized and consolidated city areas, urbanization of precarious settlements, and maintenance of social relations for low-income populations. Such measures contribute to minimizing

heat islands and energy costs with air conditioning, allowing rainwater harvesting and reducing water pollution by urban sewage. These actions have synergies with risk monitoring and communication systems, with underground and surface water availability, and with the health of the population.

Fostering and improving the management of reporting systems on risk and disasters, heat islands, and bush fires present synergies with all securities.

## 5 FINAL CONSIDERATIONS

This article presented a methodological proposal based on a concrete experience. For the elaboration of the 4NC, the option was a strategy that treats the complex framework of themes, territories and sectoral cutouts that shape the reality in an integrated way. The usual practice is to break the topics down into parts that are studied individually by experts. Conversely, the identification of elements that allow complementary approaches from different perspectives offers a better understanding of the object's dynamics: climate change and the understanding of its impacts, vulnerabilities, and adaptation processes in Brazil.

There is a risk that the integrating approach may lead to reductionism and oversimplification of the reality. Yet, seeking to frame reality into sectoral approaches lacks analytical strength. The Nexus approach, with water as an integrating axis in the contexts of food, energy and water supply, allows to objectively dealing with the interfaces of such themes. The option for Nexus+, in the way it was adopted for the 4NC, introduced new ingredients, which ensured greater organicity and comprehensiveness to the process. In practical terms, the strategy was:

- an approach on the securities' perspective.
- the inclusion of the socio-environmental security axis, which allows for the consideration of aspects such as the relations of the human sphere with the natural world, and ecosystem services in their interfaces with the dynamics of the economy.
- an approach according to the different biomes and coastal ecosystems.
- an analysis of cities as an environment with their own characteristics, regardless of the biome they are in.
- the consideration of crosscutting issues, such as health, traditional peoples and populations, and public policies (both sectoral and those targeted at actions involving different sectors, with synergies and trade-offs).

It was necessary to resort to an interdisciplinary team and to integrating events, such as work meetings, consultations with specialists and seminars bringing together academics, public policy-makers, and operators. The way the outcome will be assimilated by decision-making levels is still unknown. However, the adopted methodological procedure is documented herein, as a proposal to be considered and improved.

## REFERENCES

- ADELLE, C.; RUSSEL, D. Climate policy integration: a case of déjà vu? **Environ Pol Gov**, v. 23, p. 1-12, 2013.
- AGRAWAL, A.; LEMOS, M. C. Adaptive development. **Nat Clim Chang**, v. 5, p. 185-187, 2015.
- ALLAN, J. A. Virtual Water: the water, food, and trade *Nexus* useful concept or misleading metaphor? **IWRA. Water International**, v. 28, n. 1, mar. 2003.

\_\_\_\_\_. Virtual Water: a strategic resource. Global Solutions to Regional Deficits. **Groundwater**, v. 36, n. 4, p. 546, 1998.

ALLOUCHE, J.; MIDDLETON, C.; GYAWALI, D. **Nexus Nirvana or Nexus Nullity?** A dynamic approach to security and sustainability in the water-energy-food nexus. Brighton: STEPS Centre, 2014.

AQUINO, M. D.; MOTA, S. Planejamento ambiental e ordenamento territorial em bacias hidrográficas. In: PHILIPPI JÚNIOR, A.; SOBRAL, M. do C. **Gestão de Bacias Hidrográficas e sustentabilidade**, Barueri, SP, 2019.

ARAÚJO, M. et al. The socio-ecological *Nexus+* approach used by the Brazilian Research Network on Global Climate Change. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 39, p. 62-70, 2019.

ARTIOLI, F.; ACUTO, M.; MCARTHUR, J. The water-energy-food *nexus*: an integration agenda and implications for urban governance. **Political Geography**, Elsevier, v. 61, p. 215-223, 2017.

BAZILIAN, M. et al. Considering the energy, water and food *nexus*: towards an integrated modelling approach. **Energy Policy**, v. 39, n. 12, p. 7896-7906, 2011.

BELLFIELD, H. **Water, Energy and Food Security Nexus in Latin América and the Caribbean**. Global Canopy Programme, 2015.

BIGGS, E. M. et al. **Environmental livelihood security in Southeast Asia and Oceania: a water-energy-food-livelihoods nexus approach for spatially assessing change**. White paper. International Water Management Institute (IWMI), 2014.

BIGGS, E. M. et al. Sustainable development and the water – energy – food *nexus*: a perspective on livelihoods. **Environmental Science & Policy**, v. 54, p. 389-397, 2015.

BOMMEL, S. V.; KUINDERSMA, W. **Policy integration, coherence and governance in Dutch climate policy**. A multi-level analysis of mitigation and adaptation policy. Wageningen, Alterra, 2008.

BURSZTYN, M.; BURSZTYN, M. A. A. Climate change and integration of public policies. In: ISSBERNER, L. R.; LÉNA, P. (Org.). **Brazil in the Anthropocene: conflicts between predatory development and environmental policies**. Abingdon e NY: Esarhcan/Routledge, 2017, v. 1, p. 292-304.

BUTH, M. et al. **Guidelines for Climate Impact and Vulnerability Assessments Recommendations of the Interministerial Working Group on Adaptation to Climate Change of the German Federal Government**, Umweltbundesamt, 2017.

CASTRO, C. M.; BURSZTYN, M. Climate adaptation and policy conflicts in the Brazilian Amazon: prospects for a Nexus + approach. **Climatic Change**, v. 154, p. 1-22, 2019.

CASTRO, C. M.; SABOURIN, E.; BURSZTYN, M. From policy mix to policy networks: assessing climate and land use policy interactions in Mato Grosso, Brazil. **Journal of Environmental Policy & Planning**, v. 22, p. 1-16, 2020.

CCRA. **UK Climate Change Risk Assessment 2017**. Synthesis report: priorities for the next five years, 2017.

DIGIULIO, G. M. et al. Mudanças climáticas, riscos e adaptação na megacidade de São Paulo, Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 8, n. 2, p. 75-87, 2017.

DOWNING, T. E. Views of the frontiers in climate change adaptation economics. Wires. **Climate Change**, v. 3, p. 161-170, 2012.

ENDO, A. et al. A review of the current state of research on the water, energy, and food *nexus*. **Journal of Hydrology: regional studies**, v. 11, p. 20-30, 2017.

ERIKSEN, S. H.; O'BRIEN, K. Vulnerability, poverty and the need for sustainable adaptation measures. **Climate Policy**, v. 7, n. 4, p. 337-352, 2007.

EVANS, E. et al. **Foresight Future Flooding**. Scientific Summary. v. 1. Future risks and their drivers. Office of Science and Technology, London, UK, 2004.

FAO. **The Water-Energy-Food Nexus**. A new approach in support of food security and sustainable agriculture, 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-bl496e.pdf>>.

FROESE, R.; SCHILLIN, J. The *Nexus* of Climate Change, Land Use, and Conflicts. **Current Climate Change Reports**. v. 5, Issue 1, p. 24-35, 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40641-019-00122-1>>.

FUNDAÇÃO BOTICÁRIO/ICLEI. **Adaptação baseada em ecossistemas**. Oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas. 2015. Disponível em: <[file:///C:/Users/sonia/Downloads/AbE\\_2015%20\(9\).pdf](file:///C:/Users/sonia/Downloads/AbE_2015%20(9).pdf)>.

FUTURE EARTH. **Future Earth 2025 Vision**. Future Earth Secretariat, Paris, 2014. Disponível em: <[http://futureearth.org/sites/default/files/future-earth\\_10-year-vision\\_web.pdf](http://futureearth.org/sites/default/files/future-earth_10-year-vision_web.pdf)>.

HAGEMANN, N.; KIRSCHKE, S. Key issues of interdisciplinary *Nexus* governance analyses: lessons learned from research on integrated water resources management. **Resources**, v. 6, n. 9, 2017.

HOFF, H. Understanding the *Nexus*, background paper for the Bonn 2011 Conference. In: **The Water, Energy and Food Security Nexus: solutions for the green economy**. 2011, Stockholm. Background paper: Stockholm: SEI, 2011. 52p, 2011.

HOWELLS, M.; ROGNER, H. H. Assessing integrated systems. **Nat. Clim. Change**, 2014.

IISD. The Water–Energy–Food Security *Nexus*: towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management, 2013. Disponível em: <[https://www.iisd.org/pdf/2013/wef\\_nexus\\_2013.pdf](https://www.iisd.org/pdf/2013/wef_nexus_2013.pdf)>.

IPCC. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. FIELD, C. B. et al. (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 p., 2012.

IPCC. **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. BARROS, V. R. et al. (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 688, 2014.

IPCC. Summary for policymakers. In: **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. FIELD, C. B. et al. (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1-32, 2014a.

KLEIN, R. et al. **Portfolio screening to support the mainstreaming of adaptation to climate change into development assistance**. Tyndall Centre for Climate Change Research. 2007. Working Paper, nº 102.

KLEIN, R. J. T. et al. **Advancing climate adaptation practices and solutions: emerging research priorities**. Working paper nº 2. Stockholm Environment Institute, 2017.

MCTI. IV Reunião técnica da componente de vulnerabilidade e adaptação. **Relatório Oficina**. MIRÁ – Design de Ideias, 2019.

MERCURE, J. F. et al. System complexity and policy integration challenges: the Brazilian Energy-Water-Food *Nexus*. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**. v. 105, p. 230-243, 2019.

MICKWITZ, P. et al. **Climate Policy Integration as a Necessity for an Efficient Climate Policy**. Paper Presented at the 9th European Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change, Volendam, p. 2-4, 2009.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystem and Human Well-Being: synthesis**. Island press, 2005.

MILHORANCE, C.; BURSZTYN, M. Climate adaptation and policy conflicts in the Brazilian Amazon: prospects for a *Nexus* + approach. **Climatic Change**, 2019.

MILHORANCE, C.; SABOURIN, E.; CHECHI, L. **Adaptação às mudanças climáticas e integração de políticas públicas no semiárido pernambucano**. Texto para Discussão. Série Working Papers, n. 2, 2018.

MULLER, M. The *nexus* as a step back towards a more coherent water resource management paradigm. **Water Alternatives**, v. 8, n. 1, p. 675-694, 2015.

NEVES, E. M. S. C. Política ambiental, municípios e cooperação intergovernamental no Brasil. **Revista Estudos Avançados**. v. 26, n. 74, 2012.

OCDE. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation**. Policy Guidance, 2009. Disponível em: <<https://www.oecd.org/env/cc/44887764.pdf>>.

OLSSON, L. M. et al. Livelihoods and Poverty. In: **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. FIELD, C. B. et al. (Ed.) tran. R. E1421, p. 793-832. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014.

OSTROM, E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. **Science**, v. 325, 2009.

OZMENT, S.; DIFRANCESCO, K.; GARTNER, T. **The role of natural infrastructure in the water, energy and food nexus**. Nexus Dialogue Synthesis Papers. Gland, Switzerland: IUCN, 2015.

PAHL-WOSTL, C. A conceptual framework for analyzing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. **Global Environmental Change**, v. 19, p. 354-65, 2009.

\_\_\_\_\_. Governance of the water-energy-food security *nexus*: a multi-level coordination challenge. **Environ. Sci. Policy.**, v. 92, p. 356-367, 2017.

PARDOE, J. et al. Climate change and the water–energy–food *nexus*: insights from policy and practice in Tanzania. **Climate Policy**, v. 18, n. 7, p. 863-877, 2018.

PNUD. **Relatório de Desenvolvimento Humano 2007/2008**. Combater as alterações climáticas: solidariedade humana num mundo dividido, 2008. Disponível em: <<file:///C:/Users/sonia/Downloads/undp-br-hdr-portuguese-2007-8.pdf>>.

REEDER, T.; RANGER, N. How do you adapt in an uncertain world? Lessons from the Thames Estuary 2100 project. **World Resources Report**, Washington DC, 2011.

RIETIG, K. **Climate policy integration beyond principled priority: a framework for analysis**. Centre for Climate Change Economics and Policy. Working Paper, n. 99 Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. Working Paper, n. 86, 2012.

RINGLER, C.; BHADURI, A.; LAWFORD, R. The *nexus* across water, energy, land and food (WELF): potential for improved resource use efficiency? *Curr. Opin. Environ. Sustain.* v. 5, p. 617-624, 2013.

RODRIGUES FILHO, S.; BURSZTYN, M.; SAITO, C. Introdução ao Clima em Transe. In: BURSZTYN, M.; RODRIGUES FILHO, S. (Org.). **O clima em transe: vulnerabilidade e adaptação da agricultura familiar**. Rio de Janeiro: Garamond, 2016, p. 9-18.

ROGERS, P.; HALL, A. W. **Effective Water Governance**. Global Water Partnership (GWP). TEC background papers n. 7, Suécia, 2003.

SCOTT, A. **Making Governance Work for Water–Energy–Food Nexus Approaches**. Climate and Development Knowledge Network (CDKN). Working Paper Series. London: Overseas Development Institute, 2017.

SHANNAK, S.; MABREY, D.; VITTORIO, M. Moving from theory to practice in the water–energy–food *nexus*: an evaluation of existing models and frameworks. **Water-Energy Nexus**, v. 1, Issue 1, p. 17-25, 2018.

SIMPSON, G. B.; JEWITT, G. P. W. **The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: a review**, 2019.

SMITH, M. D. **Sólo tenemos un planeta: pobreza, justicia y cambio climático**. Lima, Soluciones prácticas (ITDG), 2007.



SOARES, S. L. de O.; THEODORO, H. D.; JACOBI, P. R. **Governança e política nacional de recursos hídricos: qual a posição da gestão das águas no Brasil?** IV ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, Brasília, 4, 5 e 6 de junho de 2008, 2008.

UNDP. **Adaptation definitions and levels**, 2009.

WARREN, R. et al. **Literature review and synthesis of recent climate change impacts research**. DECC: 1104872/AVOID2 WPB.1b. Report 1, 2015.

WARREN, R. et al. **UK Climate Change Risk Assessment Evidence Report**. Chapter 2, Approach and Context. Report prepared for the Adaptation Sub-Committee of the Committee on Climate Change, London, 2016.

WEITZ, N. et al. Closing the governance gaps in the water-energy-food *nexus*: insights from integrative governance. **Glob. Environ. Change**, v. 45, p. 165-73, 2017.

WISE, R. M. et al. Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response. **Global Environmental Change**, n. 28, p. 325-336, 2014.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Global Risks 2011**. Sixth Edition. An initiative of the Risk Response Network. 2011. Disponível em: <[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2011.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2011.pdf)>.

# A Abordagem Nexus+ aplicada a estudos de impactos, vulnerabilidade e adaptação à mudança do Clima no Brasil

*The Nexus+ Approach applied to studies of impacts, vulnerability and adaptation to climate change in Brazil*

Sonia Maria Viggiani Coutinho<sup>a</sup>

Diogo V. Santos<sup>d</sup>

Marcel Bursztyn<sup>c</sup>

José Antônio Marengo<sup>d</sup>

Saulo Rodrigues-Filho<sup>e</sup>

André F. P. Lucena<sup>f</sup>

Daniel Andres Rodriguez<sup>g</sup>

Stoécio Malta Ferreira Maia<sup>h</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil  
End. Eletrônico: scoutinho@usp.br

<sup>b</sup> Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, MCTI, Brasília, DF, Brasil  
End. Eletrônico: diogo.santos@mctic.gov.br

<sup>c</sup> Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil  
End. Eletrônico: marcel.cds@gmail.com

<sup>d</sup> Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – Cemaden/MCTI, São José dos Campos, SP, Brasil  
End. Eletrônico: jose.marengo@cemaden.gov.br

<sup>e</sup> Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil  
End. Eletrônico: saulofilhocds@gmail.com

<sup>f</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: andreLucena@ppe.ufrj.br

<sup>g</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: daniel.andres@coc.ufrj.br

<sup>h</sup> Instituto Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil  
End. Eletrônico: stoecio.maia@ifal.edu.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33514

Received: 21/08/2020  
Accepted: 09/11/2020

ARTICLE – DOSSIER

*Os dados e os resultados apresentados nesta publicação foram desenvolvidos no âmbito do projeto “Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, por meio dos recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente, aos quais oferecemos nossos agradecimentos.*

## RESUMO

Este artigo tem por objetivo apresentar o escopo metodológico para a elaboração da componente de Impactos, Vulnerabilidade e Adaptação (IVA) à mudança do clima, integrante da Quarta Comunicação Nacional (4CN) do Brasil à Convenção do Clima. A opção metodológica adotada contempla a aplicação da abordagem integrada Nexus+ com base em estudos de impactos e vulnerabilidades para as seguranças hídricas, energética, alimentar e socioambiental, nos territórios dos biomas brasileiros, zonas costeiras e cidades. Para cada uma das seguranças, houve identificação dos impactos observados; análise dos fatores condicionantes de risco; definição e avaliação dos impactos-chave; análise integrada dos impactos em uma base territorial; levantamento, seleção e análise de opções de adaptação à luz da abordagem Nexus+, com identificação de sinergias e trade-offs. O processo adotado possibilitou um olhar integrado entre os fatores condicionantes de risco, os impactos e as interfaces entre as opções de adaptação propostas.

**Palavras-chave:** Abordagem Nexus+. Mudanças Climáticas. Vulnerabilidade e Adaptação. Brasil.

## ABSTRACT

*This paper aims to present the methodology developed within the Impacts, Vulnerability and Adaptation (IVA) to climate change component of the Fourth National Communication (4CN) of Brazil. The methodological choice of this 4CN involves the application of the nexus+ integrated approach, based on studies of impacts and vulnerabilities for water, energy, food and socio-environmental securities, in the different in the territories of Brazilian biomes, coastal areas and cities. For each of these securities it were identified the observed impacts; analysis of risk conditions; definition and assessments of integrated analysis of key impacts at territorial level; inventory, selection and analysis of adaption options in the context of Nexus+, identifying synergies and trade-offs. This process made possible an integrated assessment among the conditioning risk factors, impacts and interactions among proposed adaptation options.*

**Keywords:** Nexus+ Approach. Climate Change. Vulnerability and Adaptation. Brazil.

## 1 INTRODUÇÃO

A partir de emergências globais de diversas ordens, nossa percepção sobre a vulnerabilidade humana diante de fenômenos naturais antropicamente induzidos assume uma nova e surpreendente dimensão que, embora sob escalas temporais e espaciais distintas, dialoga e oferece lições importantes para o enfrentamento da urgência das mudanças climáticas. Como se não bastassem as evidências de nossa vulnerabilidade, as pesquisas aplicadas às mudanças climáticas têm demonstrado elevada dependência do sistema econômico aos serviços ecossistêmicos. Revelam, também, a vulnerabilidade de populações aos efeitos dos desastres relacionados ao clima, seja pelo excesso ou pela ausência de chuvas, sob um clima global que transita para um novo padrão de temperaturas em elevação.

Diante desse contexto, o estudo das mudanças climáticas e as ações para o seu enfrentamento se intensificaram desde o final do século XX, com acúmulo de evidências de que a variabilidade natural do clima sofre interferência significativa da ação humana. Essas implicações são de tal ordem que a agenda ambiental vem sendo progressivamente sobreposta pela agenda climática (RODRIGUES FILHO et al., 2016).

A urgência do tema se revela ainda mais evidente quando observamos os efeitos da profunda desigualdade estrutural no Brasil na capacidade de enfrentamento dos impactos, sejam sanitários ou climáticos, por parte de uma vasta parcela da população sem acesso a condições dignas de moradia e saneamento, por exemplo. Portanto, não se deve tratar os desafios da redução da desigualdade de maneira setorializada – questões relativas às seguranças alimentar, hídrica e energética, além da dimensão socioambiental, apresentam grande interconexão e sua compreensão mostra-se fundamental para o planejamento de políticas públicas para sociedades mais resilientes.

Medidas são necessárias para a mitigação das causas e a adaptação aos efeitos das mudanças climáticas para atender à demanda crescente de energia, alimentos e água, devido ao acelerado processo de urbanização, e ao mesmo tempo evitar o colapso dos serviços ecossistêmicos dos quais dependemos.

O Brasil, como País signatário da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assumiu o compromisso de reportar periodicamente seus esforços para implementação da Convenção, a partir das denominadas Comunicações Nacionais, sendo a primeira submetida em 2004. No âmbito da elaboração da Quarta Comunicação Nacional (4CN), coordenada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), entre outros estudos, foram realizadas análises de Impactos, Vulnerabilidade e Adaptação (IVA) à mudança do clima.

Diferentemente da Terceira Comunicação Nacional – TCN, que foi elaborada com base em setores, a 4CN buscou uma maior integração a partir das Seguranças Hídrica, Energética, Alimentar e Socioambiental, adotando como recortes territoriais os biomas, a zona costeira e as cidades. As seguranças representam também abordagens mais sistêmicas sobre os eixos temáticos/setoriais contidos no Plano Nacional de Adaptação – PNA (2016) e cobrem grande parte de seus temas.

Nesse sentido, este artigo tem por objetivo apresentar a metodologia desenvolvida e adotada para a elaboração da 4CN, no que tange à componente de IVA. O segundo tópico versa sobre a importância da integração de políticas públicas, lacunas e dificuldades. Delineado o pano de fundo conceitual, o terceiro tópico traz o percurso metodológico utilizado para a avaliação dos impactos e vulnerabilidades às mudanças climáticas, no contexto das 04 seguranças, incluindo a abordagem *Nexus+*, que foi utilizada para a articulação dos estudos da 4CN. Foram consideradas as inter-relações existentes entre as seguranças, sob uma perspectiva integrada e transversal, especialmente aplicada no contexto da adaptação. Finalizamos com breve apresentação das interfaces entre as seguranças, com base em sinergias e *trade-offs*.

## 2 SOBRE O IMPERATIVO DE INTEGRAR POLÍTICAS

A Constituição Federal – CF (1988) estabelece o dever de preservação e de defesa do ambiente como questão imposta ao Poder Público, em todas as suas esferas (art. 225), pressupondo a consideração do ambiente nas políticas públicas de forma integrada e em todos os níveis de governo.

É necessário diferenciar a “integração de políticas públicas” de “políticas integradoras”, no que tange à gestão de aspectos relacionados às mudanças climáticas. No primeiro caso, trata-se de incorporar os objetivos de adaptação e mitigação das mudanças climáticas na formulação de políticas setoriais; já no segundo, refere-se a políticas que são transversais em relação a outras desde a sua concepção.

A integração de políticas voltada às questões climáticas se desenvolve a partir dos movimentos ambientais e sob diversas perspectivas (RIETIG, 2012), e pode ser entendida como a

incorporação dos objetivos de adaptação e mitigação das mudanças climáticas em todas as etapas da formulação de políticas de outros setores (não ambientais e ambientais), minimizando as contradições entre as políticas climáticas e outras políticas, [...], possibilitando que incentivos e mecanismos de diferentes políticas, climáticas ou não, não sejam conflitantes (VAN BOMMEL; KUINDERSMA, 2008, p.17),

ou que, por outro lado, sejam potencializadas as sinergias, tendo como exemplos a Política Nacional de Meio Ambiente – PNMA (1981), o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (2008), a Política Nacional sobre Mudança do Clima (2009, art. 11) e o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima – PNA (2016-2020) (MERCURE et al., 2019).

O tema da integração de políticas também é tratado em grande parte da literatura sobre as abordagens Nexus e Nexus+ (ARAÚJO et al., 2019; CASTRO; BURSZTYN, 2019; HAGEMANN; KIRSCHKE, 2017; HOWELLS; ROGNER, 2014; PAHL-WOSTL, 2017; RINGLER; BHADURI; LAWFORD, 2013; SCOTT, 2017; WEITZ et al., 2017).

As dificuldades na integração de políticas climáticas no Brasil envolvem setores que trabalham de maneira específica para o atingimento de metas. Há lacunas em processos de governança que restringem as possibilidades de coordenação de iniciativas mais amplas e relacionadas, e geram inconsistências entre os objetivos da política climática e de políticas setoriais (ADELLE; RUSSEL, 2013; BURSZTYN; BURSZTYN, 2017; CASTRO; SABOURIN; BURSZTYN, 2020; MICKWITZ et al., 2009; WEIZ et al., 2017).

Entre as lacunas que podem dificultar a transversalidade das políticas e a ação cooperada necessárias entre os setores envolvidos na política ambiental, Neves (2012) cita a tradição administrativa do setor público, na qual cada tema é organizado de forma compartimentada e tratado em um determinado setor, além das escalas territoriais das questões ambientais que, muitas vezes, ultrapassam fronteiras e ocorrem em escalas de tempo diferentes dos mandatos eleitorais.

São exemplos de políticas integradoras, que podem avançar na resolução dessas lacunas, a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (e a Gestão Integrada de Recursos Hídricos – Girh), o Sistema Nacional de Unidades de Conservação, o Zoneamento Ecológico-Econômico – ZEE (realizado em vários níveis), o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC, o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais e o Programa Territórios da Cidadania. Os recortes territoriais desses instrumentos não respeitam necessariamente as fronteiras de estados e municípios, exigindo, portanto, governança colaborativa, legislação abrangente, planos e programas integrados.

A Girh define a Bacia Hidrográfica como unidade territorial da PNRH. Embora essa delimitação territorial avance em direção a uma gestão descentralizada e com ampla participação, há ainda uma falta de concordância entre a escala territorial da PNRH e a dos Planos Diretores, ou mesmo com a gestão das águas subterrâneas. Impõe-se a integração dos recursos hídricos com a gestão ambiental, com os sistemas estuarinos e costeiros, com as políticas setoriais e com outros recursos relacionados (ROGERS; HALL, 2003; SOARES; THEODORO; JACOB, 2008).

Existem várias ferramentas para o disciplinamento do uso do solo em bacias hidrográficas, com o objetivo da conservação dos recursos hídricos compatibilizada com o desenvolvimento socioeconômico (AQUINO; MOTA, 2019), como o Zoneamento Ambiental, incluindo delimitação de Áreas de Preservação Permanente – APP, as Unidades de Conservação, e o controle do parcelamento do solo em bacias hidrográficas.

No âmbito climático, a operacionalização dessa integração e a redução de sensibilidades e riscos (KLEIN et al., 2007) podem ser alcançadas pela implementação de medidas de adaptação “como parte de um

conjunto mais amplo de medidas dentro de planos de desenvolvimento e de decisão já existentes” (OCDE, 2009, p. 60). Reconhecendo o caráter cíclico do processo de adaptação, a incorporação de riscos relacionados ao clima nos diversos instrumentos políticos deve ser promovida de modo sistemático (UNDP, 2009; IPCC, 2014).

### 3 ABORDAGEM METODOLÓGICA DA 4CN PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS E VULNERABILIDADES

#### 3.1 A ABORDAGEM NEXUS+ NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Os estudos iniciais sobre a abordagem Nexus datam da década de 1990 e tratavam da relação água-alimento, e consideravam a ideia de “água virtual”, isto é, toda água envolvida no processo produtivo de qualquer bem industrial ou agrícola, escassez hídrica e comércio de alimentos (ALLAN, 1998, 2003).

Desenvolvimentos no tema ganharam espaço nas agendas das organizações internacionais durante a década de 2000, ampliando-se para a relação água-energia-alimento (ALLOUCHE; MIDDLETON; GYAWALI, 2014; ARTIOLI; ACUTO; MCARTHUR, 2017; BELLFIELD, 2015; BIGGS et al., 2015; ENDO et al., 2017; FAO, 2014; MULLER, 2015; SHANNAK; MABREY; VITTORIO, 2018), com especial destaque da Conferência de Bonn 2011 (*Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus – Solutions for a Green Economy*).

O conceito emerge em resposta às mudanças climáticas e sociais, como uma abordagem intersetorial para tratar de interdependências e limites após repetidas crises hídricas, energéticas e de preços dos alimentos em países emergentes, sendo voltada à promoção da segurança de acesso a serviços básicos (HOFF, 2011; ARTIOLI; ACUTO; MCARTHUR, 2017).

A abordagem também é utilizada em relatórios orientados a soluções interdisciplinares para os desafios de fornecimento de água, energia e alimentos para todos, ao gerenciamento das sinergias e dos conflitos de escolha (*trade-offs*) entre eles, e ao entendimento de como essas interações, que não podem ser abordadas apenas pelo método de um setor, são moldadas por mudanças ambientais, econômicas, sociais e políticas (WORLD ECONOMIC FORUM, 2011; FUTURE EARTH, 2014).

Ações de adaptação que potencializam outras ações, ou trazem cobenefícios com outros objetivos podem ser entendidas como sinérgicas. Há ações que minimizam determinados riscos, mas que agravam outros, gerando *trade-offs*. Por exemplo, a mesma água que gera energia também serve ao abastecimento e à produção alimentar (MILHORANCE; SABOURIN; BURSZTYN, 2018). Assim, a gestão dos recursos hídricos deve levar em consideração, além do abastecimento, a energia e a produção alimentar.

Os recursos considerados pela abordagem Nexus já vêm sofrendo estresse e déficits significativos, sendo previstas demandas cada vez maiores nos próximos anos, pelo aumento populacional e da urbanização, ao lado dos impactos das mudanças climáticas. Esse aumento da demanda virá com desafios significativos, visto que os recursos tratados na abordagem Nexus são fundamentais para o funcionamento da sociedade (BAZILIAN et al., 2011).

Assim, ao Nexus passa a ser incorporada a expressão “segurança” – hídrica, energética e alimentar, inserindo-o no contexto das mudanças climáticas (AGRAWAL; LEMOS, 2015; ENDO et al., 2017; FROESE; SCHILLING, 2019; HOFF, 2011; PARDOE et al., 2018).

As seguranças estão relacionadas não somente à disponibilidade dos recursos (água, alimentos e energia), mas também ao acesso e à distribuição justa desses recursos à população, à saúde, à proteção ambiental e ao desenvolvimento econômico, envolvendo questões políticas, conjunturais e



institucionais. É uma evolução sobre as abordagens setoriais (IISD, 2013; RINGLER; BHADURI; LAWFFORD, 2013; SIMPSON; JEWITT, 2019).

O quinto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês) indica que as mudanças climáticas estão minando a possibilidade de subsistência de milhões de pessoas em todo o mundo. Aponta para a importância da manutenção dos meios de subsistência, da adaptação antecipada em contextos de elevada pobreza e vulnerabilidade, da redução do risco de desastres e proteção social em diferentes contextos, além das dimensões éticas e políticas do engajamento com o conhecimento local e tradicional sobre mudanças climáticas (IPCC, 2014a), inserindo a ideia da segurança socioambiental.

As dinâmicas socioambientais ou, como preferem alguns autores, socioecológicas, revelam a relação entre a existência humana e os ecossistemas, por meio da apropriação dos recursos naturais, ou da prestação de serviços ecossistêmicos de provisão, suporte e regulação para o bem-estar da população (MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005; OSTROM, 2009).

Diferenças na vulnerabilidade e na exposição das populações surgem de fatores não climáticos e de desigualdades multidimensionais, frequentemente produzidas por processos de desenvolvimento social, e moldam os riscos das mudanças climáticas e aos eventos extremos (ERIKSEN; O'BRIEN, 2007; IPCC, 2014; OLSSOM et al., 2014; PNUD, 2008; SMITH, 2007). Assim, as populações marginalizadas social, econômica e culturalmente são também as mais vulneráveis às mudanças climáticas.

A partir de Araújo et al. (2019) e Milhorange e Bursztyn (2019, p. 216), o quadro analítico da abordagem *Nexus+*, adotado na 4CN, converge para os trabalhos de Agrawal e Lemos (2015) e Biggs et al. (2014), adicionando, no escopo das estratégias de adaptação, a dimensão socioambiental aonexo entre água-alimento-energia (Figura 1).

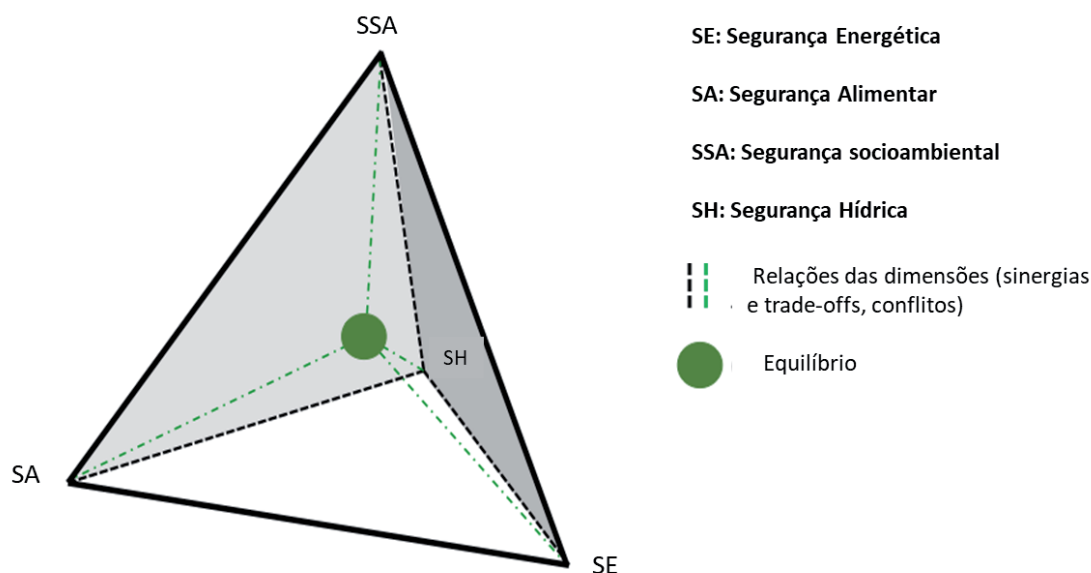


Figura 1 | Ilustração da abordagem *Nexus+*

Fonte: Araújo et al., 2019, p. 64.

### 3.2 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS E VULNERABILIDADES

Frequentemente, na literatura técnico-científica, o risco é representado como a probabilidade da ocorrência de eventos perigosos ou tendências, multiplicados pelos impactos, se esses eventos ou

tendências ocorrerem. O IPCC (2014a) entende o risco de uma forma mais flexível, como o potencial para consequências, nas quais uma diversidade de valores está em jogo e onde o resultado é incerto.

A mudança do clima é apenas um dos muitos processos que influenciam os riscos aos sistemas citados, e a ela se sobrepõem aspectos socioeconômicos, políticos e outros tipos de mudanças ambientais, distribuídos de forma desigual no território. Em resumo, é necessário englobar as múltiplas fontes de geração de riscos, considerando como os riscos relacionados ao clima podem ser reduzidos ou exacerbados por outros processos biofísicos ou sociais, inclusive além das fronteiras geográficas (KLEIN et al., 2017).

Para a análise dos fatores de risco, ou de impacto (termo adotado de forma genérica, observando-se pela perspectiva das consequências associadas aos riscos), e problemas, foram considerados:

- os impactos atuais e futuros relacionados ao clima (variabilidade climática e mudança do clima);
- as interações entre clima, fatores socioeconômicos e outras pressões não climáticas que poderiam ampliar a vulnerabilidade e/ou a exposição à variabilidade e à mudança do clima;
- as cadeias de impactos, que podem agir individualmente ou em combinação, direta ou indiretamente, em setores individuais ou de forma transversal (CCRA, 2017).

As análises foram centradas nos riscos e impactos e, em seguida, foram explorados os condicionantes climáticos e não climáticos (*drivers*), em sentido inverso. Essa abordagem não tradicional, amparada em Reeder e Ranger (2011), significa que, em vez de se iniciar com a geração e interpretação de projeções climáticas para o planejamento da adaptação, parte-se primeiramente do contexto, dos fatores de impacto e dos problemas, para, em seguida, analisar os condicionantes climáticos e não climáticos, como forma de apoiar estratégias de adaptação que sejam mais apropriadas e transformadoras (Figura 2).

Observa-se a aplicação dessa abordagem na elaboração do documento *UK Climate Change Risk Assessment*, com um método baseado em três passos: 1 – compreensão de vulnerabilidades presentes, com base na avaliação de riscos e oportunidades atuais relacionados ao clima, bem como níveis de adaptação; 2 – compreensão de vulnerabilidades e adaptação futuras, com base na avaliação de como a mudança do clima e de fatores socioeconômicos pode alterar os riscos e oportunidades futuros relacionados ao clima; e 3 – priorizar riscos e oportunidades para os quais ações adicionais são necessárias (no horizonte de cinco anos). Nesse trabalho, a identificação e a priorização de riscos e impactos são elementos preponderantes no processo de análise, com ênfase no papel de multiplicadores não climáticos (WARREN et al., 2016).

Wise et al. (2014) reforçam a importância de considerar o contexto histórico e a trajetória em que está o sistema socioecológico para se entender vulnerabilidades existentes e subsidiar planejamentos e respostas futuras.



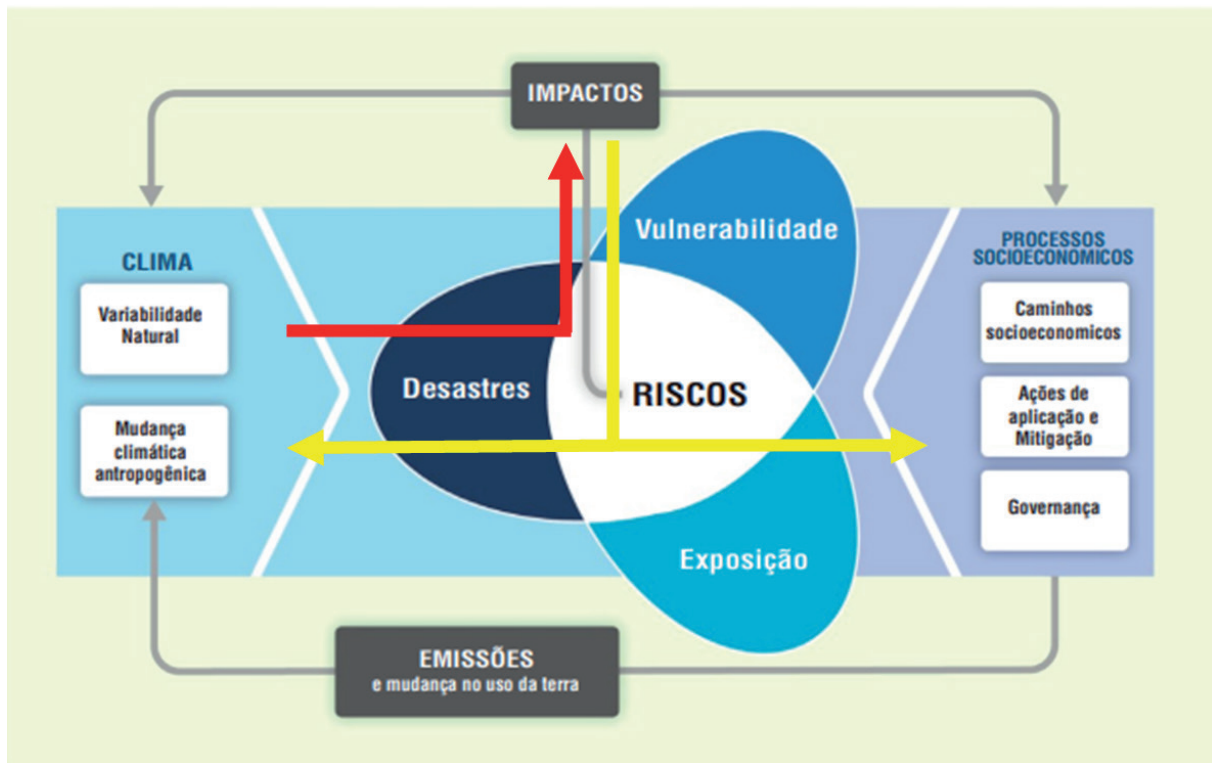


Figura 2 | Ilustração dos principais conceitos do Grupo de Trabalho II, do AR5, com adaptações.

Fonte: Adaptado de IPCC, 2012, p. 3.

O risco de impactos relacionados ao clima resulta da interação das ameaças climáticas (incluindo eventos perigosos e tendências) com a vulnerabilidade e exposição dos sistemas humanos e naturais. Mudanças no sistema climático (esquerda) e nos processos socioeconômicos, incluindo adaptação e mitigação (à direita), são fatores determinantes de riscos, exposição e vulnerabilidade.

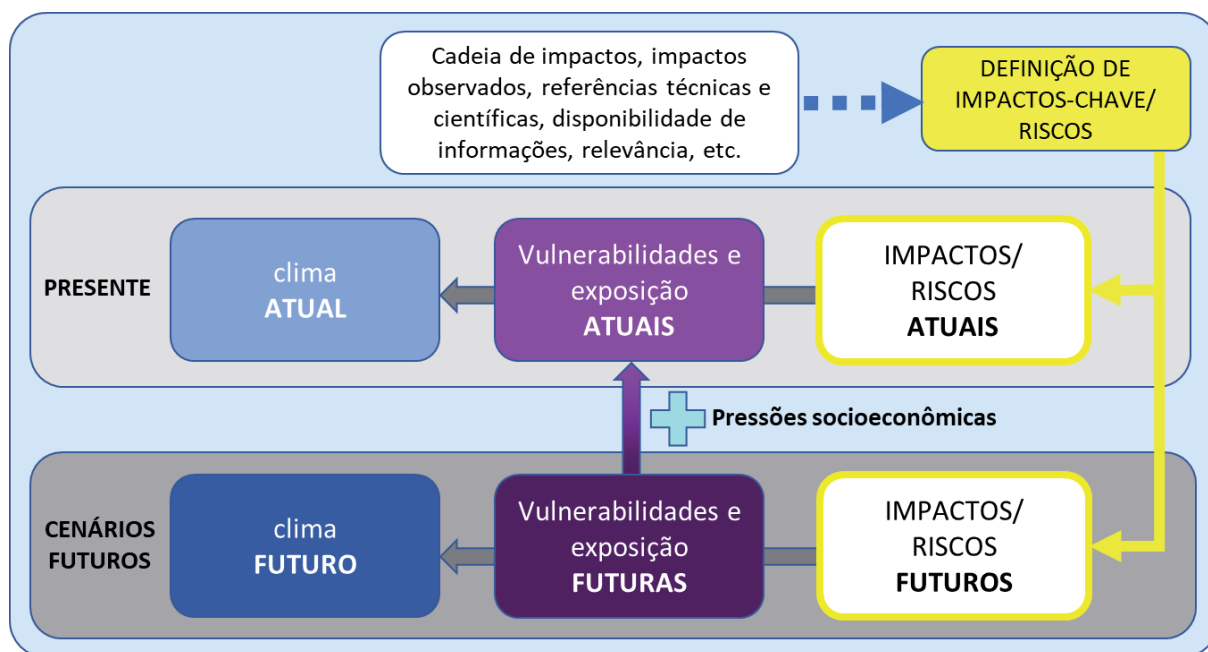
Compreender as tendências socioeconômicas não climáticas, como o crescimento econômico e as mudanças demográficas (populacionais), pode ser tão importante na determinação dos futuros impactos relacionados ao clima e dos custos econômicos associados, quanto a mudança na frequência ou intensidade de extremos climáticos. Não considerar isso significaria assumir que as mudanças climáticas futuras ocorrerão em um mundo semelhante ao de hoje, o que não é realista, já que as relações entre mudanças climáticas, seus impactos, mitigação e adaptação variam de acordo com o contexto socioeconômico e não é linear (WARREN et al., 2015, 2016; EVANS et al., 2004).

Essa avaliação mais ampla dos fatores condicionantes dos impactos relacionados ao clima pode subsidiar um adequado plano de adaptação. Segundo Wise et al. (2014), a adaptação é parte de uma trajetória de mudanças e respostas, na qual sua intenção e o resultado não seriam somente a redução de risco, mas também a abordagem dos fatores sistêmicos da vulnerabilidade em sistemas dinâmicos.

Buth et al. (2017) recomendam a criação de cadeias de impacto para avaliar a relação de causa-efeito entre os estímulos climáticos e os possíveis impactos climáticos. Estas podem auxiliar a entender, sistematizar e priorizar quais fatores em um sistema influenciam os impactos de extremos climáticos e mudanças climáticas, incluindo tanto os impactos climáticos diretos nos sistemas biofísicos e socioeconômicos, que são o resultado da simples ação causa-efeito, quanto os impactos climáticos indiretos que são resultantes de uma reação secundária, ou quando são parte de uma cadeia de reações.

Os estudos de impactos-chave e vulnerabilidades foram realizados para as seguranças hídricas, energética, alimentar e socioambiental, com análises territorializadas dos resultados. Alguns temas

ou setores foram abordados de maneira transversal nas seguranças. Para cada uma das seguranças, os estudos consideraram as seguintes etapas: conceituação, relevância e governança de cada segurança; delineamento da cadeia de impactos e fatores condicionantes; identificação de impactos observados (presente); caracterização e avaliação de impactos-chave futuros, considerando tendências de fatores de pressão climáticos e não climáticos (socioeconômicos e ambientais); análise integrada dos impactos-chave e vulnerabilidades em uma base territorial (Figura 3); inter-relação com as demais seguranças; levantamento e seleção de opções de adaptação, com identificação de sinergias e *trade-offs*.



**Figura 3** | Esquema da abordagem metodológica para análise de impactos e vulnerabilidades adotada para a 4CN

Fonte: Elaborada pelos autores

A análise dos impactos e vulnerabilidades no contexto das seguranças foi realizada com base em métodos específicos relacionados a cada campo do conhecimento, informações e referências disponíveis, e fatores condicionantes considerados críticos. De maneira ilustrativa, houve a adoção de modelagens de risco (a partir de projeções climáticas e de fatores não climáticos, quando disponíveis), análise histórica de impactos relacionados ao clima, desenvolvimento de índice de fatores de riscos, entre outras abordagens metodológicas (cujo detalhamento e principais resultados são apresentados em outros artigos deste Dossiê).

Em oficina realizada em 2019, com 41 participantes, entre eles representantes do governo e da academia, foram apresentados resultados das análises de impactos e vulnerabilidades atuais e futuros no contexto das quatro seguranças, seguindo-se a identificação de opções de adaptação, considerando-se as especificidades territoriais, fatores conjunturais e condicionantes para cada uma das seguranças.

Tal processo foi orientado de maneira transversal e envolveu interações multidisciplinares, levando à identificação de opções de adaptação para cada uma das seguranças, à luz de critérios de seleção, como: i) opções que considerem a variabilidade climática atual e/ou que surjam de ações de “não arrependimento”, ou seja, que se justifiquem mesmo na ausência de alterações climáticas futuras; ii) que levem a decisões com repercussão de longo prazo ou gerem consequências duradouras; ou iii) que estejam vinculadas a um longo tempo de implementação (medidas estruturantes e lentas).

Esses critérios têm por base a necessidade, trazida em Wise et al. (2014), de ações adaptativas voltadas tanto para causas próximas de vulnerabilidade (incrementais) quanto para mudanças mais amplas e

sistêmicas (transformadoras) de longo prazo. Esse tipo de abordagem se justifica, visto que a maioria dos esforços de adaptação até o momento vem adotando uma abordagem científica racionalista e linear, baseada em uma comparação estática de um cenário de referência, que se concentra em riscos específicos, em vez de riscos genéricos e complexos que caracterizam a tomada de decisões no mundo real (DOWNING et al., 2012).

O IPCC (2014) reconhece que as medidas de adaptação vêm se tornando mais integradas às estruturas políticas, o que pode evitar incompatibilidades com os objetivos do planejamento, facilitar a combinação de várias fontes de financiamento e reduzir a possibilidade de ações “desadaptativas”, possibilitando agir melhor diante da incerteza sobre a extensão das mudanças climáticas e a natureza de seus impactos.

Há cobenefícios, sinergias e *trade-offs* significativos entre diferentes respostas de adaptação. Tais interações ocorrem dentro e entre regiões (IPCC, 2014), e devem ser consideradas para a formulação e implementação de opções de adaptação. Abordagens políticas setorializadas podem resultar em ações concorrentes e/ou contraproducentes. Portanto, mudanças no sentido de abordagens integradas, com coerência política entre os setores, podem maximizar o ganho, otimizar os *trade-offs* e evitar impactos negativos. As sinergias podem ser entendidas como ações de adaptação que potencializam outras, ou trazem cobenefícios com outros objetivos (DI GIULIO et al., 2017). Contudo, há ações de adaptação que minimizam determinados riscos, mas que agravam outros, gerando *trade-offs*.

No total, a partir dos critérios de seleção citados acima, foram identificadas 28 opções de adaptação, sendo cinco relativas à socioeconomia e seis relativas ao meio ambiente no âmbito da segurança socioambiental, seis relativas à segurança alimentar, seis relativas à segurança energética e quatro relativas à segurança hídrica.

## 4 INTERFACES DAS OPÇÕES DE ADAPTAÇÃO ENTRE AS SEGURANÇAS HÍDRICA, ENERGÉTICA, ALIMENTAR E SOCIOAMBIENTAL

Algumas interfaces das opções de adaptação entre as seguranças são trazidas a seguir.

### 4.1 INTERFACES DA SEGURANÇA HÍDRICA COM AS DEMAIS SEGURANÇAS

Ao tratar-se de sinergias entre opções de adaptação, a água ocupa posição central entre as seguranças, destacando-se sua governança, já complexa em si mesmo e desafiada a integrar a segurança energética e alimentar ante os impactos das mudanças climáticas, necessitando de arranjos mais complexos e diversos de governança, citados como “desafios de coordenação multinível” (PAHL-WOSTL, 2009).

Dessa forma, o fortalecimento de capacidades e da articulação político-institucional para abordagens transversais com outras políticas, e em diferentes níveis, pode amplificar a gestão e o uso mais eficiente da água, evitando crises e os impactos da baixa disponibilidade hídrica, favorecendo a disponibilidade hídrica também para a produção de alimentos e de energia.

Promover ações de uso eficiente da água, assim como a priorização de água de reúso nos setores industriais, agrícolas e urbanos, é uma medida de adaptação que oferece sinergia com as demais seguranças, tendo em vista os usos múltiplos da água.

Incrementar intervenções de infraestrutura pode garantir oferta de água para abastecimento humano e para uso em atividades produtivas, e reduzir os riscos associados a eventos críticos, como secas e cheias, beneficiando setores de energia e de produção de alimentos. Contudo, intervenções puramente estruturais/físicas têm alto custo ambiental, podendo influenciar negativamente a gestão pesqueira,

resultam em remoção de vegetação, em perdas de conectividade de áreas protegidas e em alteração de ecossistemas aquáticos, gerando *trade-offs* para a segurança socioambiental.

Opções que fortaleçam a integração da infraestrutura verde e a gestão integrada de recursos naturais com a infraestrutura cinza para produção de água e proteção dos recursos hídricos possuem sinergia com o planejamento urbano integrado, com a minimização da ocorrência de desastres e com benefícios para a saúde.

## 4.2 INTERFACES DA SEGURANÇA ENERGÉTICA COM AS DEMAIS SEGURANÇAS

As fontes de energia renováveis (hidrelétrica, solar, eólica e biomassa) no Brasil já apresentam vulnerabilidades diante de alterações no clima. Ações que fortaleçam a resiliência e a capacidade adaptativa do sistema energético podem ser benéficas para todas as outras seguranças, assim como medidas de eficiência e conservação da energia em todos os setores usuários podem contribuir para a redução da demanda de energia.

A melhoria da infraestrutura física energética pode contribuir para a estabilidade e/ou aumentar a oferta de energia, mas haveria *trade-offs* com as demais seguranças. Destaca-se o impacto das obras sobre o ambiente e nos serviços ecossistêmicos, a redução da disponibilidade hídrica para outros usos e de áreas para produção de alimentos e recursos pesqueiros, além do aumento das emissões de poluentes atmosféricos locais e GEE, no caso das termelétricas.

Aprofundamento de estudos de complementariedade da fonte energética hídrica, considerando como opções de adaptação, por exemplo, a implementação de usinas híbridas eólico-fotovoltaicas e o incentivo à geração de energia descentralizada, de fontes renováveis não hidrelétricas, pode beneficiar a segurança hídrica na disponibilidade do recurso para outros usuários, incluindo uso pela agropecuária.

O incentivo à bioenergia, com o melhoramento genético, poderá viabilizar cultivos em cenários climáticos futuros, podendo contribuir para a segurança hídrica na disponibilidade do recurso para outros usuários (com uso complementar ao hidrelétrico), embora a demanda por irrigação possa aumentar (com aumento das áreas de cultivo de cana e soja). Para as seguranças alimentar e socioambiental, poderão ser gerados *trade-offs* pelo avanço dessas culturas sobre áreas de preservação e de produção agrícola para consumo alimentar.

O uso da biomassa residual como fonte alternativa de energia, por outro lado, pode gerar sinergias com as demais seguranças, uma vez que sua base está no uso de resíduos agrícolas, agroindustriais e sólidos urbanos, dando destinação a tais resíduos que, de outra forma, seriam encaminhados para disposição.

## 4.3 INTERFACES DA SEGURANÇA ALIMENTAR COM AS DEMAIS SEGURANÇAS

A segurança alimentar pode gerar sinergias com as demais seguranças especialmente quando as opções de adaptação contemplarem a manutenção e a recuperação de ambientes naturais e/ou por meio da agricultura sustentável, com o desenvolvimento de variedades e sistemas de manejo agrícolas adaptados às mudanças do clima.

A redução e/ou gestão do uso do fogo, uso eficiente da água na agricultura, aumento da produtividade e promoção de sistemas integrados são opções de adaptação que apresentam sinergias com todas as demais seguranças. O manejo agrícola sem uso do fogo minimiza a ocorrência de incêndios florestais, protegendo os ecossistemas e contribuindo para a conservação dos solos.

O aumento da produtividade em detrimento da qualidade do solo e com maior uso de agrotóxicos podem causar *trade-offs* com as seguranças socioambiental, hídrica e alimentar. Da mesma forma, a



irrigação pode gerar *trade-offs* com as demais seguranças, ao reduzir a disponibilidade de água para outros usos.

O fortalecimento dos sistemas de monitoramento de riscos agroclimáticos e de mecanismos de transferência de risco pode auxiliar os produtores na gestão do risco rural, tendo sinergia com a segurança socioambiental. Contudo, a eventual migração de cultivos para áreas mais favoráveis poderá aumentar a demanda por conversão de uso da terra e ocasionar perda de serviços dos ecossistemas, sendo um *trade-off* para a segurança socioambiental e hídrica.

Ações de assistência técnica e transferência de renda para populações tradicionais e para agricultura familiar podem capacitá-las para o uso de tecnologias mais adequadas, permitindo a fixação à terra, contribuindo para a manutenção de áreas protegidas e para a subsistência dessas comunidades.

A melhoria da infraestrutura de distribuição e armazenamento de alimentos pode favorecer agricultores familiares, conectando a produção agrícola às demandas de mercado, com sinergias para as demais seguranças.

O incentivo à agricultura urbana reduz a pressão das áreas urbanas sobre os ecossistemas e áreas rurais, gerando sinergias com as demais seguranças.

#### 4.4 INTERFACES DA SEGURANÇA SOCIOAMBIENTAL COM AS DEMAIS SEGURANÇAS

Os serviços ecossistêmicos proporcionam inúmeros benefícios às necessidades humanas, sendo essencial mantê-los como sinergia para todas as seguranças. As ações de adaptação baseadas na gestão integrada dos recursos naturais são as que mais contribuem para o balanço geral do *Nexus+*, envolvendo a Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE); as Soluções baseadas na Natureza, entre outras.

Benefícios econômicos, sociais, ambientais e culturais podem ser obtidos pela utilização da AbE, uma vez que ambientes saudáveis desempenham um importante papel na proteção da infraestrutura e na ampliação da segurança humana, agindo como barreiras naturais e reduzindo os impactos dos desastres deflagrados por eventos extremos do tempo e clima.

A manutenção e recuperação de áreas com vegetação natural favorecem a polinização, beneficiando tanto o equilíbrio ecológico quanto a produção agrícola (MEA, 2005), contribuindo também para reduzir o risco de crise hídrica diante de futuros estresses climáticos (OZMENT; DIFRANCESCO; GARTNER, 2015). A preservação da Amazônia e a recomposição das matas nativas na Região Sudeste favorecem condições para que os jatos de água continuem atuando e alimentando reservatórios (FUNDAÇÃO Boticário; ICLEI, 2015), com sinergia com a segurança energética.

Destaca-se o planejamento urbano integrado, priorizando a arborização, a permeabilidade do solo, a agricultura urbana, o adensamento inteligente das áreas regularizadas e consolidadas das cidades, a urbanização de assentamentos precários e a manutenção das relações sociais das populações de baixa renda. Tais medidas contribuem para a minimização de ilhas de calor e o gasto de energia com climatização, permitindo a captação da água pluvial e redução da poluição dos corpos-d'água pelo esgoto urbano. Essas ações possuem sinergias com os sistemas de monitoramento e comunicação dos riscos, com a disponibilidade hídrica subterrânea e superficial, e com a saúde da população.

Fomentar e aperfeiçoar sistemas de gerenciamento e comunicação de riscos e desastres, ondas de calor e incêndios florestais possuem sinergia com todas as seguranças.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou uma proposta metodológica respaldada em uma experiência concreta. Na elaboração da 4CN, optou-se pela estratégia de tratar de forma integrada o complexo quadro de temas, territórios e recortes setoriais que dão conteúdo à realidade. A prática usual é decompor o todo em partes que são estudadas isoladamente por especialistas. Em sentido oposto, buscou-se identificar elementos que permitam enfoques das diferentes facetas que dão consistência à compreensão da dinâmica do objeto: a mudança climática e o entendimento dos seus impactos, vulnerabilidades e processos de adaptação no Brasil.

O risco de enfoques integradores é sempre cair em reducionismo e simplificação da realidade, que é complexa. Mas o risco da busca de recortar a realidade em enfoques setoriais é a falta de organicidade das análises. A abordagem Nexus, que tem a água como eixo integrador dos contextos de alimentação, energia e abastecimento hídrico, permite, de modo objetivo, tratar das interfaces de tais temas. A opção pelo Nexus+, na forma como foi preparada a 4CN, introduziu novos ingredientes, que asseguraram maior organicidade e abrangência ao processo. Em termos práticos, a estratégia foi:

- a abordagem pela ótica das seguranças;
- a inclusão do eixo segurança socioambiental, que permite a consideração de aspectos tais como as relações da esfera humana com o mundo natural, e os serviços ecossistêmicos em suas interfaces com a dinâmica da economia;
- o enfoque de acordo com os diferentes biomas e ecossistemas costeiros;
- a análise das cidades como ambiente de características próprias, independentemente do bioma onde se situam;
- a consideração de questões transversais, como saúde, povos e populações tradicionais e as políticas públicas (tanto as setoriais, quanto as que visam ações que envolvem diferentes setores, com sinergias e trade-offs).

Foi preciso recorrer a uma equipe interdisciplinar e a eventos integradores, como reuniões de trabalho, consultas a especialistas e seminários reunindo acadêmicos e formuladores/operadores de políticas públicas. O modo como o resultado será assimilado pelas esferas de decisões que podem agir sobre o mundo real é ainda uma incógnita e um desafio. Mas fica aqui documentado o procedimento metodológico adotado, como uma proposta a ser considerada e aprimorada.

## REFERÊNCIAS

- ADELLE, C.; RUSSEL, D. Climate policy integration: a case of déjà vu? **Environ Pol Gov**, v. 23, p. 1-12, 2013.
- AGRAWAL, A.; LEMOS, M. C. Adaptive development. **Nat Clim Chang**, v. 5, p. 185-187, 2015.
- ALLAN, J. A. Virtual Water: the water, food, and trade Nexus useful concept or misleading metaphor? **IWRA. Water International**, v. 28, n. 1, mar. 2003.
- \_\_\_\_\_. Virtual Water: a strategic resource. *Global Solutions to Regional Deficits*. **Groundwater**, v. 36, n. 4, p. 546, 1998.
- ALLOUCHE, J.; MIDDLETON, C.; GYAWALI, D. **Nexus Nirvana or Nexus Nullity?** A dynamic approach to security and sustainability in the water-energy-food nexus. Brighton: STEPS Centre, 2014.
- AQUINO, M. D.; MOTA, S. Planejamento ambiental e ordenamento territorial em bacias hidrográficas. In: PHILIPPI

- JÚNIOR, A.; SOBRAL, M. do C. **Gestão de Bacias Hidrográficas e sustentabilidade**, Barueri, SP, 2019.
- ARAÚJO, M. et al. The socio-ecological *Nexus+* approach used by the Brazilian Research Network on Global Climate Change. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 39, p. 62-70, 2019.
- ARTIOLI, F.; ACUTO, M.; MCARTHUR, J. The water-energy-food *nexus*: an integration agenda and implications for urban governance. **Political Geography**, Elsevier, v. 61, p. 215-223, 2017.
- BAZILIAN, M. et al. Considering the energy, water and food *nexus*: towards an integrated modelling approach. **Energy Policy**, v. 39, n. 12, p. 7896-7906, 2011.
- BELLFIELD, H. **Water, Energy and Food Security Nexus in Latin América and the Caribbean**. Global Canopy Programme, 2015.
- BIGGS, E. M. et al. **Environmental livelihood security in Southeast Asia and Oceania: a water-energy-food-livelihoods nexus approach for spatially assessing change**. White paper. International Water Management Institute (IWMI), 2014.
- BIGGS, E. M. et al. Sustainable development and the water – energy – food *nexus*: a perspective on livelihoods. **Environmental Science & Policy**, v. 54, p. 389-397, 2015.
- BOMMEL, S. V.; KUINDERSMA, W. **Policy integration, coherence and governance in Dutch climate policy**. A multi-level analysis of mitigation and adaptation policy. Wageningen, Alterra, 2008.
- BURSZTYN, M.; BURSZTYN, M. A. A. Climate change and integration of public policies. In: ISSBERNER, L. R.; LÉNA, P. (Org.). **Brazil in the Anthropocene: conflicts between predatory development and environmental policies**. Abingdon e NY: Esarhcan/Routledge, 2017, v. 1, p. 292-304.
- BUTH, M. et al. **Guidelines for Climate Impact and Vulnerability Assessments Recommendations of the Interministerial Working Group on Adaptation to Climate Change of the German Federal Government**, Umweltbundesamt, 2017.
- CASTRO, C. M.; BURSZTYN, M. Climate adaptation and policy conflicts in the Brazilian Amazon: prospects for a Nexus + approach. **Climatic Change**, v. 154, p. 1-22, 2019.
- CASTRO, C. M.; SABOURIN, E.; BURSZTYN, M. From policy mix to policy networks: assessing climate and land use policy interactions in Mato Grosso, Brazil. **Journal of Environmental Policy & Planning**, v. 22, p. 1-16, 2020.
- CCRA. **UK Climate Change Risk Assessment 2017**. Synthesis report: priorities for the next five years, 2017.
- DIGIULIO, G. M. et al. Mudanças climáticas, riscos e adaptação na megacidade de São Paulo, Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 8, n. 2, p. 75-87, 2017.
- DOWNING, T. E. Views of the frontiers in climate change adaptation economics. *Wires*. **Climate Change**, v. 3, p. 161-170, 2012.
- ENDO, A. et al. A review of the current state of research on the water, energy, and food *nexus*. **Journal of Hydrology: regional studies**, v. 11, p. 20-30, 2017.
- ERIKSEN, S. H.; O'BRIEN, K. Vulnerability, poverty and the need for sustainable adaptation measures. **Climate Policy**, v. 7, n. 4, p. 337-352, 2007.
- EVANS, E. et al. **Foresight Future Flooding**. Scientific Summary. v. 1. Future risks and their drivers. Office of Science and Technology, London, UK, 2004.
- FAO. **The Water-Energy-Food Nexus**. A new approach in support of food security and sustainable agriculture, 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-bl496e.pdf>>.
- FROESE, R.; SCHILLIN, J. The *Nexus* of Climate Change, Land Use, and Conflicts. **Current Climate Change Reports**. v. 5, Issue 1, p. 24-35, 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40641-019-00122-1>>.

FUNDAÇÃO BOTICÁRIO/ICLEI. **Adaptação baseada em ecossistemas**. Oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas. 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/sonia/Downloads/AbE\_2015%20(9).pdf>.

FUTURE EARTH. **Future Earth 2025 Vision**. Future Earth Secretariat, Paris, 2014. Disponível em: <http://futureearth.org/sites/default/files/future-earth\_10-year-vision\_web.pdf>.

HAGEMANN, N.; KIRSCHKE, S. Key issues of interdisciplinary *Nexus* governance analyses: lessons learned from research on integrated water resources management. **Resources**, v. 6, n. 9, 2017.

HOFF, H. Understanding the *Nexus*, background paper for the Bonn 2011 Conference. In: **The Water, Energy and Food Security Nexus: solutions for the green economy**. 2011, Stockholm. Background paper: Stockholm: SEI, 2011. 52p, 2011.

HOWELLS, M.; ROGNER, H. H. Assessing integrated systems. **Nat. Clim. Change**, 2014.

IISD. The Water–Energy–Food Security *Nexus*: towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management, 2013. Disponível em: <https://www.iisd.org/pdf/2013/wef\_nexus\_2013.pdf>.

IPCC. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. FIELD, C. B. et al. (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 p., 2012.

IPCC. **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. BARROS, V. R. et al. (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 688, 2014.

IPCC. Summary for policymakers. In: **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. FIELD, C. B. et al. (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1-32, 2014a.

KLEIN, R. et al. **Portfolio screening to support the mainstreaming of adaptation to climate change into development assistance**. Tyndall Centre for Climate Change Research. 2007. Working Paper, nº 102.

KLEIN, R. J. T. et al. **Advancing climate adaptation practices and solutions: emerging research priorities**. Working paper nº 2. Stockholm Environment Institute, 2017.

MCTI. IV Reunião técnica da componente de vulnerabilidade e adaptação. **Relatório Oficina**. MIRÁ – Design de Ideias, 2019.

MERCURE, J. F. et al. System complexity and policy integration challenges: the Brazilian Energy-Water-Food *Nexus*. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**. v. 105, p. 230-243, 2019.

MICKWITZ, P. et al. **Climate Policy Integration as a Necessity for an Efficient Climate Policy**. Paper Presented at the 9th European Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change, Volendam, p. 2-4, 2009.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystem and Human Well-Being: synthesis**. Island press, 2005.

MILHORANCE, C.; BURSZTYN, M. Climate adaptation and policy conflicts in the Brazilian Amazon: prospects for a *Nexus +* approach. **Climatic Change**, 2019.

MILHORANCE, C.; SABOURIN, E.; CHECHI, L. **Adaptação às mudanças climáticas e integração de políticas públicas no semiárido pernambucano**. Texto para Discussão. Série Working Papers, n. 2, 2018.

MULLER, M. The *nexus* as a step back towards a more coherent water resource management paradigm. **Water Alternatives**, v. 8, n. 1, p. 675-694, 2015.

NEVES, E. M. S. C. Política ambiental, municípios e cooperação intergovernamental no Brasil. **Revista Estudos Avançados**. v. 26, n. 74, 2012.

OCDE. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation**. Policy Guidance, 2009. Disponível em: <<https://www.oecd.org/env/cc/44887764.pdf>>.

OLSSON, L. M. et al. Livelihoods and Poverty. In: **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. FIELD, C. B. et al. (Ed.) tran. R. E1421, p. 793-832. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014.

OSTROM, E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. **Science**, v. 325, 2009.

OZMENT, S.; DIFRANCESCO, K.; GARTNER, T. **The role of natural infrastructure in the water, energy and food nexus**. Nexus Dialogue Synthesis Papers. Gland, Switzerland: IUCN, 2015.

PAHL-WOSTL, C. A conceptual framework for analyzing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. **Global Environmental Change**, v. 19, p. 354-65, 2009.

\_\_\_\_\_. Governance of the water-energy-food security *nexus*: a multi-level coordination challenge. **Environ. Sci. Policy**, v. 92, p. 356-367, 2017.

PARDOE, J. et al. Climate change and the water–energy–food *nexus*: insights from policy and practice in Tanzania. **Climate Policy**, v. 18, n. 7, p. 863-877, 2018.

PNUD. **Relatório de Desenvolvimento Humano 2007/2008**. Combater as alterações climáticas: solidariedade humana num mundo dividido, 2008. Disponível em: <file:///C:/Users/sonia/Downloads/undp-br-hdr-portuguese-2007-8.pdf>.

REEDER, T.; RANGER, N. How do you adapt in an uncertain world? Lessons from the Thames Estuary 2100 project. **World Resources Report**, Washington DC, 2011.

RIETIG, K. **Climate policy integration beyond principled priority: a framework for analysis**. Centre for Climate Change Economics and Policy. Working Paper, n. 99 Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. Working Paper, n. 86, 2012.

RINGLER, C.; BHADURI, A.; LAWFORD, R. The *nexus* across water, energy, land and food (WELF): potential for improved resource use efficiency? *Curr. Opin. Environ. Sustain.* v. 5, p. 617-624, 2013.

RODRIGUES FILHO, S.; BURSZTYN, M.; SAITO, C. Introdução ao Clima em Transe. In: BURSZTYN, M.; RODRIGUES FILHO, S. (Org.). **O clima em transe: vulnerabilidade e adaptação da agricultura familiar**. Rio de Janeiro: Garamond, 2016, p. 9-18.

ROGERS, P.; HALL, A. W. **Effective Water Governance**. Global Water Partnership (GWP). TEC background papers n. 7, Suécia, 2003.

SCOTT, A. **Making Governance Work for Water–Energy–Food Nexus Approaches**. Climate and Development Knowledge Network (CDKN). Working Paper Series. London: Overseas Development Institute, 2017.

SHANNAK, S.; MABREY, D.; VITTORIO, M. Moving from theory to practice in the water–energy–food *nexus*: an evaluation of existing models and frameworks. **Water-Energy Nexus**, v. 1, Issue 1, p. 17-25, 2018.

SIMPSON, G. B.; JEWITT, G. P. W. **The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: a review**, 2019.

SMITH, M. D. **Sólo tenemos un planeta: pobreza, justicia y cambio climático**. Lima, Soluciones prácticas (ITDG), 2007.

SOARES, S. L. de O.; THEODORO, H. D.; JACOBI, P. R. **Governança e política nacional de recursos hídricos: qual a posição da gestão das águas no Brasil?** IV ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, Brasília, 4, 5 e 6 de junho de 2008, 2008.

UNDP. **Adaptation definitions and levels**, 2009.

WARREN, R. et al. **Literature review and synthesis of recent climate change impacts research**. DECC: 1104872/AVOID2 WPB.1b. Report 1, 2015.

WARREN, R. et al. **UK Climate Change Risk Assessment Evidence Report**. Chapter 2, Approach and Context. Report prepared for the Adaptation Sub-Committee of the Committee on Climate Change, London, 2016.

WEITZ, N. et al. Closing the governance gaps in the water-energy-food *nexus*: insights from integrative governance. **Glob. Environ. Change**, v. 45, p. 165-73, 2017.

WISE, R. M. et al. Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response. **Global Environmental Change**, n. 28, p. 325-336, 2014.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Global Risks 2011**. Sixth Edition. An initiative of the Risk Response Network. 2011. Disponível em: <[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2011.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2011.pdf)>.





# Future rainfall and temperature changes in Brazil under global warming levels of 1.5°C, 2°C and 4°C

*Mudanças futuras de precipitação e temperatura no Brasil a partir dos níveis de aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C*

Diego Jatobá dos Santos<sup>a</sup>

George Ulguim Pedra<sup>b</sup>

Marcelo Guatura Barbosa da Silva<sup>c</sup>

Carlos Augusto Guimarães Júnior<sup>d</sup>

Lincoln Muniz Alves<sup>e</sup>

Gilvan Sampaio<sup>f</sup>

José Antônio Marengo<sup>g</sup>

<sup>a</sup> National Institute for Space Research (INPE), São José dos Campos, SP, Brazil  
E-mail: diego.santos@inpe.br

<sup>b</sup> National Institute for Space Research (INPE), São José dos Campos, SP, Brazil  
E-mail: george.pedra@inpe.br

<sup>c</sup> National Institute for Space Research (INPE), São José dos Campos, SP, Brazil  
E-mail: marcelo.guatura@inpe.br

<sup>d</sup> National Institute for Space Research (INPE), São José dos Campos, SP, Brazil  
E-mail: carlos.guimaraesjr@gmail.com

<sup>e</sup> National Institute for Space Research (INPE), São José dos Campos, SP, Brazil  
E-mail: lincoln.alves@inpe.br

<sup>f</sup> National Institute for Space Research (INPE), São José dos Campos, SP, Brazil  
E-mail: gilvan.sampaio@inpe.br

<sup>g</sup> Center for Monitoring and Early Warnings of Natural Disasters - Cemaden,  
São José dos Campos, SP, Brazil  
E-mail: jose.marengo@cemaden.gov.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33933

Received: 04/09/2020  
Accepted: 10/11/2020

Data and results presented in this article were developed under the project of the “Fourth National Communication and Biennial Update Reports of Brazil to the Climate Convention”, coordinated by the Ministry of Science, Technology and Innovations, with the support of the United Nations Development Programme and resources of the Global Environment Facility, to which we offer our thanks.

## ABSTRACT

The present study analyzes the impacts of global warming of 1.5°C, 2°C, and 4°C above pre-industrial levels in the Brazilian territory. Climate change projected among the different global warming levels has been analyzed for rainfall, temperature and extreme climate indices. The projections are derived from the global climate model HadGEM3-A, from the High-End cLimate Impacts and eXtremes (HELIX) international project, from the United Kingdom, forced by sea surface temperature and sea ice concentration of a subset of six CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project phase 5) global climate models and considering the RCP 8.5 (Representative Concentration Pathways) emissions scenario throughout the 21st century. Projections indicate robust differences in regional climate characteristics. These differences include changes: in the minimum and maximum air temperature close to the surface to all the country’s regions, in extremes of heat, particularly in northern Brazil, in the occurrence of heavy rainfall (Southern and Southeastern regions), and in the probability of droughts and rain deficits in some regions (Northern and Northeastern Brazil).

**Keywords:** Climate Change, HELIX, Global Warming, Climate projections, Climate models.

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar, para o território brasileiro, os impactos do aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C acima dos níveis pré-industriais. As mudanças projetadas entre os diferentes níveis de aquecimento global foram analisadas para a precipitação, temperatura e índices de extremos climáticos. As projeções utilizadas são oriundas do modelo climático global HadGEM3-A, derivadas do projeto internacional High-End cLimate Impacts and eXtremes (HELIX), Reino Unido, forçados pela temperatura da superfície do mar e concentração de gelo marinho de um subconjunto de seis modelos climáticos globais do CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project phase 5, em inglês) e considerando o cenário de emissão RCP 8.5 (Representative Concentration Pathways, em inglês) ao longo do século XXI. As projeções indicam diferenças robustas nas características climáticas regionais. Essas diferenças incluem aumentos: na temperatura mínima e máxima do ar próximo a superfície para todas as regiões do país, nos extremos de calor, em particular no norte do país, na ocorrência de chuva intensa (regiões Sul e Sudeste) e na probabilidade de seca e déficits de chuva em algumas regiões (Norte e Nordeste).

**Palavras-Chave:** Mudança do clima. HELIX. Aquecimento global. Projeções climáticas. Modelos climáticos.

## 1 INTRODUCTION

As a result of natural processes, such as **air mass circulation dynamics, ocean currents, volcanic eruptions, among others**, the Earth’s climate is always changing over time, and numerical modeling is essential to improve knowledge about the climate system’s components (atmosphere, land surface, ocean, sea ice, etc.), as well as to list the possible climate change impacts on several important sectors of a given country (such as water, energy, agriculture, etc.).

This modeling’s result is one of the main components in studies on climate vulnerability and in the development of measures and strategies for adapting to current and future climate change, serving as a basis for risk and vulnerability analyzes, and thus proposing government mitigation policies (IPCC,

2018; PBMC, 2013; TNC, 2016). Climate models are essential tools to investigate the climate system's response to many drivers such as sea ice concentration, land-use change, and sea surface temperature, among others. In this regard, they allow projections to be made how the average global temperature can rise in the 21st century and how these changes can affect climate worldwide (FLATO et al., 2013).

To better understand how climate change occurs at the regional level, access to more detailed information on the region to be studied (topography, watersheds, and coastline) is essential. Hence, it is important to increase the spatial resolution of global climate models (GCMs), which in general have a low spatial resolution (about one to two hundred kilometers) due to the high computational cost necessary to perform simulations on a global scale, and/or use downscaling techniques to translate the information provided by GCMs on a more refined spatial scale (MARENGO et al., 2012; FLATO et al., 2013; CHOU et al., 2014; AMBRIZZI et al., 2019).

In Brazil, climate numerical models started at the same time the operational activities of the CPTEC/INPE began in 1995. Initially, the models were used only to make numerical predictions of time (days) and seasonal climate (seasons) (CAVALCANTI et al., 2002; MARENGO et al., 2003, 2012). However, with the advent of technology and powerful supercomputers, it was possible to make climate projections for South America. The first climate change projections on South America were made using regional climate models (MARENGO and AMBRIZZI, 2006; AMBRIZZI et al., 2007; MARENGO et al., 2009). The first studies were based on results of the following regional models: RegCM3 (GIORGI and MEARN, 1999; PAL et al., 2007), HadRMP3 (JONES et al., 2004), and Eta-CCS (PISNICHENKO and TARASOVA, 2009) for the period comprising 2070-2100, with high horizontal resolution (50 km) and forced by the HadAM3P global atmospheric model, from the Met Office Hadley Center (MOHC) in the United Kingdom, from GHG emissions scenarios (A2 and B2).

In the past few decades, both GCMs and regional climate models (RCMs) have made significant progress in representing the climate system's components, mainly due to a better representation of their physical processes and phenomena and their interactions (MARENGO et al., 2012). In addition, advances in computer technology have increasingly contributed to the increase in the spatial resolution of climate models, namely the global models used in the HELIX project (40 and 60 km resolution), whereas, in general, GCMs are typically run at a horizontal resolution of several hundred kilometers.

Improving the models resolution and physical parameterization has led to a more detailed representation of the landscape characteristics, such as mountain ranges, lakes, vegetation types, and soil characteristics, allowing for a better characterization of the hydrological cycle and associated extreme events, as well as a more realistic representation of the regional/local climate, compared to models with lower resolutions (100 - 200 km) (AMBRIZZI et al., 2019; NAUMANN et al., 2018; FLATO et al., 2013; CHOU et al., 2014).

Regarding climate change in international politics, debate on establishing goals to limit global warming to a pre-defined temperature threshold in relation to pre-industrial levels has been discussed since the mid-90s (WBGU, 1995). In 2010, the UNFCCC's 16<sup>th</sup> Conference of the Parties (COP16), held in Cancun (Mexico), yielded several formal agreements to keep the increase in global average temperature below 2°C. Later, at the 21<sup>st</sup> Conference of the Parties (COP21), in Paris (France), a new, more ambitious accord was adopted to strengthen the global response to the threat of climate change and strengthen countries' capacity to deal with the impacts of said changes.

In response to this accord, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) prepared the Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels (IPCC SR1.5 2018), and the key findings highlight that global warming is likely to reach 1.5°C between 2030 and 2052 if the current rate of warming continues, and it is projected that the risk of droughts and floods is more significant at 2°C when compared to global warming of 1.5°C.

In line with the demands of society and the challenges of the scientific community in understanding the complex climate system, in the past decade, an increasing number of studies have been developed considering the impacts of different Global Warming Levels – GWL – on the regional level (continental domain or part of it), following the example of James and Washington (2013), Vautard et al. (2014), Déqué et al. (2017), Nikulin et al. (2018), Lennard et al. (2018) among others.

In general, these studies show that regional temperature patterns are determined by GWLs and depend heavily on the region – a natural area marked by a specific climate, geological, hydrographic, and biosphere elements time of year considered. In addition, the magnitude of warming of 1.5°C, 2°C or above (global average) may be much higher at the local level, leading to more extreme and severe weather conditions than it could be when considering only the global standard.

Several studies in Brazil were made by the Eta-CPTec regional model (CHOU et al., 2014a; CHOU et al., 2014b) in line with the HadGEM2-ES and MIROC5 (CMIP5) global models were tailored to GWLs of 1.5°C, 2°C, and 4°C to guide climate vulnerability studies and adaptation measures related to the country's water, energy, food and socio-environmental security under the Fourth National Communication of Brazil (4NC) to the UNFCCC. To that end, the following time slices: 2011-2040, 2041-2070, and 2071-2100 correspond approximately to GWLs of 1.5°C, 2°C, and 4°C, respectively, in the studies of the 4NC.

However, a larger number of studies that seek to quantify the impacts associated with the average increase in global temperature and their magnitude under different GWLs within Brazil's different geographic regions are still necessary and urgent. In this regard, the objective of this work is to analyze the possible changes and their impacts in terms rainfall and temperature variables in the Brazilian territory under global warming levels of 1.5°C, 2°C, and 4°C above pre-industrial levels, from a set of experiments developed by MOHC within the scope of the High-End cLimate Impacts and eXtremes project (HELIX).

The warming level approach allows for weighing climate change impacts in a more categorical way, under specific global average warming scenarios. Hence, the present work can contribute to vulnerability studies and adaptation to climate change in strategic sectors of the country, as mentioned above.

## 2 DATA AND METHODOLOGY

### 2.1 GLOBAL CLIMATE MODEL (HADGEM3-A)

The present study used the version of the global climate model HadGEM3-A (Global Atmosphere Hadley Center Model, version 3) (WALTERS et al., 2017) developed at the Met Office Hadley Center, in Exeter, United Kingdom, which was part of the HELIX project and Phase 6 of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6, EYRING et al., 2016). With improvements in its physical parameterizations and inclusion of new features, the referred model, as well as the EC-EARTH3.1 (also used in the HELIX project) of the *Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)*, Sweden, currently represent the state-of-the-art in terms of representing the global climate system (FLATO et al., 2013).

The simulations obtained by the HadGEM3-A model were carried out in high spatial resolution (60 km), considering the Sea Surface Temperature (SST) as contour conditions, and concentration of sea ice from a subset of six global models of the CMIP5 (Table 1). Thus, each future climate projection refers to the integration of the HadGEM3-A model with six variants of SST and concentration of sea ice, providing a set of six projections by the end of the 21st century. Detailed information on the main characteristics and references of this subset of models may be obtained in Flato et al. (2013).

**Table 1** | Set of global simulations (realizations) based on the HadGEM3-A model (HELIX project) combined with six CMIP5 models (forcing models). The periods in which the GWLs are reached for each experiment performed are also listed.

Atmospheric model	HELIX realization	CMIP5 forcing model	GWL1.5	GWL2	GWL4
HadGEM3-A	r1	IPSL-CM5A-LR	2006-2036	2020-2050	2056-2086
HadGEM3-A	r2	GFDL-ESM2M	2021-2051	2037-2067	*
HadGEM3-A	r3	HadGEM2-ES	1998-2028	2018-2048	2056-2086
HadGEM3-A	r6	IPSL-CM5A-MR	2005-2035	2020-2050	2055-2085
HadGEM3-A	r8	MIROC-ESM-CHEM	2000-2030	2017-2047	2053-2083
HadGEM3-A	r9	ACCESS1-0	2012-2042	2024-2054	2066-2096

\* the corresponding model did not reach GWL4 until the end of the projection (2100).

Source: The authors.

Experiments using the HadGEM3-A model considered the RCP 8.5 (Representative Concentration Pathways) emissions scenario, which corresponds to a scenario of high GHG emissions, in which the equivalent CO<sub>2</sub> exceeds 1000 ppm (parts per million – by volume) by the end of the 21st century and, with that, the radiative forcing reaches 8.5 W/m<sup>2</sup> (watt per square meter) by the year 2100, which allows for the assessment of climate change effects under different warming levels (Van VUUREN et al., 2011).

## 2.2. GLOBAL WARMING LEVEL (GWL)

The concept of Global Warming Level (GWL) represents the average variation of the global surface temperature anomaly in relation to the pre-industrial period (1861-1880) (NAUMANN et al., 2018), that is, an increase or decrease in temperature over the years in relation to such period. This approach was used by scientists from the Exeter University and the Met Office Hadley Centre, both in the United Kingdom, in partnership with a number of European institutions, in conducting the HELIX project (RICHARDSON and BRADSHAW, 2017; WYSER et al., 2017).

GWL was defined in this work as the moment when the specific warming value (1.5°C, 2°C e 4°C), calculated in relation to the pre-industrial period, is reached, taking into consideration global averages annual temperature projections. The year in which each GWL was found for the first time was considered as the central year, and the 15 years preceding it and the 15 years following it were added, totaling a period of 31 years for each GWL. Thus, the periods corresponding to each analyzed GWL (1.5°C, 2°C and 4°C) in the present study were determined for each of the future simulations, as shown in Table 1. The value of + 0,61°C was assumed to be the observed warming value between the pre-industrial period up to the base period used in this work (1981-2010) (HadCRUT4, MORICE et al., 2012).

## 2.3. EXTREME CLIMATE INDICES

The calculation of extreme temperature and rainfall indices (Table 2) was based on the methodologies described in the study by Frich et al. (2002), which have been adopted by the IPCC as of 2007.

**Table 2** - Extreme climate indices of maximum temperature (TX) and rainfall (PRCP).

Indice	Definition	Unit
TX90p	Number of days with TX > 90th percentile	days
RX5day	Maximum rainfall accumulated in 5 days	mm
CDD	Maximum number of consecutive dry days (PRCP < 1 mm)	days

Source: Frich et al. (2002).

For analyzes regarding the maximum extreme temperature indice (TX90p) and the minimum and maximum temperature variables, the daily CPC/NOAA (*Climate Prediction Center/ National Oceanic and Atmospheric Administration*<sup>1</sup>) temperature data set was used. On the other hand, for analyzes involving rainfall and RX5day and CDD indices, the daily rainfall CHIRPS (*Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations*<sup>2</sup> (FUNK et al., 2015) database was used. With regard to the methodology used in calculating the linear trend (section 3.1), a brief description can be obtained from Satyamurty et al. (2010).

## 3 RESULTS

### 3.1 CURRENT CLIMATE TREND IN BRAZIL

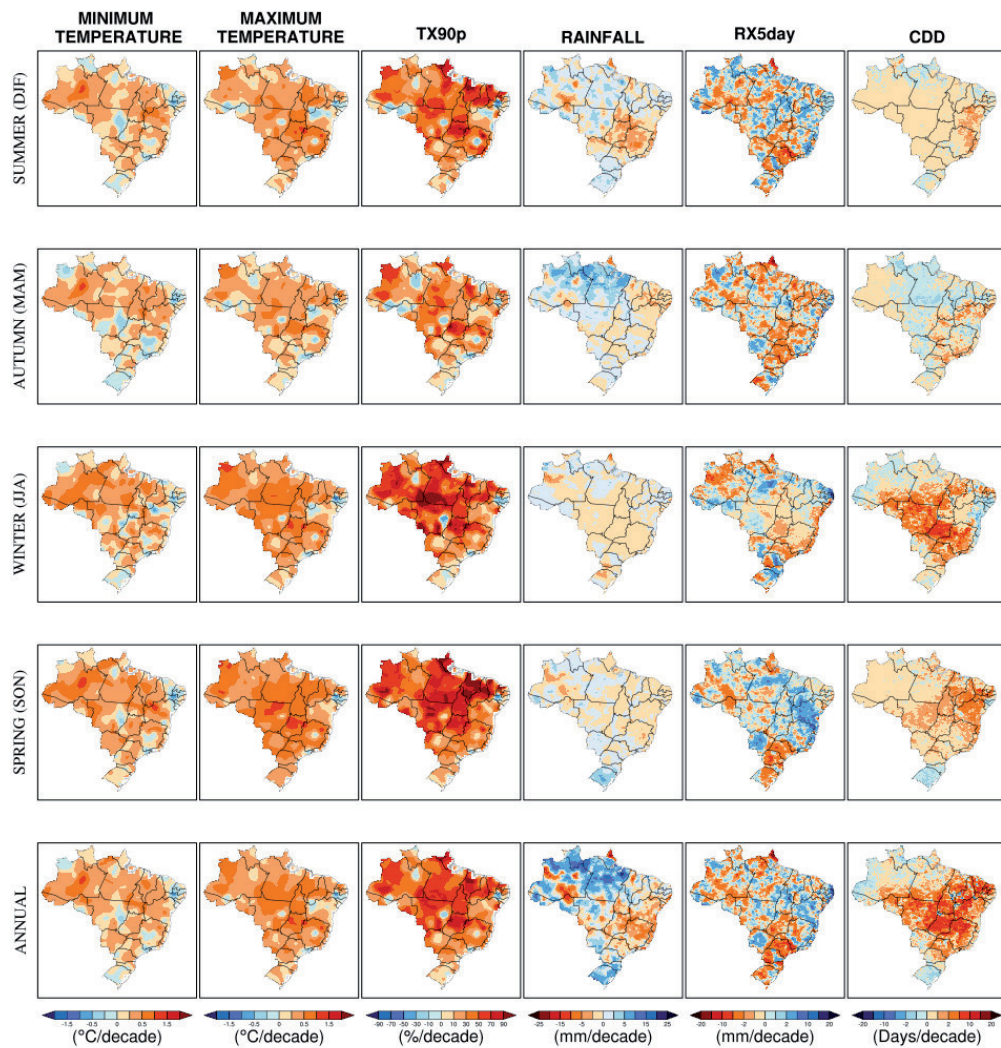
Figure 1 shows the trends that occurred in the past few decades (1980-2018) in Brazil for air temperature (maximum and minimum), precipitation and extreme climate indices TX90p, RX5day and CDD for different seasons: summer (December-January-February), autumn (March-April-May), winter (June-July-August), spring (September-October-November), and annual.

A warming trend (about 0.5°C per decade) is observed in minimum and maximum temperatures in all regions of the country and in all seasons of the year (Figure 1, columns 1 and 2). The most central sector of the country and the Northern region stand out during the winter and spring seasons where the increments are up to 1°C/decade. A cooling trend of up to 0.5°C/decade is observed, however occasionally in some areas of the country (northwest of the state of Amazonas, east of the state of Mato Grosso, interior of the states of Paraíba and Pernambuco, south of the state of Minas Gerais, east of the states of São Paulo and Rio Grande do Sul), mainly for the minimum temperature during autumn. It is worth noting that the increases observed in recent decades for most of the country are in line with the positive trends in air temperature close to the surface verified in other studies, as in Schwingshackl et al. (2018) and Simmons et al. (2017).

1 | <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>

2 | <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>





**Figure 1** | Linear trend of minimum and maximum temperature (degrees Celsius/decade), of the number of days with maximum temperature above the 90th percentile – TX90p (%/decade), rainfall (mm/decade), maximum amount of rainfall accumulated in five days – RX5day (mm/decade) and the maximum number of consecutive dry days – CDD (Days/decade), in the period 1980-2018.

Source: CPC/NOAA and CHIRPS/CHC-SB.

An increase in the number of days with maximum extreme temperature – TX90p (Figure 1, column 3) is also observed along the analyzed period (1980-2018). The increment is above 30% per decade in practically the whole country, with focus on the central-northern and northern Northeast regions, as it presents significant increases in all time scales, mainly during the winter (JJA) and summer (SON), in which the upward trend is above 90%.

Unlike the temperature trend, that of rainfall (Figure 1, column 4) shows great spatial variability. For the far north of the Northern region, central-east of the Northeastern region and in the Southern region, an increase is observed in the accumulated rainfall totals along seasons. An opposite trend (decrease) can be observed in the southwest of the Northern region, with a total downward trend of about 20 mm along the past four decades. Taking into account that summer (DJF), climatologically speaking, is the period with the highest volume of rainfall in the Northern region and that during that season this region contributes strongly to the rain regimes in the Center-West and Southeastern regions of the country (SILVA et al., 2019; ESCOBAR and MATOSO, 2018; REBOITA et al., 2010), this negative trend is also observed in the said regions, mainly in the states of Goiás, Minas Gerais and Espírito Santo, in which this decrease (5 mm/decade) is verified more prominently.

In brief, throughout all seasons, there is a downward precipitation trend in southern Amazonas, northern Rondônia, in the states of Tocantins and Goiás, and in the southeastern and northeastern regions of the country, and an upward trend in the northern range of the Northern region (mainly in northern Amazonas, Roraima, northern half of Pará and southern Amapá), as well as in most of the Southern region of Brazil.

These behaviors are more evident on an annual scale, in which a more outstanding pattern of the upward trend over the last decades is noted in the extreme north of the Northern region (up to 40 mm total), in the Southern region (up to 20 mm), and in areas of the states of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul, however, to a lesser extent. On the other hand, in the other areas of the country, encompassing the states of the Northeastern region, the Southeastern region and the eastern part of the Center-West region, a 20-mm downward trend in rainfall regime is observed between 1980-2018.

With respect to extreme rainfall events (RX5day) (Figure 1, column 5), an annual increment is observed, mainly in the east of the Northeastern region, in the state of Bahia, in the east of the Southeastern region, in most of the Central-West region (with the exception of the state of Goiás) and in interposed areas in the Northern region. In those areas, extreme events total rainfall has increased by 8 to 40 mm in the past decades. The largest magnitudes are observed in the east of the Northeastern region (with focus on the coastal strip of the states of Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco and Alagoas), where a persistence of the upward trend is also observed in seasonal scales, especially during winter (JJA). This suggests that the slightly positive increase in the rainfall trend (Figure 1, column 4) in this part of the Northeastern region during that quarter, as previously mentioned, is possibly associated with these increases in extreme rainfall events.

With respect to maximum number of consecutive dry days trends (Figure 1 column 6), an upward trend is observed mainly in the winter and spring in the south of the Northern region, north and west of the Northeastern region, and in the Central-West and Southeastern regions, indicating a possible intensification of the dry season in those areas, mainly in the region corresponding to the “arc of deforestation” and the Cerrado biome.

The significant increase in the consecutive dry day events trend is also evident in the annual field for these areas, as well as for the Northeastern region as a whole. Therefore, this condition has the potential to further aggravate some socio-environmental issues related to the dry season in those regions, such as the increase in fire outbreaks, soil water deficiency – which in turn implies severe impacts on crop productivity of agricultural commodities exported by Brazil – as well increases risks to human health due to the low humidity of the air during droughts (PBMC, 2013).

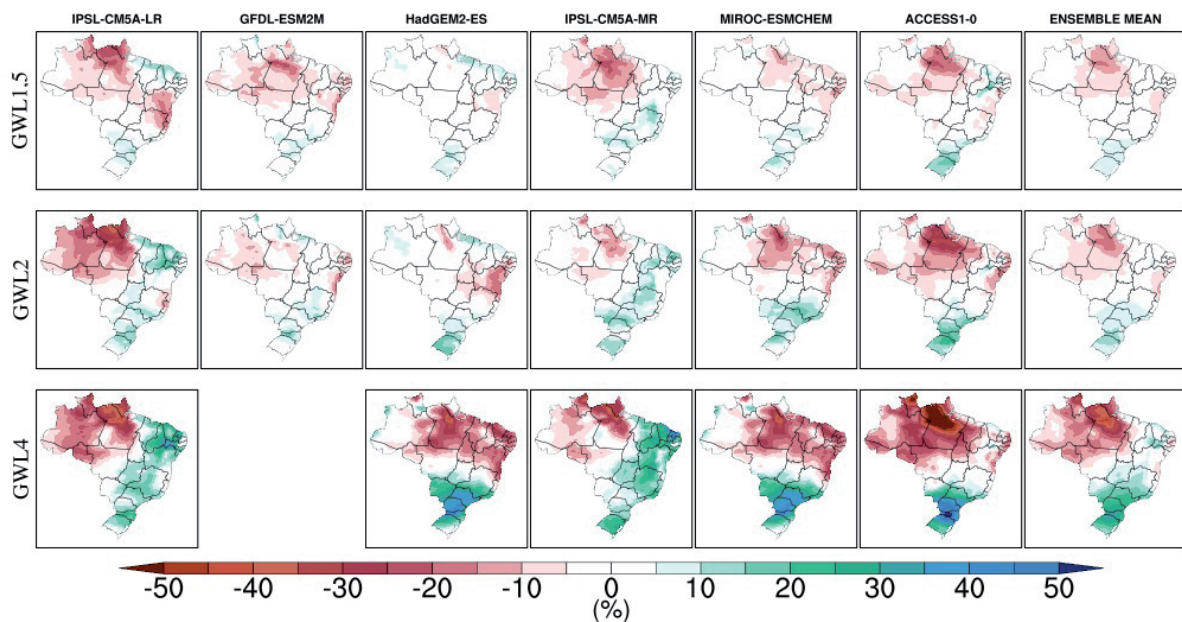
It should be pointed out that the time series analyzed in Figure 1 showed statistically significant trends at the 95% confidence level (*Mann-Kendall test*) for all variables and indices addressed. This was verified for most of the Brazilian territory (figure not available), except for some areas in the South during autumn and winter, and in the east of the Northeastern region in terms of minimum temperature trends. In addition, the results presented in this section are, in general, in line with previous studies that investigated the physical, dynamic and thermodynamic aspects of the atmospheric and oceanic phenomena (MARENGO et al., 2010; LIEBMANN et al, 2004; CARVALHO et al., 2002).

These studies have emphasized that Brazil’s climate is changing, in particular the frequency of extreme rainfall events, which are occurring with a greater intensity (PBMC, 2013), just like temperatures and rainfall variability also seems to be undergoing important changes. These results are corroborated by those by Dunn et. al. (2020), which show increases in the TX90p indice (hot days) and decreases in the TX10p indice (cold nights) throughout Brazil for the period 1901-2018, with the biggest changes occurring in winter - JJA. Authors also show that the R10mm and R95p extreme rain indices show a decrease in the Northeastern region and an increase in the Southern and part of the Southeastern and Center-West regions, and west regions of the Amazon.

### 3.2 PROJECTIONS OF CHANGES IN RAINFALL AND TEMPERATURE

Figure 2 shows the annual change in rainfall over Brazil, projected for different levels of warming (1.5°C, 2°C and 4°C) and in relation to the 1981-2010 period average (current climate) from the results of the HadGEM3-A model forced with SSTs and sea ice from a subset of CMIP5 models (Table 1). Some similarities are observed among the different warming levels and experiments (a combination of the HadGEM3-A model with forcing models).

The change patterns are somewhat similar, differing only in magnitude, i.e., as the warming level increases, the projected changes become more noticeable. In general, decreased rainfall is projected over much of the Amazon (15-30%), while in the south of the Southeastern region and in the Southern region an increase is observed, which is more intense in GWL4, with increased rainfall by around 25% per year. It is also observed that as the GWL increases, the areas of change expand towards the middle of the Brazilian territory. These standards are coherent in the different forcing models, which supports less uncertainty in the projections.



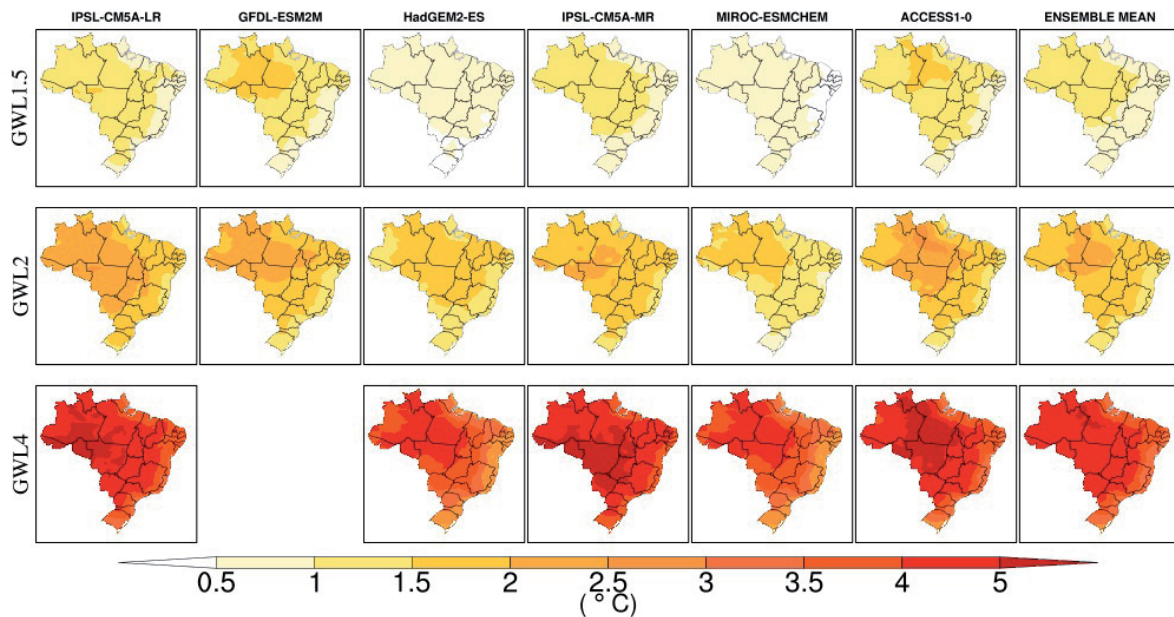
**Figure 2 |** Rainfall projections: annual rainfall variation (%) in relation to the baseline period (1981-2010) according to the GWL1.5, GWL2 and GWL4 of each experiment conducted with the HadGEM3-A model.

Source: Authors, based on data from the HELIX Project.

In terms of projections of minimum and maximum temperature changes (Figures 3 and 4, respectively), there is an indication of increased temperature over all regions of Brazil, equal to or higher than the GWL, i.e., it may exceed the predefined 1.5°C, 2°C and 4°C thresholds.

Most of the analyzed simulations show an expressive increase in the minimum and maximum temperatures for all GWLs addressed, with emphasis on simulations with the *IPSL-CM5A-LR*, *IPSL-CM5A-MR* e *ACCESS1-0* models. On the other hand, smaller increments are presented by the *HadGEM2-ES* e *MIROC-ESM-CHEM* subset. The *GFDL-ESM2M* model, although also standing out for increased temperatures at GWL 1.5 and 2°C levels, did not reach the temperature of 4°C in the global average, therefore, projections associated with this model for GWL4 are not presented herein.

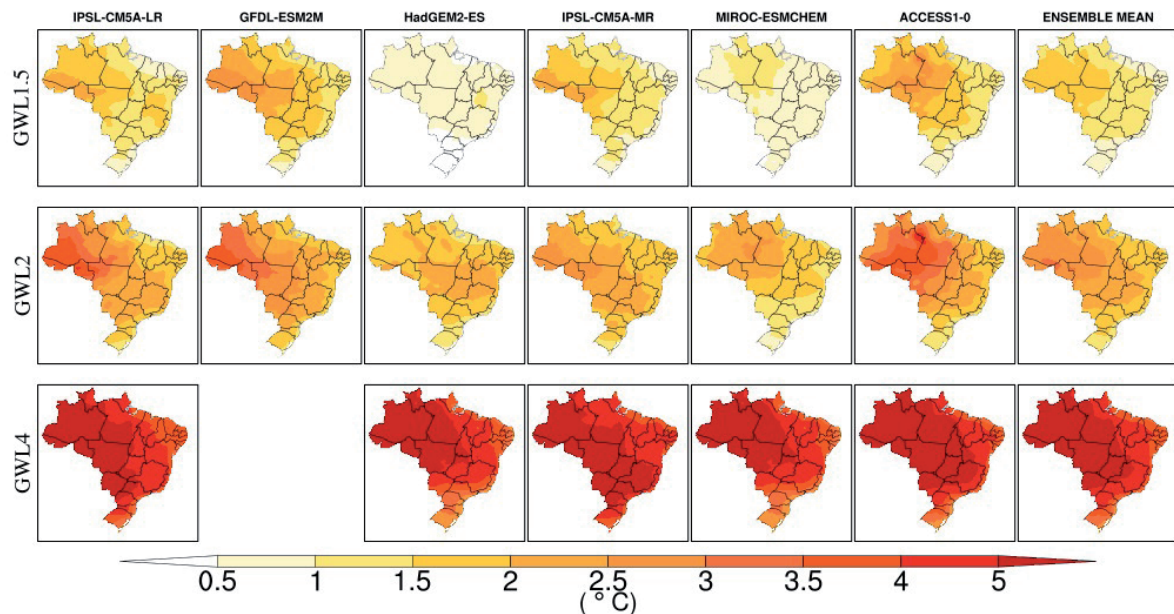




**Figure 3 |** Temperature projections: variation of the annual minimum average temperature (°C) in relation to the baseline period (1981-2010) according to the GWL1.5, GWL2 and GWL4 of each experiment conducted with the HadGEM3-A model.

Source: Authors, based on data from the HELIX Project.

Upon analyzing Figures 3 and 4 combined, it is possible to identify that the center-south of the Northern region and the Center-West region of Brazil present the greatest possibilities of severe changes in terms of temperature increase, these being the main regions where the minimum and maximum temperature experience expressive increments and in equal proportion, suggesting a drastic change in their climate patterns of temperatures and corroborating with the projections presented in Figure 2, where a significant decrease in rainfall is observed.



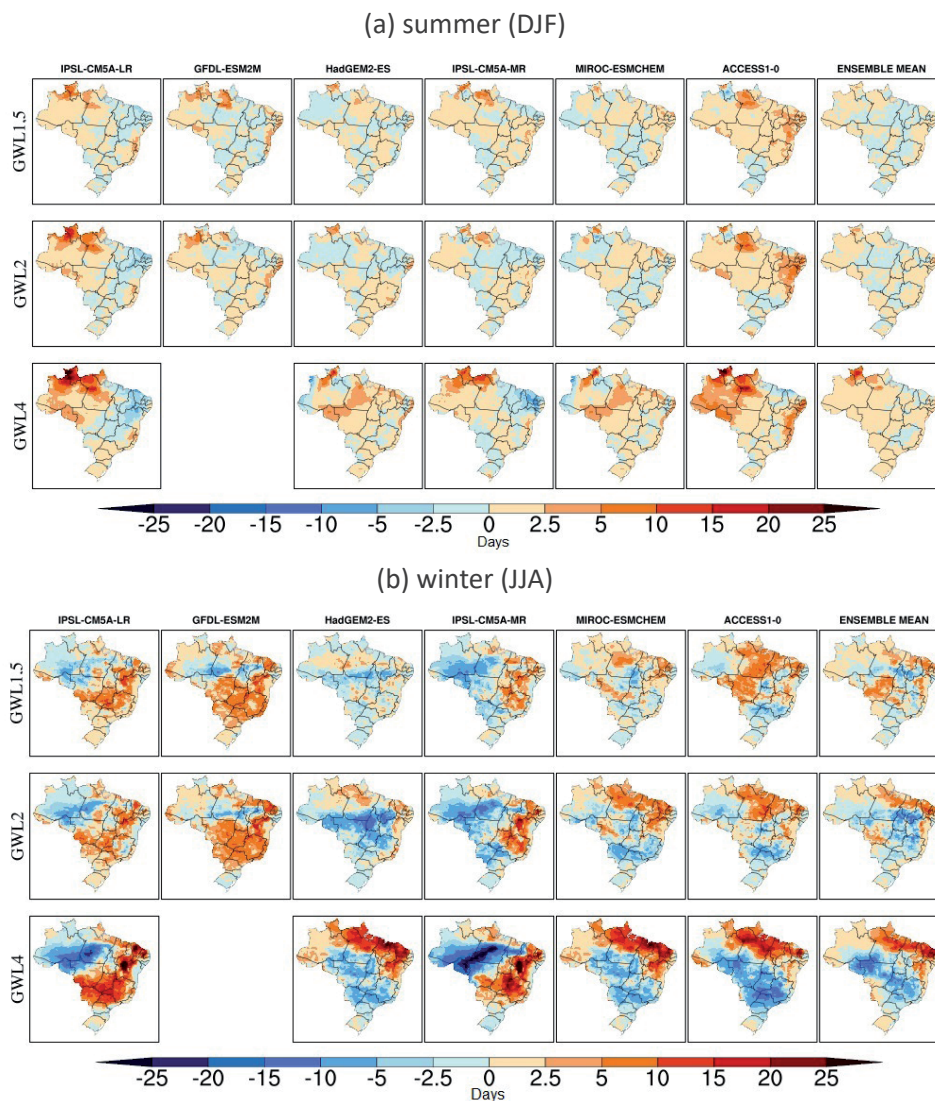
**Figure 4 |** Temperature projections: variation of the annual maximum average temperature (°C) in relation to the baseline period (1981-2010) according to the GWL1.5, GWL2 and GWL4 of each experiment conducted with the HadGEM3-A model.

Source: Authors, based on data from the HELIX Project.

This section analyzed possible climate change in the context of annual average rainfall and temperature. However, it is not simply the changes in average patterns that are relevant to the characterize climate. In this regard, climate extremes can be equally important, as they have a strong influence on natural ecosystems and on human activities such as agriculture, cattle raising, water management, transport, energy and tourism (PBMC, 2013).

### 3.3 PROJECTIONS OF CHANGES IN EXTREME CLIMATE EVENTS

Projections indicate ever-increasing extreme dry events and prolonged droughts (Figure 5), mainly in the north of the Northern and Northeastern regions, with such changes becoming more prominent in GWL4, particularly during winter (Figure 5b), with the states of Amapá, northern Pará and practically the entire Northeastern region showing a significant increase in the number of consecutive dry days. Still on Figure 5b and GWL4, there is a divergence among the models on the decrease or increase in the drought period over the Southeastern and Center-West regions. It is worth mentioning that this increase in consecutive dry days (combined with increased temperatures) has the potential to intensify the risk of fires, as well as to change the spatial-temporal rainfall behavior, which, consequently, increases ecosystems vulnerability.

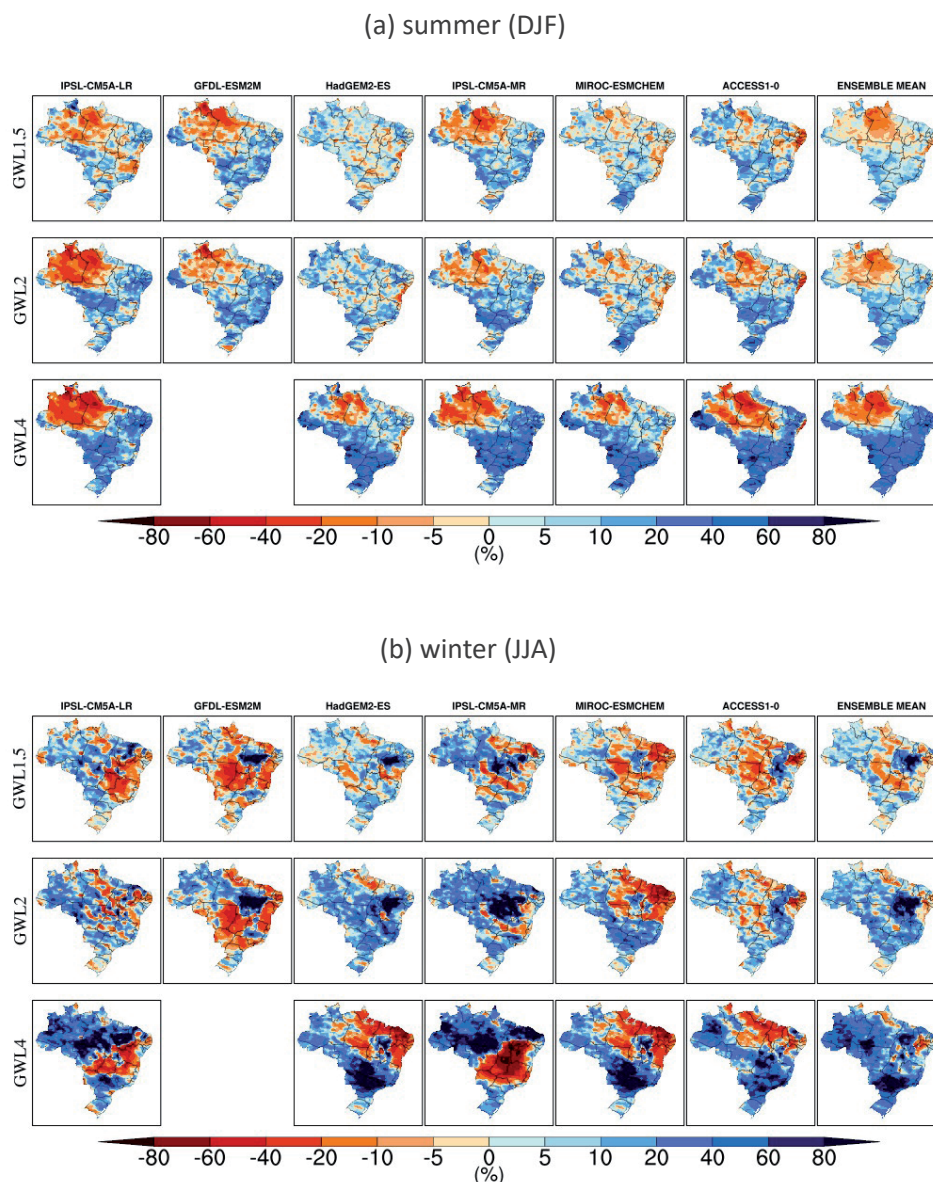


**Figure 5 |** Climate extreme projections: number of consecutive dry days - CDD in relation to the baseline period (1981-2010) according to the GWL1.5, GWL2 and GWL4 of each experiment conducted with the HadGEM3-A model.

Source: Authors, based on data from the HELIX Project.

Although the outcomes presented in Figure 5 indicate a significant increase in prolonged droughts or droughts in the Northeastern region, the indicator shown in Figure 6 provides information on how maximum rainfall will be distributed. During summer (Figure 6a), the state of Amazonas and Pará present a relative drop in the percentage of accumulated rainfall during those extreme rainfall events.

In contrast, in the other areas of the country there is an indication of a significant increase, whose pattern is observed in all GWLs. During winter (figure 6b), these extremes occur all along the Northern and Southern regions. However, there is a greater dispersion among model projection, mainly in GWL 1.5 and 2 for areas in the east of the Center-West and north of the Southeastern regions. In southern Southeast region and in the Southern region of Brazil, the predominance of an increased percentage of intense rainfall is seen in most models, indicating that those regions may present a greater risk of floods, river floods and surface water floods.

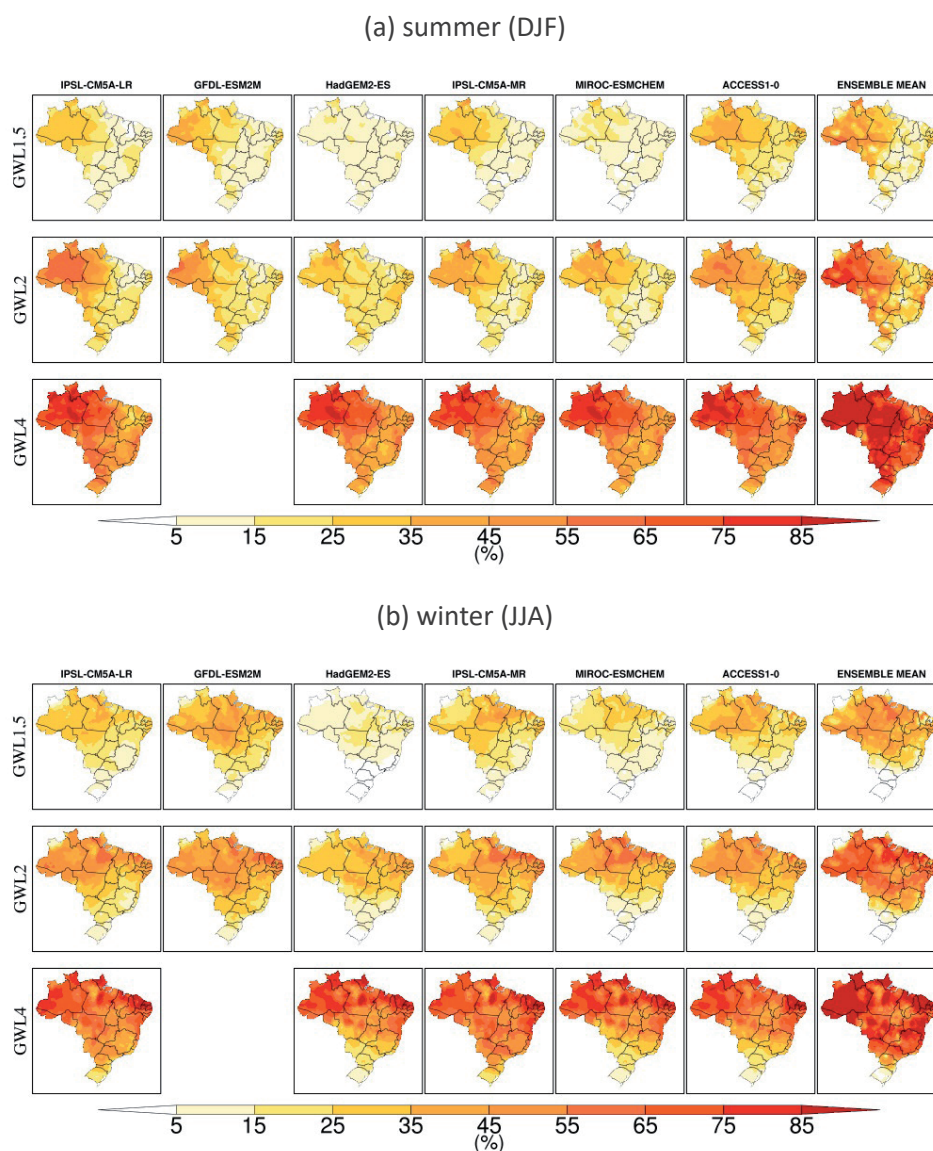


**Figure 6 |** Climate extremes projections: maximum variation of rainfall accumulated in 5 days – RX5day (%) in relation to the baseline period (1981-2010) according to GWL1.5, GWL2 and GWL4 in summer (a) and winter (b), for each experiment conducted with the HadGEM3-A model.

Source: Authors, based on data from the HELIX Project.



Analyzes of annual minimum and maximum temperatures presented in Figures 3 and 4, respectively, do not establish how the changes associated with increased temperature will be distributed, i.e., it is not clear whether the number of hot days and/or less cold nights will increase. In any case, there is a significant increase in this indicator in the outcomes of hot days projections (Figure 7). Upon analyzing each warming level individually, there is a variation between 15 to 35% in GWL1.5, mainly in the Northern region in the summer (Figure 7a), and in the Northern and Northeastern regions in the winter (Figura 7b). In GWL2 the spatial pattern is 25 to 65%, strongly focused on the Northern region, while in GWL4 the increase in the number of warm days exceeds 75% in the said regions for the analyzed seasons.



**Figure 7 |** Climate extremes projections: increased warm days – TX90p (%) in relation to the baseline period (1981-2010) according to GWL1.5, GWL2 and GWL4 in summer (a) and winter (b), for each experiment conducted with the HadGEM3-A model.

*Source: Authors, based on data from the HELIX Project.*

Among the conclusions reported in the Fifth Assessment Report (AR5) of the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2013), the one stating that processes that affect the climate can present considerable natural variability, showing variations from recurring to unpredictable at different time and space scales, stands out. Therefore, natural climate variabilities occur over a broad time spectrum, from seasonal scales to tens of thousands of years, resulting in multiple climate

states, which can be exemplified either by the stages of glacial cycles (tens of thousands of years) or even by the internal variability associated with the El-Niño Oscilação Sul (ENSO) in the inter-annual time scale. Changes in climate's basic state lead to changes in the climate system's internal variability, controlled by the complex interactions among the components of the terrestrial system (atmosphere, oceans, cryosphere and biosphere) and external forcing (orbital variability and solar activity).

Thus, the relationships between natural variability, external and internal climate forces (such as large-scale ocean variability) and their interdependencies, reveal the complexity of the climate system's dynamics, whose understanding is crucial for the assessment of climate change due to anthropogenic contributions (such as greenhouse gas emissions and physical changes in the surface), as well as for predicting future climate. In this sense, IPCC-AR5 confirms that the frequency and intensity of extreme climate events will probably increase (i.e., variability will be intensified) and therefore high spatial and time resolution models must be used to make increasingly more accurate future projections.

Lastly, although it is not appropriate for some purposes to directly compare the outcomes presented herein with those produced by the IPCC with the global climate models participating in CMIP3 and CMIP5, because of their distinct nature (such as, for example, spatial resolution and parameterization schemes) and integration methodology, it is important to highlight that the projections analyzed here are quite consistent with those presented in their reports, as well as climate change studies that used the dynamic downscaling technique, as in Marengo et al. (2012), Solman et al. (2013), Reboita et al. (2014), Chou et al. (2014).

## 4 CONCLUSION

This study carried out a country-wide analysis of future rainfall and temperature projections, as well as extreme climate indices associated with those variables. For that purpose, projections were assessed by specific-level average global warming (GWL) of 1.5°C, 2°C, and 4°C, using climate simulations sourced from the HadGEM3-A global model (HELIX Project).

The projections point at increased temperature (minimum and maximum) over all regions of Brazil, with this increase being equal to or higher than the GWL analyzed, i.e., regional temperature changes exceed the average global warming at each level addressed (1.5°C, 2°C, and 4°C).

The Northern, Center-West and Northeastern regions presented the major changes in terms of temperature increase. In these regions, climate extremes projections of maximum temperature also presented the most severe changes, mainly for the Northern and Northeastern regions. In GWL4, the warming level with the greatest impact, an increase of more than 75% in the number of hot days is verified in these regions for the two seasons analyzed (summer and winter).

Concerning to rainfall projections, change patterns are approximately similar among the different warming levels, differing only in magnitude. In this case, as the warming level increases, projected changes become more noticeable. In general, projections show decreased rainfall over much of the Amazon (15-30%). In the Southern and Southeastern regions an increase is observed, which is more intense in GWL4, with increased annual rainfall by around 25%.

Different projections also point at an increase in extreme drought events, mainly in the north of the Northern region and in the north and semiarid part of the Northeastern region. This is verified in all GWLs, mainly in the winter. In contrast, most simulations project an increase in extreme rainfall events in the south of the Southeastern region and in the Southern region of the country, indicating that those regions are more susceptible to an increased occurrence of floods, river floods and surface water floods.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Dr. Richard Betts, Dr. Chris Jones and the entire HELIX project team and the Met Office Hadley Center, for their help and for making the experiments used in this work available. We would also like to thank the Ministry of Science, Technology and Innovation's Coordination of Climate Change for the institutional support. We also thank UNDP's Project BRA/16/G31 and CNPq Process No. 443807/2018-3.

## REFERENCES

- AMBRIZZI, T. et al. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: projeções de clima usando três modelos regionais**. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF). Diretoria de Conservação da Biodiversidade, 2007.
- AMBRIZZI, T. et al. The state of the art and fundamental aspects of regional climate modeling in South America. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1436, n. 1, p. 98-120, 2019.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Terceira comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. MCT, Brasília, DF, Brasil, p. 79, 2016.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, v. 15, n. 17, p. 2377-2394, 2002.
- CAVALCANTI, I. F. A. et al. Global climatological features in a simulation using the Cptec – COLA AGCM. **Journal of Climate**, v. 15, n. 21, p. 2965-2988, 2002.
- CHOU, S. C. et al. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 5, p. 512-525, 2014.
- CHOU, S. C. et al. Evaluation of the eta simulations nested in three global climate models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 05, p. 438, 2014.
- DÉQUÉ, M. et al. A multi-model climate response over tropical Africa at +2°C. **Climate Services**, v. 7, p. 87-95, 2017.
- DUNN, R. J. H. et al. Development of an Updated Global Land in Situ-Based Data Set of Temperature and Precipitation Extremes: HadEX3. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 125, n. 16, 2020.
- ESCOBAR, G. C. J.; MATOSO, V. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS): definição prática segundo uma visão operacional. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2018, Maceió. **Anais...** Maceió-AL, 2018.
- EYRING, V. et al. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. **Geoscientific Model Development**, v. 9, n. 5, p. 1937-1958, 2016.
- FLATO, G. et al. Evaluation of climate models. In: **Climate change 2013: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2014. p. 741-866.
- FRICH, P. et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, v. 19, n. 3, p. 193-212, 2002.
- FUNK, C. et al. The climate hazards infrared precipitation with stations – a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, n. 150066, 2015.
- GIORGI, F.; MEARNS, L. O. Introduction to special section: regional climate modeling revisited. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 104, n. D6, p. 6335-6352, 1999.

IPCC. **Climate Change 2013: the physical science basis.** Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. STOCKER, T. F. et al. (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

IPCC. **Global Warming of 1.5°C.** An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty MASSON-DELMOTTE, V. et al. (Ed.). In Press.

JAMES, R.; WASHINGTON, R. Changes in African temperature and precipitation associated with degrees of global warming. **Climatic change**, v. 117, n. 4, p. 859-872, 2013.

JONES, R. G. et al. **Generating high resolution climate change scenarios using Precis.** Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, v. 40, 2004.

LENNARD, C. J. et al. On the need for regional climate information over Africa under varying levels of global warming. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 6, p. 060401, 2018.

LIEBMANN, B. et al. An observed trend in central South American precipitation. **Journal of Climate**, v. 17, n. 22, p. 4357-4367, 2004.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T. Use of regional climate models in impacts assessments and adaptations studies from continental to regional and local scales. In: **Proceedings of**, 2006. p. 291-296.

MARENGO, J. A. et al. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**, v. 98, n. 3-4, p. 509-529, 2010.

MARENGO, J. A. et al. Assessment of regional seasonal rainfall predictability using the Cptec/COLA atmospheric GCM. **Climate Dynamics**, v. 21, n. 5-6, p. 459-475, 2003.

MARENGO, J. A. et al. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta Cptec/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 1829-1848, 2012.

MARENGO, J. A. et al. Future change of climate in South America in the late XXI Century: intercomparison of scenarios from three regional climate models (2009) Climate Dynamics. **Climate Dynamics**. doi:10.1007/s00382-009-0721-6, v. 10.

MORICE, C. P. et al. Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: the HadCRUT4 data set. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 117, n. D8, 2012.

NAUMANN, G. et al. Global changes in drought conditions under different levels of warming. **Geophysical Research Letters**, v. 45, n. 7, p. 3285-3296, 2018.

NIKULIN, G. et al. The effects of 1.5 and 2 degrees of global warming on Africa in the Cordex ensemble. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 6, p. 065003, 2018.

PAL, J. S. et al. Regional climate modeling for the developing world: the ICTP RegCM3 and RegCNET. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 88, n. 9, p. 1395-1410, 2007.

PBMC. **Base científica das mudanças climáticas.** Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. AMBRIZZI, T.; ARAUJO, M. (Ed.). Coppe. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 p.

PISNICHENKO, I. A.; TARASOVA, T. A. **The climate version of the Eta regional forecast model.** 2. Evaluation of the Eta CCS model performance against reanalysis data and surface observations. Disponível em: <arXiv preprint arXiv:0901.1461, 2009.

REBOITA, M. S. et al. Evidências de Circulação de Brisa Vale-Montanha na Serra da Mantiqueira: Cidade de Itajubá-MG. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 1, p. 61-71, 2014.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

RICHARDSON, K.; BRADSHAW, C. **Assessment of the impacts of climate change on national level food insecurity using the Hunger and Climate Vulnerability Index**. University of Exeter, 2017.

SATYAMURTY, P. et al. Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 99, n. 1-2, p. 139-148, 2010.

SCHWINGSHACKL, C.; HIRSCHI, M.; SENEVIRATNE, S. I. Global Contributions of Incoming Radiation and Land Surface Conditions to Maximum Near-Surface Air Temperature Variability and Trend. **Geophysical research letters**, v. 45, n. 10, p. 5034-5044, 2018.

SILVA, J. P. R.; REBOITA, M. S.; ESCOBAR, G. C. J. Caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul em Campos Atmosféricos recentes. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

SIMMONS, A. J. et al. A reassessment of temperature variations and trends from global reanalysis and monthly surface climatological datasets. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 143, n. 702, p. 101-119, 2017.

SOLMAN, S. A. et al. Evaluation of an ensemble of regional climate model simulations over South America driven by the ERA-Interim reanalysis: model performance and uncertainties. **Climate Dynamics**, v. 41, n. 5-6, p. 1139-1157, 2013.

VUUREN, D. P. van et al. RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. **Climatic Change**, v. 109, n. 1-2, p. 95-116, 2011.

VAUTARD, R. et al. The European climate under a 2°C global warming. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 3, p. 034006, 2014.

WALTERS, D. et al. The Met Office unified model global atmosphere 6.0/6.1 and Jules global land 6.0/6.1 configurations. **Geoscientific Model Development**, v. 10, n. 4, p. 1487-1520, 2017.

WBGU. **Scenario for the derivation of global CO2 reduction targets and implementation strategies**. WBGU, Bremerhaven, Germany. 1995.

WYSER, K. et al. **Documentation of changes in climate variability and extremes simulated by the Helix AGCMs at the 3 GWLs and comparison in equivalent SST/SIC low-resolution CMIP5 projections**. HELIX Project Deliverable 3.1. 2017.



# Mudanças futuras de precipitação e temperatura no Brasil a partir dos níveis de aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C

*Future rainfall and temperature changes in Brazil under global warming levels of 1.5°C, 2°C and 4°C*

Diego Jatobá dos Santos<sup>a</sup>

George Ulguim Pedra<sup>b</sup>

Marcelo Guatura Barbosa da Silva<sup>c</sup>

Carlos Augusto Guimarães Júnior<sup>d</sup>

Lincoln Muniz Alves<sup>e</sup>

Gilvan Sampaio<sup>f</sup>

José Antônio Marengo<sup>g</sup>

<sup>a</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, SP, Brasil  
End. Eletrônico: diego.santos@inpe.br

<sup>b</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, SP, Brasil  
End. Eletrônico: george.pedra@inpe.br

<sup>c</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, SP, Brasil  
End. Eletrônico: marcelo.guatura@inpe.br

<sup>d</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, SP, Brasil  
End. Eletrônico: carlos.guimaraesjr@gmail.com

<sup>e</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, SP, Brasil  
End. Eletrônico: lincoln.alves@inpe.br

<sup>f</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, SP, Brasil  
End. Eletrônico: gilvan.sampaio@inpe.br

<sup>g</sup> Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – Cemaden,  
São José dos Campos, SP, Brasil  
End. Eletrônico: jose.marengo@cemaden.gov.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33933

Received: 04/09/2020  
Accepted: 10/11/2020



*Os dados e os resultados apresentados nesta publicação foram desenvolvidos no âmbito do projeto “Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, por meio dos recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente, aos quais oferecemos nossos agradecimentos.*

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar os impactos do aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C acima dos níveis pré-industriais sobre o território brasileiro. As mudanças projetadas entre os diferentes níveis de aquecimento global foram analisadas para a precipitação, temperatura e índices de extremos climáticos. As projeções utilizadas são oriundas do modelo climático global HadGEM3-A, derivadas do projeto internacional *High-End cLimate Impacts and eXtremes* (Helix), Reino Unido, forçado pela temperatura da superfície do mar e concentração de gelo marinho de um subconjunto de seis modelos climáticos globais do *Coupled Model Intercomparison Project phase 5* (CMIP5) e considerando o cenário de emissão *Representative Concentration Pathways* (RCP 8.5) ao longo do século XXI. As projeções indicam diferenças robustas nas características climáticas regionais. Essas diferenças incluem aumentos: na temperatura mínima e máxima do ar próximo à superfície para todas as regiões do País, nos extremos de calor, em particular no norte do País, na ocorrência de chuva intensa (regiões Sul e Sudeste) e na probabilidade de seca e déficits de chuva em algumas regiões (Norte e Nordeste).

**Palavras-chave:** Mudança do clima. Helix. Aquecimento global. Projeções climáticas. Modelos climáticos.

## ABSTRACT

*The present study analyzes the impacts of global warming of 1.5°C, 2°C, and 4°C above pre-industrial levels in the Brazilian territory. Climate change projected among the different global warming levels has been analyzed for rainfall, temperature and extreme climate indices. The projections are derived from the global climate model HadGEM3-A, from the High-End cLimate Impacts and eXtremes (HELIX) international project, from the United Kingdom, forced by sea surface temperature and sea ice concentration of a subset of six CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project phase 5) global climate models and considering the RCP 8.5 (Representative Concentration Pathways) emissions scenario throughout the 21st century. Projections indicate robust differences in regional climate characteristics. These differences include changes: in the minimum and maximum air temperature close to the surface to all the country’s regions, in extremes of heat, particularly in northern Brazil, in the occurrence of heavy rainfall (Southern and Southeastern regions), and in the probability of droughts and rain deficits in some regions (Northern and Northeastern Brazil).*

**Keywords:** Climate Change, HELIX, Global Warming, Climate projections, Climate models.

## 1 INTRODUÇÃO

Em decorrência de processos naturais, tais como a dinâmica das massas de ar, correntes marinhas, erupções vulcânicas, entre outros, o clima da Terra está sempre mudando ao longo do tempo, sendo a modelagem numérica essencial para aprimorar o conhecimento a respeito dos componentes do sistema climático (atmosfera, superfície terrestre, oceano, gelo marinho, etc.), bem como para elencar os possíveis impactos da mudança do clima em diversos setores importantes de um país (como, por exemplo, os de recursos hídricos, energético, agricultura, etc.).

O resultado dessa modelagem é um dos principais componentes nos estudos de vulnerabilidade climática e de elaboração de medidas e estratégias de adaptação às mudanças climáticas atuais e por

vir, servindo como base para análises de risco e vulnerabilidade, e para, assim, propor políticas de Estado para mitigação (IPCC, 2018; PBMC, 2013; TCN, 2016). Os modelos climáticos são ferramentas essenciais para investigar a resposta do sistema climático a várias forçantes, como as concentrações de gelo marinho, mudança de uso do solo, temperatura da superfície do mar, entre outras. Nesse sentido, eles permitem que se façam projeções não apenas de como a temperatura global média pode aumentar no século XXI, mas também de como essas mudanças podem afetar o clima no mundo todo (FLATO et al., 2013).

Para uma melhor compreensão de como as mudanças climáticas ocorrem em nível regional, é fundamental o acesso a informações mais detalhadas a respeito da região de estudo, como topografia, bacias hidrográficas e linhas costeiras. Com isso, torna-se importante o aumento da resolução espacial dos modelos climáticos globais (MCGs), que, em geral, têm baixa resolução espacial (da ordem de uma a duas centenas de quilômetros) devido ao alto custo computacional necessário para realizar simulações em escala global, e/ou utilizar técnicas de regionalização (conhecidas como *downscaling*) para traduzir as informações fornecidas pelos MCGs em uma escala espacial mais refinada (AMBRIZZI et al., 2019; CHOU et al., 2014; FLATO et al., 2013; MARENGO et al., 2012).

No Brasil, a modelagem numérica de clima teve início com as atividades operacionais do Cptec/Inpe, em 1995. Inicialmente, os modelos eram utilizados apenas para a realização de previsões numéricas de tempo (dias) e de clima sazonal (estações do ano) (CAVALCANTI et al., 2002; MARENGO et al., 2003, 2012). Porém, com o advento tecnológico e potentes supercomputadores, foi possível realizar projeções climáticas para a América do Sul. As primeiras projeções de mudanças climáticas sobre a América do Sul foram realizadas a partir de modelos climáticos regionais (AMBRIZZI et al., 2007; MARENGO; AMBRIZZI, 2006; MARENGO et al., 2009).

Esses primeiros estudos foram baseados nos resultados dos modelos regionais RegCM3 (GIORGI; MEARN, 1999; PAL et al., 2007), HadRMP3 (JONES et al., 2004) e Eta-CCS (PISNICHENKO; TARASOVA, 2009) para o período de 2070-2100, com uma alta resolução horizontal (50 km) e forçados pelo modelo global atmosférico HadAM3P, do Met Office Hadley Centre (MOHC) do Reino Unido, a partir dos cenários de emissões de GEE (A2 e B2).

Nas últimas décadas, tanto os MCGs quanto os modelos climáticos regionais (MCRs) têm tido grandes avanços na representação dos componentes do sistema climático, principalmente devido à melhor representação dos processos físicos e fenômenos a eles associados e as suas interações (MARENGO et al., 2012). Além disso, o avanço na tecnologia computacional vem contribuindo cada vez mais para o aumento na resolução espacial dos modelos climáticos, a exemplo dos modelos globais utilizados no projeto Helix (resolução de 40 km e 60 km), ao passo que, geralmente, os MCGs são executados usando resolução horizontal da ordem de uma a duas centenas de quilômetros.

A melhoria na resolução e nas parametrizações físicas dos modelos tem permitido uma representação mais detalhada das características da paisagem, como cordilheiras, lagos, tipos de vegetação e características do solo, levando a uma melhor caracterização do ciclo hidrológico e dos eventos extremos associados, bem como a uma representação mais realista do clima regional/local em comparação aos modelos com resoluções mais baixas (100 km – 200 km) (AMBRIZZI et al., 2019; CHOU et al., 2014; FLATO et al., 2013; NAUMANN et al., 2018).

Na temática das mudanças climáticas na política internacional, está em debate desde meados da década de 1990 a discussão sobre o estabelecimento de metas para limitar o aquecimento global em um limiar de temperatura predefinido em relação aos níveis pré-industriais (WBGU, 1995). Em 2010, a 16ª Conferência das Partes (COP16) da UNFCCC (do original em inglês *United Nations Framework Convention on Climate Change*), realizada em Cancun (México), resultou na formalização de uma série de acordos, como o de limitar a um máximo de 2°C o aumento da temperatura média global.

Posteriormente, na 21ª Conferência das Partes (COP21), em Paris (França), foi adotado um novo acordo, mais ambicioso, com o objetivo central de fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima e de reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças. Em resposta a esse acordo, o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) elaborou o Relatório Especial sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (IPCC SR1.5 2018) e entre as principais conclusões destaca-se que é provável que o aquecimento global atinja 1,5°C entre 2030 e 2052, caso continue a aumentar no ritmo atual, e projeta-se que os riscos de secas e inundações sejam maiores a 2°C, quando comparado ao aquecimento global de 1,5°C.

Alinhado às demandas da sociedade e aos desafios da comunidade científica no entendimento do complexo sistema climático, na última década um número crescente de estudos foi desenvolvido considerando os impactos de diferentes níveis de aquecimento médio global – GWL (*Global Warming Level*, em inglês) – em âmbito regional (domínio continental ou parte dele), a exemplo de Déqué et al. (2017), James e Washington (2013), Lennard et al. (2018), Nikulin et al. (2018), Vautard et al. (2014), entre outros.

Em geral, esses estudos revelam que os padrões de temperatura em nível regional não são determinados apenas pelos GWLs, mas também dependem fortemente da região – área natural marcada por um conjunto específico de elementos climáticos, geológicos, hidrográficos e da biosfera –, e da época do ano considerada. Além disso, a magnitude do aquecimento no nível de 1,5°C, 2°C ou superior (média global) pode ser muito maior em nível local, conduzindo a condições climáticas mais extremas e severas do que poderia ser, quando considerado apenas o padrão global.

A exemplo dos referidos estudos, no Brasil as projeções climáticas produzidas pelo modelo regional Eta-Cptec (CHOU et al., 2014a; CHOU et al., 2014b), alinhado aos modelos globais HadGEM2-ES e MIROC5 (CMIP5), foram adequadas aos GWLs 1,5°C, 2°C e 4°C a fim de subsidiar os estudos de medidas de vulnerabilidade climática e adaptação relacionados às seguranças hídrica, energética, alimentar e socioambiental do País no âmbito da Quarta Comunicação Nacional do Brasil (4CN) à UNFCCC. Para tanto, os períodos de tempo (*time slices*) 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 nos estudos da 4CN correspondem aproximadamente aos GWLs de 1,5°C, 2°C e 4°C respectivamente.

No entanto, ainda é necessário e urgente um número maior de estudos que busquem quantificar os impactos associados ao aumento médio da temperatura global e as magnitudes desses impactos sob diferentes GWLs nas diversas regiões geográficas do Brasil. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é analisar as possíveis mudanças e seus impactos em se tratando das variáveis de precipitação e temperatura no território brasileiro sob condições de aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C acima dos níveis pré-industriais, a partir de um conjunto de experimentos desenvolvidos pelo MOHC no âmbito do projeto High-End cLimate Impacts and eXtremes (Helix).

A abordagem por níveis de aquecimento permite ponderar de forma mais categórica os impactos da mudança do clima sob cenários específicos de aquecimento médio global e, com isso, o presente trabalho tem potencial de contribuir para os estudos de vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas em setores estratégicos do País, já anteriormente mencionados.

## 2 DADOS E METODOLOGIA

### 2.1 MODELO CLIMÁTICO GLOBAL (HADGEM3-A)

No presente estudo foi utilizada a versão do modelo climático mundial *Global Atmosphere Hadley Centre Model, version 3* – HadGEM3-A (WALTERS et al., 2017) desenvolvida no *Met Office Hadley Centre*, em Exeter, Reino Unido, a qual fez parte do projeto *High-End cLimate Impacts and eXtremes*

(HELIX) e da Fase 6 do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP6; EYRING et al., 2016). Com melhorias em suas parametrizações físicas e inclusão de novas funcionalidades, o referido modelo, assim como o EC-EARTH3.1 (também utilizado no projeto Helix) do *Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Suécia*, representam atualmente o estado da arte em termos de representação do sistema climático global (FLATO et al., 2013).

As simulações obtidas pelo modelo HadGEM3-A foram realizadas em alta resolução espacial (60 km), considerando como condições de contorno a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e a concentração de gelo marinho provenientes de um subconjunto de seis modelos globais do CMIP5 (Tabela 1). Desse modo, cada projeção do clima futuro refere-se à integração do modelo HadGEM3-A com seis variantes de TSM e concentração de gelo marinho, fornecendo assim um conjunto de seis projeções para até o final do século XXI. Informações detalhadas das principais características e referências desse subconjunto de modelos podem ser obtidas em Flato et al. (2013).

**Tabela 1** | Conjunto de simulações (realizações) globais a partir do modelo HadGEM3-A (projeto Helix) em combinação com seis modelos do CMIP5 (modelos forçantes). Os períodos em que os GWLs são alcançados para cada experimento realizado também são listados.

Modelo Atmosférico	Simulação HELIX	Modelo forçante CMIP5	GWL1,5	GWL2	GWL4
HadGEM3-A	r1	IPSL-CM5A-LR	2006-2036	2020-2050	2056-2086
HadGEM3-A	r2	GFDL-ESM2M	2021-2051	2037-2067	*
HadGEM3-A	r3	HadGEM2-ES	1998-2028	2018-2048	2056-2086
HadGEM3-A	r6	IPSL-CM5A-MR	2005-2035	2020-2050	2055-2085
HadGEM3-A	r8	MIROC-ESM-CHEM	2000-2030	2017-2047	2053-2083
HadGEM3-A	r9	ACCESS1-0	2012-2042	2024-2054	2066-2096

\* o modelo correspondente não atingiu o GWL4 até o final da projeção (2100).

Fonte: Elaboração própria.

Os experimentos a partir do modelo HadGEM3-A consideraram o cenário de emissão *Representative Concentration Pathways* (RCP 8.5), o qual corresponde a um cenário de alta emissão das concentrações de GEE, em que o CO<sub>2</sub> equivalente excede a 1000 partes por milhão (ppm) – em volume até o final do século XXI e, com isso, o forçamento radiativo atinge 8,5 W/m<sup>2</sup> (watt por metro quadrado) até o ano 2100, o que permite avaliar os efeitos das mudanças climáticas sob diferentes níveis de aquecimento (VUUREN et al., 2011).

## 2.2 NÍVEL DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWL)

O conceito de nível de aquecimento (GWL) representa a variação média da anomalia global da temperatura do ar à superfície em relação ao período pré-industrial (1861-1880) (NAUMANN et al., 2018), ou seja, o aumento ou diminuição de temperatura ao longo dos anos em relação a tal período. Tal abordagem foi trabalhada por cientistas da Universidade de Exeter e do *Met Office Hadley Centre*, ambas do Reino Unido, em parceria com diversas instituições europeias, na execução do projeto Helix (RICHARDSON; BRADSHAW, 2017; WYSER et al., 2017).

Neste trabalho, adotou-se como definição para GWL, o momento no qual o valor específico de aquecimento (1,5°C, 2°C e 4°C) calculado em relação ao período pré-industrial é atingido, considerando as projeções das médias globais da temperatura anual. O ano no qual cada GWL foi encontrado pela primeira vez foi considerado como o ano central, e em torno deste foram adicionados os 15 anos que o antecedem e os 15 anos que o sucedem, totalizando um período de 31 anos para cada GWL. Assim, para cada uma das simulações futuras, foram determinados os períodos correspondentes a cada GWL analisado (1,5°C, 2°C e 4°C) no presente estudo, conforme listado na Tabela 1. O valor de + 0,61°C foi

assumido como sendo o valor observado de aquecimento entre o período pré-industrial até o período-base utilizado neste trabalho: 1981 a 2010 (HadCRUT4, MORICE et al., 2012).

## 2.3 ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

O cálculo dos índices climáticos extremos de temperatura e precipitação (Tabela 2) teve como base as metodologias descritas no estudo de Frich et al. (2002) e que começaram a ser usados pelo IPCC a partir de 2007.

**Tabela 2** | Índices de extremos climáticos de temperatura máxima (TX) e precipitação (PRCP)

Índice	Definição	Unidade
TX90p	Número de dias com TX > percentil 90	dias
RX5day	Quantidade máxima de precipitação acumulada em cinco dias	mm
CDD	Número máximo de dias secos consecutivos (PRCP < 1 mm)	dias

Fonte: Frich et al. (2002).

Para as análises a respeito do índice de temperatura máxima extrema (TX90p) e das variáveis temperatura mínima e máxima, foi utilizado o conjunto de dados diários de temperatura do *Climate Prediction Center/National Oceanic and Atmospheric Administration (CPC/NOAA)*<sup>1</sup>. Por outro lado, para as análises envolvendo a precipitação e os índices RX5day e CDD, foi utilizada a base de dados de precipitação diária do *Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations – Chirps*<sup>2</sup> (FUNK et al., 2015). A respeito da metodologia empregada no cálculo da tendência linear (seção 3.1), uma breve descrição pode ser obtida em Satyamurty et al. (2010).

## 3 RESULTADOS

### 3.1 TENDÊNCIA DO CLIMA ATUAL NO BRASIL

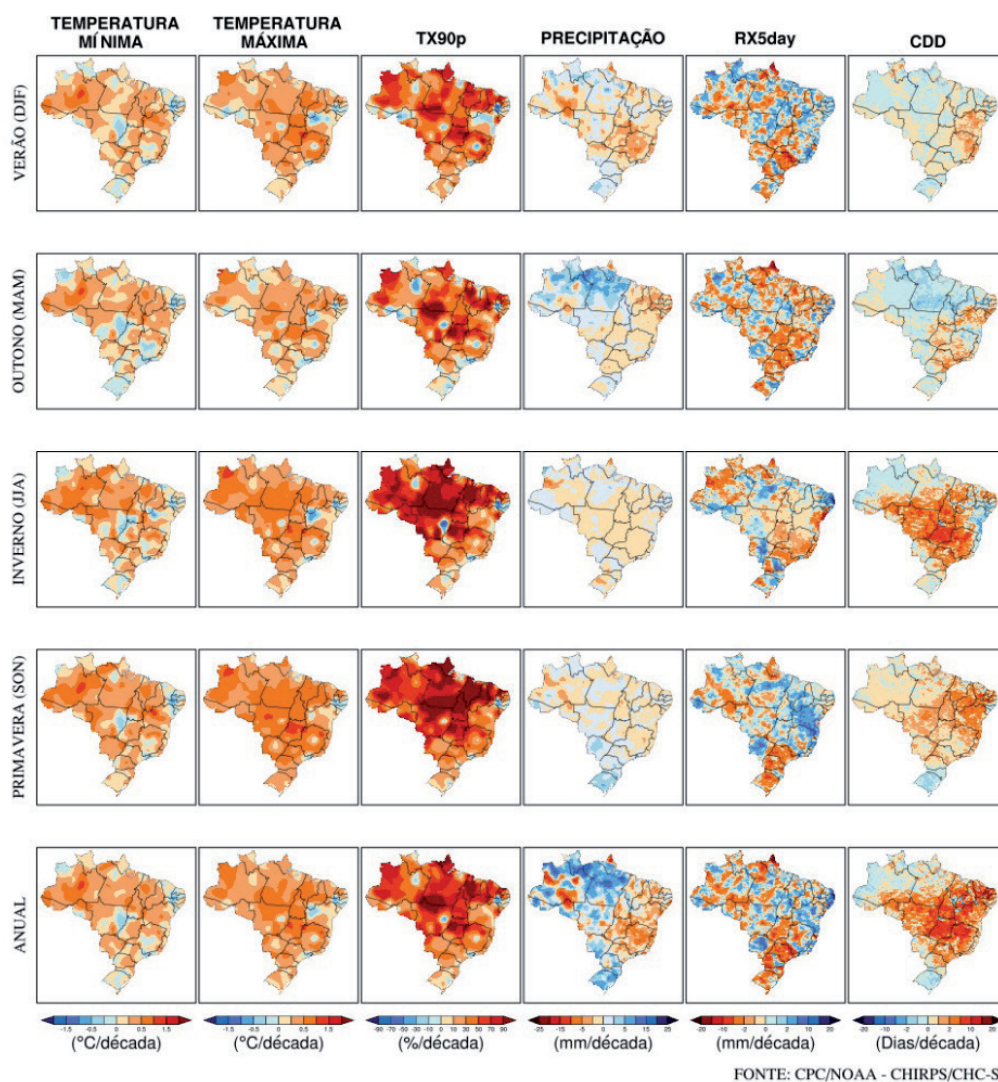
Na Figura 1 são mostradas as tendências ocorridas nas últimas décadas (1980-2018) no Brasil para a temperatura do ar (máxima e mínima), precipitação e os índices climáticos extremos TX90p, RX5day e CDD para diferentes estações sazonais do ano, verão (dezembro-janeiro-fevereiro), outono (março-abril-maio), inverno (junho-julho-agosto), primavera (setembro-outubro-novembro), e anual.

Uma tendência de aquecimento (da ordem de 0,5°C por década) é observada nas temperaturas mínimas e máximas em todas as regiões do País e em todas as estações do ano (Figura 1, colunas 1 e 2). O setor mais ao centro do País e a região Norte se destacam durante as estações de inverno e primavera onde os incrementos são de até 1°C/década. Uma tendência de resfriamento de até 0,5°C/década é observada, porém de forma pontual em algumas áreas do País (noroeste do Amazonas, leste de Mato Grosso, interior da Paraíba e Pernambuco, sul de Minas Gerais, leste do estado de São Paulo e no Rio Grande do Sul), principalmente para a temperatura mínima durante a estação de outono. Ressalta-se que os incrementos observados nas últimas décadas para a maior parte do País estão em concordância com as tendências positivas de temperatura do ar próxima à superfície verificadas em outros estudos, como em Schwingshackl et al. (2018) e Simmons et al. (2017).

1 | <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>

2 | <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>





**Figura 1 |** Tendência linear da temperatura mínima e máxima (graus Celsius/década), do número de dias com temperatura máxima acima do percentil 90 – TX90p (%/década), da precipitação (mm/década), quantidade máxima de precipitação acumulada em cinco dias – RX5day (mm/década) e do número máximo de dias secos consecutivos – CDD (dias/década), no período de 1980-2018.

Fonte: CPC/NOAA e CHIRPS/CHC-SB.

Um aumento no número de dias com temperatura máxima extrema – TX90p (Figura 1, coluna 3) também é observado ao longo do período analisado (1980-2018). O incremento é superior a 30% por década em praticamente todo o País, com destaque para a região centro-norte do País e norte da Região Nordeste, por apresentar aumentos expressivos em todas as escalas temporais, principalmente durante as estações de inverno (JJA) e primavera (SON), nas quais a tendência de aumento dos casos chega a ser superior a 90%.

Diferentemente das temperaturas, a tendência de precipitação (Figura 1, coluna 4) evidencia uma grande variabilidade espacial. Para o extremo norte da Região Norte, centro-leste do Nordeste e na Região Sul do País nota-se um aumento dos totais acumulados de precipitação ao longo das estações sazonais. Padrão oposto (redução) é verificado no sudoeste da Região Norte, com tendência de redução total da ordem de 20 mm ao longo das últimas quatro décadas. Considerando que durante o verão (DJF) tem-se climatologicamente o período com maior volume de precipitação na Região Norte e que durante a referida estação essa região contribui fortemente para os regimes de chuva nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do País (ESCOBAR; MATOSO, 2018; REBOITA et al., 2010; SILVA et al., 2019), essa tendência negativa também é observada nas regiões supracitadas, principalmente nos estados de Goiás, Minas Gerais e Espírito Santo, nos quais essa redução (5 mm/década) é verificada de forma mais proeminente.



Em suma, verifica-se, ao longo de todas as estações, uma tendência negativa de precipitação no sul do Amazonas, norte de Rondônia, nos estados do Tocantins e Goiás, e nas regiões Sudeste e Nordeste do País, e um incremento positivo na faixa norte da Região Norte (principalmente no norte do Amazonas, Roraima, metade norte do Pará e sul do Amapá), bem como na maior parte da Região Sul do Brasil.

Esses comportamentos ficam mais evidentes na escala anual, na qual nota-se um padrão mais marcante de tendência positiva ao longo das últimas décadas no extremo norte da Região Norte (de até 40 mm totais), na Região Sul (até 20 mm), e em áreas dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, porém, de forma menos acentuada. Por outro lado, nas demais áreas do País, englobando os estados da Região Nordeste, Região Sudeste e parte leste da Região Centro-Oeste, é observada uma tendência de redução no regime de precipitação da ordem de 20 mm entre 1980-2018.

A respeito dos eventos extremos de precipitação (RX5day) (Figura 1, coluna 5), nota-se um incremento anual positivo principalmente no leste da Região Nordeste, no estado da Bahia, no leste da Região Sudeste, em grande parte da Região Centro-Oeste (com exceção do estado de Goiás) e em áreas intercaladas na Região Norte. Nessas áreas os totais pluviométricos dos eventos extremos tiveram um acréscimo da ordem de 8 mm a 40 mm nas últimas décadas. As maiores magnitudes são observadas no leste do Nordeste (com destaque para a faixa litorânea dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas), onde uma persistência da tendência positiva é observada também nas escalas sazonais, principalmente durante o inverno (JJA). Isso sugere que o aumento levemente positivo na tendência de precipitação (Figura 1, coluna 4) para essa faixa do Nordeste durante o referido trimestre, como citado anteriormente, possivelmente está associado a esses incrementos nos eventos extremos de precipitação.

Em relação às tendências do número máximo de dias secos consecutivos (Figura 1, coluna 6), observa-se uma tendência de aumento principalmente nas estações de inverno e primavera na faixa sul da Região Norte, norte e oeste da Região Nordeste e nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do País, indicando uma possível intensificação da estação seca nessas áreas, principalmente na região correspondente ao “arco do desmatamento” e ao bioma Cerrado.

O acréscimo acentuado na tendência dos eventos de dias secos consecutivos também é evidente no campo anual para essas áreas, bem como para a Região Nordeste como um todo. Com isso, tal condição tem o potencial de agravar ainda mais algumas questões socioambientais relacionadas ao período de estiagem nessas regiões, como o aumento dos focos de queimadas, deficiência hídrica no solo – que, por sua vez, implica em impactos severos na produtividade das safras de *commodities* agrícolas exportadas pelo Brasil –, bem como o aumento dos riscos à saúde humana devido à baixa umidade do ar durante o período de estiagem (PBMC, 2013).

Cabe ressaltar que as séries temporais analisadas na Figura 1 apresentaram tendências estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95% (teste de *Mann-Kendall*) para todas as variáveis e índices abordados. Isso foi verificado para a maior parte do território brasileiro (figura não disponibilizada), com exceção de algumas áreas na Região Sul durante as estações de outono e inverno, e no leste do Nordeste em se tratando das tendências de temperatura mínima. Ademais, os resultados apresentados nesta seção estão, em geral, de acordo com estudos prévios que investigaram os aspectos físicos, dinâmicos e termodinâmicos dos fenômenos atmosféricos e oceânicos (CARVALHO et al., 2002; LIEBMANN et al., 2004; MARENGO et al., 2010).

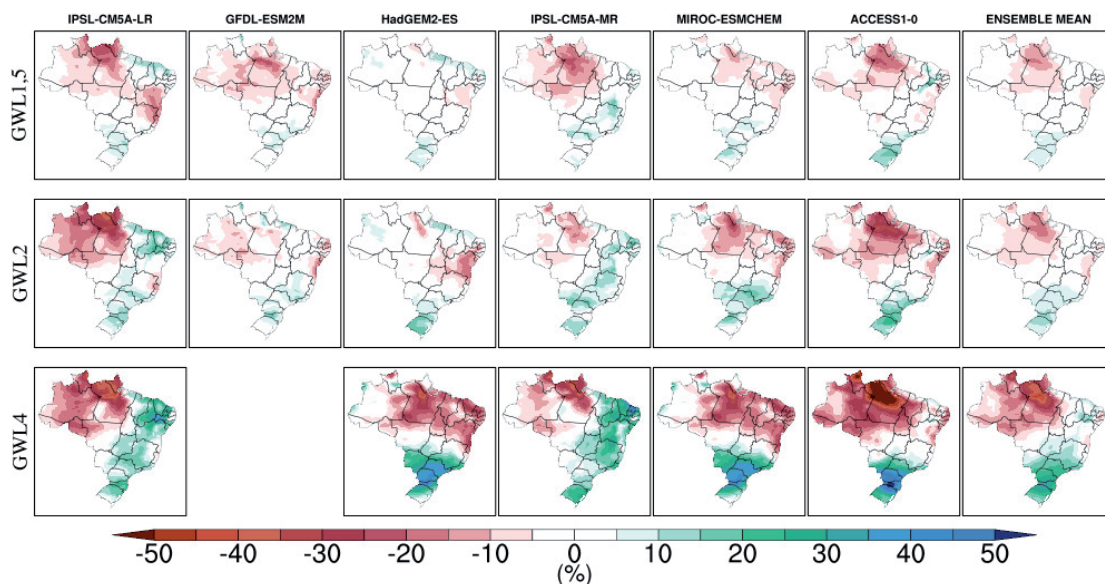
Esses estudos têm ressaltado que o clima do Brasil está mudando, em particular a frequência de eventos extremos de precipitação, que estão ocorrendo com uma maior intensidade (PBMC, 2013), da mesma forma que a variabilidade das temperaturas e precipitação aparenta também estar sofrendo alterações importantes. Os resultados corroboram as análises de Dunn et al. (2020), que mostram que para o período de 1901-2018 observam-se aumentos no índice TX90p (dias quentes) e redução do índice TX10p (noites frias) em todo o Brasil, sendo as mudanças maiores no inverno – JJA. Os autores também

mostram que os índices de extremos de chuva R10 mm e R95p apresentam redução no Nordeste e aumento na Região Sul e em parte das regiões Sudeste, Centro-Oeste e oeste da Amazônia.

### 3.2 PROJEÇÕES DE MUDANÇAS NA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA

Na Figura 2 é mostrada a mudança anual de precipitação sobre o Brasil, projetada para diferentes níveis de aquecimento (1,5°C, 2°C e 4°C) e em relação à média do período 1981-2010 (clima atual) a partir dos resultados do modelo HadGEM3-A forçado com as TSMs e gelo marinho de um subconjunto de modelos do CMIP5 (Tabela 1). Algumas similaridades são notadas entre os diferentes níveis de aquecimento e experimentos realizados (combinação do modelo HadGEM3-A com os modelos forçantes).

Os padrões de mudanças são aproximadamente similares, divergindo somente em magnitude, ou seja, à medida que se aumenta o nível de aquecimento, as mudanças projetadas se tornam maiores. Em geral, projeta-se redução de precipitação sobre grande parte da Amazônia (15% a 30%), enquanto que no sul da Região Sudeste e na Região Sul do País nota-se um aumento, que é mais intenso no GWL4, com incremento de precipitação em torno de 25% ao ano. Nota-se, também, que à medida que o GWL aumenta, as áreas de mudança se expandem em direção ao centro do território brasileiro. Esses padrões são coerentes nos diferentes modelos forçantes, o que corrobora uma menor incerteza nas projeções.

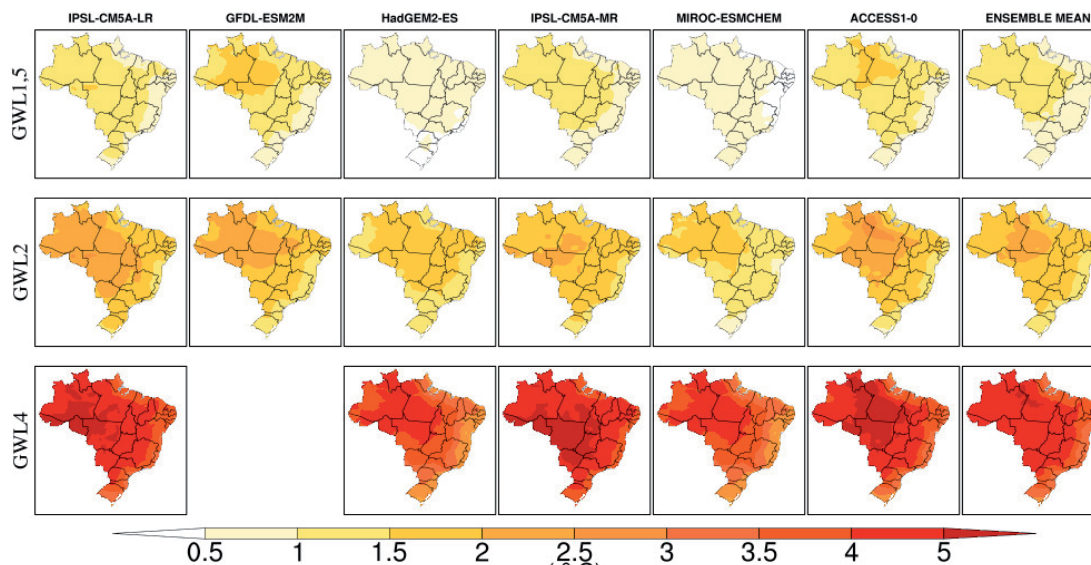


**Figura 2 |** Projeções de precipitação: variação da precipitação anual (%) em relação ao período de referência (1981-2010) de acordo com o GWL1,5, GWL2 e GWL4 de cada experimento realizado com o modelo HadGEM3-A.

Fonte: Projeto Helix.

Em relação às projeções de mudanças das temperaturas mínima e máxima (Figuras 3 e 4, respectivamente), há indicação de aumento de temperatura sobre todas as regiões do Brasil, sendo este igual ou superior ao GWL, ou seja, podendo ultrapassar os limiares predefinidos de 1,5°C, 2°C e 4°C.

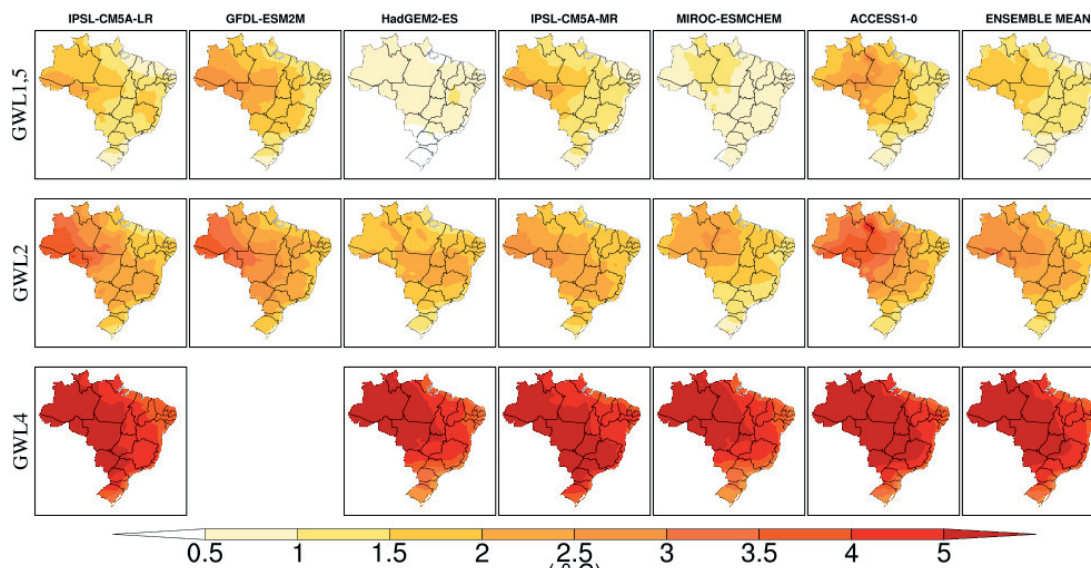
A maioria das simulações analisadas apresenta um incremento expressivo nas temperaturas mínimas e máximas para todos os GWL abordados, com destaque para as simulações com os modelos *IPSL-CM5A-LR*, *IPSL-CM5A-MR* e *ACCESS1-0*. Por outro lado, os menores incrementos são apresentados pelo subconjunto formado pelo *HadGEM2-ES* e *MIROC-ESM2CHEM*. O modelo *GFDL-ESM2M*, apesar de também se destacar pelo incremento nas temperaturas nos níveis de GWL 1,5°C e 2°C, não atingiu a temperatura de 4°C na média global. Diante dessa situação, as projeções associadas a esse modelo para o GWL4 não são apresentadas.



**Figura 3 |** Projeções de temperatura: variação da média anual de temperatura mínima (°C) em relação ao período de referência (1981-2010) de acordo com o GWL1,5, GWL2 e GWL4 de cada experimento realizado com o modelo HadGEM3-A.

Fonte: Projeto Helix.

Analisando as Figuras 3 e 4 conjuntamente, é possível identificar que o centro-sul da Região Norte e o Centro-Oeste do Brasil apresentam as maiores possibilidades de alterações severas quanto ao aumento de temperatura, sendo essas as principais regiões onde as temperaturas mínima e máxima sofrem incrementos expressivos e em igual proporção, sugerindo uma mudança drástica em seus padrões climatológicos de temperaturas e corroborando as projeções apresentadas na Figura 2, onde as estas mostram redução significativa na precipitação.



**Figura 4 |** Projeções de temperatura: variação da média anual de temperatura máxima (°C) em relação ao período de referência (1981-2010) de acordo com o GWL1,5, GWL2 e GWL4 de cada experimento realizado com o modelo HadGEM3-A.

Fonte: Projeto Helix.

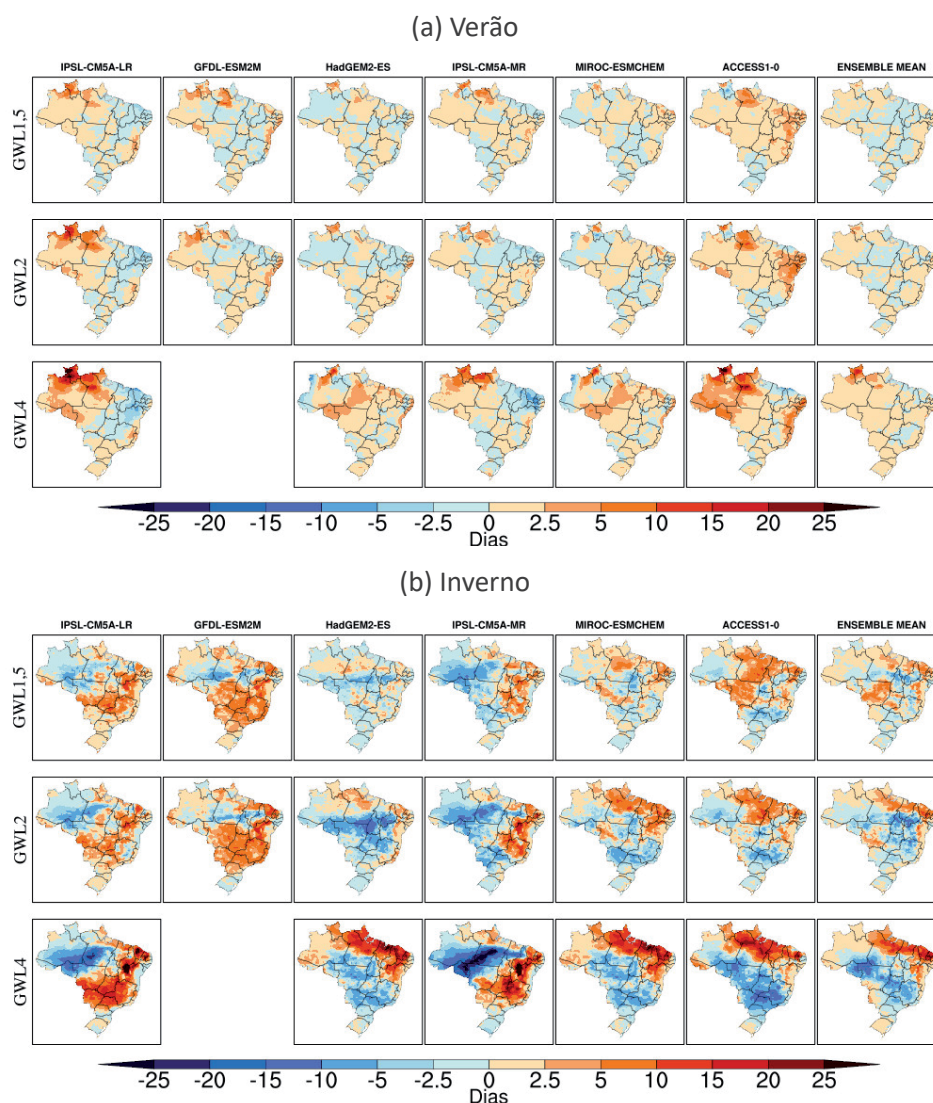
No presente tópico, foram analisadas as possíveis mudanças climáticas no contexto da média anual da precipitação e temperatura. Entretanto, não são apenas as mudanças nos padrões médios que



são relevantes para caracterização do clima. Sobre esse aspecto, os extremos climáticos podem ser igualmente importantes, pois têm uma forte influência sobre os ecossistemas naturais e em atividades humanas, como a agricultura, pecuária, gestão da água, transporte, energia e turismo (PBMC, 2013).

### 3.3 PROJEÇÕES DE MUDANÇA NOS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

As projeções indicam um crescente aumento de eventos extremos de secas e estiagens prolongadas (Figura 5), principalmente no norte das regiões Norte e Nordeste, sendo que tais mudanças tornam-se mais proeminentes no GWL4 e em particular no inverno (Figura 5b), com os estados do Amapá, norte do Pará e praticamente toda a Região Nordeste apresentando um aumento substancial no número de dias secos consecutivos. Ainda sobre a Figura 5b e o GWL4, há uma divergência entre os modelos sobre a redução ou aumento no período de estiagem sobre as regiões Sudeste e Centro-Oeste. Vale ressaltar que esse aumento de dias secos consecutivos (em conjunto com o aumento das temperaturas) tem o potencial de intensificar o risco de ocorrência de queimadas, bem como de mudar o comportamento espaço-temporal da precipitação, o que, conseqüentemente, aumenta a vulnerabilidade dos ecossistemas.

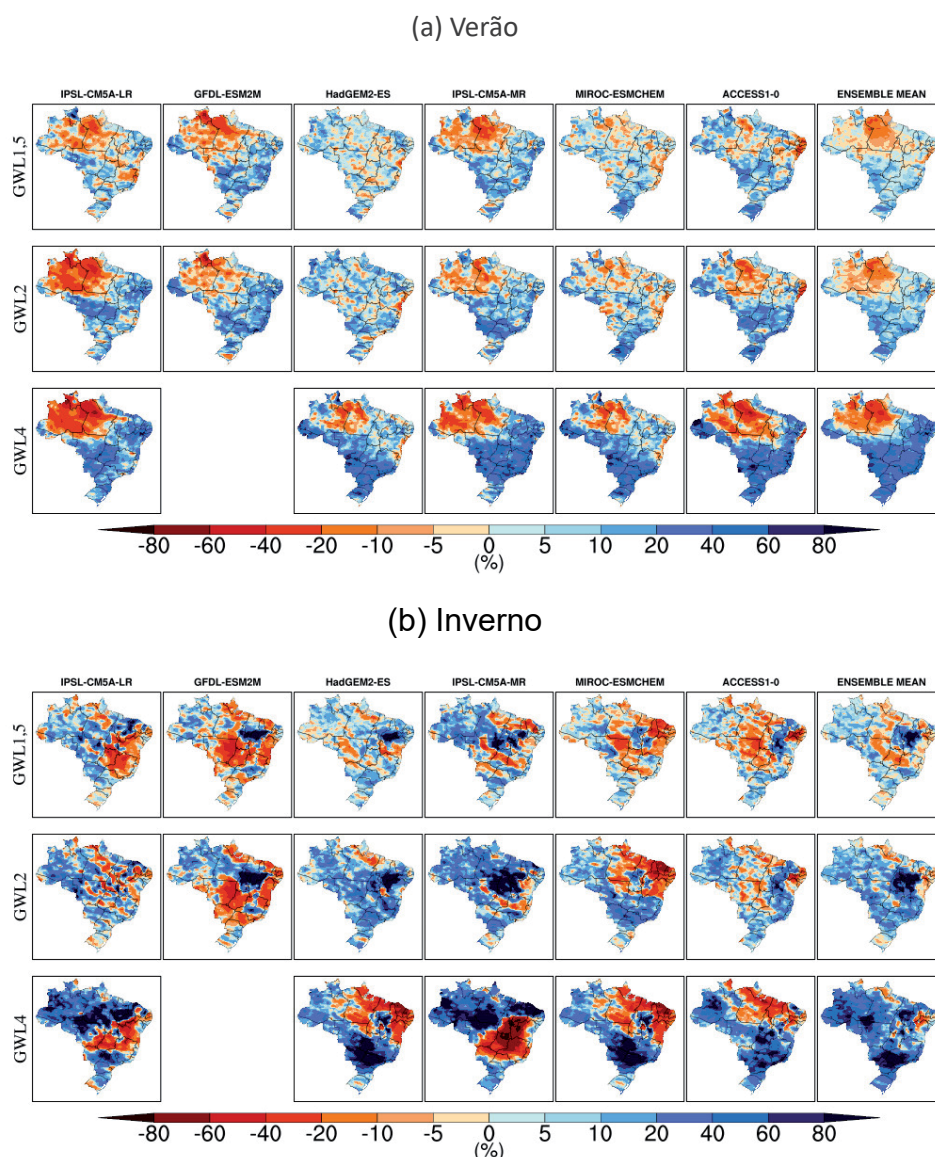


**Figura 5 |** Projeções de extremos climáticos: número de dias secos consecutivos – CDD em relação ao período de referência (1981-2010) para o GWL 1,5, GWL2 e GWL4 no verão (a) e inverno (b) para cada experimento realizado com o modelo HadGEM3-A.

Fonte: Projeto Helix.

Embora os resultados apresentados na Figura 5 indiquem o aumento significativo na ocorrência de secas prolongadas ou estiagens na Região Nordeste, o indicador apresentado na Figura 6 traz a informação de como os máximos de precipitação serão distribuídos. Durante o verão (Figura 6a), os estados do Amazonas e Pará mostram relativa redução no percentual de precipitação acumulado durante esses eventos de extremos de precipitação.

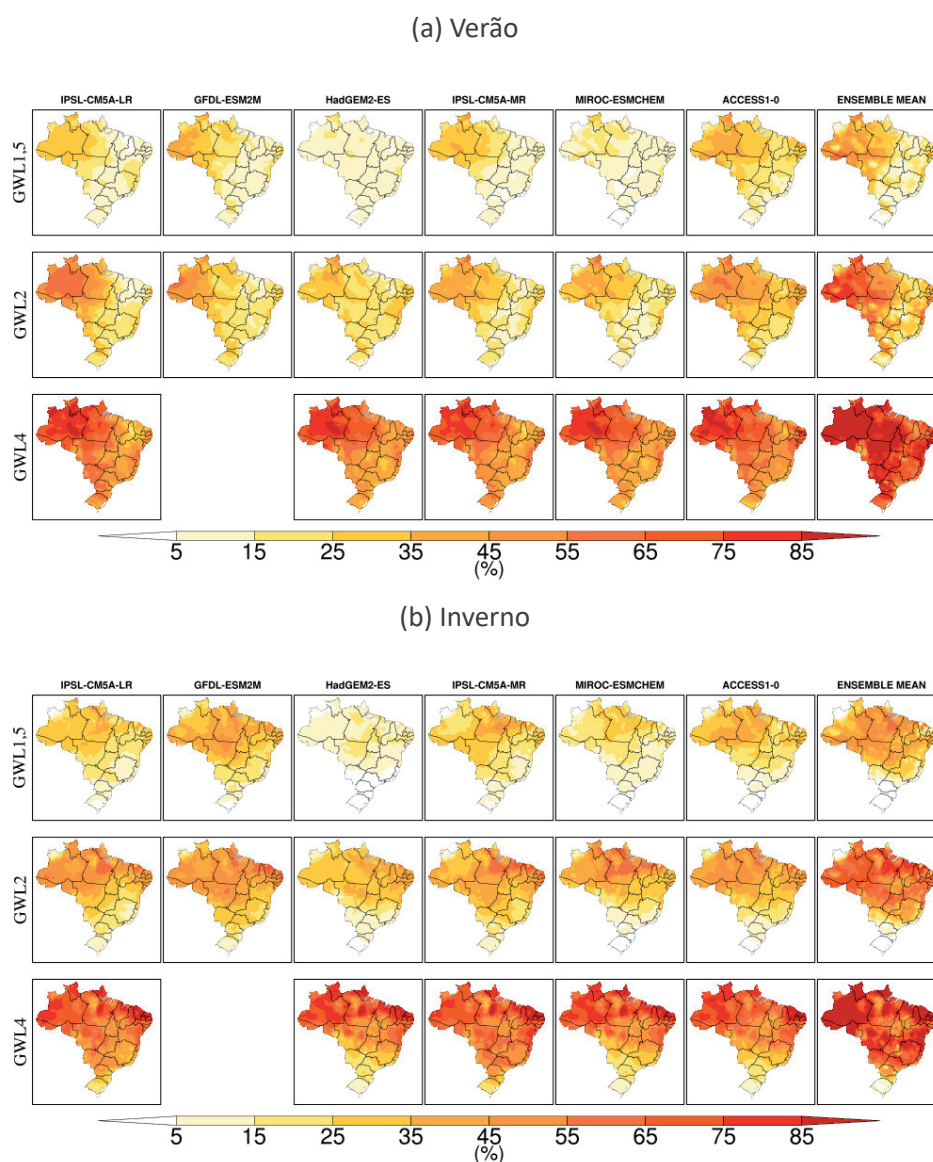
Em contrapartida, nas demais áreas do País, há uma indicação de aumento significativo, cujo padrão é observado em todos os GWLs. Já durante o inverno (Figura 6b), a ocorrência desses extremos se estende por toda a região Norte e Sul. Entretanto há uma maior dispersão entre as projeções dos modelos, principalmente no GWL 1,5 e 2 para áreas do leste da Região Centro-Oeste e norte da Região Sudeste. Para o sul da Região Sudeste e a Região Sul do Brasil, a predominância de aumento no percentual de precipitação intensa é verificada na maioria dos modelos, indicando que essas regiões poderão apresentar um risco maior de ocorrência de enchentes, inundações e alagamentos.



**Figura 6 |** Projeções de extremos climáticos: variação da precipitação máxima acumulada em 5 dias – RX5day (%) em relação ao período de referência (1981-2010) para o GWL 1,5, GWL2 e GWL4 no verão (a) e inverno (b) para cada experimento realizado com o modelo HadGEM3-A.

Fonte: Projeto Helix.

As análises de temperaturas mínimas e máximas anuais apresentadas nas Figuras 3 e 4, respectivamente, não estabelecem como serão distribuídas as alterações associadas ao aumento da temperatura, isto é, não fica evidente se irão aumentar o número de dias quentes e/ou de noites menos frias. De todo modo, observa-se nos resultados das projeções de dias quentes (Figura 7), um aumento significativo nesse indicador. E, ao se analisar de forma individual cada nível de aquecimento abordado, nota-se uma variação de 15% a 35% no GWL1,5, principalmente na Região Norte durante o verão (Figura 7a), e nas regiões Norte e Nordeste no inverno (Figura 7b). No GWL2 o padrão espacial é de 25% a 65%, com grande destaque para a Região Norte, enquanto no GWL4 o aumento no número de dias quentes ultrapassa os 75% nas regiões supracitadas para as estações analisadas.



**Figura 7 |** Projeções de extremos climáticos: aumento de dias quentes – TX90p (%) em relação ao período de referência (1981-2010) para o GWL1,5, GWL2 e GWL4 no verão (a) e inverno (b) para cada experimento realizado com o modelo HadGEM3-A.

Fonte: Projeto Helix.

Entre as conclusões divulgadas no quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas – AR5 (IPCC, 2013), destaca-se a do relato no qual os processos que afetam o clima podem apresentar considerável variabilidade natural, exibindo variações de recorrentes a imprevisíveis, em diferentes escalas de tempo e espaço. Com isso, as variabilidades naturais do clima



ocorrem em amplo espectro temporal, desde as escalas sazonais até dezenas de milhares de anos, resultando em múltiplos estados do clima, os quais podem ser exemplificados, seja pelos estágios dos ciclos glaciais (dezenas de milhares de anos) ou mesmo pela variabilidade interna associada ao El-Niño Oscilação Sul (Enso) na escala de tempo interanual. Mudanças no estado básico do clima resultam na alteração da variabilidade interna do sistema climático, o qual é controlado pelas complexas interações entre os componentes do sistema terrestre (atmosfera, oceanos, criosfera e biosfera) e forçantes externas (ex.: variabilidades orbitais e atividade solar).

Desse modo, as relações entre a variabilidade natural, as forçantes climáticas externas e internas (como a variabilidade oceânica em grande escala) e suas interdependências revelam a complexidade da dinâmica do sistema climático, cujo entendimento é crucial para a avaliação da mudança do clima devido às contribuições antropogênicas (como as emissões de gases de efeito estufa e mudanças das propriedades físicas da superfície), bem como para a predição do clima futuro. Nesse sentido, o IPCC-AR5 confirma que provavelmente a frequência e a intensidade de eventos extremos do clima aumentarão (ou seja, a variabilidade será intensificada), e que, portanto, modelos climáticos, com alta resolução espacial e temporal, devem ser usados para a realização de projeções futuras cada vez mais acuradas.

Por fim, apesar de não ser apropriado para algumas finalidades comparar diretamente os resultados aqui apresentados com os produzidos pelo IPCC com os modelos climáticos globais participantes do CMIP3 e CMIP5, por causa de suas naturezas distintas (como, por exemplo, resolução espacial e esquemas de parametrização) e metodologia de integração, é importante ressaltar que as projeções aqui analisadas estão bastante consistentes com aquelas apresentadas em seus relatórios, bem como trabalhos de mudanças climáticas que utilizaram a técnica de *downscaling* dinâmico, como em Chou et al. (2014), Marengo et al. (2012), Reboita et al. (2014) e Solman et al. (2013).

## 4 CONCLUSÃO

Neste estudo, foi realizada uma análise, para todo o território brasileiro, das projeções futuras de precipitação, temperatura e índices de extremos climáticos associados a essas variáveis. Para tanto, as análises das projeções foram tratadas por níveis de aquecimento médio global (GWL) de 1,5°C, 2°C e 4°C, utilizando as simulações climáticas do modelo global HadGEM3-A (projeto Helix).

As projeções indicam aumento de temperatura (mínima e máxima) sobre todas as regiões do Brasil, sendo esse aumento igual ou superior ao GWL analisado, ou seja, as mudanças regionais de temperaturas ultrapassam a média global de aquecimento em cada nível abordado (1,5°C, 2°C e 4°C). As regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste apresentaram as maiores alterações quanto ao aumento de temperatura. Nessas regiões, as projeções de extremos climáticos de temperatura máxima também apresentaram as alterações mais severas, principalmente para as regiões Norte e Nordeste e no GWL4, nível de aquecimento de maior impacto, no qual um aumento superior a 75% no número de dias quentes é verificado nessas regiões para as duas estações sazonais analisadas (verão e inverno).

Em relação às projeções de precipitação, os padrões de mudanças são aproximadamente similares entre os diferentes níveis de aquecimento, divergindo somente em magnitude. Nesse caso, à medida que se aumenta o nível de aquecimento, as mudanças projetadas se intensificam. De modo geral, as projeções mostram uma redução de precipitação sobre grande parte da Amazônia (15% a 30%), enquanto no Sudeste e Sul do País nota-se um aumento, o qual é mais intenso no GWL4, com incremento na precipitação anual da ordem de 25%.

As diferentes projeções também indicam um aumento nos eventos extremos de seca, principalmente no norte da Região Norte e no norte e semiárido da Região Nordeste. Isso é verificado em todos os GWLs, em especial durante a estação de inverno. Por outro lado, a maioria das simulações projeta um aumento na ocorrência de eventos extremos de precipitação para o sul da Região Sudeste e Sul do

País, indicando que essas regiões apresentam as maiores suscetibilidades ao aumento do número de ocorrência de enchentes, inundações e alagamentos.

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao Dr. Richard Betts, Dr. Chris Jones e toda a equipe do projeto Helix e do *Met Office Hadley Centre* pela ajuda e na disponibilização dos experimentos utilizados neste trabalho. Agradecemos também à Coordenação de Mudanças Climáticas do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) do Brasil, pelo apoio institucional. Estendemos nossos agradecimentos ao Projeto BRA/16/G31 do Pnud e do CNPq (Processo 443807/2018-3).

## REFERÊNCIAS

AMBRIZZI, T. et al. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: projeções de clima usando três modelos regionais.** Ministério do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF). Diretoria de Conservação da Biodiversidade, 2007.

AMBRIZZI, T. et al. The state of the art and fundamental aspects of regional climate modeling in South America. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1436, n. 1, p. 98-120, 2019.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Terceira comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima.** Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. MCT, Brasília, DF, Brasil, p. 79, 2016.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, v. 15, n. 17, p. 2377-2394, 2002.

CAVALCANTI, I. F. A. et al. Global climatological features in a simulation using the Cptec – COLA AGCM. **Journal of Climate**, v. 15, n. 21, p. 2965-2988, 2002.

CHOU, S. C. et al. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 5, p. 512-525, 2014.

CHOU, S. C. et al. Evaluation of the eta simulations nested in three global climate models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 05, p. 438, 2014.

DÉQUÉ, M. et al. A multi-model climate response over tropical Africa at +2°C. **Climate Services**, v. 7, p. 87-95, 2017.

DUNN, R. J. H. et al. Development of an Updated Global Land in Situ-Based Data Set of Temperature and Precipitation Extremes: HadEX3. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 125, n. 16, 2020.

ESCOBAR, G. C. J.; MATOSO, V. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS): definição prática segundo uma visão operacional. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2018, Maceió. **Anais...** Maceió-AL, 2018.

EYRING, V. et al. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. **Geoscientific Model Development**, v. 9, n. 5, p. 1937-1958, 2016.

FLATO, G. et al. Evaluation of climate models. In: **Climate change 2013: the physical science basis.** Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2014. p. 741-866.

FRICH, P. et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, v. 19, n. 3, p. 193-212, 2002.

FUNK, C. et al. The climate hazards infrared precipitation with stations – a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, n. 150066, 2015.

GIORGI, F.; MEARNS, L. O. Introduction to special section: regional climate modeling revisited. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 104, n. D6, p. 6335-6352, 1999.

IPCC. **Climate Change 2013: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. STOCKER, T. F. et al. (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

IPCC. **Global Warming of 1.5°C**. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty MASSON-DELMOTTE, V. et al. (Ed.). In Press.

JAMES, R.; WASHINGTON, R. Changes in African temperature and precipitation associated with degrees of global warming. **Climatic change**, v. 117, n. 4, p. 859-872, 2013.

JONES, R. G. et al. **Generating high resolution climate change scenarios using Precis**. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, v. 40, 2004.

LENNARD, C. J. et al. On the need for regional climate information over Africa under varying levels of global warming. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 6, p. 060401, 2018.

LIEBMANN, B. et al. An observed trend in central South American precipitation. **Journal of Climate**, v. 17, n. 22, p. 4357-4367, 2004.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T. Use of regional climate models in impacts assessments and adaptations studies from continental to regional and local scales. In: **Proceedings of**, 2006. p. 291-296.

MARENGO, J. A. et al. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**, v. 98, n. 3-4, p. 509-529, 2010.

MARENGO, J. A. et al. Assessment of regional seasonal rainfall predictability using the Cptec/COLA atmospheric GCM. **Climate Dynamics**, v. 21, n. 5-6, p. 459-475, 2003.

MARENGO, J. A. et al. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta Cptec/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 1829-1848, 2012.

MARENGO, J. A. et al. Future change of climate in South America in the late XXI Century: intercomparison of scenarios from three regional climate models (2009) **Climate Dynamics**. doi:10.1007/s00382-009-0721-6, v. 10.

MORICE, C. P. et al. Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: the HadCRUT4 data set. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 117, n. D8, 2012.

NAUMANN, G. et al. Global changes in drought conditions under different levels of warming. **Geophysical Research Letters**, v. 45, n. 7, p. 3285-3296, 2018.

NIKULIN, G. et al. The effects of 1.5 and 2 degrees of global warming on Africa in the Cordex ensemble. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 6, p. 065003, 2018.

PAL, J. S. et al. Regional climate modeling for the developing world: the ICTP RegCM3 and RegCNET. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 88, n. 9, p. 1395-1410, 2007.

PBMC. **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. AMBRIZZI, T.;

ARAUJO, M. (Ed.). Coppe. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 p.

PISNICHENKO, I. A.; TARASOVA, T. A. **The climate version of the Eta regional forecast model**. 2. Evaluation of the Eta CCS model performance against reanalysis data and surface observations. Disponível em: <arXiv preprint arXiv:0901>.1461, 2009.

REBOITA, M. S. et al. Evidências de Circulação de Brisa Vale-Montanha na Serra da Mantiqueira: Cidade de Itajubá-MG. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 1, p. 61-71, 2014.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

RICHARDSON, K.; BRADSHAW, C. **Assessment of the impacts of climate change on national level food insecurity using the Hunger and Climate Vulnerability Index**. University of Exeter, 2017.

SATYAMURTY, P. et al. Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 99, n. 1-2, p. 139-148, 2010.

SCHWINGSHACKL, C.; HIRSCHI, M.; SENEVIRATNE, S. I. Global Contributions of Incoming Radiation and Land Surface Conditions to Maximum Near-Surface Air Temperature Variability and Trend. **Geophysical research letters**, v. 45, n. 10, p. 5034-5044, 2018.

SILVA, J. P. R.; REBOITA, M. S.; ESCOBAR, G. C. J. Caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul em Campos Atmosféricos recentes. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

SIMMONS, A. J. et al. A reassessment of temperature variations and trends from global reanalysis and monthly surface climatological datasets. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 143, n. 702, p. 101-119, 2017.

SOLMAN, S. A. et al. Evaluation of an ensemble of regional climate model simulations over South America driven by the ERA-Interim reanalysis: model performance and uncertainties. **Climate Dynamics**, v. 41, n. 5-6, p. 1139-1157, 2013.

VUUREN, D. P. van et al. RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. **Climatic Change**, v. 109, n. 1-2, p. 95-116, 2011.

VAUTARD, R. et al. The European climate under a 2°C global warming. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 3, p. 034006, 2014.

WALTERS, D. et al. The Met Office unified model global atmosphere 6.0/6.1 and Jules global land 6.0/6.1 configurations. **Geoscientific Model Development**, v. 10, n. 4, p. 1487-1520, 2017.

WBGU. **Scenario for the derivation of global CO2 reduction targets and implementation strategies**. WBGU, Bremerhaven, Germany. 1995.

WYSER, K. et al. **Documentation of changes in climate variability and extremes simulated by the Helix AGCMs at the 3 GWLs and comparison in equivalent SST/SIC low-resolution CMIP5 projections**. HELIX Project Deliverable 3.1. 2017.

# Adaptation opportunities for water security in Brazil

## *Oportunidades de adaptação para a segurança hídrica no Brasil*

Vânia Rosa Pereira<sup>a</sup>

Daniel Andrés Rodríguez<sup>b</sup>

Sonia Maria Viggiani Coutinho<sup>c</sup>

Diogo Victor Santos<sup>d</sup>

José Antônio Marengo<sup>e</sup>

<sup>a</sup> PhD in Geography, State University of Campinas, Campinas, SP, Brazil  
E-mail: rosa.vania@gmail.com

<sup>b</sup> PhD in Meteorology, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: daniel.andres@coc.ufrj.br

<sup>c</sup> PhD in Sciences, University of São Paulo, São Paulo, SP, Brazil  
E-mail: scoutinho@usp.br

<sup>d</sup> Ministry of Science, Technology and Innovations (MCTI), Brasília, DF, Brazil  
E-mail: diogo.santos@mctic.gov.br

<sup>e</sup> Center for Monitoring and Early Warnings of Natural Disasters - Cemaden, São José dos Campos, SP, Brazil  
E-mail: jose.marengo@cemaden.gov.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33858

Received: 12/12/2020  
Accepted: 10/11/2020

ARTICLE – DOSSIER

*Data and results presented in this article were developed under the project of the “Fourth National Communication and Biennial Update Reports of Brazil to the Climate Convention”, coordinated by the Ministry of Science, Technology and Innovations, with the support of the United Nations Development Programme and resources of the Global Environment Facility, to which we offer our thanks.*

### **ABSTRACT**

We sought to identify priorities and adaptation opportunities for water security across the various Brazilian biomes. With ever-growing demand and water-usage, future climate scenarios suggest that further water resources management constraints are to be endured throughout the next two decades.



The unbalance between high-quality water demand and availability in a multisectoral usage context (e.g., domestic, industry, agribusiness) highlights the socio-ecological Nexus+ concept's relevance. In this context, the political and cross-institutional articulation and flexibility play a significant role in steering adaptive actions. These challenges in defining action plans, adequately addressed at a multiscale level with inherent climatic uncertainties, are yet to be overcome in Brazilian water resources management.

**Keywords:** Water security. Climate change. Nexus+. Adaptation opportunities. Brazilian biomes.

## RESUMO

*Neste trabalho buscamos identificar as questões prioritárias e as oportunidades de adaptação para a segurança hídrica nos diferentes biomas brasileiros. A redução da disponibilidade hídrica prevista em cenários de clima futuro, as projeções crescentes de retirada para os próximos 20 anos e os conflitos de uso múltiplo da água atuais, indicam um cenário de amplificação dos desafios já existentes no futuro próximo. Os desbalanços entre demanda e disponibilidade de água com qualidade num contexto multissetorial evidenciam a abordagem nexus+ água-alimento-energia-socioambiental. Neste contexto, a articulação e flexibilidade político-institucional destacam-se como questões centrais para direcionar ações de adaptação. A articulação entre diferentes instituições e políticas públicas em abordagem multiescalas (municipal, de bacias hidrográficas, estadual e federal), assim como a consideração da incerteza climática nas ações de planejamento, ainda são desafios a serem superados na gestão dos recursos hídricos.*

*Palavras-chave:* Segurança hídrica. Mudanças climáticas. Nexus+. Oportunidades de adaptação. Biomas brasileiros.

## 1 INTRODUCTION

Water is a minimum requirement for life and capital goods, so its scarcity or excess can become a source of destruction, poverty, and conflict. Water security understanding goes beyond water deficit assessments since the problems associated with water resources are highly intricate (BOELEN et al., 2014). It evolves economic, social, health, and environmental aspects. Given the multidimensional water security character, its approach requires a transdisciplinary view through the socio-ecological system (LIEHR et al., 2017).

The literature presents a wide range of concepts for water security, depending on the purpose, focus, and scale of analysis (COOK & BAKKER, 2012). The common point of these concepts is meeting the basic needs for human survival and ensuring water quantity and quality. Attentive to the processes of global environmental change, holistic views adopt concepts that integrate human needs with environmental protection, i.e., ecosystems, public health, and disaster risk management that has water as a vector (UN WATER, 2013; WATERAID, 2012; WWC, 2013, OECD, 2013, VAN BEEK & ARRIENS, 2014).

In this work, the water security is conceptualized as the availability of an acceptable quantity and quality of water for health, livelihoods, ecosystems, and production coupled with an acceptable level of water-related risks to people, environments, and economies (GRAY & SADOFF, 2007).

The nexus concept addresses the interdependencies between water-energy-food subjects, emerging as a response to anthropogenic climate change (AGRAWAL & LEMOS, 2015; ENDO et al., 2017; FROESE & SCHILLING, 2019; HOFF, 2011). The nexus + approach, adopted in this work, adds socio-environmental issues to the water-food-energy relationship, considering that socio-environmental inequalities increase the vulnerability and exposure of societies (MILHORANCE AND BURSZTYN (2019); ARAÚJO et al. (2019); BOELEN et al., 2014; COUTINHO et al., 2020). Adaptation actions are the adjustments that society needs to make in facing the climate change effects.

The directions for adaptation policies to explore opportunities and minimize the risks and impacts of climate change depends on the society's vulnerability and exposure levels. Also, consider and identify synergies and trade-offs between adaptation options (LEMOS et al., 2016) helps to guide the actions. Water, food, energy, and socio-environmental security are related to the availability, access, and fair distribution of these resources. Environmental protection and economic development involve political, circumstances, and institutional issues (SIMPSON & JEWITT, 2019).

In this perspective, to achieve water security, it is necessary to build adaptation capacity (LEMOS et al., 2016) and balance human needs for consumption and development. At the same time, ensure the maintenance of biodiversity and ecosystem services.

This paper seeks to identify and prioritize water security adaptation issues and opportunities in different Brazilian biomes according to the nexus + approach.

## 2 VULNERABILITY AND IMPACTS OF CLIMATE CHANGE FOR WATER SECURITY

### 2.1 THE RELEVANCE OF WATER SECURITY IN BRAZIL

The hydrographic basin climate and hydrological regime steer the economy and the Brazilian population's lifestyles. Economic activities, such as agriculture, industry, and electricity production, are dependent on the climate, water availability, and water quality in the region where they are developed (PBMC, 2014). The high population density combined with the water resources demands and the pollution challenges can generate conflicts of use due to their quality and quantity unbalance. Among the 73 Metropolitan Regions and the 07 Integrated Development Regions (RIDEs) in Brazil, 28 have more than 1 million inhabitants and add up to a total of 98.7 million inhabitants, representing 47.3% of the Brazilian population (IBGE, 2018). São Paulo and Rio de Janeiro alone – the two largest Brazilian megacities - have more than 18 million people. Only 63.5% of the Brazilian population uses sewage services managed safely, including facilities for washing hands with soap and water (ANA, 2019).

Water use demand in Brazil is steadily growing, with an increase of approximately 80% in the total withdrawn in the last two decades. Withdrawals for multiple water users, including economic activities, may increase by 24% in Brazil, in 2030, compared to 2017 (ANA, 2018).

Crop irrigation accounts for 52% of the withdrawal flow and 68.4% of the consumed flow, which places it as the highest used activity (ANA, 2018). Taking the 2015 estimates as a starting point, incorporating 3.14 million hectares of irrigated crops is projected, bringing the country closer to the total area of 10.09 million hectares irrigated in 2030 (ANA, 2017).

There is also a demand for electricity production since Brazil is one of the world's largest hydraulic electricity producers. In 2018, the country registered 66.6% of the domestic electricity supply based on hydraulic sources (MME, 2019).

The Brazilian regions have heterogeneous climatic and socio-environmental water resource contexts. Some regions have historically lived with droughts, such as the Brazilian semi-arid region. In contrast, others have demand that exceeds water systems' capacity due to population pressure, such as the Southeast.

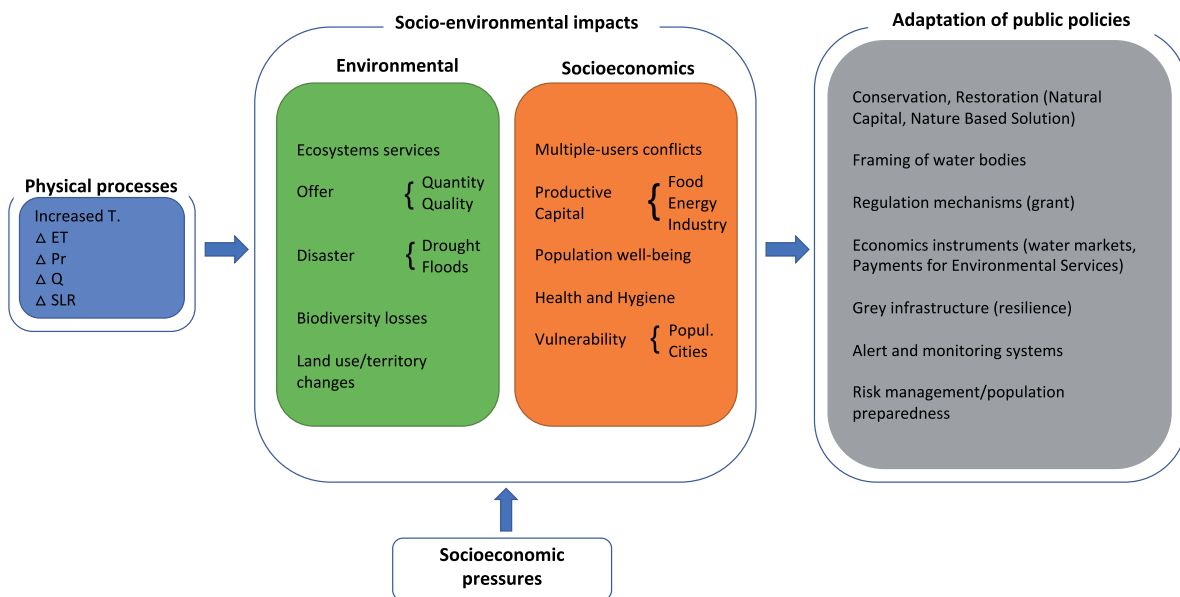
Ecosystem services such as fish farming, water supply, and recreation are connected to the hydrological cycle in the basin-scale for water purification, retention, and climate regulation. Sustainable water resources management and use are linked to ecosystem services (GRIZZETTI et al., 2016) since aquatic ecosystems enable vast biodiversity and are sources of inspiration, income, nutrition, and food

security. Ecosystems services represent a Brazilian cultural heritage, therefore being part of the critical components to consider in the natural resource management and conservation actions (BPBES, 2020).

The anthropic pressure in the Caatinga, Cerrado, Atlantic Forest, and Amazon biomes alter the ecosystem's balance, affecting their services (JOLY et al., 2019). The ecosystem's alterations can lead to situations of a tipping point, i.e., in which it can no longer regenerate (NOBRE et al., 2016; SAMPAIO et al., 2019).

## 2.2 WATER SECURITY AND CLIMATE CHANGE: IMPACT CHAIN

Climate change results in physical process alterations that, in turn, trigger socio-environmental impacts, putting at risk the well-being and population lifestyle that organizes itself in order to adapt public policies (Figure 1).



**Figure 1 |** Impact chain of water security and adaptive responses in public policies related to climate change. Delta (D) represents the physical processes variation resulting from climate change, i.e., alterations in evapotranspiration (ET), precipitation (Pr), flow rate (Q), and sea level rise (SLR).

Source: Prepared by the authors.

The variability, seasonality, and intensification of the physical process - i. e., precipitation pattern, potential evapotranspiration, river flow, biogeochemistry of water bodies and oceans, and sea level rise - are the most preeminent climate change effects on the hydrological cycles (MAGRIN et al., 2014). Environmental impacts result in changes in the water supply and its quality, the frequency and magnitude of extreme events, soil loss, the alteration/destruction of its territories, and biodiversity. These environmental impacts affect the general well-being, health, and hygiene conditions and interfere in productive capacity and exacerbate conflicts over water resources, triggering and deepening water crises. Consequently, current public policies may prove insufficient or even inadequate to deal with current and future challenges. Thus, they should be prone and flexible to adapt and mitigate the new reality's side effects.

## 2.3 CLIMATIC IMPACTS OBSERVED IN BRAZIL

The drought or dry season events caused Emergency Situation or Public Calamity State declarations at least once in 51% of Brazilian municipalities between 2003 and 2015. Also, 48% of the municipalities

declared an emergency or public calamity due to floods at least once between 2003 and 2017 (ANA, 2018). The Northeast, South, and Southeast regions placed about 89% of these municipalities that suffered from flood events. However, prominent events have occurred in other regions, such as the North.

The Northeast's semi-arid region has experienced the sequence of most extended and intense droughts in recent decades since 2010 (MARENGO et al., 2017; MARENGO, ALVES, et al., 2018). Brito et al. (2018) identified that all states in northeastern Brazil's semi-arid region, in a 36-year interval between 1981 and 2016, were affected by droughts in approximately more than half of the analyzed interval. Brito et al. (2018) also highlight the occurrence of more frequent, prolonged, and severe droughts in the most recent period, between 2011 and 2016.

The municipalities of Caatinga and Cerrado recorded the highest numbers of droughts between 2003 and 2015. About 80% of the people affected by droughts in 2017 live in the Northeast Region. Bahia, Ceará, and Pernambuco accounted for 55% of people affected in the country. The water rationing in 2017 recorded the highest average number of people affected by events in the federal capital's water crisis (ANA, 2018).

In April 2018, the criticality in urban supply decreased. However, water sources' depletion still collapsed 34 cities in Bahia, Ceará, and Paraíba (ANA, 2018).

The combination of longer dry seasons and delayed onset of rains increased the risk of extreme droughts and forest fires in the Amazon region. Episodes of drought in the years 2005, 2010, and 2016 have influenced the frequency of forest fires and carbon balances (ARAGÃO et al., 2018; MARENGO, SOUZA, et al., 2018), with high mortality rates of trees (BRIENEN et al., 2015).

In the Cerrado, the low precipitation rates at the end of 2016 impacted the Federal District's main supply reservoirs' storage. A 70% drop in agricultural production and a 30% drop in the planted area increased up to 100% in food goods were registered.

In the Tocantins River basin, since 2012, the volume stored in the reservoirs has been decreasing. In 2017, the Serra da Mesa reservoir reached just under 6% of its useful volume, registering the lowest observed value.

The prolonged drought in the Southeast in 2014 caused vast impacts that affected several sectors. The industry's production capacity, crop yields, hospitals, and schools' operation were compromised (NOBRE et al., 2016). Agricultural products and commodities, such as sugar cane, coffee, beans, and oranges, registered production losses. The sugarcane harvest, for example, had a 5% reduction.

The rain shortage in 2014 and 2015 in the Southeast Region also affected activities on the most critical waterways in the country, in terms of values and volumes transported (ANA, 2019). The lack of demolition works and reduced defluent flow rate paralyzed the Ilha Solteira and Três Irmãos waterways from 2014 to 2016.

The floods affected 2716 Brazilian municipalities between 2003 and 2018 (ANA, 2019). The highest frequencies of flood events were recorded mainly in the Northeast, South, and Southeast regions. The floods affected about 1 million people in Brazil in 2018. The most noticeable human damage due to the floods is the loss of the affected persons' homes. More severe damages (deaths, disappearances, illnesses, and injuries) affected less than 5% of these people.

In the South of Brazil, a sequence of extreme precipitation events caused severe floods and landslides in 2008 in the Itajaí River Valley. The event affected around 1.5 million people from Santa Catarina, with 135 dead and 80,000 displaced. The low-income populations were the most affected, showing the relationship between the disaster impacts and the regional development condition (AVILA & MATTEDI, 2017).

In 2014, a historic flood on the Madeira River isolated the state of Acre from Brazil for about 30 days. The floods hit the main highway and caused shortages in the cities, loss of production of the riverside population, and increased diseases transmitted by water contamination such as leptospirosis (FRANCA & MENDONÇA, 2015).

## 2.4 CONDITIONING FACTORS FOR WATER SECURITY IN BRAZILIAN BIOMES

The current environmental and socioeconomic status for each Brazilian biome constitutes conditioning factors for their climate change impacts and vulnerability. The populous cities, limited sanitation services and access to water in quantity and quality, and anthropic pressures on ecosystems related to urban and agricultural expansion are potential barriers to achieving water security.

The Brazilian Amazon biome is deficient in infrastructure and sanitation services. Besides, the legal water resources management instruments, such as state plans (PERHs) and river basin committees (CBHs), are still in the initial development stage, when they are not wholly absent. According to ANA (2019), concerning PERHs, Amazonas, and Pará, they are still being contracted, and Amapá does not yet have them. The state of Amazonas has 2 CBHs, while Amapá, Rondônia and Acre have none. This biome also stands out for its incipient water quality monitoring gauges. These deficiencies reveal a critical situation of weak regional governance to deal with and know the impacts of extreme drought and flood events. The region may become even more vulnerable in the face of climate change considering socioeconomic pressures such as the current deficit in infrastructure, sanitation, monitoring gauges, deforestation, poverty, and traditional people lifestyle.

The Free Economic Zone of Manaus is an industrial hub responsible for 1.4% of the national GDP and makes intense use of the Alter do Chão Aquifer system (AAC). A reduction in its water level due to a scenario of overexploitation was identified, considering the economic and environmental aspects (SARAIVA, 2017).

In the Cerrado, the relationship between supply and demand is currently alarming, as it has intensive water withdrawals from ground and surface for crop irrigation. The Midwest placed the largest expansion of irrigated areas in the country between 1996 and 2015 and quadrupled its irrigated area to 1.2 million hectares (ANA, 2017). The limited accessibility to sewage services, especially rural sanitation, the nonpoint source pollution, and groundwater contamination, is considered the current context's vulnerabilities (ANA, 2019). Climate change can amplify the current risks of growing demand and losses in biodiversity.

The pressures caused by the population increase in the Guarani Aquifer indicate a probable increase in exploration in the long term, which can cause the decrease of its water level and, consequently, influence the operational conditions of the existing wells, causing conflicts (BOICO & WENDLAND, 2018).

The Caatinga presents the worst situation in terms of water resources availability in the current context. Water exploration is critical and requires intense management activity and large investments in infrastructure. This situation is due to its natural water deficit and anthropic pressure with intense withdrawals from the big urban centers and the irrigated agriculture hubs. Because the socioeconomic pressures such as the current deficit in infrastructure and sanitation, associated with poverty, and the significant dependence on family farming, the region may become even more vulnerable in quality and water quantity (MARENGO et al., 2020).

The Atlantic Forest has satisfactory water security conditions compared to other biomes. However, in its large metropolitan centers, water exploration is considered critical, requiring intense management activity and large investments. The integrated water supply systems, which serve several municipalities and development hubs interconnected and simultaneously adds complexity to planning in this biome.



The conditions to water quality and security in the face of extreme flood events are still limited and well below world averages. Socioeconomic pressures, such as social inequality; deficient infrastructure, especially urban drainage; irregular occupations; high production and consumption; and agricultural activities, place the biome in a vulnerable situation in climate change scenarios (SCARANO & CEOTTO, 2015). These pressures can increase episodes of floods and landslides and waterborne diseases, as well as crop losses.

In the Pantanal, although its currently high water availability, there are deficits in infrastructure, sanitation services, and water quality monitoring and control that impose an alert situation for water security (TOMAS et al., 2019). The legal instruments for water resources management, such as state plans and river basin committees, are still in an initial development stage and reveals a situation of fragility in regional governance.

Pampa biome has high water availability in the current climate context, accessibility to sanitation services above the average of other biomes, and water resource management instruments in action. However, socioeconomic pressures, such as increasing demand for agricultural production, especially the irrigated rice crops, lack of clear policy for nonpoint pollution control, and groundwater contamination potential, are the flaws under climate change. Extreme drought and flood events show that impacts related to floods and water quality changes, such as conflicts over multiple water use and biodiversity losses, can be amplified (RIBEIRO NETO et al., 2016; BPBES, 2020).

The Brazilian coastline is susceptible to sea level rises and more intense hangovers. This portion of the territory has been affected by increased erosion and coastal flooding. Asset losses, services restrictions, reduced livable spaces, marine intrusion, and biodiversity and fishery production losses are examples of the associated impacts. The water quality changes due to saturation and salinization that flow into the coast are at risk (PBMC, 2017).

The Atlantic Forest, Cerrado, and Amazon biomes place the vulnerable Protected Areas (PA) in size, native vegetation cover, and climate-driven vegetation transition (Lapola et al., 2019), so they should be prioritized to test potential adaptation strategies.

### 3 PRIORITY ISSUES FOR ADAPTATION

Brazil has specific legislation and institutions to deal with its water resources and has projects and programs aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs). However, the legislation and instrument's implementation do not consider the climate change effects. In this context, political and institutional flexibility, articulation, and multistakeholder participation in all scales (municipal, river basin, state, and federal) stand out as a central issue to direct adaptation actions to face climate change. The management of multiple water use with a planning system that considers and serves all actors and users of a watershed is still deficient. So far, river basin management has proved to be incipient in dealing with upstream-downstream conflicts regarding access and water quality equity. There is also regional heterogeneity in institutional capacity. There is no mobility and access to services in parts of the Amazon biome and sometimes even food for the riverside population when significant floods and droughts occur. The elaboration and implementation of state and river basin plans are still an institutional challenge. In the Caatinga, Pantanal, Cerrado, and Atlantic Forest biomes, most of the territory already has water resources plans, programs, and basin committees. However, the existing institutional structure was insufficient to avoid the recent water crises' impacts and conflicts. The management instruments still need to be implemented, as is the case with basin plans in the Caatinga basins. The worst fire scenario was registered since its monitoring in mid-2020 at the Pantanal. The absence of the traditional flood at the beginning of the year and the lack of dialogue between monitoring and institutional action contributed to the Pantanal's devastation scenario. The plans and programs implemented in the Atlantic Forest could not avoid the problems and conflicts in water supply in the 2014 intense drought.

Throughout the national territory, the difficulty of articulation between existing legislation persists, such as municipal master plans, agro-ecological zoning, and legislation on land use and occupation. Also, institutions, existing public policies, and the different actors involved in their different action levels still need to connect themselves. A multistakeholder governance system is essential for the water management evolution and efficiency in order to avoid water crises and minimize the damage of extreme events and increase in sea levels (ARAUJO et al., 2019; LEMOS et al., 2020; MILHORANCE et al., 2020; MILHORANCE & BURSZTYN, 2019).

The water quality and quantity monitoring network (surface and underground) improvement and expansion would support pollution control, especially in distant urban centers and rural areas. The institutional improvement and strengthening to assure the services continuity and standardization represents the base to expand the services in remote areas and avoid the current data generation's interruption.

The water access infrastructure needs to be expanded, especially in parts of the country with a semi-arid climate and a high population concentration. Implementing water supply reservoirs to store water and prevent water shortages and collapse caused by rainfall variability is considered a relevant adaptation action.

The premise of water as an abundant natural resource acts as a pressure factor for water systems—even water scarcity existing for the current and future situations. Water losses occur mainly in the leaking of water distribution pipes, industrial and agricultural system waste, especially in the irrigation systems, such as the central pivot. Reducing water losses can be considered an adaptation priority issue since it optimizes and reduces the resources used.

Limited and sometimes almost absent, the current sanitation services access places Brazil in a vulnerable situation. It directly influences water potability and affects the various social sectors. A climatic uncertainty situation will likely amplify this vulnerable condition. Thus, provide sanitation universalization services is an urgent issue for adaptation priorities. Sanitation influences health conditions, economic development, and the environment and, once implemented, brings direct benefits with no regrets to society.

#### 4 ADAPTATION OPPORTUNITIES

The primary water resources challenge to deal with climate change is to ensure the already existing management instruments' efficiency. It demands a management system designed for a dynamic, diverse, and non-stationary climate system instead of a static one. The National Adaptation Plan PNA (MMA, 2016) suggests adopting essential practices to promote management instruments' effectiveness and deal with climate changes:

- Integrate water bodies regulation goals and municipal sanitation plans
- Expand clean-up actions financing routes
- Frame water bodies regulation considering future climate scenarios
- Expand and update water quality monitoring standards
- Connect the licensing and water grant agencies for shared water bodies regulation goals

Connect, integrate and articulate stakeholders in plans and program implementation in a multiscale perspective is an action that supports adaptation policies. At the municipal scale, environmental governance systems proved to be effective and reduced deforestation in the Amazon (FERREIRA COSTA, 2020).

The Brazilian Water Law is designed based on the stakeholder's integration at the local, state, and federal levels. Its effectiveness fails when this integration does not occur. Consequently, a necessary adaptation action in Brazil is the institutional strengthening to guarantee its instruments' effectiveness.

Surface and groundwater quality and quantity monitoring is the core to provide water bodies control. It sets updated and adjustable parameters definition. Allows the establishment of goals considering priority and agreed upon between users of the hydrographic basins. The expansion of the current system to reach a well-established monitoring system provides the basis for dynamic and flexible management. It is a step forward to establish a reference flow for framing water bodies and adjustable decision-making.

Elaboration of contingency plans for droughts and floods, with long-term planning and periodically reviewed and constant updating of investment and financing plans, strengthen institutions' decision-making regarding risks.

Strengthening institutional capacity also improves confidence levels and allows other adaptation instruments implementation that promotes water security. The water markets and trade are instruments of adaptation (FGV-EAESP / FGVces, 2018). In Brazil, low levels of trust and confidence for impersonal transactions can restrict water rights markets to small, close and homogeneous groups.

Investing in water use efficiency actions to reduce water losses also prevents availability and demand water conflicts. It involves a broad context that includes improvements of urban network system measurement and crop irrigation techniques, legal requirements, and water reuse support in the various sectors.

The actions involving the water losses reduction in water supply systems are strategic for the decision-making process. It guarantees the company's sustainability and even competitiveness besides the benefits in several segments (economic, technological, energy, socio-cultural and environmental).

The rational water use promotes activity sustainability, efficiency increase, and waste reduction (ANA, 2017). The legal requirements and management instruments allow authorization for water use and the charging for the use.

The climate change projections indicate a water availability reduction for Caatinga, Cerrado, and Atlantic Forest biomes (RIBEIRO NETO et al., 2016). Also, they are considered the highest users of irrigation systems in the country. Investment in techniques to reduce water use in irrigation prevents overexploitation and water shortage.

Irrigated crops have a condition of water use elasticity, and the sector can quickly adapt the volumes withdrawn to existing availabilities and prevent conflicts. Water availability monitoring and prognostic for irrigation and the replacement of current technologies for higher water-efficient technologies would reduce the country's irrigation system's water withdrawal. Also, keep the contingency plans and soil conservation strategies with an impact on water production can help achieve this goal.

The increased pressure on water resources in the national territory puts the theme of water reuse in evidence. Reuse is defined here as the water previously used in some human activity, one or more times. The reuse supplies the need for other beneficial uses, including the original, and can be direct or indirect, and for planned actions or not.

Reuse techniques are applied in different regions of the world, especially in places like Israel, California-USA, Jordan, and Saudi Arabia. Israel and Jordan reuse more than 75% of the effluent flow for irrigation. California reuses 10% of the withdrawal flow, and Saudi Arabia reuses 30% of the municipal sanitary effluent after treatment. All locations mentioned have plans and targets for expanding reuse water for 2030.

Reuse represents a relevant alternative to reach the national legislation goals. However, it still needs clear guidelines and milestones at the national and local scale. The existing reuse policy resulted in few projects implementing at the national territory, even in basins considered critical. Brazil has 2 m<sup>3</sup> / s installed capacity for non-potable reuse and an expansion target of 13 m<sup>3</sup> / s by 2030. Israel already has 11 m<sup>3</sup> / s, and California has the goal to reach 50 m<sup>3</sup> / s by 2030 (MC-IIICA, 2017; NRC, 2012).

The current scenario highlights three main actions to expand the reuse in Brazil:

- Strength the leadership to define guidelines and implement the proposed reuse policy, starting with states with the current and projected most critical basins.
- Review the current legislation to improve the concept, objectives, goals, and Federal Government actions to reinforce the existing components.
- Project monitoring to review and incorporate new adjustments as needed.

The water infrastructure increment to enhance water supply and sanitation services is also considered an adaptation action. The current one is inadequate to meet all demands. The National Water and Sanitation Agency (ANA), in partnership with the Ministry of Regional Development (MDR), launched, in 2019, the National Water Security Plan (Plano Nacional de Segurança Hídrica -PNSH). It assesses the priority regions for structural interventions (Dams, Pipelines, Canals, and Integration Axes), with strategic and regional relevance to set a multi-users water supply. The plan also considers critical event risk mitigations (droughts and floods). The new sanitation framework (Federal Law No. 14,026, of July 15, 2020) alters previous structural conditions' rules. It indicates the commitment to define universalization goals in the contracts for the public sanitation services provision. The goal is to guarantee water supply access for 99% of the population with safe drinking water and 90% of the population with sewage collection and treatment until December 31, 2033.

However, watershed plannings to supply Metropolitan Regions should be treated as a State Policy (ANA, 2019), aiming for an integrated and permanent solution with multiple water use. It must further consider additional solutions like green infrastructure, demand management, and territorial occupation organization.

Natural systems such as forests, floodplains, and soils can contribute to water quality maintenance. It serves as an efficient containment/control mechanism for flood events. Green infrastructure can increase resilience, increase water quality, promote soil conservation, reduce costs and bring multiple benefits to society. It represents ecosystem-based adaptation (EbA). However, there are still challenges in identifying, defining, and evaluating green infrastructure to achieve the precision standards required in engineering works. The professionalization and systematization of green infrastructure is a need. It helps to set the solution and achieve its multiple benefits globally: i. e., the opposite context we have today.

The integration of green and gray infrastructures presents itself as an adaptation measure. It offers the potential to meet water security challenges in an extreme future climate context, helping to mitigate the extreme events of droughts and floods and the pressure for water demands in several sectors.

The integration of gray and green infrastructures - such as reservoirs and water treatment plants and reforestation in river basins and floodplains - generates synergies like increasing the water quality and reduced water treatment costs. New York City saved around 22% of its water treatment costs after implementing water supply programs based on the integration of gray and green infrastructure (Bloomberg & Holloway, 2018). In Brazil, the Vitória metropolitan region implemented a project to provide adequate water and sewage services based on river basin restoration and payment for environmental services. It estimates a net economic benefit of U\$ 13 to U\$ 18 million, with a return rate of 12% to 16%. Also, it saves approximately R\$ 15 million with the costs of inputs for water treatment and reduces the need for dredging in the port region over 30 years (Browder et al., 2019).

The green infrastructure complements the grey in urban floods. It reduces the speed and amount of water that reaches the ground and relieving urban drainage systems, typically overloaded in heavy rain events.

The forest maintains and increases the soil's water storage capacity, reducing the demand for crop irrigation and fertilizers, and serves as a mechanism for erosion and diffuse pollution control.

The forest protection is the core idea for the agricultural practices program recommended by the Brazilian Agricultural Research Corporation - Embrapa in all Brazilian biomes. The projects consist of a forest-crop-livestock integration production system adapted for tropical and subtropical climates.

## 5 FINAL CONSIDERATIONS

The nexus + approach guided us in highlighting non-regret adaptation opportunities to ensure water security in Brazil under climate change threads.

The first option is strengthening institutional capacity. It is considered an institutional and technological measure with a national scoping. The water quality and quantity monitoring subsidize the demand for regulations and flexibility to face climatic scenarios uncertainty. It guides the management and planning instruments for surface and groundwater control. Its implementation is considered the pillar to achieve sustainable development at the local scale. It supports the monitoring and guidelines definition regarding local and regional particularities. Climate simulations are also included in this option since they allow defining extreme climate horizons. The governments and population can plan contingency measures based on the long term scenarios.

The second option is the promotion of water use efficiency actions. It is considered a useful measure of structural, institutional, technological, and economic character. Efficient water use has direct economic and environmental gains, reducing water losses and waste and production and consumption costs. The Caatinga, Cerrado, Atlantic Forest and, Pampa biomes are the priorities due to their growing water demands.

The third option is to increase the water infrastructure to improve the water supply. It is a measure of structural and economic character with immediate effects. It highly depends on institutions that control and regulate the resource and frequent environmental education activities. It also depends on the creation of a scarcity culture and high climatic risk to protect ecosystem services. The consumption optimization measures, institutional regulation, and maintenance of ecosystem services are interconnected. If not, it is considered an incipient action in the long run. Its scope mainly involves the Caatinga and the municipalities that do not have supply reservoir systems.

The fourth option is the integrated green (EbA) and gray infrastructure implementation. It has structural, technological, and institutional nature. It also has human development and natural and economic resources management integration characteristics. Its scope is national, with a focus on urban and rural areas. The integration of green and gray infrastructure has the potential for multiple environmental and social benefits and synergies. Integration of local communities and ecosystem services maintenance and restoration keep water security in the long term.

Population firstly and strongly perceives the water climate change effects. With the likely changes in precipitation patterns and the river flow, the most impoverished populations are the most vulnerable. Nowadays, due to geographic issues or the lack of sanitation, they are exposed to water scarcity. Thus, this study presents a pragmatic set of information, reflections, findings, suggestions, and alternatives related to climate change and its impacts on water resources. We organized here some elements and guidelines for action that support decision-making in adaptation to climate extremes and climate changes.



## REFERENCES

- AGRAWAL, A., & CARMEN LEMOS, M. (2015). Adaptive development. **Nature Climate Change**, 5(3), 185–187. <https://doi.org/10.1038/nclimate2501>
- ANA. Atlas Irrigação. Agência Nacional de Águas, 2017.
- ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual, 2018.
- ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual / Agência Nacional de Águas. Agência Nacional de Águas, 100, 2019.
- ANA. **ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores**. Brasília, Distrito Federal. Agência Nacional de Águas, 2019.
- ARAGÃO, L., ANDERSON, L., FONSECA, M., ROSAN, T., VEDOVATO, L., WAGNER, F., SILVA, C., ... SAATCHI, S. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, 2018. 9 (1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>
- ARAUJO, M., OMETTO, J., RODRIGUES-FILHO, S., BURSZTYN, M., LINDOSO, D., LITRE, G., GAIVIZZO, L., FERREIRA, J., REIS, R., & ASSAD, E. **The socio-ecological Nexus+ approach used by the Brazilian Research Network on Global Climate Change**. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 39, 62–70, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.08.005>
- AVILA, M. R. R., & MATTEDI, M. A. Desastre e território: a produção da vulnerabilidade a desastres na cidade de Blumenau/SC. Urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 9(2), 187–202, 2017. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.002.ao03>
- BLOOMBERG, M., & HOLLOWAY, C. M. **NYC Green Infrastructure Plan: A Sustainable Strategy for Clean Waterways**, 2018.
- BOELEN, R., HOOGESTEGER, J., & RODRIGUEZ DE FRANCISCO, J. C. Commoditizing Water Territories: The Clash between Andean Water Rights Cultures and Payment for Environmental Services Policies. **Capitalism Nature Socialism**, 25(3), 2014. 84–102. <https://doi.org/10.1080/10455752.2013.876867>
- BOICO, V., & WENDLAND, E. Assessment of the potentiometric drawdown in the Guarani Aquifer System in Bauru / SP by a model of analytical elements. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 23(2), 2018.
- BPBES. Relatório Temático Água: Biodiversidade, Serviços Ecossistêmicos e Bem-Estar Humano no Brasil. Aliny P. F. Pires; Vinicius F. Farjalla; Bias M. Faria; Daniel A. Rodriguez; Eli A. T. Gomes; Eldis C. Santos; Federica N. G. A. Sodré; José Sabino; Mariana A. Espécie; Mariana R. C. Pinheiro; Mauro L. Ribeiro; Reinaldo L. Bozelli; Renata F. Panosso; Roger P. Mormul; Ronaldo Barthem; Vinicius Scofield; Viviane Dib (Org.). 1ª edi o, São Carlos, SP: Editora Cubo. 120 páginas, 2020. <https://doi.org/10.4322/978-65-00-00068-9>
- BRIENEN, R. J. W., PHILLIPS, O. L., FELDPAUSCH, T. R., GLOOR, E., BAKER, T. R., LLOYD, J., ... ZAGT, R. J. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, 519(7543), 344–348, 2015. <https://doi.org/10.1038/nature14283>
- BRITO, S., CUNHA, A., CUNNINGHAM, C., ALVALÁ, R., MARENGO, J., & CARVALHO, M. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, 38(2), 517–529, 2018. <https://doi.org/10.1002/joc.5225>
- BROWDER, G., OZMENT, S., BESCOS, I. R., & GARTNER, T. **Integrating Green and Gray - Creating Next Generation Infrastructure**, 2019.
- COOK, C., & BAKKER, K. **Water security: Debating an emerging paradigm**. *Global Environmental Change*, 22(1), 94–102. 2012. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.011>
- COUTINHO, S., BURSZTYN, M., & RODRIGUEZ, D. NEXUS+. **Sustentabilidade em Debate**, 2020.
- ENDO, A., TSURITA, I., BURNETT, K., & ORENCIO, P. M. A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, 11, 20–30, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.11.010>

FERREIRA COSTA, C. G. New Governance Mechanisms Contributing to the Integration of National Climate Change Adaptation and Mitigation Policies in the Brazilian Amazon. **Gestión y Análisis de Políticas Públicas**, 135–151, 2020. <https://doi.org/10.24965/gapp.i23.10641>

FGV-EAESP/FGVces. Análise dos custos e benefícios das políticas públicas [recursos eletrônicos]: o caso dos instrumentos econômicos para a gestão ambiental (Escola de Administração de Empresas de São Paulo Centro de Estudos em Sustentabilidade (ed.)), 2018.

FRANCA, R. R., & MENDONÇA, F. A. A CHEIA HISTÓRICA DO RIO MADEIRA NO ANO DE 2014: RISCOS E IMPACTOS À SAÚDE EM PORTO VELHO (RO). **Revista Brasileira de Geografia Médica e Da Saúde - Hygeia**, 11(21), 62–79, 2015.

FROESE, R., & SCHILLING, J. **The Nexus of Climate Change, Land Use, and Conflicts**. **Current Climate Change Reports**, 5(1), 24–35, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40641-019-00122-1>

GREY, D., & SADOFF, C. W. Sink or Swim?? **Water security for growth and development**. 9, 545–571, 2007. <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>

GRIZZETTI, B., LANZANOVA, D., LIQUETE, C., REYNAUD, A., & CARDOSO, A. C. Assessing water ecosystem services for water resource management. **Environmental Science and Policy**, 61, 194–203, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008>

HOFF, H. Understanding the Nexus. Background paper for the Bonn2011. **Nexus Conference: Stockholm Environment Institute**, November, 1–52, 2011.

IPCC. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, 2019.

JOLY, C., SCARANO, F. R., BUSTAMANTE, M., GADDA, T., METZGER, J., SEIXAS, C., OMETTO, J., PIRES, A., BOESING, A., SOUSA, F., QUINTÃO, J., GONÇALVES, L., PADGURSCHI, M., DE AQUINO, M., DE CASTRO, P., & DOS SANTOS, I. Brazilian assessment on biodiversity and ecosystem services: Summary for policy makers. **Biota Neotropica**, 19(4), 2019. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2019-0865>

KUNERT, N., MARIA, L., APARECIDO, T., WOLFF, S., HIGUCHI, N., CARIOCA, A., ARAUJO, D., & TRUMBORE, S. Agricultural and Forest Meteorology A revised hydrological model for the Central Amazon: The importance of emergent canopy trees in the forest water budget. **Agricultural and Forest Meteorology**, 239, 47–57, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.002>

LAPOLA, D. M., SILVA, J. M. C. D., BRAGA, D. R., CARPIGIANI, L., OGAWA, F., TORRES, R. R., BARBOSA, L. C. F., OMETTO, J. P. H. B., & JOLY, C. A. A climate-change vulnerability and adaptation assessment for Brazil's protected areas. **Conservation Biology**, 34(2), 427–437, 2020. <https://doi.org/10.1111/cobi.13405>

LEMOS, M. C., MANUEL-NAVARRETE, D., WILLEMS, B. L., CARAVANTES, R. D., & VARADY, R. G. Advancing metrics: models for understanding adaptive capacity and water security. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 21, 52–57, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.004>

LEMOS, M. C., PUGA, B. P., FORMIGA-JOHNSON, R. M., & SEIGERMAN, C. K. Building on adaptive capacity to extreme events in Brazil: water reform, participation, and climate information across four river basins. **Regional Environmental Change**, 20(2), 2020. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01636-3>

LIEHR, S., RÖHRIG, J., MEHRING, M., & KLUGE, T. **How the social-ecological systems concept can guide transdisciplinary research and implementation: Addressing water challenges in central northern Namibia**. Sustainability (Switzerland), 9(7), 2017. <https://doi.org/10.3390/su9071109>

MAGRIN, G., MARENGO, J., BOULANGER, J.-P., BUCKERIDGE, M. S., CASTELLANOS, E., POVEDA, ... (Ed.), Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1499–1566). **Cambridge University Press**, 2014.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.007>

- MARENGO, J., ALVES, L., ALVALA, R., CUNHA, A., BRITO, S., & MORAES, O. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 90(2), 1973–1985, 2018. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>
- MARENGO, J., CUNHA, A., NOBRE, C., RIBEIRO NETO, G., MAGALHAES, A., TORRES, R., SAMPAIO, G., ALEXANDRE, F., ALVES, L., CUARTAS, L., DEUSDARÁ, K., & ÁLVALA, R. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C. **Natural Hazards**, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04097-3>
- MARENGO, J., SOUZA, C., THONICKE, K., BURTON, C., HALLADAY, K., BETTS, R., ALVES, L., & SOARES, W. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. **Frontiers in Earth Science**, 6, 228, 2018. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228>
- MARENGO, J., TORRES, R., & ALVES, L. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, 129(3–4), 1189–1200, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>
- MC -IICA. Ministério das Cidades e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA. Avaliação de potencial de reuso . Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil. **Interáguas**. Programa de Desenvolvimento do Setor Água, 2017.
- MILHORANCE, C., & BURSZTYN, M. Climate adaptation and policy conflicts in the Brazilian Amazon: prospects for a Nexus + approach. **Climatic Change**, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02456-z>
- MILHORANCE, C., SABOURIN, E., LE COQ, J., & MENDES, P. Unpacking the policy mix of adaptation to climate change in Brazil's semiarid region: enabling instruments and coordination mechanisms. **Climate Policy**, 20(5), 593–608, 2020. <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1753640>
- MME. Resenha Energética Brasileira - Exercício de 2018, 2019.
- NOBRE, C. A., MARENGO, J. A., SELUCHI, M. E., CUARTAS, L. A., & ALVES, L. M. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, 08(02), 252–262, 2016. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.82022>
- NRC. National Research Council. Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater. **National Academy Press**, Washington D.C., USA, 2012.
- OECD. **Water Security for Better Lives**, 2013. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4594-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4594-3_8)
- PBMC. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas, 2017.
- RIBEIRO NETO A., DA PAZ A.R., MARENGO J.A. & CHOU S.C. Hydrological Processes and Climate Change in Hydrographic Regions of Brazil. **Journal of Water Resource and Protection** 08, 1103–1127, 2016. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.812087>
- SAMPAIO, G., BORMA, L., CARDOSO, M., ALVES, L., VON RANDOW, C., RODRIGUEZ, D., NOBRE, C., & ALEXANDRE, F. Assessing the Possible Impacts of a 4 °C or Higher Warming in Amazonia BT - Climate Change Risks in Brazil (CARLOS A NOBRE, J. A. MARENGO, & W. R. SOARES (eds.); pp. 201–218), 2019. **Springer International Publishing**. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4_8)
- SARAIVA, M. A. **Avaliação da sustentabilidade do uso da água do aquífero alter do chão na zona urbana de manaus**. Universidade Federal do Amazonas, 2017.
- SCARANO, F. & CEOTTO, P. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. **Biodivers Conserv**, 24:2319–2331, 2015. DOI 10.1007/s10531-015-0972-y.
- SIMPSON, G. B., & JEWITT, G. P. W. The development of the water-energy-food nexus as a framework for achieving resource security: A review. **Frontiers in Environmental Science**, 7(FEB), 1–9, (2019). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00008>

TOMAS, W. M., DE OLIVEIRA ROQUE, F., MORATO, R. G., MEDICI, P. E., CHIARAVALLI, R. M., TORTATO, F. R., PENHA, J. M. F., IZZO, T. J., GARCIA, L. C., LOURIVAL, R. F. F., GIRARD, P., ALBUQUERQUE, N. R., ALMEIDA-GOMES, M., ANDRADE, M. H. D. S., ARAUJO, F. A. S., ARAUJO, A. C., ARRUDA, E. C. D., ASSUNÇÃO, V. A., BATTIROLA, L. D., ... JUNK, W. J. Sustainability Agenda for the Pantanal Wetland: Perspectives on a Collaborative Interface for Science, Policy, and Decision-Making. **Tropical Conservation Science**, 12, 2019. <https://doi.org/10.1177/1940082919872634>

UN Water. **Water Security and the Global Water Agenda**. In A UN-Water Analytical Brief, 2013. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(68\)90080-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(68)90080-2)

VAN BEEK, E., & ARRIENS, W. L. **Water Security: Putting the Concept into Practice**. In Stockholm Environment Institute, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.04.022>

WATERAID. Water security framework, 2012. **WaterAid**. <https://doi.org/WAT-17>

WWC, W. W. C. A Pact for Water Security. In **World Water Council**, 2013. [https://doi.org/10.1016/S0368-2048\(97\)00128-X](https://doi.org/10.1016/S0368-2048(97)00128-X)

# Oportunidades de adaptação para a segurança hídrica no Brasil

## *Adaptation opportunities for water security in Brazil*

Vânia Rosa Pereira<sup>a</sup>

Daniel Andrés Rodriguez<sup>b</sup>

Sonia Maria Viggiani Coutinho<sup>c</sup>

Diogo Victor Santos<sup>d</sup>

José Antônio Marengo<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Doutora em Geografia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil  
End. Eletrônico: rosa.vania@gmail.com

<sup>b</sup> Doutor em Meteorologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: daniel.andres@coc.ufrj.br

<sup>c</sup> Doutora em Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil  
End. Eletrônico: scoutinho@usp.br

<sup>d</sup> Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), Brasília, DF, Brasil  
End. Eletrônico: diogo.santos@mctic.gov.br

<sup>e</sup> Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais – Cemaden,  
São José dos Campos, SP, Brasil  
End. Eletrônico: jose.marengo@cemaden.gov.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33858

Received: 12/12/2020  
Accepted: 10/11/2020

ARTICLE – DOSSIER

*Os dados e os resultados apresentados nesta publicação foram desenvolvidos no âmbito do projeto “Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, por meio dos recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente, aos quais oferecemos nossos agradecimentos.*

## RESUMO

Neste trabalho buscamos identificar as questões prioritárias e as oportunidades de adaptação para a segurança hídrica nos diferentes biomas brasileiros. A redução da disponibilidade hídrica prevista em cenários de clima futuro, as projeções crescentes de retirada para os próximos 20 anos e os conflitos de



uso múltiplo da água atuais, indicam um cenário de amplificação dos desafios já existentes no futuro próximo. Os desbalanços entre demanda e disponibilidade de água com qualidade num contexto multissetorial evidenciam a abordagem nexus+ água-alimento-energia-socioambiental. Neste contexto, a articulação e flexibilidade político-institucional destacam-se como questões centrais para direcionar ações de adaptação. A articulação entre diferentes instituições e políticas públicas em abordagem multiescalas (municipal, de bacias hidrográficas, estadual e federal), assim como a consideração da incerteza climática nas ações de planejamento, ainda são desafios a serem superados na gestão dos recursos hídricos.

**Palavras-chave:** Segurança hídrica. Mudanças climáticas. Nexus+. Oportunidades de adaptação. Biomas brasileiros.

## ABSTRACT

*We seek to identify priorities and adaptation opportunities for water resources security across the various Brazilian biomes. Future climate scenarios, with ever growing demand and water-usage, suggest that further constraints in water resources administration are to be endured throughout the next two decades. The unbalance between high quality water demand and availability in a multisectoral usage context (e.g., industry, agrobusiness) highlights the relevance of the socio-ecological Nexus+ concept. In this context, the political and cross-institutional articulation and flexibility plays a major role when steering adaptative actions. These challenges in defining action plans, properly addressed in a multiscale level with inherent climatic uncertainties, are yet to be overcome in Brazilian water resources management.*

**Keywords:** Water security. Climate change. Nexus+. Adaptation opportunities. Brazilian biomes.

## 1 INTRODUÇÃO

A água é requisito mínimo para a vida e para os meios de produção, e quando em escassez ou, excesso, pode tornar-se fonte de destruição, de pobreza e de conflitos. Uma vez que os problemas associados aos recursos hídricos apresentam grande complexidade (BOELEN et al., 2014) é necessário que a segurança hídrica seja entendida além de avaliações do déficit hídrico. Os aspectos econômicos, sociais, de saúde e ambientais também devem ser considerados. Dada a multidimensionalidade da segurança hídrica, sua abordagem requer uma visão transdisciplinar por meio do sistema socioecológico (LIEHR et al., 2017).

A literatura apresenta um leque de conceitos amplo, a depender do propósito, do enfoque e da escala de análise (COOK & BAKKER, 2012). O ponto em comum nos diferentes conceitos é a necessidade de atendimento às demandas essenciais para a sobrevivência humana, em termos da garantia de quantidade e qualidade de água. Não obstante, visões holísticas, atentas aos processos de mudanças ambientais globais, adotam conceitos que integram às necessidades humanas a proteção ambiental, dos ecossistemas, a saúde pública e o gerenciamento de riscos de desastres que tem a água como vetor (UN WATER, 2013; WATERAID, 2012; WWC, 2013, OECD, 2013, VAN BEEK & ARRIENS, 2014).

Neste trabalho, a segurança hídrica é conceituada como a disponibilidade adequada de quantidade e qualidade de água para saúde, meios de vida, ecossistemas e sistemas produtivos, associada a um nível aceitável de riscos relacionados com a água em relação às pessoas, à economia e ao meio ambiente (GREY & SADOFF, 2007).

O conceito nexus aborda as interdependências entre água-energia-alimento, surgindo como uma resposta às mudanças climáticas antropogênicas (AGRAWAL & LEMOS, 2015; ENDO et al., 2017; FROESE & SCHILLING, 2019; HOFF, 2011). A abordagem nexus+, adotada neste trabalho, adiciona questões socioambientais à relação água-alimento-energia, considerando que as desigualdades socioambientais

ampliam a vulnerabilidade e a exposição das sociedades (MILHORANCE E BURSZTYN (2019); ARAÚJO et al. (2019); BOELEN et al., 2014; COUTINHO et al., 2020).

Entendemos que as ações de adaptação funcionam como um ajuste que a sociedade precisa fazer para enfrentar as mudanças climáticas. Os níveis de vulnerabilidade e de exposição das sociedades devem dirigir o foco das políticas de adaptação para minimização dos riscos e impactos das mudanças climáticas, explorando oportunidades (IPCC, 2019). E, também, considerar e identificar as sinergias e trade-offs entre as opções de adaptação (LEMOS et al., 2016).

As seguranças hídrica, alimentar, energética e socioambiental estão relacionadas à disponibilidade, acesso e distribuição justa destes recursos, à proteção ambiental e ao desenvolvimento econômico, envolvendo questões políticas, conjunturais e institucionais (SIMPSON & JEWITT, 2019).

Nesta perspectiva, para se alcançar a segurança hídrica, é preciso construir capacidade de adaptação (LEMOS et al., 2016), além de equilibrar as necessidades humanas de consumo e de desenvolvimento e, ao mesmo tempo, assegurar a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

Neste artigo buscamos identificar as questões prioritárias e as oportunidades de adaptação para a segurança hídrica nos diferentes biomas brasileiros segundo uma abordagem ampla, baseada no nexus+.

## 2 VULNERABILIDADE E IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA A SEGURANÇA HÍDRICA

### 2.1 RELEVÂNCIA DA SEGURANÇA HÍDRICA PARA O PAÍS

A economia e a manutenção dos modos de vida da população brasileira são fortemente condicionadas pelo clima e pelos regimes hidrológicos de suas bacias hidrográficas. Atividades econômicas, como agricultura, indústria, e produção de eletricidade são dependentes do clima, da disponibilidade hídrica e da qualidade da água na região em que são desenvolvidas (PBMC, 2014).

A elevada densidade populacional aliada à demanda pelos recursos hídricos, que, em muitos casos, são atingidos pela poluição, tornam o abastecimento de água nas cidades um desafio, que pode gerar conflitos de uso em razão de sua qualidade e quantidade.

Para se ter uma ideia desse desafio, entre as 73 Regiões Metropolitanas e as 07 Regiões Integradas de Desenvolvimento (RIDEs) brasileiras, 28 possuem mais de 1 milhão de habitantes e somam no total 98,7 milhões de habitantes, representando 47,3% da população brasileira (IBGE, 2018). Somente São Paulo e Rio de Janeiro - duas megacidades brasileiras, possuem juntas mais de 18 milhões de pessoas. Sendo que, apenas 63,5% da população brasileira utiliza serviços de esgotamento sanitário geridos de forma segura, incluindo instalações para lavar as mãos com água e sabão (ANA, 2019).

A demanda por uso de água no Brasil já vem se mostrando crescente, com aumento de aproximadamente 80% no total retirado nas últimas duas décadas. As retiradas para suprimento de água a diversos usuários e setores, incluindo as atividades econômicas, podem aumentar em 24% no Brasil, em 2030, comparando-se com 2017 (ANA, 2018).

A irrigação de cultivos responde por 52% da vazão de retirada e 68,4% da vazão efetivamente consumida, o que a situa como a atividade de maior uso (ANA, 2018). Tomando como ponto de partida as estimativas de 2015, projeta-se a incorporação de 3,14 milhões de hectares de cultivos irrigados, aproximando o País da área total de 10,09 milhões de hectares irrigados em 2030 (ANA, 2017).

Há também a demanda de água para produção de eletricidade, uma vez que o país é um dos grandes produtores mundiais de eletricidade hidráulica. Em 2018, o país registrou 66,6% da oferta interna de energia elétrica baseada em fonte hidráulica (MME, 2019).

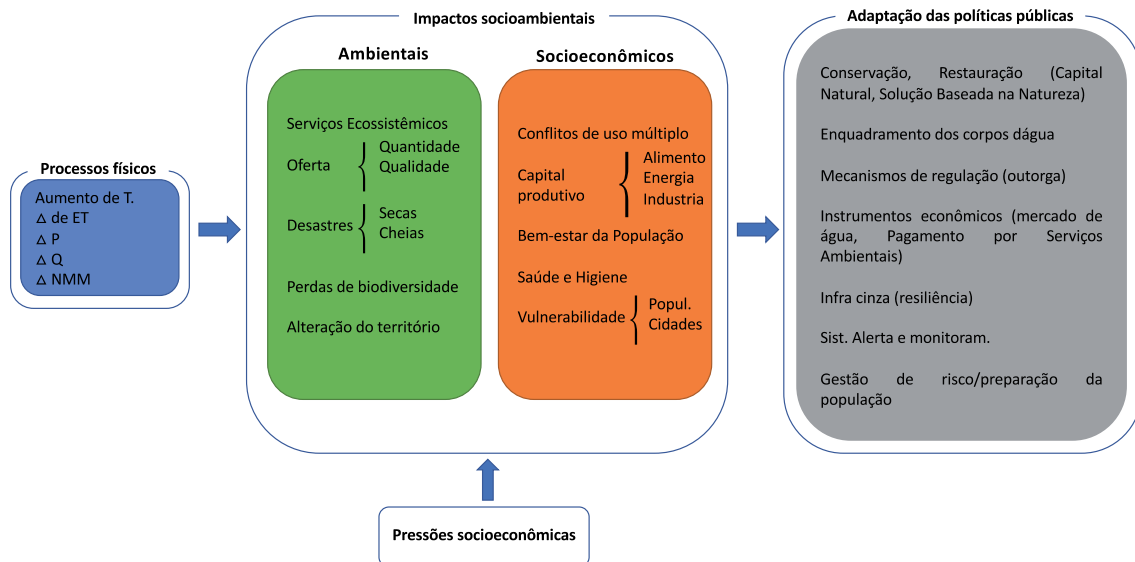
As regiões brasileiras apresentam contextos climáticos e socioambientais bastante diversos em relação aos recursos hídricos. Algumas regiões convivem historicamente com as secas, como o Semiárido brasileiro, outras possuem demanda que ultrapassa a capacidade dos sistemas hídricos por pressões de ordem populacional, como a Sudeste.

Serviços ecossistêmicos importantes, como criação de peixes, abastecimento de água e recreação são providos pelos ecossistemas aquáticos e também se conectam ao ciclo hidrológico das bacias hidrográficas para purificação da água, retenção de água e regulação do clima, devendo ser considerados para o uso e gerenciamento sustentável dos recursos hídricos (GRIZZETTI et al., 2016), e devem ser considerados na segurança hídrica. Os ecossistemas aquáticos possibilitam a existência de uma vasta biodiversidade e são fonte de inspiração, renda, nutrição, e segurança alimentar, além de representarem um patrimônio cultural do país, portanto são importantes componentes que devem ser considerados no contexto do uso, manejo e conservação dos recursos naturais (BPBES, 2020).

A grande pressão antrópica nos biomas Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Amazônia alteram o equilíbrio dos ecossistemas, afetando seus serviços ecossistêmicos (JOLY et al., 2019). E, as alterações dos ecossistemas podem levar a situações nas quais o mesmo não consegue mais se regenerar, a pontos de não retorno (NOBRE et al., 2016; SAMPAIO et al., 2019).

## 2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEGURANÇA HÍDRICA: CADEIA DE IMPACTOS

As mudanças climáticas resultam em alterações nos processos físicos que, por sua vez, desencadeiam impactos socioambientais, colocando em risco o bem-estar e a forma de vida da população que se organiza em prol da adequação de políticas públicas (Figura 1).



**Figura 1** | Cadeia de impactos e respostas adaptativas nas políticas públicas relacionados às mudanças climáticas na segurança hídrica. Delta ( $\Delta$ ) representa a variação, dos processos físicos advindos das mudanças climáticas, em evapotranspiração (ET), precipitação (P), vazão (Q) e nível médio do mar (NMM).

Fonte: Elaboração dos autores.

Dentre os efeitos no ciclo hidrológico destacam-se as alterações na variabilidade, sazonalidade e/ou intensificação do regime de chuvas, da evapotranspiração potencial, do fluxo das vazões e da biogeoquímica dos corpos d'água e oceanos e o aumento do nível do mar (MAGRIN et al., 2014).

Impactos ambientais resultam em alterações na oferta de água e na sua qualidade, na frequência e magnitude de eventos extremos, na perda de solos, na alteração/destruição de seus territórios e de sua biodiversidade. Por sua vez, estes impactos ambientais afetam o bem-estar geral da população, condições de saúde e higiene, interferências na capacidade produtiva e exacerbam conflitos pelo uso do recurso hídrico, deflagrando e aprofundando crises hídricas. Como consequência, as políticas públicas vigentes podem se mostrar insuficientes ou mesmo inadequadas para lidar com os desafios atuais e futuros, e assim serem passíveis de mudança na procura pela mitigação destes impactos e a adaptação à nova realidade.

### 2.3 IMPACTOS CLIMÁTICOS OBSERVADOS NO BRASIL

De acordo com a ANA (2018), dos 5.570 municípios brasileiros, 51% decretaram Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública devido à seca ou estiagem pelo menos uma vez entre 2003 e 2015. Ademais, 48% dos municípios decretaram emergência ou calamidade pública devido a cheias pelo menos uma vez, entre 2003 e 2017. Cerca de 89% desses municípios que sofreram com eventos de cheias localizam-se nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste, muito embora tenham ocorrido eventos de grande relevância em outras regiões, como a Norte.

Desde 2010 a região semiárida do Nordeste tem experimentado a sequência de secas mais longas e intensas das últimas décadas (MARENGO et al., 2017; MARENGO, ALVES, et al., 2018). Brito et al. (2018) identificaram que todos os estados da região semiárida do nordeste brasileiro, num intervalo de 36 anos, entre 1981 a 2016, foram afetados por secas em aproximadamente mais da metade do intervalo analisado. Brito et al. (2018) destacam também a ocorrência de secas mais frequentes, longas e severas no período mais recente, entre 2011 a 2016.

Os municípios da Caatinga e do Cerrado registraram os maiores números de secas, entre os anos de 2003 a 2015. Cerca de 80% das pessoas afetadas por secas em 2017 vivem na Região Nordeste. Bahia, Ceará e Pernambuco totalizaram 55% do número de pessoas afetadas do país. No Distrito Federal, foi registrada a maior média de pessoas afetadas por evento, devido ao racionamento de água no ano de 2017 em função da crise hídrica que se instaurou na capital federal (ANA, 2018).

Em abril de 2018, a criticidade no abastecimento urbano diminuiu, porém, 34 cidades dos Estados da Bahia, Ceará e Paraíba ainda se encontravam em colapso de abastecimento em função do esgotamento de mananciais (ANA, 2018).

A combinação de estações secas mais longas e atraso no início das chuvas aumentaram o risco de episódios de secas extremas e de incêndios florestais na região Amazônica. Os episódios de seca nos anos de 2005, 2010 e 2016 têm influenciado a frequência de incêndios florestais e os balanços de carbono (ARAGÃO et al., 2018; MARENGO, SOUZA, et al., 2018), sendo registradas altas taxas de mortalidade de árvores (BRIENEN et al., 2015).

No Cerrado, os baixos índices de precipitação no final de 2016 impactaram o armazenamento dos principais reservatórios de abastecimento do Distrito Federal. A agricultura na região teve queda de 70% na produção e de 30% na área plantada e houve encarecimento de alguns alimentos em até 100%.

Na bacia hidrográfica do Rio Tocantins, desde 2012, o volume armazenado nos reservatórios vem diminuindo. Em 2017, o reservatório Serra da Mesa chegou a pouco menos de 6% de seu volume útil, registrando o menor valor observado.

Os impactos causados pela seca prolongada do Sudeste de 2014 foram vastos e envolveram diversos setores. A capacidade de produção na indústria, a produtividade da agricultura até o funcionamento de hospitais e escolas ficaram comprometidos (NOBRE et al., 2016). Grandes perdas de produção foram registradas nos produtos de hortifrúti assim como nas commodities, tais como a cana-de-açúcar, café, feijão e laranja. A safra de cana-de-açúcar, por exemplo, teve uma redução de 5% na sua produção.

A escassez de chuvas em 2014 e 2015 na Região Sudeste afetou também as atividades nas hidrovias mais importantes do País, em termos de valores e volumes transportados (ANA, 2019). De 2014 a 2016, sem as obras de derrocamento e com vazões defluentes reduzidas de Ilha Solteira e Três Irmãos, a hidrovia foi paralisada.

Entre 2003 e 2018, 2716 municípios brasileiros foram atingidos por inundações (ANA, 2019).

As maiores frequências de eventos de inundação foram registradas principalmente nas Regiões Nordeste, Sul e Sudeste. Em 2018, cerca de 1 milhão de pessoas foram afetadas por cheias no Brasil. O dano humano mais perceptível em função das cheias é a perda da residência das pessoas afetadas. Danos mais graves (óbitos, desaparecimentos, enfermidades e ferimentos) afetaram menos de 5% dessas pessoas.

Em 2008, o Vale do Rio Itajaí, no sul do Brasil, registrou chuvas muito acima da média, causando alagamentos de grandes proporções com enxurradas, deslizamentos e escorregamentos. Estima-se que 1,5 milhão de catarinenses foram atingidos, com 135 mortos e 80 000 desalojados. As populações mais afetadas foram as de baixa renda, evidenciando a relação entre impactos do desastre e a condição de desenvolvimento regional (AVILA & MATTEDI, 2017).

Em 2014, uma cheia histórica no Rio Madeira, isolou o estado do Acre do resto do Brasil por cerca de 30 dias. As inundações atingiram a rodovia principal e provocaram o desabastecimento nas cidades, perda de produção da população ribeirinha e o aumento de doenças transmitidas por contaminação da água como a leptospirose (FRANCA & MENDONÇA, 2015).

## 2.4 FATORES CONDICIONANTES PARA A SEGURANÇA HÍDRICA NOS BIOMAS BRASILEIROS

Características ambientais e socioeconômicas atuais em cada um dos biomas brasileiros conformam fatores condicionantes para sua vulnerabilidade aos impactos das mudanças climáticas. Assim, além das condições climáticas, a densidade de cidades, a estrutura de saneamento básico, a acessibilidade a água em quantidade e qualidade, as pressões antrópicas sobre os ecossistemas relacionadas tanto com a expansão urbana como agrícola, são potenciais entraves para atingir a segurança hídrica.

A porção do território ocupado pelo bioma Amazônia encontra-se com déficits de infraestrutura e serviços de saneamento básico. Ademais, os instrumentos básicos de gestão dos recursos hídricos, os planos estaduais (PERHs) e os comitês de bacias hidrográficas (CBHs), ainda estão em estado inicial de elaboração, quando não são completamente ausentes. De acordo a ANA (2019), em relação aos PERHs, Amazonas e Pará, por exemplo, ainda estão em processo de contratação e o Amapá ainda não possui.

O estado do Amazonas possui 2 CBHs e Amapá, Rondônia e Acre ainda não possuem. Este bioma também se destaca por incipiência de pontos de monitoramento de qualidade de água. Isto revela uma situação crítica, de fragilidade da governança regional para lidar e conhecer os impactos dos eventos extremos de secas e inundações. Considerando as pressões de ordem socioeconômica tais como o atual déficit de infraestrutura, saneamento básico e pontos de monitoramento, assim como desmatamentos, presença de população em situação de pobreza e povos tradicionais, a região pode se tornar ainda mais vulnerável ante um cenário de mudanças climáticas.



A Zona Franca de Manaus, polo industrial responsável por 1,4% do PIB nacional, utiliza de forma intensa o sistema Aquífero Alter do Chão (AAC). Estudos que simularam as demandas na região indicam um cenário de superexploração e insustentabilidade no uso deste aquífero, analisando tanto a vertente econômica quanto a ambiental, o que pode levar à redução intensa do seu nível de água (SARAIVA, 2017).

No Cerrado a relação entre oferta e demanda atualmente é de alerta, uma vez que possui regiões com retiradas intensas de água, de fontes superficiais e subterrâneas, para irrigação. O Centro-Oeste foi a região de maior expansão de áreas irrigadas no país entre 1996 e 2015 e quadruplicou sua área irrigada para 1,2 milhões de hectares (ANA, 2017). A limitada acessibilidade aos serviços de esgotamento sanitário, em especial ao saneamento rural, o controle das fontes de poluição difusa e a contaminação de lençol freático são consideradas as maiores fragilidades no contexto atual (ANA, 2019). Sob o impacto das mudanças climáticas, os riscos atuais da demanda crescente, assim como de perdas na biodiversidade, podem ser amplificados.

As pressões causadas sobre o Aquífero Guarani por aumentos populacionais indicam provável aumento de exploração do aquífero no longo prazo, que pode causar a diminuição de seu potencial e, conseqüentemente influenciará as condições operacionais dos poços existentes, causando conflitos (BOICO & WENDLAND, 2018).

A Caatinga apresenta a pior situação enquanto disponibilidade de recursos hídricos no contexto atual, com muitas regiões na qual a exploração de água é considerada crítica, exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos. Esta situação explica-se, em parte, devido à sua condição natural de déficit hídrico, mas, também, apresenta pressão antrópica pelas intensas retiradas dos grandes centros urbanos e dos polos de agricultura irrigada. Considerando as pressões de ordem socioeconômica, tais como o atual déficit de infraestrutura e de saneamento básico, associadas à presença de população em situação de pobreza e a grande dependência de agricultura familiar, a região pode se tornar ainda mais vulnerável em relação à qualidade e quantidade de água (MARENGO et al., 2020).

A Mata Atlântica apresenta boas condições de segurança hídrica em relação aos outros biomas. No entanto, nos seus grandes centros metropolitanos a exploração de água é considerada crítica, exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos. A presença de sistemas integrados de abastecimento hídrico, que atendem de forma simultânea e interligada vários municípios e importantes pólos de desenvolvimento, agrega uma complexidade maior para o planejamento neste bioma. As condições de acessibilidade a recursos com qualidade e de seguridade perante eventos extremos de cheias ainda são limitadas e bem abaixo das médias mundiais.

Pressões socioeconômicas, como desigualdade social; infraestrutura deficiente, em especial de drenagem; ocupações irregulares; altos níveis de produção e consumo; e atividades agropecuárias, colocam o bioma em situação de vulnerabilidade em cenários de mudanças climáticas (SCARANO & CEOTTO, 2015), que podem incrementar episódios de enchentes e deslizamentos e de doenças de veiculação hídrica, assim como perdas de safras.

No Pantanal, embora tenha alta disponibilidade hídrica atualmente, há déficits de infraestrutura, serviços de saneamento básico e monitoramento e controle de qualidade de água que impõem uma situação de alerta para a segurança hídrica (TOMAS et al., 2019). Os instrumentos básicos de gestão dos recursos hídricos, os planos estaduais e os comitês de bacias hidrográficas, ainda se encontram em estado inicial de elaboração, revelando uma situação de fragilidade da governança regional.

O Pampa apresenta alta disponibilidade hídrica no contexto climático atual, acessibilidade aos serviços de saneamento básico acima da média dos demais biomas e instrumentos de gestão de recursos hídricos bem estabelecidos. No entanto, as pressões socioeconômicas, tais como demanda crescente de água para produção agropecuária, em especial a produção de arroz irrigado, indicam fragilidades,

assim como o controle das fontes de poluição difusa e a contaminação de lençol freático. Eventos extremos de secas e cheias evidenciam que impactos relacionados a enchentes e às alterações na qualidade de água, tais como conflitos pelo uso múltiplo da água e perdas de biodiversidade, podem ser amplificadas (RIBEIRO NETO et al., PIRES et al., 2019).

A costa brasileira foi apontada como suscetível aos aumentos do nível do mar e a ressacas mais intensas. Esta porção do território vem sendo afetada por aumentos da erosão e inundação costeira. Perdas de bens, restrição de serviços, redução de espaços habitáveis, intrusão marinha e perda da biodiversidade e de produção pesqueira são alguns exemplos dos impactos associados. Ainda, há o risco de modificações na qualidade da água em função da saturação e salinização das bacias que deságuam no litoral (PBMC, 2017).

Lapola et al. (2020) indicaram que as áreas de proteção (AP) nos biomas de Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia são mais vulneráveis às mudanças climáticas e deveriam ser priorizadas para testar estratégias de adaptação potenciais.

### 3 QUESTÕES PRIORITÁRIAS PARA ADAPTAÇÃO

O Brasil, embora apresente legislação e instituições específicas para lidar com questões relacionadas a seus recursos hídricos, cujos projetos e programas estão alinhados aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, ainda apresenta fragilidades na implementação de seus instrumentos e legislação. Neste contexto, a articulação e flexibilidade político-institucional nas suas diversas escalas (municipal, de bacias hidrográficas, estadual e federal), considerando cenários de projeções climáticas e que envolvam os interesses dos seus diversos setores usuários, destaca-se como questão central para direcionar ações de adaptação.

A gestão dos usos múltiplos da água com um sistema de planejamento que considere e atenda todos os atores e usuários de uma bacia hidrográfica ainda é deficiente. Até o momento, a gestão de bacias hidrográficas se mostrou incipiente para lidar com os conflitos de origem hídrica, em especial na questão de equidade de acesso e qualidade de água, considerando as porções de montante a jusante que precisa ser superada e considerada nas ações de adaptação.

Há também uma heterogeneidade na capacidade institucional nas diferentes regiões, bem como peculiaridades regionais. Na Amazônia, em grandes eventos de cheias e secas, a população ribeirinha fica sem mobilidade e sem acesso aos serviços e até mesmo a alimentos. O desafio institucional ainda é dado na elaboração e implementação de planos estaduais e de bacias hidrográficas.

Já nos biomas da Caatinga, Pantanal, Cerrado e Mata Atlântica, a maior parte do território já possui planos e programas implementados. Porém, a estrutura existente não foi suficiente para evitar os impactos e conflitos das recentes crises hídricas. Em muitos casos, os instrumentos de gestão ainda precisam ser implementados, como é o caso dos planos de bacias nas bacias da Caatinga. Em meados 2020, sem a cheia tradicional do início do ano, o Pantanal registrou o pior cenário de queimadas, desde o início de seu monitoramento. Na Mata Atlântica, os planos e programas implementados não conseguiram evitar os problemas e conflitos no abastecimento hídrico na seca intensa de 2014.

Em todo território nacional destaca-se a dificuldade de articulação entre as legislações já existentes, tais como os planos diretores municipais, o zoneamento agroecológico e a legislação de uso e ocupação do solo. Além disso, as instituições, as políticas públicas já existentes e os diferentes atores envolvidos, em seus diferentes níveis de ação, também precisam se conectar. Tais conexões e articulações institucionais são essenciais para a evolução da gestão e do uso mais eficiente da água de forma a evitar as crises hídricas e minimizar os estragos dos eventos extremos e aumento do nível dos mares (ARAUJO et al., 2019; LEMOS et al., 2020; MILHORANCE et al., 2020; MILHORANCE & BURSZTYN, 2019).

Existe ainda a necessidade de ampliar a malha de monitoramento de qualidade e quantidade de água (superficiais e subterrâneas), sobretudo nas regiões mais distantes dos grandes centros urbanos. Também é preciso aprimorar os sistemas de monitoramento já existentes, buscando também o fortalecimento institucional para assegurar continuidade e padronização, evitando a interrupção da geração de dados e dessas ações.

A infraestrutura para garantir o acesso à água ainda precisa ser ampliada, em especial nas porções do país com clima semiárido e nas com alta concentração populacional. A implementação de reservatórios de abastecimento, por exemplo, pode ser considerada uma ação de adaptação, evitando que a variabilidade do regime de chuvas deixe a população sem acesso à água potável.

Em adição, também atua como um fator de pressão para o sistema hídrico as perdas hídricas dos setores usuários, que ainda funcionam sob a premissa de recurso abundante, embora a situação atual e os cenários futuros sejam de escassez.

As perdas de água ocorrem principalmente na forma de vazamentos das tubulações da rede de abastecimento, desperdício no sistema industrial e agropecuário, em especial nos sistemas de irrigação utilizados, como o pivô central, entre outros. A redução das perdas de água pode ser considerada uma questão prioritária para a adaptação, uma vez que otimiza e reduz a quantidade de recursos utilizados num cenário de escassez.

O acesso limitado e, em algumas regiões, quase inexistente, aos serviços de saneamento básico, coloca o Brasil em situação de vulnerabilidade, pois influencia diretamente a potabilidade da água e afeta os diversos setores de nossa sociedade. Estes efeitos negativos podem ser amplificados em situação de incerteza climática. Sendo assim, a universalização dos serviços de saneamento é uma questão considerada prioritária para adaptação. O saneamento influencia as condições de saúde, desenvolvimento econômico e meio ambiente e, uma vez implementado trará benefícios diretos e sem arrependimentos para a sociedade.

## 4 OPORTUNIDADES DE ADAPTAÇÃO

O principal desafio dos recursos hídricos perante as mudanças climáticas é garantir a efetividade dos instrumentos de gestão já existentes - que foram idealizados num contexto de clima estático - diante de um sistema dinâmico, diverso e não estacionário.

O Plano Nacional de Adaptação PNA (MMA, 2016) sugere a adoção de algumas práticas para promover a efetividade dos instrumentos de gestão. A integração das metas de enquadramento dos corpos d'água com os planos municipais de saneamento, a ampliação dos mecanismos de financiamento para implementar ações de despoluição, a ampliação e padronização do monitoramento da qualidade da água para acompanhar a mudança do clima e o alcance das metas de enquadramento, a consideração dos cenários de clima futuro e suas incertezas no processo de estabelecimento das metas de enquadramento e a articulação da atuação entre os órgãos de licenciamento e de outorga no que diz respeito às metas de enquadramento são alguns exemplos de práticas.

Além disso, a efetividade dos instrumentos de gestão é dependente da conexão, integração e articulação dos atores envolvidos nas diversas escalas de implementação dos planos e programas. Sistemas de governança ambiental na escala municipal, por exemplo, tem demonstrado efetividade para reduzir desmatamentos na Amazônia (FERREIRA COSTA, 2020).

A Lei das Águas foi elaborada pensando na integração dos atores na escala local, estadual e federal e, quando essa conexão não ocorre, sua efetividade é falha. Assim, uma ação de adaptação primordial no Brasil é o fortalecimento institucional para garantir a efetividade de seus instrumentos.

O monitoramento da qualidade e quantidade de água superficial e subterrânea considerando o risco climático, visando o controle, definição de limites e parâmetros, é uma ação de adaptação relevante para o país. Para tanto, é necessário o fortalecimento da capacidade institucional para ampliar as ações de monitoramento já existentes. O que pode ser dado a partir de um sistema de gestão mais dinâmico e flexível que seja baseado no estabelecimento de metas consideradas prioritárias e acordadas entre os usuários das bacias hidrográficas. A flexibilidade para o estabelecimento da vazão de referência para o enquadramento dos corpos d'água, por exemplo, permite que a tomada de decisão esteja alinhada aos desafios de um cenário de clima não estacionário, considerando as incertezas no processo como um todo.

Elaboração de planos de contingência para secas e cheias, com planejamento de longo prazo e revisados periodicamente e atualização constante de planos de investimentos e financiamentos são outros exemplos de ações que fortalecem as instituições para a tomada de decisão perante os riscos.

O fortalecimento da capacidade institucional também permite a implementação de outros instrumentos de adaptação para garantir a segurança hídrica. Os mercados de direito de uso da água são instrumentos possíveis de adaptação (FGV-EAESP/FGVces, 2018). No Brasil, os baixos níveis de confiança e de segurança para transações impessoais podem restringir os mercados de direitos de água a pequenos grupos, próximos e homogêneos.

O investimento em ações de uso eficiente da água para reduzir as perdas de água também são ações de adaptação relevantes num cenário de conflitos entre disponibilidade e demanda. Apoiar e ampliar o uso eficiente da água no Brasil, através de instrumentos de gestão da demanda, como medida de adaptação ocorre num contexto amplo, que inclui desde a necessidade de aprimorar os sistemas de medidores da rede urbana, as exigências legais, até melhorias nas técnicas de irrigação e de reúso de água nos diversos setores.

O contexto das ações que envolvem a redução de perdas em sistemas de abastecimento de água é estratégico para o processo de tomada de decisões, a fim de garantir a sustentabilidade e, até mesmo, a competitividade da companhia. Além disso, investir no controle e na redução de perdas traz benefícios em diversos segmentos (econômico, tecnológico, energético, sociocultural e ambiental).

Do ponto de vista do uso racional da água, exigências legais e instrumentos de gestão, como a outorga de direito de uso de recursos hídricos (autorização para o uso da água) e a cobrança pelo uso, fomentam a sustentabilidade da atividade, o aumento da eficiência e a consequente redução do desperdício (ANA, 2017).

Tendo em vista que projeções de mudanças climáticas indicam redução da disponibilidade de água para os biomas da Caatinga, do Cerrado e da Mata Atlântica (RIBEIRO NETO et al., 2016), e que os mesmos são considerados os que mais utilizam sistemas de irrigação no país, o investimento em técnicas que reduzam o uso da água nesta atividade é uma medida de adaptação importante para superar os desafios da variabilidade da disponibilidade de água.

A agricultura irrigada apresenta uma condição de elasticidade de uso da água, de forma que o setor pode, com facilidade, adaptar os volumes retirados às disponibilidades existentes. Para isso, uma série de medidas que incluam não só planos de contingência e estratégias de conservação de solo com impacto na produção de água, mas também melhorias das previsões de disponibilidade de água para irrigação e substituição de determinadas tecnologias de irrigação por métodos mais eficientes no uso da água e energia.

O aumento da pressão sobre os recursos hídricos no território nacional coloca o tema de reúso de água em evidência, sendo o mesmo considerado uma medida de adaptação de uso eficiente da água. O reúso é definido como o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em

alguma atividade humana, para suprir a necessidade de outros usos benéficos, inclusive o original que pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não.

As técnicas de reuso já vem sendo utilizadas em diversas regiões do mundo com destaque para locais como Israel, Califórnia, Jordânia e Arábia Saudita. Em Israel e na Jordânia, mais de 75% da vazão de efluente sanitário é reutilizada para irrigação, na Califórnia, o reuso chega a representar 10% da vazão de retirada, e na Arábia Saudita 30% do efluente sanitário municipal é reutilizado após tratamento. Todas as localidades citadas possuem planos e metas de ampliação de água de reuso para 2030.

O reuso representa uma alternativa a ser considerada para atender aos objetivos da legislação nacional, porém, a política de reuso existente resultou na implementação de poucos projetos no território nacional, mesmo em bacias consideradas críticas. Foi estimado que a capacidade instalada de reuso não potável no Brasil é 2 m<sup>3</sup>/s com meta de ampliação para 13 m<sup>3</sup>/s até 2030, enquanto em Israel é de 11 m<sup>3</sup>/s e na Califórnia a meta é de atingir em 50 m<sup>3</sup>/s no mesmo período (MC-IICA, 2017; NRC, 2012). Um dos desafios no desenvolvimento do reuso no Brasil é a falta de diretrizes e objetivos definidos tanto nacionalmente como na escala local.

Algumas medidas foram apontadas como necessárias para ampliar o reuso no Brasil, tais como definir ou reforçar a liderança/governança para que haja progresso na definição e implementação da política de reuso proposta - particularmente nos Estados com bacias críticas em quantidade ou quantidade e qualidade nas condições atuais e, potencialmente, nas condições futuras, revisar/complementar a legislação vigente para clarificar a visão, as metas e objetivos, os princípios gerais e as atuações do Governo Federal, além de reforçar componentes existentes e incorporar diretrizes relevantes com base nas abordagens recomendadas ou potenciais e monitorar a realização dos objetivos da política, a execução do plano de ações e ajustar as abordagens e/ou ações conforme necessário.

Em adição, incrementar a infraestrutura hídrica para aumento da oferta de água e de serviços de saneamento básico também é considerada uma ação de adaptação, pois a atual não é suficiente para atender a toda a demanda. A Agência Nacional de Águas em parceria com o Ministério Desenvolvimento Regional lançou, em 2019, o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH). Trata-se de um estudo que avalia quais são as regiões prioritárias para intervenções estruturantes (Barragens, Sistemas Adutores, Canais e Eixos de Integração), de natureza estratégica e relevância regional, necessárias para garantir a oferta de água para o abastecimento humano e para o uso em atividades produtivas, e reduzir os riscos associados a eventos críticos (secas e cheias).

O novo marco do saneamento (Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020) altera normas anteriores sobre condições estruturais do saneamento básico no País, indicando o dever de serem definidas metas de universalização que garantam o atendimento de 99% da população com água potável e de 90% da população com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033, nos contratos de prestação dos serviços públicos de saneamento básico.

No entanto, de acordo com a ANA (2019), complementarmente à ampliação de infraestrutura, o planejamento de aproveitamento dos futuros mananciais para atendimento às Regiões Metropolitanas deve ser tratado como uma Política de Estado, visando à solução do abastecimento dessas regiões de forma integrada e duradoura, envolvendo os usos múltiplos da água, e considerando não somente ações relacionadas à infraestrutura cinza, como também à infraestrutura verde, gestão da demanda, ocupação territorial etc.

A utilização de sistemas naturais como as florestas, planícies de inundação e solos pode contribuir para a manutenção da qualidade da água e, ao mesmo tempo, servir como mecanismo de contenção/controle eficiente para eventos de cheias. A infraestrutura verde tem o potencial de aumentar a resiliência, reduzir os custos, aumentar a qualidade de água e promover a conservação dos solos de seu entorno e trazer múltiplos benefícios para a sociedade. Isso representa a adaptação baseada



em ecossistemas (AbE). No entanto, ainda há os desafios na identificação, definição e avaliação da infraestrutura verde para atingir os padrões de precisão necessário nas obras de engenharia. Neste sentido, a profissionalização e sistematização da infraestrutura verde é um caminho para atingir seus múltiplos benefícios num contexto global e não pontual, como temos nos dias atuais.

A integração das infraestruturas verde e cinza se apresenta como medida de adaptação uma vez que apresenta o potencial de atender aos desafios da segurança hídrica num contexto de clima futuro mais extremo, de ocorrência de eventos extremos de secas e cheias e aumento de demandas hídricas em diversos setores.

Em relação ao abastecimento e saneamento, por exemplo, a integração das infraestruturas cinzas - tais como reservatórios e estações de tratamento de água - e das verdes - tais como o reflorestamento em bacias hidrográficas e planícies de inundação - geram sinergias para o aumento da qualidade da água e redução dos custos de tratamento de água. A cidade de Nova Iorque economizou em torno de 22% de seus custos com tratamento de água após a implementação dos programas de abastecimento hídrico baseados na integração de infraestruturas cinza e verde (BLOOMBERG & HOLLOWAY, 2018).

No Brasil, o estado do Espírito Santo implementou na região metropolitana de Vitória um projeto baseado em restauração de bacias hidrográficas e pagamento por serviços ambientais para prover serviços de água e esgoto adequadamente. A estimativa do projeto é de benefício econômico líquido de U\$ 13 a 18 milhões, com taxa de retorno de 12 a 16%, com economia de aproximadamente R\$ 15 milhões ao longo de 30 anos nos custos básicos de insumos para tratamento de água além de redução de necessidade de dragagem na região portuária (BROWDER et al., 2019).

Em relação às cheias urbanas, a infraestrutura verde auxilia a cinza pois reduz a velocidade e a quantidade da água que chega ao solo e alivia os sistemas de drenagem urbana, normalmente sobrecarregados em eventos de chuvas intensas. Em relação à irrigação em áreas agrícolas, a presença de floresta nas proximidades auxilia e aumenta a capacidade de armazenamento de água no solo, reduzindo a demanda de irrigação e fertilizantes para o cultivo e, ao mesmo tempo serve como mecanismo de controle de erosão e fontes de poluição difusa. No Brasil, por exemplo, temos os sistemas de produção integrados para climas tropicais e subtropicais em todos os biomas brasileiros, como o Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) implementados e recomendados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, a partir da abordagem nexus+, destacamos quatro oportunidades de adaptação frente às mudanças climáticas para garantir a segurança hídrica no Brasil que são consideradas medidas sem arrependimento.

A primeira opção é o fortalecimento da capacidade institucional, considerada medida de caráter institucional e tecnológico e de abrangência nacional. O monitoramento de qualidade e quantidade, mais especificamente nos instrumentos de gestão e de planejamento para águas superficiais e subterrâneas, que considere a incerteza climática, subsidia as normativas e sua possível flexibilização diante de cenários de incertezas.

Sua implementação é considerada o pilar para atingir as metas do desenvolvimento sustentável na escala local, pois garante o monitoramento e definição de diretrizes considerando as particularidades locais e regionais. Também podemos incluir nesta opção simulações de clima, que permite definir possíveis horizontes de clima extremos (por exemplo, secas) e preparar os governos e a população para estes possíveis cenários e planejar medidas de contingência.

A segunda opção é a promoção de ações de uso eficiente da água. É considerada uma medida de caráter estrutural, institucional, tecnológica e econômica e de alta efetividade. O uso eficiente apresenta ganhos econômicos e ambientais diretos, como a redução de perdas e desperdício de água e, conseqüentemente de custos no sistema produtivo e de consumo. Os biomas da Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, em função de suas demandas hídricas crescentes, apresentam maiores necessidades deste tipo de ação de uso eficiente.

A terceira opção é incrementar a infraestrutura hídrica para aumento da oferta de água. É considerada uma medida de caráter estrutural e econômica e de efeitos imediatos. Porém, se não houver em paralelo medidas de otimização de consumo, regulação institucional e manutenção dos serviços ecossistêmicos é considerada ação de caráter incipiente no longo prazo. Sua efetividade é dependente de existência de instituições que regulam e controlam o recurso, de atividades frequentes de educação ambiental para criar a cultura da escassez e alto risco climático e de medidas de proteção dos serviços ecossistêmicos. Sua abrangência envolve majoritariamente a Caatinga e os municípios que não possuem sistemas de reservatórios de abastecimento.

A quarta opção é a implementação da infraestrutura integrada verde (AbE) e cinza. É considerada uma medida de caráter estrutural, tecnológica, institucional, de desenvolvimento humano, de gestão integrada dos recursos naturais e econômica. Sua abrangência é para todo o território nacional, com enfoque para áreas urbanas e rurais. A integração das infraestruturas verde e cinza apresentam potencial de múltiplos benefícios ambientais e sociais, tais como integração das comunidades locais e manutenção e restauração dos serviços ecossistêmicos, necessários para a segurança hídrica no longo prazo.

A água é um dos meios pelo qual primeiro e mais fortemente a população deverá perceber os efeitos da mudança do clima, considerando as prováveis alterações nos padrões de precipitação e no escoamento dos rios. Nesse sentido, as populações mais pobres são as mais vulneráveis, pois se encontram, já atualmente, em condições de maior exposição à escassez hídrica, quer por questões geográficas, quer pela ausência de saneamento. Assim, este estudo apresenta um conjunto pragmático de informações, reflexões, constatações, sugestões e alternativas relativas às mudanças climáticas e seus impactos nos recursos hídricos para fornecer alguns elementos e diretrizes de atuação que subsidiem a tomada de decisão no âmbito de adaptação aos extremos de clima e as mudanças de clima.

## REFERÊNCIAS

AGRAWAL, A., & CARMEN LEMOS, M. (2015). Adaptive development. **Nature Climate Change**, 5(3), 185–187. <https://doi.org/10.1038/nclimate2501>

ANA. Atlas Irrigação. Agência Nacional de Águas, 2017.

ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual, 2018.

ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual / Agência Nacional de Águas. Agência Nacional de Águas, 100, 2019.

ANA. **ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores**. Brasília, Distrito Federal. Agência Nacional de Águas, 2019.

ARAGÃO, L., ANDERSON, L., FONSECA, M., ROSAN, T., VEDOVATO, L., WAGNER, F., SILVA, C., ... SAATCHI, S. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, 2018. 9 (1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>

ARAUJO, M., OMETTO, J., RODRIGUES-FILHO, S., BURSZTYN, M., LINDOSO, D., LITRE, G., GAIVIZZO, L., FERREIRA, J., REIS, R., & ASSAD, E. **The socio-ecological Nexus+ approach used by the Brazilian Research Network on Global Climate Change**. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 39, 62–70, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.08.005>

AVILA, M. R. R., & MATTEDI, M. A. Desastre e território: a produção da vulnerabilidade a desastres na cidade de Blumenau/SC. Urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 9(2), 187–202, 2017. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.002.a003>

BLOOMBERG, M., & HOLLOWAY, C. M. **NYC Green Infrastructure Plan: A Sustainable Strategy for Clean Waterways**, 2018.

BOELEN, R., HOOGESTEGER, J., & RODRIGUEZ DE FRANCISCO, J. C. Commoditizing Water Territories: The Clash between Andean Water Rights Cultures and Payment for Environmental Services Policies. **Capitalism Nature Socialism**, 25(3), 2014. 84–102. <https://doi.org/10.1080/10455752.2013.876867>

BOICO, V., & WENDLAND, E. Assessment of the potentiometric drawdown in the Guarani Aquifer System in Bauru / SP by a model of analytical elements. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 23(2), 2018.

BPBES. Relatório Temático Água: Biodiversidade, Serviços Ecossistêmicos e Bem-Estar Humano no Brasil. Aliny P. F. Pires; Vinicius F. Farjalla; Bias M. Faria; Daniel A. Rodriguez; Eli A. T. Gomes; Eldis C. Santos; Federica N. G. A. Sodré; José Sabino; Mariana A. Espécie; Mariana R. C. Pinheiro; Mauro L. Ribeiro; Reinaldo L. Bozelli; Renata F. Panosso; Roger P. Mormul; Ronaldo Barthem; Vinicius Scofield; Viviane Dib (Org.). 1ª edição, São Carlos, SP: Editora Cubo. 120 páginas, 2020. <https://doi.org/10.4322/978-65-00-00068-9>

BRIENEN, R. J. W., PHILLIPS, O. L., FELDPUSCH, T. R., GLOOR, E., BAKER, T. R., LLOYD, J., ... ZAGT, R. J. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, 519(7543), 344–348, 2015. <https://doi.org/10.1038/nature14283>

BRITO, S., CUNHA, A., CUNNINGHAM, C., ALVALÁ, R., MARENGO, J., & CARVALHO, M. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, 38(2), 517–529, 2018. <https://doi.org/10.1002/joc.5225>

BROWDER, G., OZMENT, S., BESCOS, I. R., & GARTNER, T. **Integrating Green and Gray - Creating Next Generation Infrastructure**, 2019.

COOK, C., & BAKKER, K. **Water security: Debating an emerging paradigm**. *Global Environmental Change*, 22(1), 94–102. 2012. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.011>

COUTINHO, S., BURSZTYN, M., & RODRIGUEZ, D. NEXUS+. **Sustentabilidade em Debate**, 2020.

ENDO, A., TSURITA, I., BURNETT, K., & ORENCIO, P. M. A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, 11, 20–30, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.11.010>

FERREIRA COSTA, C. G. New Governance Mechanisms Contributing to the Integration of National Climate Change Adaptation and Mitigation Policies in the Brazilian Amazon. **Gestión y Análisis de Políticas Públicas**, 135–151, 2020. <https://doi.org/10.24965/gapp.i23.10641>

FGV-EAESP/FGVces. Análise dos custos e benefícios das políticas públicas [recursos eletrônicos]: o caso dos instrumentos econômicos para a gestão ambiental (Escola de Administração de Empresas de São Paulo Centro de Estudos em Sustentabilidade (ed.)), 2018.

FRANCA, R. R., & MENDONÇA, F. A. A CHEIA HISTÓRICA DO RIO MADEIRA NO ANO DE 2014: RISCOS E IMPACTOS À SAÚDE EM PORTO VELHO (RO). **Revista Brasileira de Geografia Médica e Da Saúde - Hygeia**, 11(21), 62–79, 2015.

FROESE, R., & SCHILLING, J. **The Nexus of Climate Change, Land Use, and Conflicts**. *Current Climate Change Reports*, 5(1), 24–35, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40641-019-00122-1>

GREY, D., & SADOFF, C. W. Sink or Swim?? **Water security for growth and development**. 9, 545–571, 2007. <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>

GRIZZETTI, B., LANZANOVA, D., LIQUETE, C., REYNAUD, A., & CARDOSO, A. C. Assessing water ecosystem services for water resource management. **Environmental Science and Policy**, 61, 194–203, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008>

HOFF, H. Understanding the Nexus. Background paper for the Bonn2011. **Nexus Conference: Stockholm Environment Institute**, November, 1–52, 2011.

IPCC. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, 2019.

JOLY, C., SCARANO, F. R., BUSTAMANTE, M., GADDA, T., METZGER, J., SEIXAS, C., OMETTO, J., PIRES, A., BOESING, A., SOUSA, F., QUINTÃO, J., GONÇALVES, L., PADGURSCHI, M., DE AQUINO, M., DE CASTRO, P., & DOS SANTOS, I. Brazilian assessment on biodiversity and ecosystem services: Summary for policy makers. **Biota Neotropica**, 19(4), 2019. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2019-0865>

KUNERT, N., MARIA, L., APARECIDO, T., WOLFF, S., HIGUCHI, N., CARIOCA, A., ARAUJO, D., & TRUMBORE, S. Agricultural and Forest Meteorology A revised hydrological model for the Central Amazon: The importance of emergent canopy trees in the forest water budget. **Agricultural and Forest Meteorology**, 239, 47–57, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.002>

LAPOLA, D. M., SILVA, J. M. C. D., BRAGA, D. R., CARPIGIANI, L., OGAWA, F., TORRES, R. R., BARBOSA, L. C. F., OMETTO, J. P. H. B., & JOLY, C. A. A climate-change vulnerability and adaptation assessment for Brazil's protected areas. **Conservation Biology**, 34(2), 427–437, 2020. <https://doi.org/10.1111/cobi.13405>

LEMOS, M. C., MANUEL-NAVARRETE, D., WILLEMS, B. L., CARAVANTES, R. D., & VARADY, R. G. Advancing metrics: models for understanding adaptive capacity and water security. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 21, 52–57, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.004>

LEMOS, M. C., PUGA, B. P., FORMIGA-JOHNSSON, R. M., & SEIGERMAN, C. K. Building on adaptive capacity to extreme events in Brazil: water reform, participation, and climate information across four river basins. **Regional Environmental Change**, 20(2), 2020. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01636-3>

LIEHR, S., RÖHRIG, J., MEHRING, M., & KLUGE, T. **How the social-ecological systems concept can guide transdisciplinary research and implementation: Addressing water challenges in central northern Namibia.** Sustainability (Switzerland), 9(7), 2017. <https://doi.org/10.3390/su9071109>

MAGRIN, G., MARENGO, J., BOULANGER, J.-P., BUCKERIDGE, M. S., CASTELLANOS, E., POVEDA, ... (Ed.), Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1499–1566). **Cambridge University Press**, 2014. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.007>

MARENGO, J., ALVES, L., ALVALA, R., CUNHA, A., BRITO, S., & MORAES, O. Climatic characteristics of the 2010–2016 drought in the semiarid northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 90(2), 1973–1985, 2018. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>

MARENGO, J., CUNHA, A., NOBRE, C., RIBEIRO NETO, G., MAGALHAES, A., TORRES, R., SAMPAIO, G., ALEXANDRE, F., ALVES, L., CUARTAS, L., DEUSDARÁ, K., & ÁLVALA, R. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C. **Natural Hazards**, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04097-3>

MARENGO, J., SOUZA, C., THONICKE, K., BURTON, C., HALLADAY, K., BETTS, R., ALVES, L., & SOARES, W. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. **Frontiers in Earth Science**, 6, 228, 2018. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228>

MARENGO, J., TORRES, R., & ALVES, L. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, 129(3–4), 1189–1200, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>

MC -IICA. Ministério das Cidades e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA. Avaliação de potencial de reúso . Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil. **Interáguas**. Programa de Desenvolvimento do Setor Água, 2017.

MILHORANCE, C., & BURSZTYN, M. Climate adaptation and policy conflicts in the Brazilian Amazon: prospects for a Nexus + approach. **Climatic Change**, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02456-z>

MILHORANCE, C., SABOURIN, E., LE COQ, J., & MENDES, P. Unpacking the policy mix of adaptation to climate

change in Brazil's semiarid region: enabling instruments and coordination mechanisms. **Climate Policy**, 20(5), 593–608, 2020. <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1753640>

MME. Resenha Energética Brasileira - Exercício de 2018, 2019.

NOBRE, C. A., MARENGO, J. A., SELUCHI, M. E., CUARTAS, L. A., & ALVES, L. M. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, 08(02), 252–262, 2016. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.82022>

NRC. National Research Council. Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater. **National Academy Press**, Washington D.C., USA, 2012.

OECD. **Water Security for Better Lives**, 2013. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4594-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4594-3_8)

PBMC. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas, 2017.

RIBEIRO NETO A., DA PAZ A.R., MARENGO J.A. & CHOU S.C. Hydrological Processes and Climate Change in Hydrographic Regions of Brazil. **Journal of Water Resource and Protection** 08, 1103–1127, 2016. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.812087>

SAMPAIO, G., BORMA, L., CARDOSO, M., ALVES, L., VON RANDOW, C., RODRIGUEZ, D., NOBRE, C., & ALEXANDRE, F. Assessing the Possible Impacts of a 4 °C or Higher Warming in Amazonia BT - Climate Change Risks in Brazil (CARLOS A NOBRE, J. A. MARENGO, & W. R. SOARES (eds.); pp. 201–218), 2019. **Springer International Publishing**. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4_8)

SARAIVA, M. A. **Avaliação da sustentabilidade do uso da água do aquífero alter do chão na zona urbana de manaus**. Universidade Federal do Amazonas, 2017.

SCARANO, F. & CEOTTO, P. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. **Biodivers Conserv**, 24:2319–2331, 2015. DOI 10.1007/s10531-015-0972-y.

SIMPSON, G. B., & JEWITT, G. P. W. The development of the water-energy-food nexus as a framework for achieving resource security: A review. **Frontiers in Environmental Science**, 7(FEB), 1–9, (2019). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00008>

TOMAS, W. M., DE OLIVEIRA ROQUE, F., MORATO, R. G., MEDICI, P. E., CHIARAVALLI, R. M., TORTATO, F. R., PENHA, J. M. F., IZZO, T. J., GARCIA, L. C., LOURIVAL, R. F. F., GIRARD, P., ALBUQUERQUE, N. R., ALMEIDA-GOMES, M., ANDRADE, M. H. D. S., ARAUJO, F. A. S., ARAUJO, A. C., ARRUDA, E. C. D., ASSUNÇÃO, V. A., BATTIROLA, L. D., ... JUNK, W. J. Sustainability Agenda for the Pantanal Wetland: Perspectives on a Collaborative Interface for Science, Policy, and Decision-Making. **Tropical Conservation Science**, 12, 2019. <https://doi.org/10.1177/1940082919872634>

UN Water. **Water Security and the Global Water Agenda**. In A UN-Water Analytical Brief, 2013. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(68\)90080-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(68)90080-2)

VAN BEEK, E., & ARRIENS, W. L. **Water Security: Putting the Concept into Practice**. In Stockholm Environment Institute, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.04.022>

WATERAID. Water security framework, 2012. **WaterAid**. <https://doi.org/WAT-17>

WWC, W. W. C. A Pact for Water Security. In **World Water Council**, 2013. [https://doi.org/10.1016/S0368-2048\(97\)00128-X](https://doi.org/10.1016/S0368-2048(97)00128-X)



# Implications of climate change impacts for the Brazilian electricity mix

## *Implicações dos impactos das mudanças climáticas na matriz elétrica brasileira*

Eveline Vasquez-Arroyo<sup>a</sup>

Dan Abensur Gandelman<sup>b</sup>

Fabio da Silva<sup>c</sup>

Leticia Magalar<sup>d</sup>

Diogo V. Santos<sup>e</sup>

André F. P. Lucena<sup>f</sup>

<sup>a</sup> Energy Planning Program, Alberto Luiz Coimbra Institute of Graduate Studies and Engineering  
Research, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: eveline@ppe.ufrj.br

<sup>b</sup> Department of Agricultural Engineering and Environment of the Federal Fluminense University,  
Niterói, RJ, Brazil  
E-mail: dangandelman@id.uff.br

<sup>c</sup> Energy Planning Program, Alberto Luiz Coimbra Institute of Graduate Studies and Engineering  
Research, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: fabioteixeira@ppe.ufrj.br

<sup>d</sup> Energy Planning Program, Alberto Luiz Coimbra Institute of Graduate Studies and Engineering  
Research, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: leticiamagalar@ppe.ufrj.br

<sup>e</sup> Ministry of Science, Technology and Innovations (MCTI),  
Brasília, DF, Brazil  
E-mail: diogo.santos@mctic.gov.br

<sup>f</sup> Energy Planning Program, Alberto Luiz Coimbra Institute of Graduate Studies and Engineering  
Research, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: andrelucena@ppe.ufrj.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33998

Received: 09/09/2020  
Accepted: 29/10/2020

*Data and results presented in this article were developed under the project of the “Fourth National Communication and Biennial Update Reports of Brazil to the Climate Convention”, coordinated by the Ministry of Science, Technology and Innovations, with the support of the United Nations Development Programme and resources of the Global Environment Facility, to which we offer our thanks.*

## ABSTRACT

Hydropower generation is responsible for supplying most of the electricity in Brazil. Like other renewable sources, water is highly sensitive to meteorological variables, so that climate change may have a considerable impact on it. Therefore, this study aims at assessing climate change impacts on hydropower generation and their consequences for the Brazilian electricity system. Scenario data for specific average global warming levels of 2°C and 4°C from Eta\_HadGEM2-ES and Eta\_MIROC5 downscaled climate models are used. Outcomes indicate that the electricity system’s adaptive capacity to lower hydropower generation includes a growing share of other renewable and natural gas fired thermoelectric generation, increasing the system’s marginal cost to meet projected demand in 2030. Greenhouse gas emissions are projected to increase in a 2°C scenario, but to decrease in scenarios in which warming reaches 4°C.

**Keywords:** Climate Change Impact. Adaptation. Hydropower generation. Hydropower generation system. Brazil.

## RESUMO

*A geração hidrelétrica é responsável por ofertar a maior parte da eletricidade no Brasil. Tal como outras renováveis, a fonte hídrica tem alta sensibilidade a variáveis meteorológicas, de maneira que mudanças climáticas podem impactá-la consideravelmente. Portanto, este estudo pretende analisar impactos das mudanças climáticas na geração hidrelétrica e suas consequências para o sistema elétrico brasileiro. São utilizados dados de cenários de níveis específicos de aquecimento médio global de 2°C e 4°C, provenientes dos modelos climáticos regionalizados Eta\_HadGEM2-ES e Eta\_MIROC5. Os resultados indicam que a adaptação do sistema elétrico ante a redução da disponibilidade hídrica inclui maior penetração de outras fontes renováveis e termelétricas a gás natural, gerando um aumento no custo marginal do sistema para atendimento da demanda em 2030. Quanto às emissões de gases de efeito estufa, projeta-se um aumento nos cenários de níveis de aquecimento de 2°C, mas uma redução nos cenários em que o aquecimento atinge 4°C.*

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas. Impacto. Adaptação. Geração hidrelétrica. Sistema de geração elétrica. Brasil.

## 1 INTRODUCTION

The Brazilian energy mix is mostly renewable, with most of the electric power generated in the country coming from hydropower plants (HPPs). Power from wind and biomass energy have also been increasing, contributing to keep the energy mix mostly renewable (MEM/EPE, 2017). In 2019, renewable energy sources accounted for 83% of domestic electricity supply (EPE, 2020). Therefore, Brazil’s power generation and transmission system may be defined as a large hydro-thermal-wind system, with predominance of HPPs. Power transmission is carried out by the Brazilian Interconnected System (SIN in the Portuguese acronym), a grid consisting of four subsystems: South, Southeast/Center-West, Northeast and most of the Northern region. Interconnection of power systems through the transmission grid enables energy transfer between subsystems, allowing for synergistic gains and exploring the diversity of the Brazilian river basins’ hydrological regimes (ONS, 2018).

Renewable energy sources are directly impacted by climate variables. This makes its supply more vulnerable to climate change than that of fossil resources (LUCENA *et al.*, 2009, SCHAEFFER *et al.*, 2012). Hydropower power, in particular, is impacted by changes in precipitation patterns and air temperature, which affect evapotranspiration processes in river basins, runoff, sediment transport and evaporation of reservoirs (DE SOUZA DIAS *et al.*, 2018). This can potentially reduce the inflow to run-of-river plants, thus inducing a decrease in their active volume and, consequently, stored energy. In addition, hydropower generation is vulnerable to extreme events, such as long droughts, and this represents a considerable risk to the country's energy security (LUCENA *et al.*, 2009; SCHAEFFER *et al.*, 2010 and 2015).

Schaeffer *et al.* (2010) and Lucena *et al.* (2009) projected a decrease in power generation as a consequence of lower flow inputs into basins at the regional level, mainly in the Northern and Northeastern regions. Lucena *et al.* (2009) estimated that firm energy would drop by around 3% in the assessed scenarios, albeit with significant regional impacts, while Schaeffer *et al.* (2010) calculated that firm energy could suffer a 30% drop. De Queiroz *et al.* (2019) pointed to an increase in firm energy in plants located in Southern region, but a reduction in most plants in other subsystems, showing projections of a significant drop in firm energy with the start of operations planned by 2030 in almost all simulated periods.

At a regional scope, De Jong *et al.* (2018) projected an up to 35% drop in HPP generation in the São Francisco basin. Arias *et al.* (2020) assessed climate change effects in the network of existing and planned reservoirs in the Tapajós River basin, which together make up about 50% of the potential for hydropower expansion inventoried in Brazil. Outcomes indicate a possible increase in disparities between seasonal electricity supply and peak demand, which may decrease hydropower generation during the dry season by 5.4% and 7.4%.

In addition to a quantitative impact on generation and an increased risk of energy supply deficit, changes in the use of renewable resources caused by climate change might impact the description of the energy mix, thus leading to a different energy balance than previously projected (DE QUEIROZ *et al.*, 2016). In the SIN, the diversity of the energy mix makes it possible to offset climate impacts in power generation among the different energy sources, for example, between renewable and thermoelectric plants using fossil fuels and even among renewable sources. It provides the electrical system with an intrinsic adaptive capacity, so-called Adaptive Capacity (BRASIL, 2016).

HPP capacity to deal with changes in flow variations or changes in seasonal rainfall is associated with the water storage capacity in their reservoirs (SCHAEFFER *et al.*, 2012). The greater the water storage volume, the more apt the system is to deal with climate variability (VICUNA *et al.*, 2007). However, given the increasing environmental restrictions for the construction of plants with large reservoirs, it is expected that future use of the Brazilian remaining hydropower potential is increasingly based on run-of-river plants, with small reservoirs. Therefore, the system's ability to offset climate variations by increasing storage might drop, making it more vulnerable to climate change.

Another determining element for Adaptive Capacity is complementarity between energy resources integrated in the SIN. The SIN must meet the expected load at the lowest cost, in other words, minimizing the use of thermal generation, avoiding curtailment and equalizing, to the extent possible, the marginal operating costs among interconnected regions (TOLMASQUIM, 2016).

Adaptive capacity may be achieved both from the geographic perspective and the different sources of energy available. From the geographic perspective, the SIN's operational management is influenced by the rainfall regime in the different hydrographic regions. Because these regions have different wet and dry periods, they complement each other, as the energy generated in a water-abundant region may be redirected to drier regions at a given period. This, besides increasing energy security, decreases the system's operating cost.

From the perspective of managing different energy sources in the SIN, in recent years there has been a solid growth in the number of wind farms, mainly in the Northeastern and Southern regions. Thermal power plants (TPPs), usually located near the load centers, play a strategic role as they contribute to the SIN's safety, being dispatched according to the current hydrological conditions, allowing for stored water stocks to be managed in HPPs reservoirs, thus ensuring future supply (ONS, 2018, TOLMASQUIM, 2016). However, TPP dispatch increases generation costs due to fuel prices, such as natural gas and coal (EPE, 2017, 2018, 2019). In addition, fossil-based TPPs increase the Brazilian energy system's greenhouse gas emissions (GHG) (EPE, 2017, 2018, 2019 e LUCENA et al., 2018).

Coal or nuclear-fired TPPs meet the base load, that is, their supply is relatively constant throughout the day all year round. Coal-fired plants have a low variable cost; however, GHG emissions are very high. On the other hand, nuclear power plants do not directly emit GHG, but the investment is very high. Diesel and fuel oil-fired TPPs meet peak load, sporadic operations to balance the system and/or isolated systems. These power plants have very high investment cost, variable costs and emissions. Combined-cycle natural-gas-fired power plants are mostly used to meet base load, while flexible open cycle plants for meeting peak load. Natural-gas-fired power plants have varying costs and average levels of emissions when compared to other fossil-fuel-fired technologies.

Lucena *et al.* (2018) assessed the electricity sector's adaptation strategies to climate change impacts in hydropower generation. The impacts were projected by the *Global Water Availability Model (GWAM)*, using the results of 16 climate models under two different radiative forcing scenarios. Outcomes indicate that climate change impacts may be offset by a broad range of alternative electricity generation sources depending on the level of mitigation effort. Mitigation efforts could result in a more diversified, less carbon-intensive mix of technology options for adaptation. Moreover, climate change impacts would lead to even higher emissions in the absence of mitigation policies. On the other hand, strategies towards lower emissions are still adopted under climate impact scenarios, which shows their strength against adaptation challenges. Thus, when considering the investment costs to adapt to climate change impacts, in some cases, mitigation might lead to a lower level of total investment.

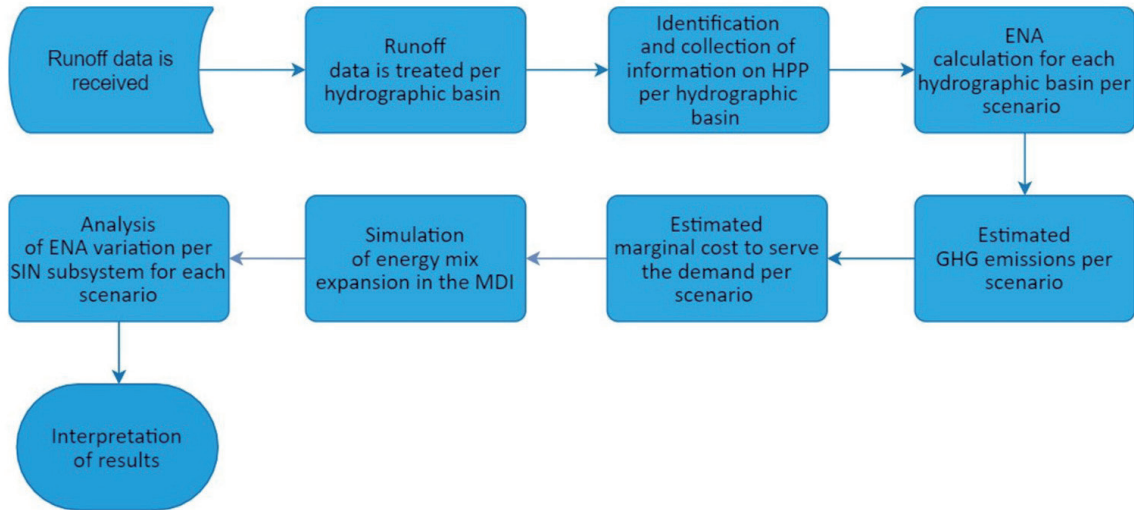
Usually, the methodological approach to climate change impact and adaptation studies is based on scenario-specific model results for future emissions and radiative forcing. Despite the scientific validity of such approach, there is a need for more direct information on the effects at specific levels of global temperature increase, mainly for the formulation of public policies (ARNELL *et al.*, 2019). Moreover, it is relevant for policy makers the use of models that are adopted by governmental energy planning bodies. This ensures that the deviations from official plans are associated with changes in climate variables, rather than with differing methods and modeling assumptions.

Therefore, this study aims at assessing climate change impacts on hydropower generation and their consequences for the Brazilian power system. To this end, hydropower generation resulting from changes in water supply in Brazil are assessed under specific warming level (SWL) scenarios by the Investment Decision Model (henceforth referred to as MDI, as in the Portuguese acronym). MDI is a power sector expansion model used in the Ten-Year Energy Plan by the Energy Research Company (EPE, in the Portuguese acronym). An assessment and discussion of the Brazilian electricity system's adaptive capacity is made, taking into consideration the system's marginal costs to meet the demand under climate change scenarios and the variation in greenhouse gas emissions.

## 2 METHODOLOGY

The indication of alteration in hydropower supply starts from the evaluation of runoff variation under *specific warming levels* scenarios (SWLs) of 2°C (SWL2) and 4°C (SWL4) in relation to historic simulated values, projected from the results of the Eta-HadGEM2-ES and Eta-MIROC5 downscaled climate models. This runoff variation is then used to estimate the impact on affluent natural energy (henceforth referred

to as ENA, as in the Portuguese acronym) and the respective consequences on an energy mix projected for 2030. Both processes are carried out by MDI. Therefore, it is possible to assess climate impacts on ENA, installed capacity and electricity generation, as well as on marginal costs and GHG emissions for the proposed scenarios. Results are assessed against the Baseline Scenario (not affected by climate change). Figure 1 presents a simplified flowchart of the proposed methodology.



**Figure 1 |** Methodology flowchart for the assessment of climate change impacts on hydropower supply and energy mix

Source: Own elaboration.

Runoff variation, modeled by RIBEIRO *et al.*, 2016, was projected for 23 basins (Annex I) on a daily time scale. The Eta-HadGEM2-ES and the Eta-MIROC5 models have two important databases, one with a simulation of historic runoff information and the other with projections for each warming level.

Both information are reviewed and verified by observing the alignment of the seasonality trend of the simulated runoff for each simulated historic period (*simulated h.*) of each climate model. After verifying that both climate models present similar seasonal behavior for each hydrographic basin, monthly averages and annual averages for each scenario were calculated. The monthly averages calculated for each hydrographic basin are used to calculate the relative variation of each warming level in relation to the simulated historic period, as per equation (1), below:

$$(\text{Relative variation factor}) = \frac{Q_{\text{scenario SWL } x} - Q_{\text{simulated h. } x}}{Q_{\text{simulated h. } x}} \quad (1)$$

Where:

$Q_{\text{scenario SWL } x}$  = Average runoff from hydrographic basin x from a given warming level scenario - SWL

$Q_{\text{simulated h. } x}$  = Average runoff from hydrographic basin x simulated historic period

For runoff data to be translated into ENA, first operational and under construction HPPs (with installed power greater than 30 MW) must be located geographically (Annex I). This is made from a snapshot of hydrographic basin/SIN subsystem, through a geoprocessing software. This allows for (i) an assessment of HPP location by each basin/SIN, (ii) identification of the most relevant basins in terms of installed capacity and (iii) the use of an “adjustment factor”, which allows incorporating runoff projections into the historic inflow time series for each HPP in the SIN.



Hence, the observed historic data for inflow to each HPP is identified (*observed h.*). This factor is a monthly percentage value between the *observed.h* and the other scenarios obtained by projected runoff data for each SWL scenario. Thus, the inflow to each HPP is considered to vary according to the projected flow data for the hydrographic basin to which it belongs for a given month, as per equation (2).

$$Q_{usina\ y,i} = \frac{Q_{SWL,i,y}}{\bar{Q}_{h.simulado,i}} \times \bar{Q}_{h.observado,i} \quad (2)$$

Where:

$Q_{power\ plant\ y,i}$  = HPP natural inflow at year  $y$ , month  $i$  ( $m^3/s$ )

$\bar{Q}_{SWL,i,y}$  = Average basin runoff x month  $i$  in SWL2 and SWL4 scenarios ( $m^3/s$ )

$\bar{Q}_{SWL,i,y}$  = Average basin runoff x month  $i$  in SWL2 and SWL4 scenarios ( $m^3/s$ )

$\bar{Q}_{observed\ h.,i}$  = Observed historic inflow of each HPP ( $m^3/s$ )

Inflow series for projected SWL scenarios are used as MDI inputs. MDI is an optimization model proposed by Gandelman (2015) and used in the Ten-Year Energy Plan by the Energy Research Company (EPE, 2017a and EPE, 2017b to 2019), to determine the expansion of the Brazilian electricity system. It considers a portfolio of sources and generation projects, with their fixed and variable costs, as well as their monthly generation expectation and contribution for peak demand. It uses a number of hydrological series to find an expansion portfolio that is optimal in the stochastic sense.

MDI calculates hydropower generation variation in the SIN, represented by ENA (MWmed), according to the climate change impacts projected in the different scenarios. ENA is the energy generated from the sum of the natural inflow (minus curtailment) to each plant times their average productivity. Thus, it represents the power that can be generated by an HPP. ENA variation leads to changes in the installed capacity in the expansion of power supply. Based on these changes, it is possible to assess how climate change impacts on hydropower generation can affect the energy mix expansion, the variation in the system's marginal cost and the variations in GHG emissions for each scenario.

The Baseline Scenario expansion plan considers the cost, the location of power plans per subsystem, seasonal generation, reliability of each energy source and the investments costs for new generation plants per type of technology (GANDELMAN, 2015 e EPE, 2017b). The expansion cost is composed by the investment cost plus operation and maintenance costs (Table 1).

Levelized costs of energy (LCOE), which provide a normalization between fixed and variable energy generation costs, are also presented. Wind and solar sources have particularly competitive LCOE and wide supply availability, but their intermittence prevents MDI from seeking an expansion based only on these sources, due to a restriction that guarantees meeting peak demand (energy security restriction).

**Table 1 |** Technical and economic parameters considered for the expansion of the electricity complex

	<i>Investment cost US\$/kW</i>	<i>Variable cost (US\$/MWh)</i>	<i>Fixed cost O&amp;M(US\$/kW/year)</i>	<i>LCOE (US\$/MWh)</i>	<i>Average capacity factor (annual)</i>	<i>Emission factor (tCO<sub>2</sub>eq/MWh)</i>
HYDROPOWER PLANT	1143 to 6811		66 to 141	68.49	0.25 to 0.89	
NATURAL GAS – OPEN CYCLE	700.00	95.43	41.43	193.54	dispatchable*	0.2125
NATURAL GAS – COMBINED CYCLE	1,000.00	137.17	32.22	147.86	dispatchable*	0.2125
COAL	2,761.75	30.69	107.40	103.14	dispatchable*	0.3529
NUCLEAR	5,000.00	7.85	98.20	65.69	dispatchable*	
BIOMASS	1,227.45		39.89	35.19	0.33	
ON-SHORE WINDFARM	1,626.37		42.96	35.44	0.40	
SOLAR - PV	1,300.00		30.69	43.73	0.5	
DIESEL OIL**						0.2915

Note: Costs in dollar, 1 U\$ = BRL 3.26

\* Will depend on the hydrological scenario

\*\* The model does not consider it as an expansion alternative

*Source: Own elaboration based on EPE data (2017b) and KREY et al (2014) and SIMS et al (2007).*

Electricity demand is the average of electrical loads requested for the electric power system by the consuming systems. Thus, the optimal solution for each scenario must meet a 92.194 MWmed demand in 2029. The assumptions and restrictions adopted by the modeling exercise are: (i) Sugarcane biomass expansion is limited to a maximum of 500 MW/year from 2021, forest biomass expansion is limited to 100 MW/year from 2023 due to limitations of raw material supply, and limitations to the expansion of the agricultural frontier; (ii) there is no restriction on the expansion of wind and solar plants, as occurs in the Ten-Year Energy Expansion Plan 2026 (EPE, 2017); (iii) peak demand load is restricted by capacity credits (intermittent sources have lower contribution, and must be offset by other sources, such as TPPs, to keep the system secure); (iv) the power contribution of HPPs is estimated from ENA calculated herein; (v) new coal-fired TPPs can only be installed from 2029 onwards, as per (EPE, 2017) – the government underlines the outcomes of this source, such as job generation and energy security, in order to justify supply (EPE, 2019), therefore, this assumption was kept so that the results are directly comparable; (vi) Indication of a uniform expansion (whose amount was optimized by MDI) of wind supply between the Northeastern and Southern regions as of 2021, with 80% 80% allocated in the Northeast and 20% in the South, as proposed by (EPE, 2017).

Finally, greenhouse gas emission was represented by accounting for equivalent carbon dioxide (CO<sub>2</sub><sub>eq</sub>). The IPCC provides the guidelines for measuring GHG inventories per sector (IPCC, 2006 e 2019). For the energy sector, IPCC (2006) determines emission factors for each fuel in kg GEE/TJ based on Lower Heating Value (LHV). In order to determine the energy sector's emission factors, it is necessary to have information on the quantity of fuel consumed by each generation unit (MWh, for example), per technology. The quantity of fuel must be converted from its original units into energy units. For this

conversion, LHV is used, as this parameter corresponds to the heat exchange processes that effectively occur during combustion, since, in practice, the processes are carried out at constant pressure and water is released as vapor (LICKS and PIRES, 2010). Emission factors for fossil fuel energy sources, in tCO<sub>2</sub>eq/MWh, are obtained from IPCC reports (KREY et al., 2014 and SIMS et al., 2007). The reports gather emission factors from a number of studies, per energy generation technology. Thus, the figures chosen herein are reference figures, aiming at assessing response variation of the MDI expansion model against climate impacts on hydropower generation and the Brazilian energy mix.

### 3. RESULTS

#### 3.1 RUNOFF

After assessing runoff seasonality, simulated in baseline scenarios for each basin, it was determined that Eta-HadGEM2-ES and Eta-MIROC5 climate models have an analogous monthly seasonality. However, all in all, Eta-HadGEM2-ES presents greater runoff reduction values than those obtained by Eta-MIROC5, mainly in the Southern and Southeastern regions, where the results vary above 20% between the two models.

SWL2 scenarios show an upward trend in runoff in the Southern region, except for the South Atlantic and Uruguay basins. For the other basins assessed, climate models show negative results. Basins in the Northern and Northeastern regions show greater runoff decrease, such as the ones in the Tocantins, Araguaia, Parnaíba, São Francisco, East Atlantic and Doce Rivers, which together account for 28% of the country's total HPP installed capacity.

In the Southeastern region, Paraná is SIN's most important basin, both in terms of installed capacity (35.4% of the country's total hydropower installed capacity), as in terms of energy demand, as it encompasses Brazil's most populated areas. Hence, reduction of water availability in this region, in addition to undermining hydropower generation can also increase conflicts caused by the different uses of water in the basin. In this basin, the Eta-HadGEM2-ES SWL2 scenario indicates a runoff reduction between 20% and 40%. On the other hand, the Eta-MIROC5 SWL2 scenario shows a small runoff increment (by 20%).

However, for this warming level, due to seasonal complementary characteristics between the Southern and Southeastern/Center West and Northern regions, it is likely that a reduction in runoff in the Northern and Northeastern regions are offset by an increase in the Southern region.

In the SWL4 scenarios, runoff results presented more critical reductions than those in SWL2 scenarios in both climate models for all basins assessed, except for South Atlantic and Uruguay basin, where even higher runoff values were obtained compared to SWL2 scenarios. The Paraná basin also shows the same increase pattern as that of the Eta-MIROC5 SWL2 scenario. However, although there is still the seasonal runoff complementarity among the country's regions, the presence of more extreme values indicates longer periods of lower runoff, which can compromise reservoir energy storage capacity.

#### 3.2 AFFLUENT NATURAL ENERGY (ENA)

The Baseline Scenario shows that the largest contribution to total ENA (43%) is in the Southeast/Center-West (SE/CO) subsystem, followed by the Southern (S) subsystem with 28%, Northern (N) subsystem with 17% and Northeastern (NE) subsystem with 12%. SIN analyses show that the ENA for each SWL scenario, when compared to the baseline scenario, indicates a possible decrease in hydropower generation for all warming scenarios, with the Eta-HadGEM2-ES model showing the greatest impacts, with a reduction ranging from 27% to 41%. The Eta-MIROC5 model shows reductions in hydropower

generation between 6% and 10%. This result indicates that in both climate models all warming levels would force the SIN to adapt expanding and changing the energy mix.

A detailed analysis by warming level scenario shows the distribution of impacts in ENA per subsystem for each downscaled model. Results are shown in Figure 2. The Eta-HadGEM2-ES model shows that the NE subsystem is the one with the greatest ENA reduction: 42% (SWL2) and 56% (SWL4). On the other hand, the S subsystem is the one with the lower reduction potential, with variations of -16% (SWL2) and -25% (SWL4).

In the Eta-MIROC5 model, the two warming levels show the S subsystem with an ENA increase of 13% (SWL2) and 23% (SWL4). This is justified because in this region are the river basins with positive impacts due to the increase in runoff as the warming level increases. On the other hand, the N, NE and SE/CO subsystems indicate an ENA reduction by 40% e 2,5% respectively, for the SWL4 scenario.

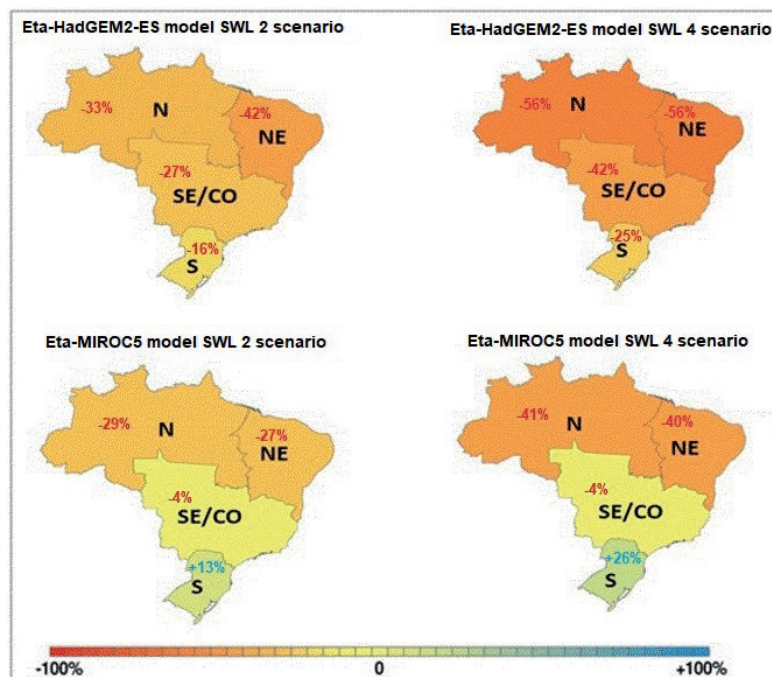


Figure 2 | Variation of ENA of each warming scenario relative to the Base Scenario.

Source: own elaboration

### 3.3 INSTALLED CAPACITY

Total capacity is projected to reach 224 GW in 2030 in the Base Scenario. Additional capacity reaches 94 GW, of which about 30% comes from wind power, 17.7% from coal, 17.3% from natural gas, 12.6% from biomass, 12% from hydropower and 10.7% from solar energy.

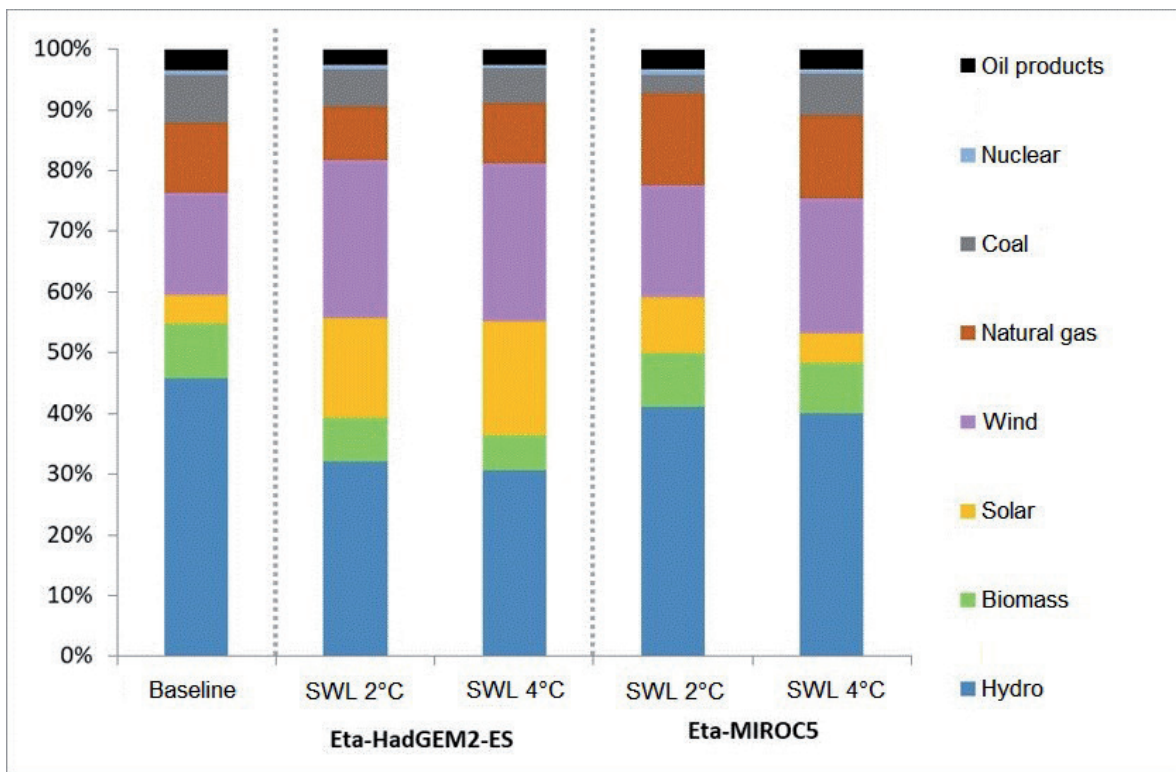
MDI results for installed capacity expansion consider the assumptions described in Section 2 for the baseline scenario and scenarios with climate impacts. The climate scenarios simulation in MDI shows that the HPPs share in the sector's expansion decreases significantly when compared to the Baseline Scenario in 2030 (Figure 3).

In the most impacted scenario, Eta-HadGEM2-ES SWL4, HPP contribution is only 1.3% of the projected additional capacity in the Baseline Scenario in 2030. The Eta-HadGEM2-ES SWL2 scenario expands the hydropower sector only by an additional 2.4% than projected in the Baseline Scenario. In the case of

Eta-MIROC5 SWL4 and Eta-MIROC5 SWL2 scenarios, the impact of climate change would mean that the hydropower sector can only expand 12.2% of the expected capacity in the Baseline Scenario in 2030.

The fall in the hydropower sector’s installed capacity means that the expansion of the electric system has a different mix than the one presented in the Baseline Scenario. According to the Eta-HadGEM2-ES model, solar energy share in the expansion reached 31% and 34.9%, while wind power share reached 42.1% and 41.9% for warming levels at 2°C and 4°C, respectively. In addition, natural-gas-fired TPPs have increased their share by 9.7% and 11.4% in the SWL2 and SWL4 scenarios, probably due to a drop in biomass share (from 7.2% to 4.6%) together with lower ENA values. Coal-fired HPPs have the same expansion schedule as projected in the Baseline Scenario.

In the Eta-MIROC5 model, wind power was also the renewable source with the highest additional installed capacity at both warming levels (33.2% and 42% for SWL2 and SWL4). For its part, solar energy’s share dropped by just over half, from 22.1% to 10.5% in the SWL2 and SWL4 scenarios, which was offset by the increase in coal-fired plants, which rose from 4.6 % to 14.1% of the total capacity to be contracted. Biomass share varied on average 1.5% in relation to the Baseline Scenario, largely due to the restriction in relation to agricultural frontier expansion for sugarcane biomass.



**Figure 3 |** Energy mix expansion in 2030. Baseline Scenario and specific warming levels (SWL) at 2°C and 4°C, Eta-HadGEM2-ES and Eta-MIROC5 climate models.

Source: Own elaboration.

### 3.4 ELETRICITY GENERATION

The generation profile in 2030 alters significantly among the proposed scenarios. This difference is due to the electric system projected by MDI for each scenario. Scenarios with climate impacts present a greater insertion of intermittent renewable sources (on-shore wind and photovoltaic solar energies), which leads the system to have greater supply than demand in some months of 2030, raising the average annual generation in MWmed (Figure 4).



Adaptation of the SIN to climate impact on hydropower generation means replacing energy loss with other technologies to meet the demand. MDI seeks the optimal solution to adapt to hydropower reduction considering the subsystem where the reduction occurred, the limits and transmission costs (operation and expansion) and the location of energy availability.

The Eta-HadGEM2-ES SWL4 scenario is the impacted the most in term of hydropower supply, having the greatest negative impact on the SE/CO subsystem, which concentrates the largest amount of ENA. SIN adapts by seeking the lower costs, mainly in *on-shore* wind and photovoltaic solar energies. Thermoelectric generation based on natural-gas and biomass dropped by 17% and 2% in relation to what was projected for 2030, respectively. coal-fired TPPs, in turn, have a small growth of 1%.

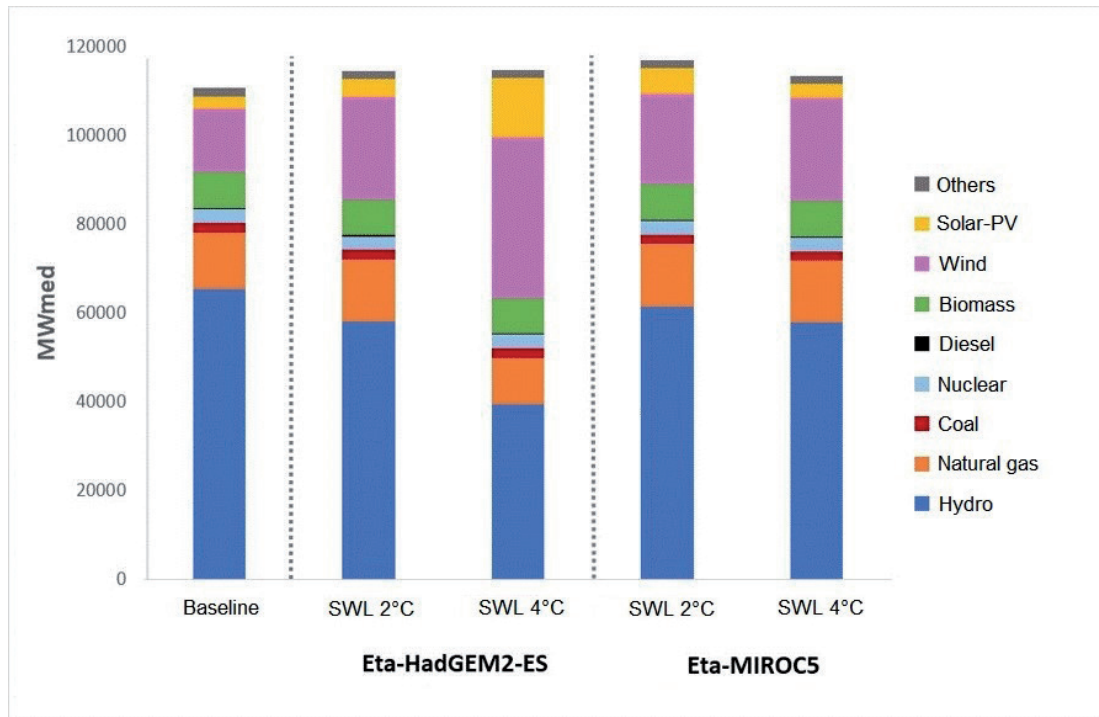


Figure 4 | Electricity generation for Baseline Scenario and specific warming levels (SWL) at 2°C and 4°C, Eta-HadGEM2-ES and Eta-MIROC5 climate models.

Source: Own elaboration.

The Eta-MIROC5 SWL4 scenarios is the second most affected in terms of hydropower generation, followed by Eta-HadGEM2-ES SWL2 and Eta-MIROC5 SWL2. In the four scenarios presenting climate impacts, MDI opts for a larger wind and solar generation, as well as a lower proportion of natural gas generation. In these scenarios, there is a slight drop in coal-fired generation and no variation in biomass, nuclear and diesel-fired TPPs.

### 3.5 MARGINAL COST OF ENERGY AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS

Figure 5 shows the marginal expansion cost and the relative increase in CO<sub>2</sub> emissions for each scenario. The marginal cost of expansion, in R\$/MWh, shows the cost of meeting additional energy demand. This cost increases rapidly with increased demand. Somehow, a drop in hydropower generation in climate change scenarios is perceived by the MDI as similar to an increase in net demand, since this energy will have to be supplied by the expansion of the generating system.

The marginal cost of expansion considers expansion and operation costs. The higher the system's net demand, the higher this cost tends to be. Among the different scenarios tested, cost for each power

generation source is the same, with ENA being different. Therefore, marginal costs are directly linked to this reduction, since the model needs to invest in new power plants to offset energy loss, in addition to increase operation of the thermoelectric system.

Thus, in SWL4 scenarios, where ENA showed greater reductions, costs are higher. In addition, the greater share of renewable sources in the Eta-HadGEM2-ES SWL4 scenario is due to the high marginal cost, mainly that of solar energy. Therefore, a higher marginal cost indicates a decrease in cheaper generation alternatives, making more expensive sources and generation projects possible.

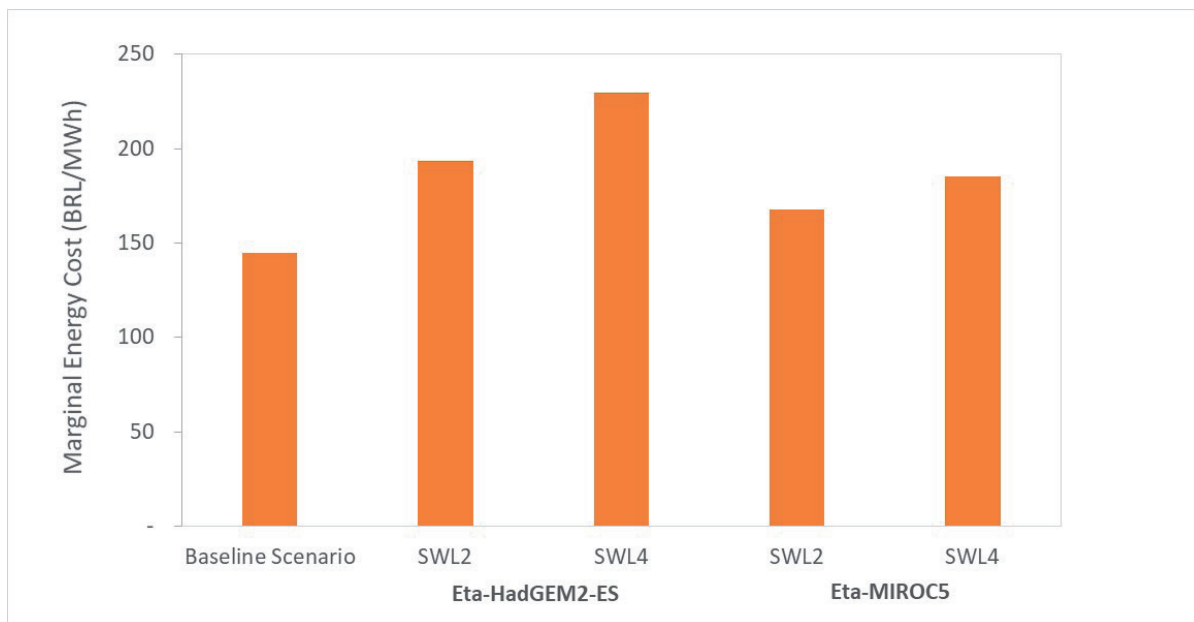


Figure 5 | Energy mix marginal cost per scenario for Eta-HadGEM2-ES and Eta-MIROC5 climate models

Source: Own elaboration.

In relation to GHG emissions, the significant input of intermittent renewable energy, in order to offset hydropower loss, leads to a reduction in emissions in the most impacted scenarios, namely Eta-MIROC5 SWL4 and Eta-HadGEM2-ES SWL4, the latter showing a much more significant reduction in GHG emissions (-12%). In the SWL2 climate scenarios, despite showing other renewable sources replacing hydropower, estimated emissions are higher than in the Baseline Scenario, due to a greater proportion of TPPs dispatch and natural gas. Table 2 shows the percentage variation of GHG emissions in comparison to the Baseline Scenario in 2030.

Table 2 - Relative variation of GHG emissions from the expansion of the energy mix for SWL2 and SWL4 warming levels for Eta-HadGEM2-ES and Eta-MIROC5 climate models.

	Eta-HadGEM2-ES		Eta-MIROC5	
	SWL2	SWL4	SWL2	SWL4
GHG EMISSIONS VARIATION (%)	6.46	-12.36	4.52	-0.93

Source: Own elaboration.

#### 4 DISCUSSION

Studies usually assess climate impacts and vulnerability of energy sources individually (e.g. the potential of hydropower, wind and solar energies) (MCTI, 2016 e RUFATTO-FERREIRA et al., 2016). The originality of this study involves an analysis of the impact on the energy mix, in the face of climate change

scenarios, not only in the potential, but also in the hydropower generation, through the MDI model, used in the official Brazilian planning. Moreover, the ENA modeling considers the location of power plants per SIN subsystems, which represents an improvement in projections per basins. In addition, this study assesses downscaled climate model scenarios, whose spatial resolution encompasses a greater degree of detail of the climate variables analyzed. Results combined with information on the variation of marginal costs to meet total demand and GHG emissions from the electricity system provide new data for a better analysis of the sector's future planning, considering its vulnerability against climate changes, which is increasingly evident in the country.

The climate scenarios used consider 2°C and 4°C increase in global average temperature. The Eta-HadGEM2-ES downscaled climate model shows a greater negative impact than the Eta-MIROC5 model on hydrographic basins runoff and, as a consequence, a greater impact on Brazilian ENA and hydropower generation. Even though the degree of impact varies across climate models and scenarios, the results are consistent in identifying that the SE/CO subsystem would experience a reduction in the ENA potential. This is the most relevant subsystem, as it has the largest reservoir storage capacity and the country's largest demand. On the other hand, the SE/CO subsystem imports energy from other subsystems, mainly the S subsystem, whose impact is slightly negative at Eta-HadGEM2-ES and positive at Eta-MIROC5).

SIN's adaptive capacity may offset part of the negative impacts in the system's generation. A drop in hydropower generation is offset mainly by natural gas, wind and solar power. Results of both the base scenario and climate impact consider expansion with assumptions that seek to contribute to the reduction of GHG emissions, as explained in Section 2. This is an indication that mitigation strategies to reduce emissions are robust against climate change impact shocks, thus contributing to the sector's adaptation challenges. These results are coherent with those by LUCENA et. al. (2018).

The greater TPP dispatch in the face of climate change implies an increase in the marginal cost to meet the net demand for electricity. Using TPPs is necessary to offset an increased insertion of intermittent renewable sources, which need an associated supply guarantee (meeting the maximum energy demand). For this purpose, open-cycle natural-gas-fired TPPs are added to the system, as their technical and economic characteristics provide them with the operational flexibility capable of offsetting the intermittence of renewable sources. Another aspect is the seasonal increase in electricity demand, which is no longer met due to the loss in hydropower generation. This seasonal generation, especially during dryer months, is well modulated by the expansion of flexible thermal systems, that is, those whose operator can choose to dispatch or not. These power plants, which are expected to generate energy not only to cope with intermittence, are combined-cycle natural-gas-fired TPPs, which have a higher fixed cost, but have a lower variable cost when compared to open-cycle TPPs, leading to a thermal alternative with lower cost per MW/h.

Variations in GHG emission in the climate scenarios compared to the Baseline Scenarios for 2030 are coherent with the generation mix shown in Figure 4. The electric system's adaptive capacity seeks an optimum generation cost, taking into account the choice of technologies that contribute to GHG mitigation.

In an intermediate climate change scenario (SWL2), the electrical system still considers a greater share of natural-gas-fired TPPs in the expansion, in comparison to renewable energy sources, mainly to offset the reductions in hydropower generation and, therefore, the increase in GHG emissions in SWL2 scenarios. On the other hand, in a more severe scenario (SWL4), emissions might drop by 12% due to a greater share of renewable sources in the energy mix. It should be noted that GHG emissions in the Eta-HadGEM2-ES SWL2 scenario are higher than in the Eta-MIROC-5 SWL2. Even though the impact on hydropower generation is greater in the first scenario, the MDI opts for a greater share of open-cycle natural-gas-fired TPPs, whose emission factor is higher than combined-cycle TPPs.

## 5 FINAL CONSIDERATIONS

An power system planning aims at identifying and meeting projected future energy needs. These Plans support decision-making in expansion projections. For that purpose, it is necessary to conduct studies on future climate scenarios, whose results may be considered in management instruments, as is the case of the Ten-Year Energy Plan.

The climate scenarios used consider a 2°C and a 4°C increase in global average temperature. These scenarios are used to simulate impacts on the runoff in hydrographic basins and, consequently, on the ENA and on hydropower generation, thus changing the Brazilian electric system generation mix. These results are based on the assumption that changes in the potential and hydropower generation for SWL2 and SWL4 scenarios would already be acting on system expansion since the first year of the planning horizon (2021), although warming from 2°C to 4°C should be gradual over time.

Still, the results presented herein show, within a ten-year horizon, what impacts climate change may cause to the Brazilian electricity system and the potential to change the course provided for in EPE's Ten-Year Energy Plans. Climate change impacts on hydropower generation has not been explicitly considered so far in the Ten-Year Energy Expansion Plan. These impacts imply a new optimum configuration of the generating complex in order to offset hydropower generation losses, leading to very different power generation profiles.

The MDI, by abiding by the 2026 Ten-Year Energy Expansion Plan, takes into account restrictions assumptions in the expansion of coal and oil-based thermoelectric generation, leaving the model free to seek an optimal solution for the expansion of other sources, such as wind, solar, nuclear and natural gas. It is understood that part of the restrictions contributes to the energy sector's mitigation efforts to comply with the Brazilian NDC. In the scenario where the impact is greater, the modeling tends to a greater share of renewable sources. This is beneficial for GHG emissions. However, the final marginal cost to meet the demand is higher.

The modeling was performed with the 2026 Ten-Year Energy Expansion Plan economic reference data. The 2029 Ten-Year Energy Expansion Plan (EPE, 2020) indicates lower investment cost values for renewable energies, which induces the likelihood of greater expansion of these sources in future climate change impact scenarios and less GHG emissions. It is noteworthy that studies carried out for Brazil indicate the probability of climate change not impacting negatively wind power (LUCENA et al., 2010, PEREIRA et al., 2013, by JONG et al., 2019) and solar power (SIMIONI & SCHAEFFER, 2019 and SANTOS, 2020). It is suggested that, in the future, studies conduct a more integrated assessment, considering impacts on hydropower generation and also on other renewable sources vulnerable to climate change, such as wind and solar power.

Finally, this study reinforces the need for an integrated planning, in which Plans, in addition to considering GHG mitigation measures, also include likely climate-change-related impacts and vulnerabilities, thus strengthening the electricity system's resilience and adaptive capacity at the lowest possible cost.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work was carried out with the support of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES, in the Portuguese acronym) - Funding Code001; the Brazilian Council for Scientific and Technological Development (CNPq, in the Portuguese acronym) and the Brazilian Institute of Science and Technology for Climate Change (INCT-MC).

## REFERENCES

- ARIAS, M.; FARINOSI, F.; LEE, E. et al. Impacts of climate change and deforestation on hydropower planning in the Brazilian Amazon, **Nature Sustainability**, v. 3, n. 6, p. 430-436, 2020.
- ARNELL, N. W. et al. Global and regional impacts of climate change at different levels of global temperature increase. **Climatic Change**, v. 155, n. 3, p.377-391, 2019.
- BARRETO, R. et al. A foundation for the strategic long-term planning of the renewable energy sector in Brazil: hydroelectricity and wind energy in the face of climate change scenarios. **Renew. Sustain. Energy Rev.** v. 72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.020>.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais à mudança do clima no Brasil**. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Brasília, 2016.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. In: Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change**. v. II, Brasília, 2016.
- DIAS, V. S. et al. An overview of hydropower reservoirs in Brazil: current situation, future perspectives and impacts of climate change. **Water**, v. 10, n. 5, p. 592, 2018.
- EPE. **Modelo de Decisão de Investimentos para Expansão do SIN considerando incertezas**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2017a.
- EPE. **Custo Marginal de Expansão do Setor Elétrico Brasileiro**. Metodologia e Cálculo – 2017b. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2017b. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/topico-.67/NT%20DEE%20027\\_17.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/topico-.67/NT%20DEE%20027_17.pdf)>. Acesso em: set. 2020.
- EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME/EPE, 2017c.
- EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME/EPE, 2018.
- EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2028**. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME/EPE, 2019.
- EPE. **Balanco Energético Nacional 2020**. Ano-base 2019. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2020.
- EPE. **Balanco Energético Nacional 2019**. Ano-base 2018. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2019.
- GANDELMAN, D. A. **Uma metodologia para o planejamento da expansão do sistema elétrico brasileiro considerando incertezas**. Tese (Doutorado). COPPE/UFRJ, 2015.
- JONG, P. DE et al. Hydroelectric production from Brazil's São Francisco River could cease due to climate change and inter-annual variability. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 1540-1553, 2018.
- KREY, V. et al. Annex II: Metrics & Methodology. In: **Climate Change 2014: mitigation of climate change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. EDENHOFER, O. et al. (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- LUCENA, A. F. P. et al. The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. **Energy Policy**, v. 37, n. 3, p. 879-889, 2009.
- LUCENA, A. F. P. et al. The vulnerability of wind power to climate change in Brazil. **Renewable Energy**, v. 35, n. 5, p. 904-912, 2010.
- LUCENA, A. F. P. et al. Interactions between climate change mitigation and adaptation: the case of hydropower in Brazil. **Energy**, v. 164, p. 1161-1177, 2018.



MOSS, R. H. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 7.282, p.747-756, 2010.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. 2018. Atualização Setembro 2018. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>>. Acesso em: jan. 2019.

PEREIRA, E. B. et al. The impacts of global climate changes on the wind power density in Brazil. **Renewable energy**, v. 49, p. 107-110, 2013.

QUEIROZ, A. R. et al. Hydropower revenues under the threat of climate change in Brazil. **Renewable Energy**, v. 133, p. 873-882, 2019.

QUEIROZ, A. R. et al. Climate change impacts in the energy supply of the Brazilian hydro-dominant power system. **Renewable Energy**, v. 99, p. 379-389, 2016.

RIBEIRO NETO, A.; PAZ, A. R. DA; SILVA, E. R. DA. Impactos e vulnerabilidade do setor de recursos hídricos no Brasil às mudanças climáticas. In: **Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais à mudança do clima no Brasil**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2016.

SANTOS, A. **Impacto de Mudanças Climáticas no Potencial de Energia Solar Fotovoltaica no Setor Residencial Brasileiro**. 426f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2020.

SANTOS, H. L. **Metodologia para Planejamento da Expansão do Setor Elétrico Brasileiro considerando Critérios Ambientais e a Interação Oferta- Demanda**. Tese (Doutorado). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil. 2017.

SCHAEFFER, R. et al. **Adaptação às mudanças climáticas no Brasil: cenários e alternativas**, p. 1-56, 2015.

SCHAEFFER, R. et al. Energy sector vulnerability to climate change: a review. **Energy**, v. 38, n. 1, p. 1-12, 2012.

SCHAEFFER, R. et al. Impactos na demanda e na confiabilidade no setor de energia. In: **Economia da Mudança do Clima no Brasil: custos e oportunidades**. São Paulo, 2010.

SIMIONI, T.; SCHAEFFER, R. Georeferenced operating-efficiency solar potential maps with local weather conditions: an application to Brazil. **Solar Energy**, v. 184, n. October 2018, p. 345-355, 2019.

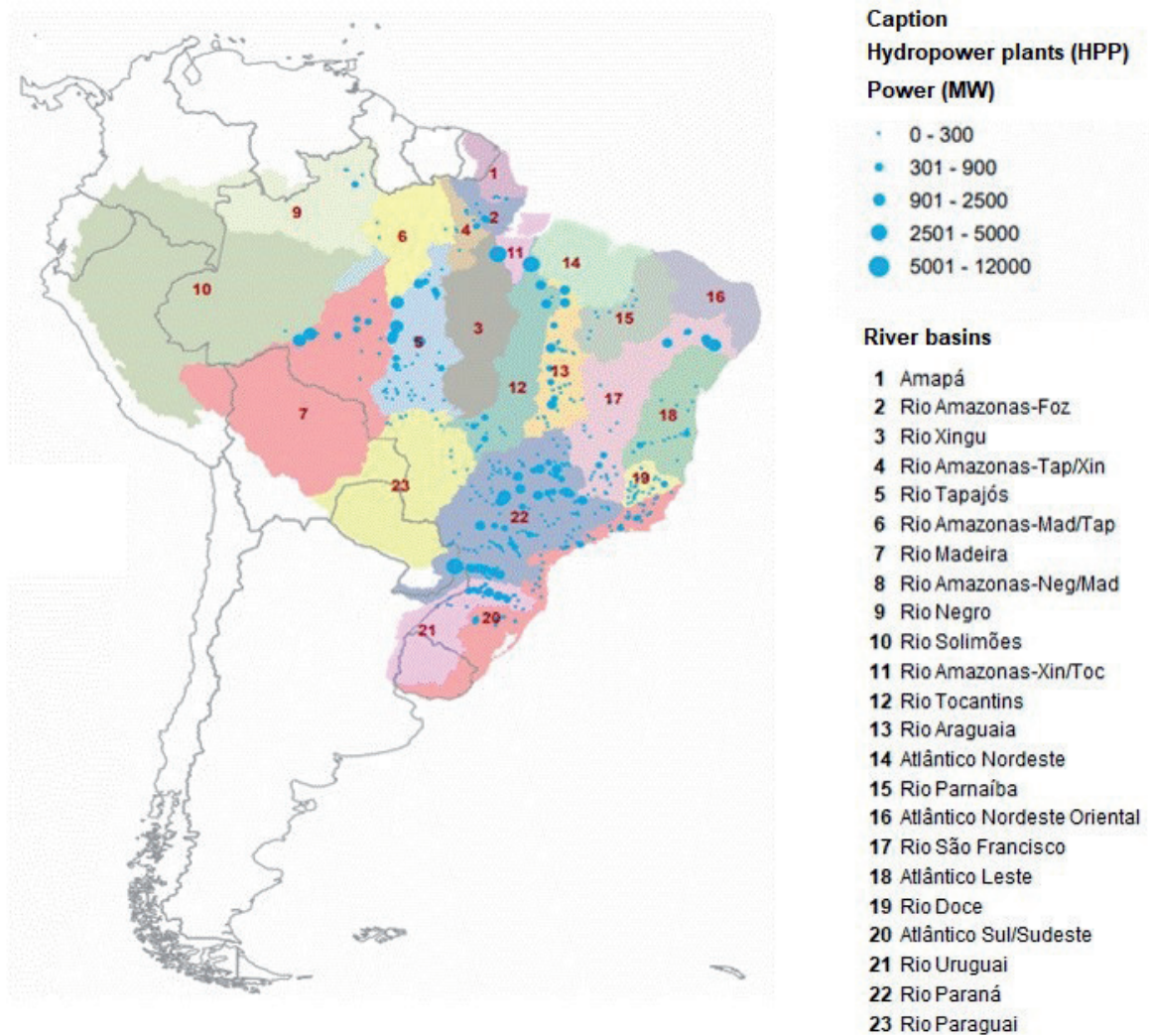
SIMS, R. E. H. et al. Energy supply. In: **Climate Change 2007: mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. METZ, B. (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2007.

TOLMASQUIM, M. **Energia Termelétrica: gás natural, biomassa, carvão, nuclear**. EPE: Rio de Janeiro, 2016, 417p. ISBN 978-85-60025-05-3.

VICUNA, S. et al. The sensitivity of California water resources to climate change scenarios. **Jawra Journal of the American Water Resources Association**, v. 43, n. 2, p. 482-498, 2007.

## Annex

Annex I: Map of HPP and major river basins



Source: Own elaboration, based in RIBEIRO et al (2016) e (ANEEL, 2019)

# Implicações dos impactos das mudanças climáticas na matriz elétrica brasileira

## *Implications of climate change impacts for the Brazilian electricity mix*

Eveline Vasquez-Arroyo<sup>a</sup>

Dan Abensur Gandelman<sup>b</sup>

Fábio da Silva<sup>c</sup>

Letícia Magalar<sup>d</sup>

Diogo Victor Santos<sup>e</sup>

André F. P. Lucena<sup>f</sup>

<sup>a</sup> Programa de Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: eveline@ppe.ufrj.br

<sup>b</sup> Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: dangandelman@id.uff.br

<sup>c</sup> Programa de Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: fabioteixeira@ppe.ufrj.br

<sup>d</sup> Programa de Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: leticiamagalar@ppe.ufrj.br

<sup>e</sup> Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), Brasília, DF, Brasil  
End. Eletrônico: diogo.santos@mctic.gov.br

<sup>f</sup> Programa de Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: andreLucena@ppe.ufrj.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33998

Received: 09/09/2020  
Accepted: 29/10/2020

*Os dados e os resultados apresentados nesta publicação foram desenvolvidos no âmbito do projeto “Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, por meio dos recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente, aos quais oferecemos nossos agradecimentos.*

## RESUMO

A geração hidrelétrica é responsável por ofertar a maior parte da eletricidade no Brasil. Tal como outras renováveis, a fonte hídrica tem alta sensibilidade a variáveis meteorológicas, de maneira que mudanças climáticas podem impactá-la consideravelmente. Portanto, este estudo pretende analisar impactos das mudanças climáticas na geração hidrelétrica e suas consequências para o sistema elétrico brasileiro. São utilizados dados de cenários de níveis específicos de aquecimento médio global de 2°C e 4°C, provenientes dos modelos climáticos regionalizados Eta\_HadGEM2-ES e Eta\_MIROC5. Os resultados indicam que a adaptação do sistema elétrico ante a redução da disponibilidade hídrica inclui maior penetração de outras fontes renováveis e termelétricas a gás natural, gerando um aumento no custo marginal do sistema para atendimento da demanda em 2030. Quanto às emissões de gases de efeito estufa, projeta-se um aumento nos cenários de níveis de aquecimento de 2°C, mas uma redução nos cenários em que o aquecimento atinge 4°C.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas. Impacto. Adaptação. Geração hidrelétrica. Sistema de geração elétrica. Brasil.

## ABSTRACT

*Hydropower generation is responsible for supplying most of the electricity in Brazil. Like other renewable sources, water is highly sensitive to meteorological variables, so that climate change may have a considerable impact on it. Therefore, this study aims at assessing climate change impacts on hydropower generation and their consequences for the Brazilian electricity system. Scenario data for specific average global warming levels of 2°C and 4°C from Eta\_HadGEM2-ES and Eta\_MIROC5 downscaled climate models are used. Outcomes indicate that the electricity system’s adaptive capacity to lower hydropower generation includes a growing share of other renewable and natural gas fired thermoelectric generation, increasing the system’s marginal cost to meet projected demand in 2030. Greenhouse gas emissions are projected to increase in a 2°C scenario, but to decrease in scenarios in which warming reaches 4°C.*

**Keywords:** Climate Change Impact. Adaptation. Hydropower generation. Hydropower generation system. Brazil.

## 1 INTRODUÇÃO

A matriz elétrica brasileira é predominantemente renovável, sendo a maior parte da energia elétrica gerada no País proveniente de usinas hidrelétricas (UHEs). A energia eólica, termelétrica à biomassa e solar também vêm crescendo, contribuindo para que a matriz elétrica continue sendo, em sua maior parte, renovável (MEM/EPE, 2017). Em 2019, as fontes renováveis representaram 83% da oferta interna de eletricidade (EPE, 2020).

Assim, é possível definir o sistema de geração e transmissão de energia elétrica no Brasil como um sistema hidro-termo-eólico de grande porte, com predominância de UHEs. A transmissão da energia é realizada no chamado Sistema Interligado Nacional (SIN), que é constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da Região Norte. A interconexão dos sistemas

elétricos, por meio da malha de transmissão, propicia a transferência de energia entre subsistemas, permite a obtenção de ganhos sinérgicos e explora a diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias hidrográficas brasileiras (ONS, 2018).

As fontes renováveis de energia são diretamente impactadas por variáveis climáticas. Isso faz com que sua oferta seja mais vulnerável a mudanças climáticas que a de recursos fósseis (LUCENA et al., 2009; SCHAEFFER et al., 2012).

A energia hidrelétrica, em particular, é impactada por mudanças nos padrões de precipitação e aumento da temperatura do ar, o que afeta o processo de evapotranspiração nas bacias hidrográficas, o escoamento superficial, o transporte de sedimentos e a evaporação dos reservatórios (DIAS et al., 2018). Isso, em regra, diminui a vazão afluyente às usinas a fio d'água e com reservatórios, induzindo, assim, a uma redução do volume útil destes e, conseqüentemente, da energia armazenada. Portanto, a geração hidrelétrica é vulnerável a eventos extremos, como estiagens prolongadas, o que representa um considerável risco à segurança energética do país (LUCENA et al., 2009; SCHAEFFER et al., 2010, 2015).

Lucena et al. (2009) e Schaeffer et al. (2010) projetaram uma diminuição na geração como consequência de menores vazões nas bacias de forma regionalizada, principalmente nas regiões Norte e Nordeste. Lucena et al. (2009) estimaram que a energia firme poderia cair até cerca de 3% nos cenários avaliados, com impactos regionais mais significativos, enquanto Schaeffer et al. (2010) calcularam que a energia firme poderia sofrer uma queda de 30%. De Queiroz et al. (2019) também obtiveram como resultado o aumento da energia firme nas usinas da Região Sul e redução na maioria das usinas nos demais subsistemas, mostrando ainda previsões de queda significativa na energia firme com o início da operação planejado até 2030 em quase todos os períodos simulados.

Em escala regional, Jong et al. (2018) projetam uma redução de até 35% da geração de UHEs na Bacia do São Francisco. Já Arias et al. (2020) avaliaram os efeitos de mudanças climáticas na rede de reservatórios existentes e planejados na Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós, que, juntos, compõem cerca de 50% do potencial de expansão de energia hídrica inventariado no Brasil. Os resultados indicam possível aumento de disparidades entre a oferta de eletricidade sazonal e a demanda de pico, podendo ainda diminuir o potencial de geração hidrelétrica na estação seca em 5.4% e 7.4%.

Além do impacto quantitativo na geração e do aumento do risco de déficit no suprimento de energia, alterações no aproveitamento das fontes renováveis por causa das mudanças climáticas podem impactar a caracterização da matriz elétrica, originando um balanço de energia diferente do anteriormente projetado (QUEIROZ et al., 2016). No SIN, a diversidade da matriz elétrica possibilita a compensação de impactos climáticos na geração elétrica entre diferentes fontes energéticas, como entre as renováveis e as termelétricas a combustíveis fósseis e mesmo entre fontes renováveis. Essa compensação dota o sistema elétrico de uma capacidade intrínseca de adaptação, a assim chamada Capacidade Adaptativa (BRASIL, 2016).

A capacidade das UHEs para lidarem com alterações na variabilidade de vazões ou mudanças no regime de sazonalidade das chuvas está associada à sua capacidade de armazenamento de água no reservatório (SCHAEFFER et al., 2012). Quanto maior o volume de armazenamento de água possível, mais apto o sistema está para lidar com a variabilidade climática (VICUNA et al., 2007). Entretanto, dadas as crescentes restrições ambientais para a construção de usinas com grandes reservatórios, é de se esperar que o aproveitamento futuro do potencial hidrelétrico remanescente seja cada vez mais baseado em usinas a fio d'água, com pequenos reservatórios. Portanto, a habilidade do sistema para compensar as variações climáticas com o aumento da capacidade de armazenamento dos reservatórios pode diminuir, tornando-o mais vulnerável às mudanças climáticas.

Outro elemento determinante para a capacidade adaptativa é a complementaridade dos recursos energéticos integrados ao SIN. O SIN deve manter a otimização do atendimento da carga prevista ao



menor custo, quer dizer, minimizando a utilização da geração termoelétrica, evitando vertimentos não turbinados nos reservatórios das usinas e equalizando, na medida do possível, os custos marginais de operação entre as regiões interligadas (TOLMASQUIM, 2016).

A capacidade adaptativa pode ser realizada tanto pela perspectiva geográfica quanto pelas diferentes fontes de energia disponíveis. Pela ótica geográfica, a gestão operativa do SIN é influenciada pelo regime pluviométrico das diferentes regiões hidrográficas. Essas regiões, por apresentarem períodos úmidos e de estiagem distintos, complementam-se, já que a energia gerada em uma região com abundância de água pode ser redirecionada para regiões mais secas em um determinado período. Isso, para além de aumentar a segurança energética, é capaz de diminuir o custo operativo do sistema.

Pela ótica da gestão de diferentes fontes energéticas no SIN, nos últimos anos verificou-se um forte crescimento de usinas eólicas, principalmente nas regiões Nordeste e Sul. As usinas termelétricas (UTES), em geral localizadas nas proximidades dos principais centros de carga, desempenham papel estratégico, pois contribuem para a segurança do SIN, sendo despachadas em função das condições hidrológicas vigentes, permitindo a gestão dos estoques de água armazenada nos reservatórios das UHEs para assegurar o atendimento futuro (ONS, 2018; TOLMASQUIM, 2016). Porém, o despacho dessas UTES aumenta os custos de geração por causa dos preços de combustíveis, como o nuclear, gás natural e carvão mineral (EPE, 2017, 2018, 2019). Além disso, se alimentadas por combustíveis fósseis, as UTES aumentam a emissão de gases de efeito estufa (GEE) do sistema energético brasileiro (EPE, 2017, 2018, 2019; LUCENA et al., 2018).

Termelétricas operadas a carvão mineral ou nucleares realizam o atendimento da demanda de base, quer dizer, seu fornecimento é relativamente constante ao longo do dia durante todo o ano. As usinas a carvão têm um baixo custo variável, porém, as emissões de GEE são muito altas. Por outro lado, as usinas nucleares não emitem diretamente GEE, mas o custo de investimento é muito alto. As UTES a diesel e óleo combustível atendem à demanda de ponta, operações esporádicas para equilibrar o sistema e/ou sistemas isolados. Essas usinas possuem um custo de investimento, custos variáveis e emissões muito altos. As usinas a gás natural a ciclo combinado são mais acionadas para atendimento na base, e as a ciclo aberto para atendimento flexível, sobretudo para atendimento da demanda de ponta. Os custos das UTES a gás natural são variáveis e possuem uma emissão média, comparada com as outras tecnologias de geração a combustíveis fósseis.

Lucena et al. (2018) avaliaram estratégias de adaptação do setor elétrico ao impacto das mudanças climáticas na geração hidrelétrica. Os impactos foram projetados pelo programa *Global Water Availability Model* (GWAM), a partir de 16 modelos climáticos e diferentes cenários de forçamento radiativo. Resultados indicam que os impactos das mudanças climáticas podem ser compensados por uma ampla gama de alternativas de fontes de geração elétrica, sendo a otimização do modelo energético dependente do nível de esforço de medidas de mitigação no setor.

Ademais, os impactos das mudanças climáticas levariam a emissões ainda maiores na ausência de políticas de mitigação dessas mudanças. Por outro lado, as estratégias de mitigação para buscar emissões mais baixas são mantidas sob os impactos climáticos, mostrando sua robustez diante dos desafios de adaptação. Os esforços de mitigação poderiam produzir uma mistura mais diversificada e menos intensiva em carbono nas opções tecnológicas para adaptação. Com isso, ao analisar os custos de investimento para se adaptar aos impactos das mudanças climáticas, em alguns casos, a mitigação pode levar a um nível de investimento total menor.

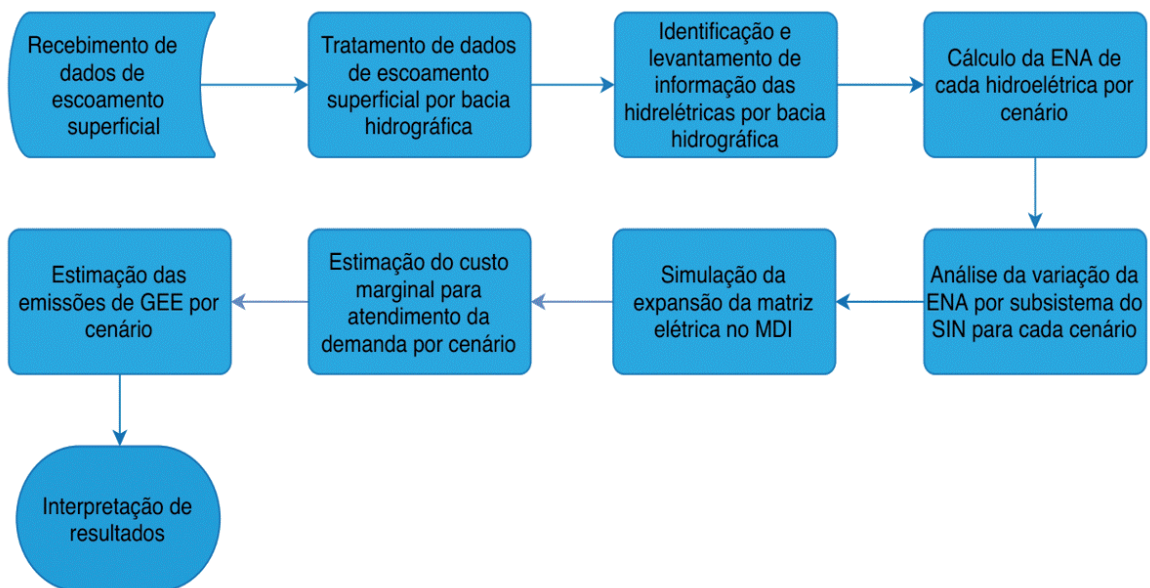
Os estudos de impactos e adaptação, em geral, baseiam sua metodologia em modelos com cenários específicos para emissões futuras e forçamento radiativo. Não obstante a validade científica dessa abordagem, existe uma demanda por informações mais diretas de efeitos esperados em níveis específicos de aumento da temperatura global, principalmente para a formulação de políticas públicas (ARNELL et al., 2019). Outrossim, faz-se relevante para formuladores de políticas que se faça o uso

de modelos que também são empregados pelos órgãos governamentais de planejamento energético. Dessa forma, garante-se que os desvios obtidos no estudo em relação aos resultados de planos oficiais estejam mais associados a mudanças nas variáveis climáticas que a alterações significativas de método e premissas de modelagem. Assim, o objetivo deste estudo é analisar impactos das mudanças climáticas na hidreletricidade e as consequências destes no sistema elétrico brasileiro.

Para tanto, aplicam-se resultados de alteração da oferta de recursos hídricos no Brasil sob cenários de níveis específicos de aquecimento (SWL) ao Modelo de Decisão de Investimentos (MDI), modelo de expansão do sistema elétrico utilizado na formulação do Plano Decenal de Energia (PDE) da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). É feita, ainda, uma avaliação e discussão sobre a capacidade adaptativa do sistema elétrico brasileiro, considerando o custo marginal do sistema para atendimento da demanda diante de cenários de mudanças climáticas e seu impacto em termos da variação das emissões de gases de efeito estufa.

## 2 METODOLOGIA

A indicação da alteração da oferta hidrelétrica parte da avaliação da variação do escoamento superficial em cenários de níveis específicos de aquecimento (*Specific Warming Levels* – SWLs) de 2°C (SWL2) e 4°C (SWL4) em relação a valores históricos simulados, trabalhados com base nos modelos climáticos regionalizados Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5. Essa variação no escoamento superficial é então utilizada para estimar o impacto na Energia Natural Afluenta (ENA) e seus respectivos reflexos sobre uma matriz elétrica projetada para o ano 2030, ambos os processos realizados com o MDI. Dessa forma, é possível avaliar os impactos do clima tanto na ENA, na capacidade instalada e geração elétrica, quanto no custo marginal e nas emissões de GEE para os cenários propostos. Os resultados são avaliados em relação a um cenário-base, não afetado por alterações climáticas. A Figura 1 apresenta um fluxograma simplificado da metodologia proposta.



**Figura 1 |** Fluxograma da metodologia para análise de impacto climático na oferta de energia hidrelétrica e matriz elétrica

Fonte: Elaboração própria.

A variável de escoamento superficial, modelada por Ribeiro et al. (2016), foi trabalhada em 23 bacias (Anexo I) com uma escala de tempo diária. O Eta-HadGEM2-ES e o Eta-MIROC5 possuem duas bases de

dados importantes, sendo uma com simulação de informações de escoamento superficial histórico e a outra com projeções para cada nível de aquecimento.

Ambas as informações são revisadas e verificadas por meio da observação da concordância da tendência da sazonalidade do escoamento superficial simulado para cada período histórico simulado (*h.simulado*) de cada modelo climático. Após a verificação de que ambos os modelos climáticos exibem um comportamento sazonal análogo em cada bacia hidrográfica, é realizado o cálculo de médias mensais e médias anuais de cada cenário. As médias mensais calculadas em cada bacia hidrográfica servem para calcular a variação relativa de cada nível de aquecimento em relação ao período histórico simulado, conforme equação (1), a seguir:

$$\text{Fator de variação relativa} = \frac{Q_{\text{cenário SWL } x} - Q_{h.\text{simulado } x}}{Q_{h.\text{simulado } x}} \quad (1)$$

Onde:

$Q_{\text{cenário SWL } x}$  = Escoamento médio da bacia hidrográfica *x* de um determinado cenário de nível de aquecimento – SWL

$Q_{h.\text{simulado } x}$  = Escoamento médio da bacia hidrográfica *x* no período do histórico simulado

Em relação à geração de energia hidrelétrica, para que os dados de escoamento superficial sejam traduzidos em ENA, primeiramente as UHEs (com potência instalada superior a 30 MW) em operação e construção são localizadas geograficamente (Anexo I). Isso é realizado com base no recorte das bacias hidrográficas/subsistema do SIN, mediante o uso de um *software* de geoprocessamento. Esse procedimento permite (i) analisar a distribuição das UHEs em cada bacia hidrográfica/SIN, (ii) identificar as bacias mais significantes pelo montante de capacidade instalada e (iii) aplicar um “fator de ajuste” que permite adequar as projeções do escoamento superficial feitas por bacia hidrográfica em cada UHE pertencente ao SIN, por meio das séries de dados históricos de vazões afluentes de cada usina.

Assim, os dados históricos observados de vazões afluentes a cada UHE são identificados (*h.observado*). Esse fator é um valor percentual de variação mensal entre o período *h.observado* e os demais cenários obtidos a partir dos dados de escoamento superficial projetados para cada cenário SWL. Dessa forma, considera-se que a vazão afluente a cada UHE sofre uma variação de acordo com os dados de escoamento projetados para a bacia hidrográfica a qual pertence para um determinado mês, conforme a equação (2).

$$Q_{\text{usina } y,i} = \frac{Q_{\text{SWL},i,y}}{\bar{Q}_{h.\text{simulado},i}} \times \bar{Q}_{h.\text{observado},i} \quad (2)$$

Onde:

$Q_{\text{usina } y,i}$  = Vazão natural afluente da UHE no ano *y*, mês *i* (m<sup>3</sup>/s)

$\bar{Q}_{\text{SWL},i,y}$  = Escoamento médio da bacia *x* no mês *i* dos cenários SWL 2°C e SWL 4°C (m<sup>3</sup>/s)

$\bar{Q}_{h.\text{simulado},i}$  = Escoamento médio da bacia *x* no mês *i* do período do histórico simulado (m<sup>3</sup>/s)

$\bar{Q}_{h.\text{observado},i}$  = Vazão afluente histórica observada de cada UHE (m<sup>3</sup>/s)

As vazões afluentes para os cenários projetados de SWL são utilizadas como dados de entrada do MDI. Ele é um modelo de otimização proposto por Gandelman (2015) e utilizado no PDE da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017a; EPE, 2017b a 2019), para determinação da expansão do sistema elétrico brasileiro. Considera um portfólio de fontes e projetos de geração, com seus custos fixos e variáveis, assim como sua expectativa de geração mensal e contribuição para a demanda de ponta. Utiliza diversas séries hidrológicas para encontrar um portfólio de expansão que seja ótimo no sentido estocástico.

O MDI utiliza informações sobre a variação da geração hidrelétrica no SIN, representado em séries de ENA (MWmed), devido aos impactos das mudanças climáticas nos diferentes cenários propostos. ENA é a energia gerada a partir da soma dos produtos de vazão natural afluente (abatida de vertimento) a cada usina pela sua produtividade média. Assim, representa a energia elétrica que pode ser gerada em uma UHE. A variação da ENA leva a um novo mix da capacidade instalada na expansão de oferta elétrica, possibilitando avaliar como as mudanças climáticas na geração hidrelétrica podem impactar na projeção da expansão da matriz elétrica, na variação do custo marginal do sistema elétrico e na variação das emissões de GEE em cada cenário proposto.

O plano de expansão do cenário-base considera o custo, a localização das usinas elétricas por subsistema, a geração sazonal, a confiabilidade de cada fonte energética e o projeto de novas usinas, além dos custos de investimento em novas plantas de geração por tipo de tecnologia (GANDELMAN, 2015; EPE, 2017b). O custo de expansão é composto pelo custo de investimento somado ao custo de operação e manutenção (Tabela 1).

Também são apresentados os custos nivelados de geração (LCOE – sigla em inglês para *levelized cost of energy*) que trazem uma normalização entre os custos fixos e variáveis de geração de energia. Notadamente, as fontes eólica e solar apresentam custos nivelados competitivos e ampla disponibilidade de oferta, porém, a sua intermitência impede que o MDI busque uma expansão baseada apenas nessas fontes, pela restrição de garantia de atendimento à demanda máxima (restrição de segurança energética).

**Tabela 1 |** Parâmetros técnicos e econômicos considerados para a expansão do parque elétrico

	<i>Custo de investimento US\$/kW</i>	<i>Custo Variável (US\$/MWh)</i>	<i>Custo fixo O&amp;M (US\$/ kW/year)</i>	<i>LCOE (US\$/ MWh)</i>	<i>Fator de capacidade médio (anual)</i>	<i>Fator de emissão (tCO2eq/ MWh)</i>
HIDRELÉTRICA	1143 a 6811		66 a 141	68,49	0,25 a 0,89	
GÁS NATURAL – CICLO ABERTO	700,00	95,43	41,43	193,54	despachável*	0,2125
GÁS NATURAL – CI- CLO COMBINADO	1.000,00	137,17	32,22	147,86	despachável*	0,2125
CARVÃO MINERAL	2.761,75	30,69	107,40	103,14	despachável*	0,3529
NUCLEAR	5.000,00	7,85	98,20	65,69	despachável*	
BIOMASSA	1.227,45		39,89	35,19	0,33	
EÓLICA ON-SHORE	1.626,37		42,96	35,44	0,40	
SOLAR – PV	1.300,00		30,69	43,73	0,5	
ÓLEO DIESEL**						0,2915

Nota: Custos mostrados em dólar, 1 U\$ = R\$ 3,26

\* Depende do cenário hidrológico

\*\* O modelo não considera como uma alternativa de expansão

*Fonte: Elaboração própria com base em dados de EPE (2017b) e KREY et al. (2014) e SIMS et al. (2007).*

A demanda de energia elétrica é a média das potências elétricas solicitadas ao sistema elétrico pelos sistemas consumidores. Dessa maneira, a solução ótima em cada cenário deve atender 92.194 MWmed no ano de 2029. As premissas e restrições assumidas na modelagem são: (i) a expansão de biomassa de cana-de-açúcar está limitada a no máximo 500 MW/ano a partir do ano de 2021 e de biomassa florestal a 100 MW/ano a partir de 2023 devido às limitações impostas pela oferta de matéria-prima, especialmente pelas limitações de expansão da fronteira agrícola; (ii) não existe restrição na expansão das usinas eólica e solar, como ocorre no PDE 2026 (EPE, 2017); (iii) consideração de restrição de atendimento à demanda máxima, com fatores de contribuição por fonte (fontes intermitentes possuem baixa contribuição, devendo ser compensadas por outras fontes, tais como UTEs, para manter a segurança do sistema); (iv) a contribuição de potência das UHEs é estimada a partir das ENAs calculadas neste estudo; (v) novas UTEs a carvão mineral só podem ser instaladas a partir do ano de 2029 conforme (EPE, 2017) – o governo destaca externalidades dessa fonte, como geração de emprego e segurança energética para justificar a oferta (EPE, 2019), portanto se manteve essa premissa para que os resultados sejam diretamente comparáveis; (vi) indicação de uma expansão uniforme (cujo montante foi otimizado pelo MDI) de oferta eólica entre as regiões Nordeste e Sul a partir de 2021, sendo 80% alocados no Nordeste e 20% na Região Sul conforme proposto por EPE (2017).

Finalmente, as emissões de gases de efeito estufa são representadas pela contabilização do dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ). O IPCC dá as diretrizes para realizar os inventários de GEE de cada setor (IPCC, 2006, 2019). Para o setor energético, o IPCC (2006) determina fatores de emissão de cada combustível em kg GEE/TJ com base no Poder Calorífico Inferior (PCI). Para a determinação dos fatores de emissão para o setor elétrico, é necessária informação sobre quantidade de combustível consumida por unidade de geração (MWh, por exemplo) de cada tecnologia.

A quantidade de combustível deve ser convertida de suas unidades originais em unidade de energia. Para essa conversão, utiliza-se o Poder Calorífico Inferior (PCI), uma vez que esse parâmetro corresponde aos processos de troca térmica que, efetivamente, ocorrem durante a combustão, já que, na prática, os processos são realizados à pressão constante e a água é liberada no estado de vapor (LICKS; PIRES, 2010). Os fatores de emissão das fontes energéticas de combustível fóssil, em unidades de  $\text{tCO}_{2\text{eq}}/\text{MWh}$ , são obtidos de relatórios do IPCC (KREY et al., 2014; SIMS et al., 2007). Os relatórios compilam fatores de emissão de vários estudos por tecnologia de geração elétrica. Assim, os valores escolhidos neste estudo são valores referenciais com o objetivo de avaliar a variação de resposta do modelo de expansão MDI diante do impacto climático na geração hidrelétrica e matriz elétrica brasileira.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Após a análise da sazonalidade do escoamento superficial simulado nos cenários-base de cada bacia hidrográfica, constatou-se que os modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 possuem uma sazonalidade mensal análoga. Entretanto, de maneira geral, o Eta-HadGEM2-ES apresenta valores de redução de escoamento superficial maiores do que os resultados obtidos pelo Eta-MIROC5, principalmente nas regiões Sul e Sudeste, locais em que os resultados variam acima de 20% entre os dois modelos.

Nos cenários SWL2, existe uma tendência de aumento do escoamento na Região Sul do País, exceto nas bacias do Atlântico Sul e Uruguai. Para todas as outras bacias analisadas, os modelos climáticos apresentaram resultados negativos. As bacias no Norte e Nordeste apresentam maior diminuição de escoamento, como as do Rio Tocantins, Rio Araguaia, Rio Parnaíba, Rio São Francisco, Rio Atlântico Leste e do Rio Doce, que possuem juntas 28% da capacidade total instalada de UHEs no País.



Na Região Sudeste, a Bacia do Paraná é a mais importante do SIN tanto em sua capacidade instalada (35,4% de toda a capacidade hidrelétrica instalada no País) quanto também em relação à demanda de energia, já que engloba as áreas mais populosas do Brasil. Dessa forma, a redução de disponibilidade hídrica nessa região, além de prejudicar a geração hidrelétrica, pode também aumentar os conflitos causados pelos diferentes usos de água na bacia. Nesta, o cenário Eta-HadGEM2-ES SWL2 indica uma redução no escoamento superficial entre 20% e 40%. Em contraposição, o cenário Eta-MIROC5 SWL2 mostra um pequeno incremento em seu escoamento superficial (até 20%).

Porém, para esse nível de aquecimento, devido às características sazonais complementares entre a Região Sul e a Região Sudeste/Centro-Oeste e Norte, é possível que a redução do recurso hídrico nas regiões Norte e Nordeste sejam compensadas pelo aumento desse recurso na Região Sul.

Já nos cenários de SWL4, os resultados de escoamento obtidos apresentaram diminuições mais críticas do que nos cenários SWL2 em ambos os modelos climáticos para todas as bacias estudadas, com exceção das bacias do Atlântico Sul e Uruguai, onde se obtiveram valores ainda maiores de escoamento superficial comparados aos cenários SWL2. Também, a Bacia do Paraná mostra o mesmo padrão de aumento do escoamento que no cenário Eta-MIROC5 SWL2. Entretanto, apesar de ainda existir um padrão sazonal de escoamento superficial entre as regiões do País, a presença de valores mais extremos indica períodos mais longos de menor escoamento superficial, que podem comprometer a capacidade de armazenamento de energia dos reservatórios.

### 3.2 ENERGIA NATURAL AFLUENTE – ENA

O cenário-base mostra que a maior distribuição da ENA (43%) se encontra no subsistema Sudeste/Centro-Oeste (SE/CO), seguido pelo subsistema Sul (S) com 28%, Norte (N) com 17% e Nordeste (NE) com 12%. As análises de todo o SIN mostram que a ENA para cada cenário SWL comparado com o cenário de base indicam uma possível diminuição do potencial de geração hidrelétrica para todos os cenários de aquecimento, sendo que o modelo Eta-HadGEM2-ES mostra maiores impactos, com uma redução que chega de 27% a 41%. Já o modelo Eta-MIROC5 mostra reduções na geração hidrelétrica entre 6% e 10%. Esse resultado indica que em ambos os modelos climáticos todos os níveis de aquecimento forçariam o SIN a se adaptar com uma nova distribuição do *mix* do sistema elétrico.

Uma análise detalhada por cenário de nível de aquecimento mostra a mudança da distribuição do impacto de cada modelo climático regionalizado na ENA em cada subsistema interligado. Os resultados são mostrados na Figura 2. Assim, o modelo Eta-HadGEM2-ES mostra que o subsistema NE é o que possui maior redução da ENA com 42% (SWL2) e 56% (SWL4). Em contrapartida, o subsistema S é o que tem menor potencial de redução com variações de -16% (SWL2) e -25% (SWL4).

No modelo Eta-MIROC5, os dois níveis de aquecimento mostram o subsistema S com um aumento da ENA de 13% (SWL2) e 23% (SWL4). Isso se justifica, pois nessa região localizam-se as bacias hidrográficas com impactos positivos, devido ao aumento do escoamento superficial conforme aumenta o nível de aquecimento. Por outro lado, os subsistemas N, NE e SE/CO indicam uma redução da ENA de até 40% e 2,5% respectivamente, para o cenário SWL4.

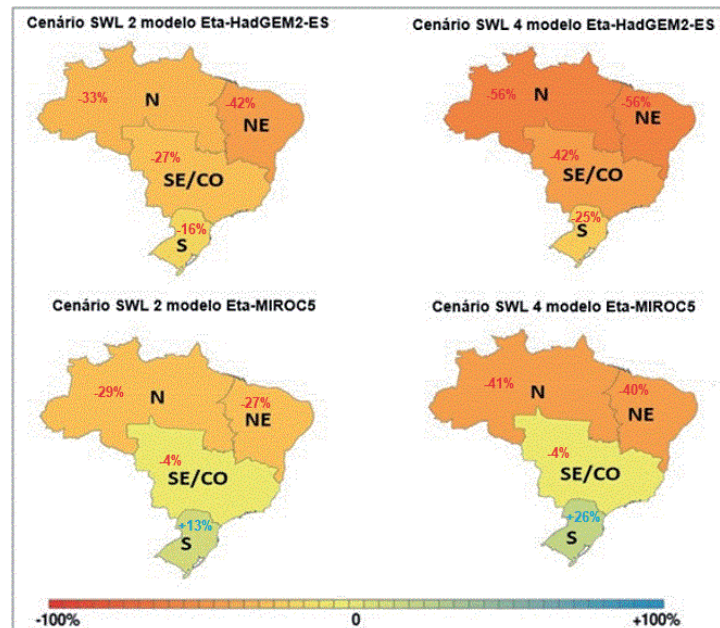


Figura 2 | Variação da Energia Natural Afluyente em cada cenário de aquecimento relativos ao cenário-base

Fonte: Elaboração própria

### 3.3 CAPACIDADE INSTALADA

A capacidade total é de 224 GW em 2030 no cenário-base. A capacidade adicional chega a 94 GW, dos quais cerca de 30% é proveniente da fonte eólica, 17,7% carvão mineral, 17,3% gás natural, 12,6% biomassa, 12% hidrelétrica e 10,7% de solar.

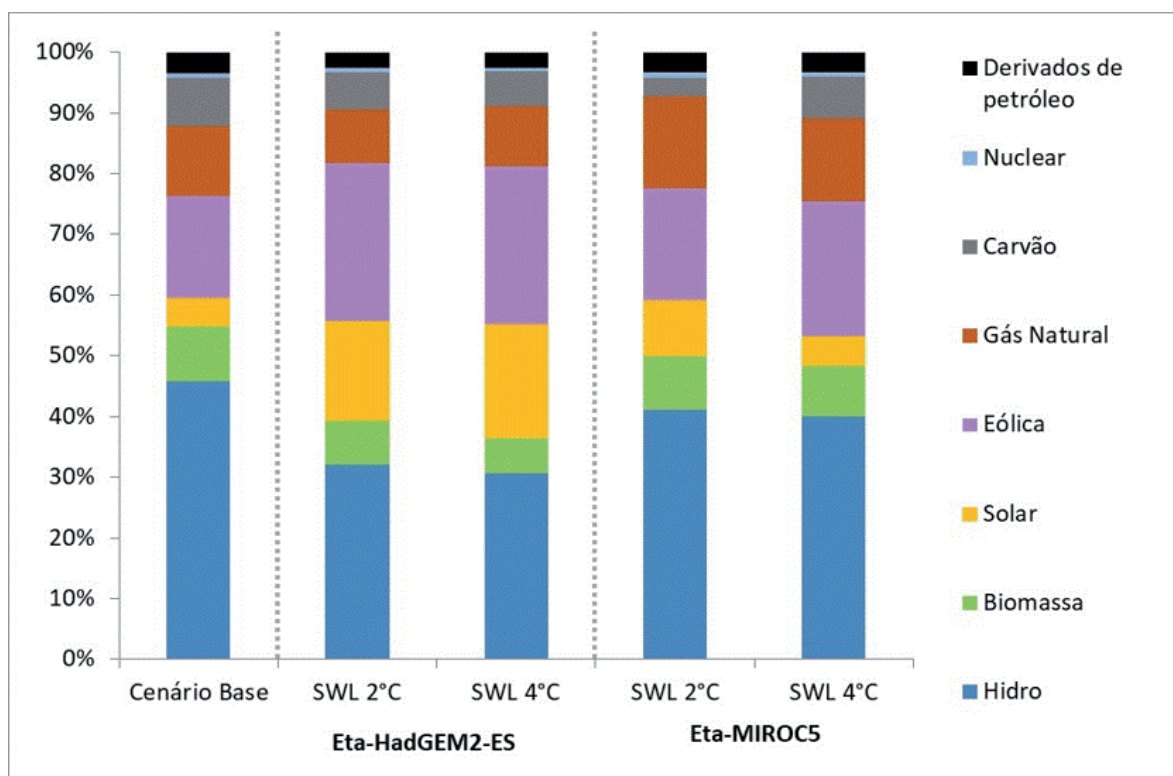
Os resultados da expansão da capacidade instalada no MDI consideram as premissas descritas na Seção 2 no cenário-base e nos cenários com impacto climático. A simulação dos cenários climáticos no MDI mostra que a participação das UHEs na expansão do setor diminuiu consideravelmente, comparados com o cenário-base em 2030 (Figura 3).

No cenário mais impactado, Eta-HadGEM2-ES SWL4, a contribuição é de apenas 1,3% da capacidade adicional projetada no cenário-base em 2030. Já o cenário Eta-HadGEM2-ES SWL2, conseguiria expandir o setor hidrelétrico só em 2,4% a mais do que o projetado no cenário-base. No caso dos cenários Eta-MIROC5 SWL4 e Eta-MIROC5 SWL2, o impacto das mudanças climáticas faria com que o setor hidrelétrico só consiga se expandir 12,2% da capacidade esperada no cenário-base em 2030.

A queda da capacidade instalada do setor hidrelétrico faz com que a expansão do parque elétrico tenha uma distribuição diferente do mix apresentado no cenário-base. Pelo modelo climático Eta-HadGEM2-ES, a participação da energia solar na expansão chegou a 31% e 34,9% e a eólica atingiu 42,1% e 41,9% para os níveis de aquecimento 2°C e 4°C, respectivamente. Adicionalmente, as UTEs a gás natural aumentaram sua participação em 9,7% e 11,4% nos cenários SWL2 e SWL4, provavelmente em decorrência da diminuição da participação da biomassa (de 7,2% para 4,6%) em conjunto com valores de ENAs menores. As UTEs a carvão mineral se mantiveram com a mesma expansão esperada do cenário-base.

No modelo climático Eta-MIROC5, a energia eólica também foi a fonte renovável com maior capacidade adicional a ser instalada em ambos os níveis de aquecimento (33,2% e 42% para SWL2 e SWL4). Enquanto isso, a energia solar teve sua participação reduzida em pouco mais da metade, de 22,1% para 10,5% nos cenários de SWL2 e SWL4, que foi compensada pelo aumento de usinas a carvão mineral,

que passaram de 4,6% para 14,1% do total da capacidade a ser contratada. A participação da biomassa variou em média 1,5% em relação ao cenário-base, em grande parte pela manutenção da restrição considerada na modelagem em relação à expansão da fronteira agrícola para biomassa de cana, o que limita o crescimento dessa fonte.



**Figura 3 |** Expansão da matriz elétrica em 2030. Cenários-base e de nível de aquecimento (SWL) de 2°C e 4°C, modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5

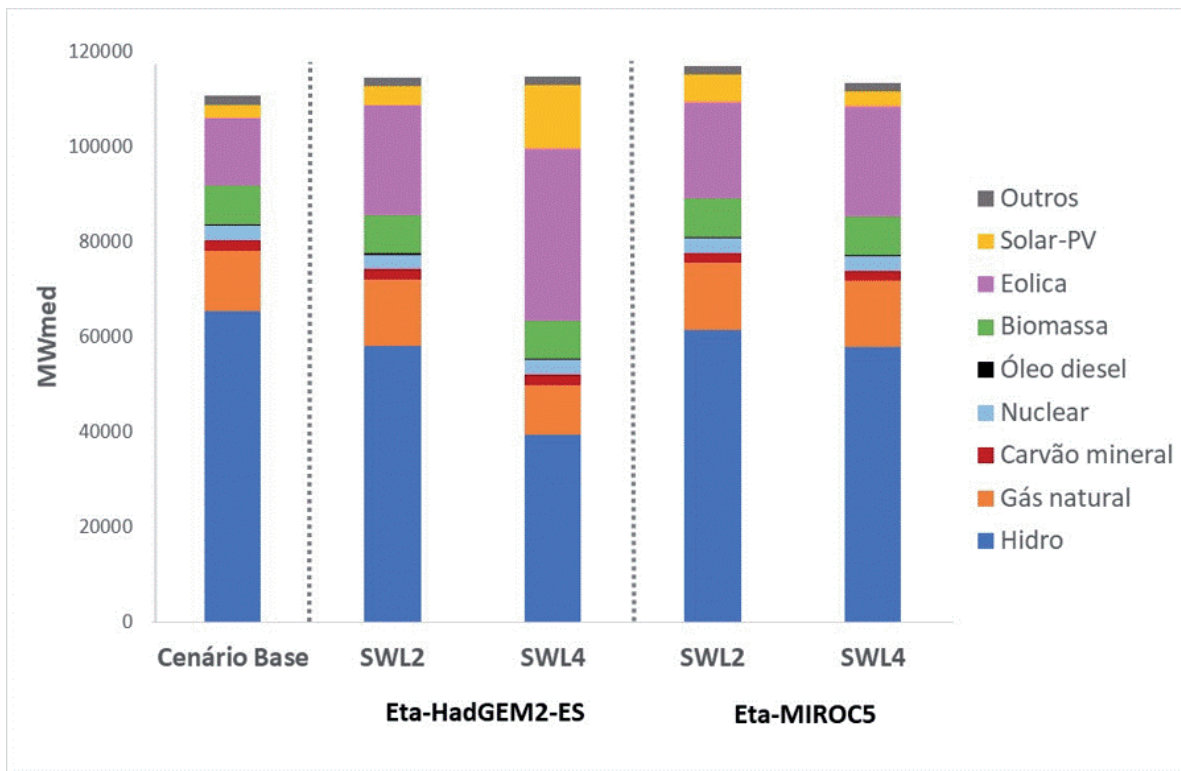
Fonte: Elaboração própria.

### 3.4 GERAÇÃO ELÉTRICA

O perfil de geração para o ano de 2030 altera-se consideravelmente entre os cenários propostos. Essa divergência se dá pela diferença do parque instalado projetado para cada cenário pelo MDI. Os cenários com impacto climático apresentam maior inserção de renováveis intermitentes (eólica *on-shore* e solar fotovoltaica), o que leva o sistema a ter uma oferta maior do que a demanda em alguns meses de 2030, elevando a média anual de geração em MWmed (Figura 4).

A capacidade adaptativa do SIN faz com que o impacto climático na geração hidrelétrica na expansão procure atender à demanda substituindo a perda com outras tecnologias em diferentes graus. O MDI procura a solução ótima adequando a redução hidrelétrica, considerando o subsistema onde houve a redução, os limites e custos de transmissão (operação e expansão) e também a localização da disponibilidade de energia.

O cenário Eta-HadGEM2-ES SWL4 é o mais impactado na oferta hidrelétrica, tendo o maior impacto negativo no subsistema SE/CO, que concentra a maior quantidade de ENA. O SIN se adapta buscando o menor custo, principalmente na geração eólica *on-shore* e solar fotovoltaica. A geração termelétrica a gás natural e biomassa cai em 17% e 2% com relação à geração prevista em 2030, respectivamente. Já as UTEs a carvão mineral têm um pequeno crescimento de 1%.



**Figura 4 |** Geração elétrica para os cenários-base e de nível de aquecimento (SWL) de 2°C e 4°C em 2030, modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5

Fonte: Elaboração própria.

O cenário Eta-MIROC5 SWL4 é o segundo cenário mais afetado em termos de geração hidrelétrica, seguido pelos cenários Eta-HadGEM2-ES SWL2 e Eta-MIROC5 SWL2. Nos quatro cenários com impacto climático, o MDI opta pela maior geração eólica e solar, mas também pela geração a gás natural em menor proporção. Nesses cenários se evidencia uma pequena queda da geração a carvão mineral e a não variação da termoelétrica a biomassa, nuclear e óleo diesel.

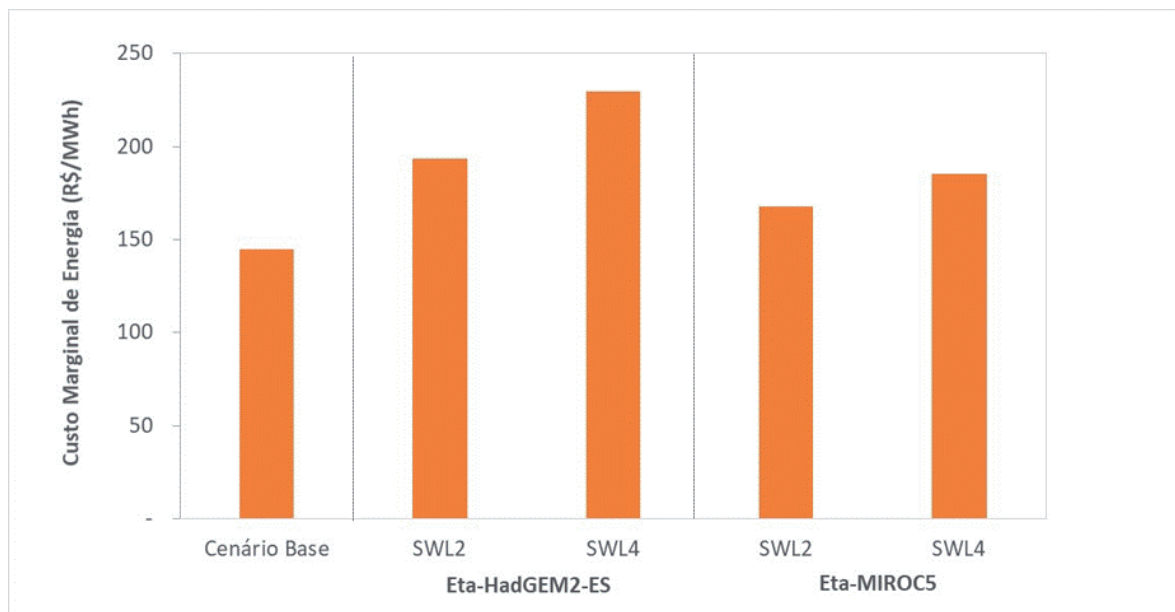
### 3.5 CUSTO MARGINAL DE ENERGIA E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Na Figura 5 são apresentados o custo marginal de expansão e o aumento relativo das emissões de CO<sub>2</sub> para cada um dos cenários. O custo marginal de expansão de energia, dado em R\$/MWh, indica o custo de atendimento da demanda adicional de energia. Esse custo torna-se maior rapidamente com o aumento da demanda. De certa maneira, a redução da geração hídrica nos cenários de mudança climática é percebida pelo MDI de forma similar a um aumento da demanda líquida, já que essa energia terá que ser suprida pela expansão do parque gerador.

O custo marginal de expansão energética é o custo associado ao atendimento à demanda adicional de energia, e, por isso, considera os custos de expansão e de operação das fontes. Quanto maior a demanda líquida que o sistema precisa atender, maior tende a ser esse custo. Entre os diferentes cenários testados, o custo das fontes é o mesmo, o que se altera é a ENA. Logo, os custos marginais estão diretamente vinculados à redução desta, uma vez que o modelo precisa investir em novas usinas para compensar a perda de energia, além de operar mais o parque termelétrico.

Assim, nos cenários de SWL4, em que a ENA sofreu maior redução, os custos são mais elevados. Além disso, o aumento na participação de renováveis no cenário Eta-HadGEM2-ES SWL4 deve-se ao elevado custo marginal de energia, especialmente da energia solar. Portanto, um custo marginal mais alto

sinaliza o esgotamento de alternativas mais baratas de geração, passando a viabilizar fontes e projetos de geração de custo mais elevado.



**Figura 5 |** Custo marginal de energia da matriz elétrica por cenários para os modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5

Fonte: Elaboração própria.

Em relação às emissões de GEE, a entrada expressiva de energia renovável intermitente, para compensar a perda hídrica, leva a uma redução das emissões nos cenários mais impactados pelas mudanças climáticas Eta-MIROC5 SWL4 e Eta-HadGEM2-ES SWL4, sendo neste último muito mais expressiva a redução da emissão de GEE (-12%). Nos cenários climáticos com SWL2, apesar de apresentarem participação de outras fontes renováveis em substituição à fonte hídrica, as emissões estimadas são maiores do que no cenário-base, devido à maior proporção de despacho de UTEs e gás natural. A Tabela 2 mostra a variação percentual das emissões de GEE comparada com o cenário-base em 2030.

**Tabela 2 |** Variação relativa das emissões de GEE da expansão da matriz elétrica para nível de aquecimento SWL2 e SWL4 para os modelos climáticos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5

	Eta-HadGEM2-ES		Eta-MIROC5	
	SWL2	SWL4	SWL2	SWL4
VARIAÇÃO DE EMISSÕES DE GEE (%)	6,46	-12,36	4,52	-0,93

Fonte: Elaboração própria.

#### 4 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Estudos avaliam os impactos climáticos e a vulnerabilidade da variação do potencial das fontes energéticas de maneira individual, como o potencial de energia hídrica, eólica e solar (FERREIRA et al., 2016; MCTI, 2016). A originalidade deste estudo envolve a análise do impacto na matriz elétrica, diante de cenários de alterações não apenas no potencial, mas na geração hidrelétrica, por meio do modelo MDI, utilizado no planejamento oficial brasileiro.



Ademais, a modelagem da ENA considera a localização das usinas elétricas segundo os subsistemas do SIN, o que representa um aperfeiçoamento das projeções por bacias. Além disso, este estudo avalia cenários de modelos climáticos regionalizados, cuja resolução espacial ancora maior grau de detalhe das variáveis climáticas analisadas. Os resultados acompanhados com informação de variação do custo marginal para atendimento da demanda total e emissões de GEE do sistema elétrico aportam novos subsídios para uma melhor análise do planejamento futuro desse setor, considerando a sua vulnerabilidade diante das mudanças do clima, cada vez mais evidente no País.

Os cenários climáticos utilizados consideram o aumento de temperatura média global de 2°C e de 4°C. O modelo climático regionalizado Eta-HadGEM2-ES mostra maior impacto negativo do que o modelo Eta-MIROC5 no escoamento superficial de bacias hidrográficas e, como consequência, um maior impacto na energia natural afluyente e geração hidrelétrica brasileira. Mesmo que o grau de impacto dependa de cada modelo e cenários climáticos, os resultados são consistentes em identificar que o subsistema SE/CO sofreria redução no potencial da energia natural afluyente. Esse subsistema é o mais importante, por ter a maior capacidade de armazenamento em reservatórios e que atende à maior demanda do País. Em contrapartida, o subsistema SE/CO importa energia dos outros subsistemas, principalmente do S, cujo impacto é levemente negativo no modelo Eta-HadGEM2-ES e positivo no Eta-MIROC5.

A capacidade adaptativa do SIN pode permitir a compensação de parte dos impactos negativos na geração do sistema. A redução da geração hidrelétrica é compensada principalmente pela geração de UTEs a gás natural, geração eólica e solar. Ambos os resultados do cenário-base e de impacto climático consideram a expansão com premissas que buscam contribuir para a redução de emissões de GEE, como explicado na Seção 2. Isso é um indicativo de que as estratégias de mitigação para reduzir as emissões são robustas a choques de impacto das mudanças climáticas, contribuindo para os desafios de adaptação desse setor. Esses resultados são coerentes com os de Lucena et al. (2018).

O maior despacho de UTEs ante as mudanças climáticas implica na elevação do custo marginal para atendimento da demanda líquida de eletricidade. O acionamento de UTEs é necessário para compensar o aumento da inserção de fontes renováveis intermitentes, que precisam de garantia de suprimento associada (atendimento à demanda máxima de energia). Para isso, UTEs a gás natural ciclo aberto são adicionadas ao sistema, pois suas características técnicas e econômicas as dotam de uma flexibilidade operacional capaz de compensar a intermitência das fontes renováveis. Outro aspecto é o aumento da demanda sazonal por eletricidade, que deixa de ser suprida pela perda da geração hídrica. Tal geração sazonal, especialmente nos meses secos, é bem modulada pela expansão do parque térmico flexível, ou seja, cujo operador pode optar pelo despacho ou não. Essas usinas, com previsão de geração de energia não apenas para garantir intermitência, são UTEs a gás natural a ciclo combinado, que possuem um custo fixo maior (construção), porém, possuem menor custo variável quando comparado a UTEs a ciclo aberto, levando a uma alternativa térmica de menor custo por MW/h.

Os resultados da variação nas emissões de GEE nos cenários climáticos comparados ao cenário-base em 2030 são coerentes com o mix de geração mostrado na Figura 4. A capacidade adaptativa do sistema elétrico busca um custo ótimo de geração, considerando a escolha de tecnologias que contribuam para a mitigação de GEE.

Em um cenário intermediário de mudança do clima (SWL2), o sistema elétrico ainda considera maior participação de UTEs a gás natural na expansão comparada com as energias renováveis, sobretudo para compensar as reduções na geração hidrelétrica e, por isso, o aumento das emissões de GEE nos cenários com SWL2. Por outro lado, em um cenário mais grave (SWL4), as emissões poderiam reduzir até 12%, devido à maior participação de fontes renováveis no mix elétrico. Cabe indicar que as emissões de GEE no cenário Eta-HadGEM2-ES SWL2 são maiores do que no Eta-MIROC-5 SWL2. Mesmo sendo o impacto na geração hidrelétrica maior no primeiro cenário, o MDI opta por maior participação de UTEs a gás natural a ciclo aberto, cujo fator de emissão é superior às UTEs a ciclo combinado.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento elétrico visa identificar e atender às necessidades futuras de energia projetadas. Os Planos apoiam a tomada de decisões em projeções da expansão. Para tanto, cabe a realização de estudos de cenários climáticos futuros, cujos resultados sejam considerados nos instrumentos de gestão, como é o caso do Plano Decenal de Energia.

Os cenários climáticos utilizados consideram o aumento da temperatura média global de 2°C e de 4°C. Esses cenários são utilizados para simular os impactos no escoamento superficial de bacias hidrográficas e, como consequência, na energia natural afluyente e na geração hidrelétrica brasileira, alterando o mix de geração do parque elétrico brasileiro. Esses resultados partem da premissa de que as mudanças no potencial e na geração hidrelétrica para os cenários SWL2 e SWL4 já estariam atuando sobre a expansão do sistema desde o primeiro ano do horizonte de planejamento (2021), embora o aquecimento de 2°C a 4°C deva ser gradual ao longo do horizonte.

Ainda assim, os resultados aqui apresentados mostram o impacto dentro de um horizonte decenal que as mudanças climáticas podem trazer ao sistema elétrico brasileiro e o potencial de alterar o curso previsto pelos Planos Decenais de Energia, elaborados pela EPE. Até o PDE 2029 não se considera explicitamente o impacto das mudanças climáticas na geração hídrica. Tais impactos implicam em uma nova configuração ótima da expansão do parque gerador para compensar tais perdas de geração hídrica, acarretando em perfis de geração bem diferentes.

O MDI, ao seguir o PDE 2026, considera premissas de restrições na expansão da geração termelétrica a carvão mineral e derivados de petróleo, dando liberdade ao modelo para a maior procura da solução ótima de expansão às outras fontes, como a eólica, a solar, a nuclear e o gás natural. Entende-se que parte das restrições contribui para os esforços de medidas de mitigação do setor energético para o cumprimento da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) brasileira. No cenário em que o impacto é maior, o modelo dá preferência à maior penetração de fontes renováveis. Isso beneficia as emissões de GEE. Porém, o custo marginal final de atendimento da demanda é maior.

A modelagem foi realizada com dados econômicos de referência PDE 2026. O PDE 2029 (EPE, 2020) indica valores de custo de investimento menores nas energias renováveis, o que induz à probabilidade de maior expansão dessas fontes em cenários futuros de impactos das mudanças climáticas e menor emissão de GEE. Ainda cabe indicar que estudos realizados para o Brasil sinalizam a probabilidade de não impacto ou aumento do potencial eólico (JONG et al., 2019; LUCENA et al., 2010; PEREIRA et al., 2013) e solar (SANTOS, 2020; SIMIONI; SCHAEFFER, 2019) ante as mudanças climáticas. Sugere-se que estudos futuros realizem uma avaliação mais integrada, considerando além dos impactos na geração hidrelétrica, as outras fontes renováveis vulneráveis à mudança do clima, como é o caso das gerações eólica e solar.

Finalmente, o estudo reforça a necessidade de um planejamento integrado, em que os Planos, além de considerar medidas de mitigação de emissões de GEE, incluam possíveis impactos e vulnerabilidades relacionados às mudanças climáticas, fortalecendo a resiliência e a capacidade adaptativa do sistema energético ao menor custo possível.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-MC).

## REFERÊNCIAS

- ARIAS, M.; FARINOSI, F.; LEE, E. et al. Impacts of climate change and deforestation on hydropower planning in the Brazilian Amazon, **Nature Sustainability**, v. 3, n. 6, p. 430-436, 2020.
- ARNELL, N. W. et al. Global and regional impacts of climate change at different levels of global temperature increase. **Climatic Change**, v. 155, n. 3, p.377-391, 2019.
- BARRETO, R. et al. A foundation for the strategic long-term planning of the renewable energy sector in Brazil: hydroelectricity and wind energy in the face of climate change scenarios. **Renew. Sustain. Energy Rev.** v. 72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.020>.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais à mudança do clima no Brasil**. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Brasília, 2016.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. In: Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change**. v. II, Brasília, 2016.
- DIAS, V. S. et al. An overview of hydropower reservoirs in Brazil: current situation, future perspectives and impacts of climate change. **Water**, v. 10, n. 5, p. 592, 2018.
- EPE. **Modelo de Decisão de Investimentos para Expansão do SIN considerando incertezas**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2017a.
- EPE. **Custo Marginal de Expansão do Setor Elétrico Brasileiro**. Metodologia e Cálculo – 2017b. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2017b. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/topico-.67/NT%20DEE%20027\\_17.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/topico-.67/NT%20DEE%20027_17.pdf)>. Acesso em: set. 2020.
- EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME/EPE, 2017c.
- EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME/EPE, 2018.
- EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2028**. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME/EPE, 2019.
- EPE. **Balanco Energético Nacional 2020**. Ano-base 2019. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2020.
- EPE. **Balanco Energético Nacional 2019**. Ano-base 2018. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2019.
- GANDELMAN, D. A. **Uma metodologia para o planejamento da expansão do sistema elétrico brasileiro considerando incertezas**. Tese (Doutorado). COPPE/UFRJ, 2015.
- JONG, P. DE et al. Hydroelectric production from Brazil's São Francisco River could cease due to climate change and inter-annual variability. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 1540-1553, 2018.
- KREY, V. et al. Annex II: Metrics & Methodology. In: **Climate Change 2014: mitigation of climate change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. EDENHOFER, O. et al. (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- LUCENA, A. F. P. et al. The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. **Energy Policy**, v. 37, n. 3, p. 879-889, 2009.
- LUCENA, A. F. P. et al. The vulnerability of wind power to climate change in Brazil. **Renewable Energy**, v. 35, n. 5, p. 904-912, 2010.
- LUCENA, A. F. P. et al. Interactions between climate change mitigation and adaptation: the case of hydropower in Brazil. **Energy**, v. 164, p. 1161-1177, 2018.

MOSS, R. H. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 7.282, p.747-756, 2010.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. 2018. Atualização Setembro 2018. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>>. Acesso em: jan. 2019.

PEREIRA, E. B. et al. The impacts of global climate changes on the wind power density in Brazil. **Renewable energy**, v. 49, p. 107-110, 2013.

QUEIROZ, A. R. et al. Hydropower revenues under the threat of climate change in Brazil. **Renewable Energy**, v. 133, p. 873-882, 2019.

QUEIROZ, A. R. et al. Climate change impacts in the energy supply of the Brazilian hydro-dominant power system. **Renewable Energy**, v. 99, p. 379-389, 2016.

RIBEIRO NETO, A.; PAZ, A. R. DA; SILVA, E. R. DA. Impactos e vulnerabilidade do setor de recursos hídricos no Brasil às mudanças climáticas. In: **Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais à mudança do clima no Brasil**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2016.

SANTOS, A. **Impacto de Mudanças Climáticas no Potencial de Energia Solar Fotovoltaica no Setor Residencial Brasileiro**. 426f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2020.

SANTOS, H. L. **Metodologia para Planejamento da Expansão do Setor Elétrico Brasileiro considerando Critérios Ambientais e a Interação Oferta- Demanda**. Tese (Doutorado). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil. 2017.

SCHAEFFER, R. et al. **Adaptação às mudanças climáticas no Brasil: cenários e alternativas**, p. 1-56, 2015.

SCHAEFFER, R. et al. Energy sector vulnerability to climate change: a review. **Energy**, v. 38, n. 1, p. 1-12, 2012.

SCHAEFFER, R. et al. Impactos na demanda e na confiabilidade no setor de energia. In: **Economia da Mudança do Clima no Brasil: custos e oportunidades**. São Paulo, 2010.

SIMIONI, T.; SCHAEFFER, R. Georeferenced operating-efficiency solar potential maps with local weather conditions: an application to Brazil. **Solar Energy**, v. 184, n. October 2018, p. 345-355, 2019.

SIMS, R. E. H. et al. Energy supply. In: **Climate Change 2007: mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. METZ, B. (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2007.

TOLMASQUIM, M. **Energia Termelétrica: gás natural, biomassa, carvão, nuclear**. EPE: Rio de Janeiro, 2016, 417p. ISBN 978-85-60025-05-3.

VICUNA, S. et al. The sensitivity of California water resources to climate change scenarios. **Jawra Journal of the American Water Resources Association**, v. 43, n. 2, p. 482-498, 2007.

## Anexo



**Figura 1 |** Mapa das UHEs localizadas dentro das 23 bacias hidrográficas

Fonte: Elaboração própria baseada em Ribeiro et al. (2016) e Aneel (2019)

Nota: Das 23 bacias hidrográficas, observa-se que as bacias de numeração 11, 14 e 16 não apresentam UHEs e, portanto, foram excluídas desta análise.



# Climate impacts in the Brazilian energy security: analysis of observed events and adaptation options

*Impactos climáticos na segurança energética no Brasil: análise de eventos observados e opções de adaptação*

Eveline Vasquez-Arroyo<sup>a</sup>

Fábio da Silva<sup>b</sup>

Alberto Santos<sup>c</sup>

Deborah Cordeiro<sup>d</sup>

José Antônio Marengo<sup>e</sup>

André F. P. Lucena<sup>f</sup>

<sup>a</sup>Energy Planning Program, Alberto Luiz Coimbra Institute of Graduate Studies and Engineering Research, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: eveline@ppe.ufrj.br

<sup>b</sup> Energy Planning Program, Alberto Luiz Coimbra Institute of Graduate Studies and Engineering Research, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: fabioteixeira@ppe.ufrj.br

<sup>c</sup> Energy Planning Program, Alberto Luiz Coimbra Institute of Graduate Studies and Engineering Research, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: albertojlsantos@ppe.ufrj.br

<sup>d</sup> Energy Planning Program, Alberto Luiz Coimbra Institute of Graduate Studies and Engineering Research, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: deborahcordeiro@ppe.ufrj.br

<sup>e</sup> Center for Monitoring and Early Warnings of Natural Disasters - Cemaden, São José dos Campos, SP, Brazil  
E-mail: jose.marengo@cemaden.gov.br

<sup>f</sup> Energy Planning Program, Alberto Luiz Coimbra Institute of Graduate Studies and Engineering Research, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: andreLucena@ppe.ufrj.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33838

Received: 31/08/2020  
Accepted: 07/12/2020

*The data and results presented in this publication were developed under the project “Fourth National Communication and Biennial Update Reports from Brazil to the Climate Convention”, coordinated by the Ministry of Science, Technology, and Innovation, with support from the United Nations Development Program, with resources from the Global Environment Facility, to which we express our gratitude.*

## ABSTRACT

Climate change is expected to increase the frequency and intensity of extreme weather events, which can affect energy systems. This study aims to evaluate impacts of meteorological extreme events on the Brazilian energy system, through an analysis of recent reports. Cases of impacts on hydroelectric plants, power transmission and distribution lines, bioenergy crops, and residential cooling energy demand in recent years are assessed. Finally, the challenges of energy planning in the face of climate change are analyzed and adaptation measures for the energy system are proposed, pointing out possible repercussions on water, food, socio-environmental and climate security.

**Keywords:** Climate change. Impact. Adaptation. Energy security. Brazil.

## RESUMO

*As mudanças climáticas poderão aumentar a ocorrência e intensidade de eventos climáticos extremos, que podem afetar os sistemas de energia. Assim, este estudo objetiva identificar impactos de eventos meteorológicos que tiveram influência sobre o sistema energético brasileiro, por uma análise de relatos recentes. São levantados e avaliados casos de impactos em hidrelétricas, sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, produção de culturas bioenergéticas e demanda de energia elétrica do setor residencial. Por último, analisam-se os desafios do planejamento energético diante das mudanças climáticas e propõem-se medidas de adaptação, apontando suas possíveis repercussões na segurança hídrica, alimentar, socioambiental e climática.*

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas. Impacto. Adaptação. Segurança energética. Brasil.

## 1 INTRODUCTION

Climate change brings an extensive list of environmental and socioeconomic impacts on different factors, such as biodiversity, coastal areas, water supply, agriculture, food security, health, energy, etc., which can affect the population and the sustainability of the planet (ALBERTO, 2006; LELIS et al., 2011; MARENGO, 2004).

The availability of primary sources, conversion, transport, and end-use of energy can have a direct or indirect relation to climatic variables. However, climate change is related to the increase in the concentration of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere (IPCC, 2014). These changes, by means of changes in temperature, precipitation and wind speed, can generate benefits in the energy sector in certain regions and resources, but a deterioration in other sectors.

Hydropower is currently responsible for about 11% of the primary energy and 67% of the total electricity generation in Brazil (EPE, 2019). The lack of precipitation impacts this technology by reducing water inflows both for run-of-river plants and for reservoirs. This generates a reduction in the useful volume of reservoirs and, consequently, in the energy buffer storage service they provide (SCHAEFFER et al., 2012). Hence, this technology is vulnerable to extreme weather events, such as droughts. Several studies indicate impacts of drought on hydropower in Brazil, mainly in the North and Northeast regions (ARIAS et al., 2020; LUCENA et al., 2009). Schaeffer et al. (2015) state that the high risk of supply deficit for hydropower due to climate change requires massive investments in new electricity generation capacity from other sources.

Impacts of drought on hydropower are not restricted to Brazil. In California (USA), the average share of hydroelectricity on the state's energy mix dropped from a historical average of 18% to 10.5% in the drought season of 2011 to 2015, reaching only 7% in the 2015 water year (GLEICK, 2016).

Wind power depends on the regime, intensity, and direction of winds. However, wind gusts can impact the operation and design of wind turbines (IPCC, 2011). Studies in Brazil indicate that the wind power potential would not be significantly impacted. Climate projections showed an increase in wind power potential over time, especially in the Northeast and South regions (JONG et al., 2019; LUCENA et al., 2010; PEREIRA et al., 2013). Nevertheless, wind resources could be impacted in other places. Examples are the northwestern region of the United States, where the potential could be reduced by up to 40% (SAILOR et al., 2008), and Southern Europe with a reduction of 10% in wind potential (TOBIN et al., 2015).

Solar photovoltaic (PV) energy depends mainly on solar radiation, wind speed on the surface, and ambient temperature. Higher solar resources tend to increase generation, while higher temperatures lead to lower efficiency of the panel (GARCÍA; BALENZATEGUI, 2004; SIMIONI; SCHAEFFER, 2019; SINGH; RAVINDRA, 2012).

Studies suggest that the photovoltaic potential in Brazil would not be considerably affected in the future due to projections of a simultaneous increase in solar radiation and temperature in much of the country (SANTOS, 2020). In Europe, a modest increase in potential in the Mediterranean region is projected, as well as a decrease of 10% to 12% in this potential in Scandinavia (JEREZ et al., 2015).

Also, extreme weather events pose high risks to power transmission and distribution system. Hence, the extension of impacts tends to be higher for large infrastructures, such as the National Interconnected System (SIN) in Brazil.

In the biofuel sector, the main impacts of climate change are associated with the supply of bioenergy crops (SCHAEFFER et al., 2012). The main biofuels in Brazil are ethanol and biodiesel. For ethanol, almost the whole production comes from sugarcane (UNICA, 2020). The production of biodiesel rely on a more diverse set of oil crops, but the most relevant is soybean oil, which was responsible for around 68% of the biofuel production in 2019 (ANP, 2020). Thus, climate changes affecting the agro-ecological zoning of these crops have the potential to impact the biofuels sector in Brazil.

The impacts of climate change in the energy sector are not limited to the supply, but can also affect the demand. Changes in temperature and humidity can lead to a higher demand for ambient cooling or heating (CLARKE et al., 2018; INVIDIATA; GHISI, 2016; SCHAEFFER et al., 2012). This affects mostly the building sector and may be even more significant with the increase in income and possession of air conditioners. In Australia, Hatvani-Kovacs (2016) identified a correlation between peak energy demand and the increase in the daily temperature recorded due to heatwaves, with an average increase in electricity demand of 6.35% by 1°C increase at the maximum daily temperature. Phoenix and Washington DC showed a 3.6% increase in demand for each degree of temperature increase (FRANCO, 2008).

In the present study, cases of extreme weather events recently observed that may occur more frequently due to climate change - such as droughts, intense precipitation, and heatwaves - and their effects on the Brazilian energy system are presented. The study also discusses how impacts could be reduced through adaptation measures. Adaptation options are assessed in an integrated basis with external aspects that also influence the country's energy security, such as socioeconomic, political, and environmental aspects.

## 2 METHODS

First, cases of extreme weather events observed in the last 20 years in Brazil were identified. Reports of droughts, cyclones and heatwaves were surveyed in the scientific literature and also in gray literature publications.

Then, according to the type of observed event and its location, data on the behavior of the energy system in the same time interval were collected. For this, public databases from official Brazilian institutions, such as ONS and EPE were used. Impacts on hydropower generation, transmission and distribution of electricity, the biofuels sector, and residential energy demand for cooling were evaluated.

Finally, extreme weather events and their impacts on the energy system were correlated in tables, divided by the impacted segments of the energy sector. The samples were classified by region, period, and type of event, with a qualitative description of their impact.

## 3 RESULTS

### 3.1 IMPACTS OBSERVED IN THE HYDROELECTRIC POWER GENERATION

In 2014, there was a hydrological drought in the Southeast Region, which impacted the head of the São Francisco Hydrographic Region and, consequently, downstream users, located in the Northeast Region.

The Três Marias Hydroelectric Power plant is a large multi-purpose hydraulic enterprise located in the Southeast Region of Brazil. It currently has an installed capacity of 396 MW, with six generating units and a storage volume of 19,528 hm<sup>3</sup> (CEMIG, 2019). Três Marias is the head of a set of cascading plants that feed other reservoir plants located downstream, such as Sobradinho and Itaparica, and run-of-river plants, such as Moxotó, Paulo Afonso, and Xingó (Figure 1). Thus, its operation is crucial for the regulation of the São Francisco River, mainly in the stretch between the Três Marias reservoir and the Sobradinho hydroelectric plant, in Bahia.

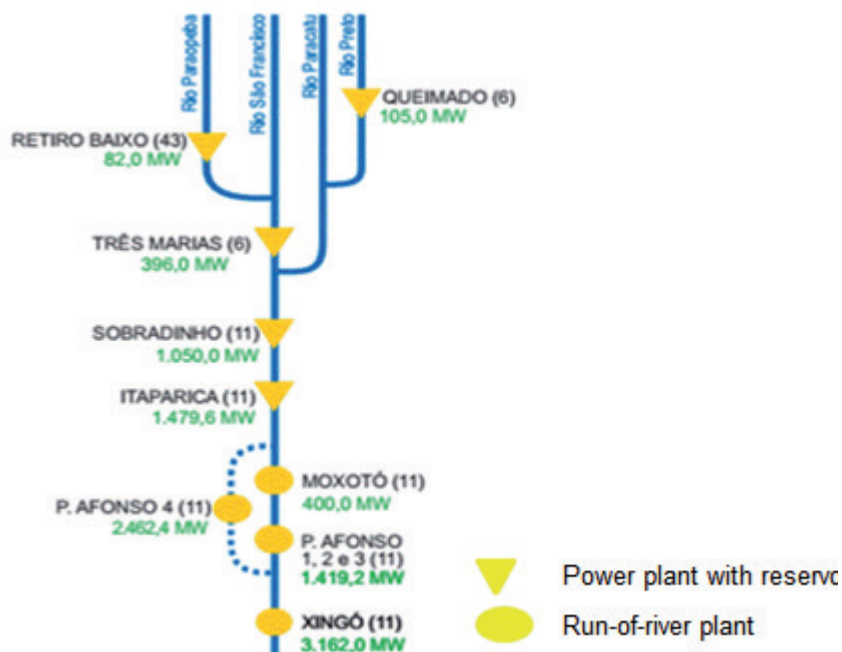


Figure 1 | Schematic chart of the SIN hydroelectric plants in the São Francisco River basin.

Source: ONS, 2018

An analysis of the last 19 years shows that the hydropower plant encountered operational difficulties due to low storage in relation to its useful volume in some periods, reaching an annual average of less than 30%, especially in the years 2001, 2014, 2015, 2016, and 2017 (ANA, 2019). As of 2011, the São Francisco River basin recorded negative rainfall anomalies, with a 40% reduction in rainfall in 2012 (MARTINS; FRANCISCO JÚNIOR, 2017). The north and mid-east of the Northeast Region recorded a decrease between 20% and 40% in annual precipitation in the years 2014 and 2015 (MARTINS; FRANCISCO JÚNIOR, 2017).

These conditions led to a decrease in the level of reservoirs in the São Francisco River basin between 2012 and 2017. The most critical period was between September 2014 and February 2015, when the useful volume was below 10% of its capacity, reaching 2.9% in November 2014 (ANA, 2019). Over the following years, the reservoir was unable to fully recover, and in 2017 the useful volume reached 6% (ANA, 2019). During the droughts faced in the Southeast Region, the reservoir guaranteed the needs of human supply and animal desedentation, which are by law the priority uses of water (BRASIL, 1997).

This caused the plant to run only two out of the six installed turbines. Três Marias reduced its generation from 188 MWmed in March 2013 down to 28 MWmed in March 2015. Such reduction in generation is directly related with the reduction in the useful volume of the reservoir.

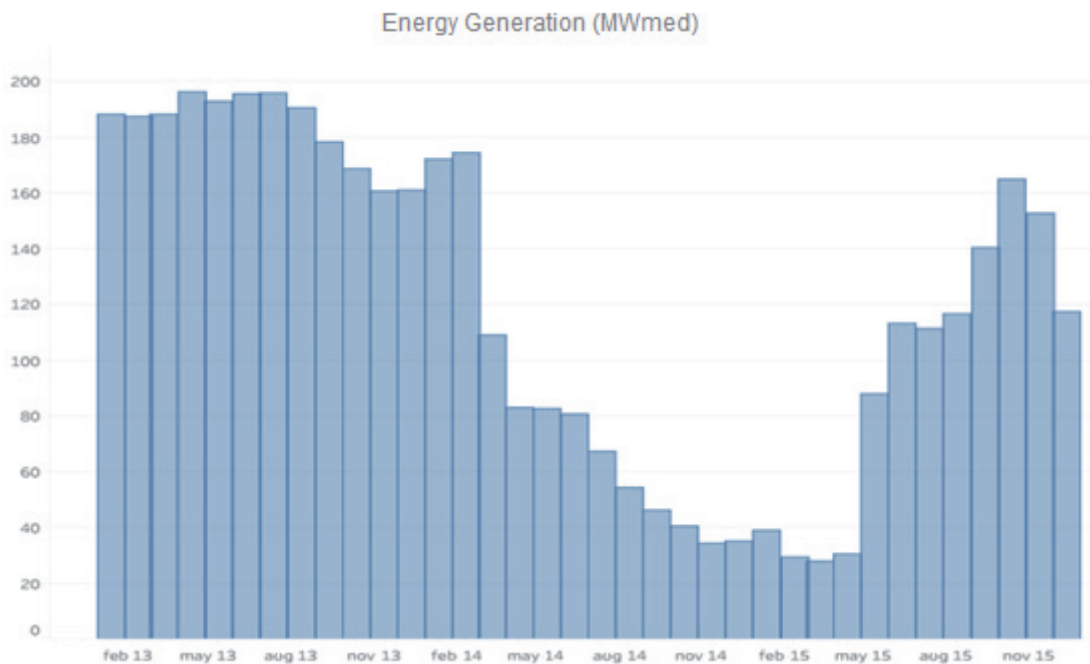


Figure 2 | Mean generation (MWmed) of the Três Marias Hydroelectric Plant from 2013 to 2015.

Source: ONS, 2020.

The hydroelectric plants located downstream were impacted by the drought in the Southeast (2014) and droughts in the Northeast (2013 to 2017), as shown in Figure 3. Sobradinho recorded a gradual decline in its mean generation. In 2014, the plant had a useful volume of 60% and reached 20% in December 2015 (ONS, 2020). In 2017, drought conditions prevailed and the reservoir reached a maximum value close to 15%. The minimum generation amount of Sobradinho dropped 105 MWmed in November 2017, from 356 MWmed recorded in 2013 (ONS, 2020).

The Itaparica reservoir recorded a drop in its useful volume (40%) from 2013, and with the impact of Três Marias, it reached 14% (ANA, 2020; ONS, 2020). With the persistence of the drought in the Northeast, the useful volume of the reservoir reached 9% in November 2015 (ANA, 2020). In 2017, the useful volume fell rapidly again, reaching 7% in January (ANA, 2020). Also, the Paulo Afonso and



Xingó plant complex, located immediately downstream, observed a slight reduction in the average generation from 2014. In a way, the impacts on the plants decrease as they are more distant from the Três Marias plant.

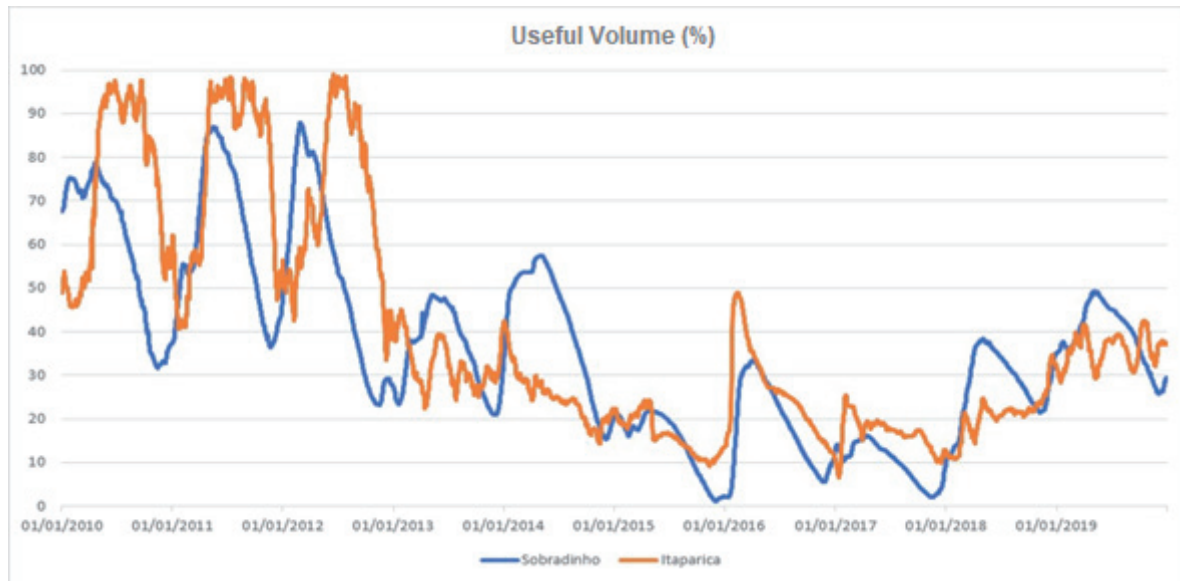


Figure 3 | Useful volume of Sobradinho and Itaparica from 2010 to 2020.

Source: the authors of this study, based on ANA (2020).

Table 1 shows a summary of the impacts observed on hydroelectric generation in other locations, between 2012 and 2020.

Table 1 | Impacts observed by extreme events in the hydroelectric supply between 2012 and 2020

Year	Region	Type of climate impact	Description of the event	Reference
2012 - 2017	Northeast region (Semiarid)	Drought	Decrease in affluent natural energy (ANE) and the volume of hydroelectric reservoirs and therefore, the stored energy of the Northeast Subsystem. Reservoirs in the São Francisco River basin were greatly affected by droughts, such as Três Marias and Sobradinho. In Três Marias, the useful volume reached 2.6% in 2014, 7% in 2015, and 6% in 2017. In Sobradinho, useful volume reached lows of 1% in 2015, 6% in 2016, and 2% in 2017. In Itaparica, the minimum values of useful volume were 14% in 2014, 9% in 2015, and 7% in 2017. The energy stored in the Northeast subsystem started to decline from 2013, reaching a minimum value of 4% in November 2015 and November 2017.	CUNHA et al., 2019a CUNHA et al., 2019b CEMADEN, 2016 MARTINS & MAGALHÃES, 2015 MARENGO et al., 2018 ONS, 2020
summer 2013-2014 2014-2015	Southeast region (São Paulo and Minas Gerais)	Drought	Decrease in the volume of hydroelectric reservoirs, which resulted in declines in affluent natural energy and energy stored in the Southeast/Midwest Subsystem. The Southeast subsystem recorded a minimum percentage of 15% of stored energy in November 2014, much lower than the 42% recorded in November 2013.	CUNHA et al., 2019b MARENGO et al., 2015 NOBRE et al., 2016 ONS, 2020
2015/2016	North region (Amazon)	Drought	Decrease in the level of hydroelectric reservoirs and consequent decrease in affluent natural energy and energy stored in the North Subsystem. The stored energy also dropped considerably between 2015 and 2016. After exceeding 90% in 2014, the maximum stored energy dropped to 81% in 2015 and to 65% in 2016.	CUNHA et al., 2019b WANDERLEY et al., 2018 ONS, 2020

<i>Year</i>	<i>Region</i>	<i>Type of climate impact</i>	<i>Description of the event</i>	<i>Reference</i>
2019-2020	South region (Paraná and Rio Grande do Sul)	Drought	Decrease in the volumes of hydroelectric reservoirs in the South subsystem and a decrease in affluent natural energy and energy stored in reservoirs present in the South subsystem due to drought in the southern states between 2019 and 2020. The volume of energy stored in the South subsystem registered the lowest value in at least 20 years, reaching the percentage of 14% in April 2020, much lower than the 28% registered in April 2000, which was the lowest value in this period.	CEMADEN, 2020 ONS, 2020

*Source: The authors of this study*

### 3.2 IMPACTS OBSERVED IN THE POWER TRANSMISSION AND DISTRIBUTION SYSTEM

Power transmission is a fundamental operation for the Brazilian electrical system. The transmission lines have the main role of interconnecting the hydrographic basins, optimizing the use of water resources throughout the country. SIN's electricity supports about 96% of the country's total power energy production capacity by connecting the South, Southeast, Midwest, Northeast, and part of the North Region (ANEEL, 2005). Electricity transmission and distribution lines are especially vulnerable to events of intense precipitation accompanied by strong winds (ANEEL, 2018). Events such as extra-tropical cyclones also cause intense rains and wind. These have already affected the transmission and distribution system in southern Brazil in recent years, such as the Catarina cyclone in 2004 and the bomb cyclone in 2020.

Damage to the infrastructure of the electricity distribution and transmission system directly affects the energy security by interrupting the transport of electricity to end-users. In June 2020, a cyclone interrupted the supply of electricity to 1.5 million consumer units and caused a loss of more than R\$ 60 million electricity generation and distribution system in Santa Catarina (CELESC, 2020).

Another important aspect is the cost for repairing damaged system, which can be passed on to the consumers. This was the case with Celesc, a utility company in the state of Santa Catarina, in which the Brazilian Electricity Regulatory Agency (ANEEL as in its Portuguese acronym) authorized a 0.45% increase in the electricity price, related to the losses resulting from the reconstruction of networks destroyed by Cyclone Catarina (ANEEL, 2004). Eletrosul (2014) indicates that the company included in the insurance policies of its operating generation and transmission assets the coverage for claims arising from gale, cyclone, hurricane, hail, flooding, earthquake and fire.

Table 2 shows a summary of the impacts on the transmission and distribution of electricity between 2004 and 2020.

**Table 2 | Impacts by extreme events in the transport of electricity: transmission and distribution, between 2004 and 2020.**

Year	Region	Type of climate impact	Description of the event	Reference
2004	Santa Catarina	Catarina cyclone	Strong winds knocked down about 1,000 poles in Santa Catarina and destroyed at least 250 transformers, leaving municipalities, such as Araranguá, Criciúma, Passo de Torres, Maracajá, and Sombrio without power supply.	PEZZA, SIMMONDS, & FILHO, 2008
2008	Santa Catarina	Extreme rains	Losses and damages amounted to R\$ 74 million (2009), mainly due to the need to repair transmission lines, poles and towers, and for damage to gas pipelines.	WORLD BANK, 2012B
2010	Pernambuco	Heavy rain	Losses and damages amounted to almost R\$ 13 million. 589 posts, 8,500 meters, 41 transformers, 183 reflectors, and 132 kilometers of cable were replaced.	WORLD BANK, 2012 <sup>a</sup>
2011	Mountain region of Rio de Janeiro	Heavy rain	A loss of more than R\$ 35 million was estimated due to damages and losses in the electricity supply infrastructure. 75,000 people were left with no power supply after the event.	WORLD BANK, 2012C
2012	Rio Grande do Sul	Strong wind / Heavy rain	About 530 thousand consumer units were left without electricity in Rio Grande do Sul after a storm in December 2012.	CEEE, 2012
2015	Santa Catarina	Tornado	Damage to the electricity transmission system. In the state, 11 power transmission towers were affected. This was Celesc's biggest accident in 60 years.	Câmara dos deputados do Brasil (Brazilian lower federal chamber), 2017
2016	Rio Grande do Sul	Strong wind / Heavy rain	A storm left about 450 thousand consumer units of the CEEE concessionaire with no power supply in Porto Alegre. Two substations were out of operation and 125 feeders had no power.	CEEE, 2016
2020	South region	Strong wind / Heavy rain / extra-tropical cyclone	In the state of Santa Catarina, about 1.5 million consumer units were left without access to electricity after the bomb cyclone. A loss of 63 million is estimated in the state's electricity generation and distribution system. Celesc, the largest electricity concessionaire in Santa Catarina, reported that the damage caused to the state's electricity grid was the largest in history. In Rio Grande do Sul, the distributor CEEE reported that 750 thousand customers were left without electricity after the cyclone.	INMET, 2020 CELESC, 2020 DEFESA CIVIL DO ESTADO DE SANTA CATARINA (Santa Catarina State Civil Defense), 2020

Source: The authors of this study

### 3.3 IMPACTS OBSERVED IN THE ELECTRICITY DEMAND FOR BUILDING (RESIDENTIAL SECTOR)

Considering the demand for electricity, the building sector (residential and services) participates with 42%, followed by the industrial sector with 32%, the energy sector with 5%, agriculture with 5%, and transport with 0.4% (EPE, 2019). Increases in temperature force an increase in the demand for electricity due to greater use of air conditioning. The thermal conditioning of environments, which appears as an adaptive measure to climate change to keep populations at comfortable temperatures, is also an obstacle to the decarbonization of the energy system. The increase in the use of devices for cooling directly influences peak demand (SIVAK, 2009).

Heatwaves were recorded in 2019. Rio de Janeiro showed a temperature 5°C above the maximum climatological average (1961 - 1990), which lasted 22 days in January (EPE, 2019a). The maximum monthly average was 37.4°C, 7.3°C above the maximum normal average (1961-1990) of 30.1°C, surpassing the previous record of the highest maximum average, recorded for the month in 2014 (INMET, 2019a).

In January 2019, the city of São Paulo recorded 14 days of maximum temperatures above the climatological average (1961-1990). The Inmet station at Mirante de Santana registered the record at 35.1°C on January 30, more than 7°C above the historical average for the month (1961-1990). Under this heatwave, residential electricity consumption increased by 8.0% in the residential sector (Figure 4) with an emphasis on the Southeast Region, which grew 8.3% compared to January 2018. The state of Rio de Janeiro had an increase close to 8%, and in São Paulo residential consumption grew 7.3%, considering the rate adjusted to the billing cycle (EPE, 2019a).



Figure 4 | Increase in residential consumption, in GWh.

Source: EPE, 2019a

In September 2019, a heatwave hit part of the Southeast and Midwest regions. The temperature remained 5°C above a historical average (1961 to 1990) for the month, for a period longer than five days (INMET, 2019c). In Cuiabá (MT) the maximum temperatures remained above the historical average for the month for 17 days (INMET, 2019b). Electricity consumption in the Midwest Region in that month had an increase of 13.4% compared to the same period in the previous year, with emphasis on the states of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul with a positive deviation of consumption of 18.5% and 28.9%, respectively, pointing to an impact of higher temperatures in the region (EPE, 2019b). Table 3 shows the impact of heatwaves on the electricity demand by the Brazilian residential sector between 2010 and 2019.

**Table 3 | Impacts of heatwaves on residential electricity demand between 2010 and 2019**

Year	Region	Type of climate impact	Description of the event	Reference
2010	Southeast	Heatwave	Rio de Janeiro maintained high temperatures for eight consecutive days in February, with a deviation of 11.8°C from the historical average, between 1961 to 1990. Also, in February, the Southeast region presented an increase of 9.7% compared to the same period of the previous year.	GEIRINHAS et al., 2019 INMET, 2010 EPE, 2010
2014	South/ Southeast	Heatwave	In February, the South and Southeast regions showed positive temperature deviations above 5°C compared to the historical average of 1961 - 1990 for the month. All states in the South and Southeast regions experienced significant electricity consumption, with a growth of 12.2% in the Southeast and 26.5% in the South.	CEInfo, 2014 INMET, 2014a EPE, 2014
2014	Mid-West -South	Heatwave	The Mid-West and South regions recorded maximum temperatures between 5 °C to 10°C above the normal climatological maximum from 1961 to 1990, characterizing the heatwave event in the period from 13 to 17 October. That month, household consumption was 5.2%, higher than the same period in 2013, showing the Mid-West region with an increase of consumption of 13.4%.	INMET, 2014b EPE, 2014b
2015	North/ Southeast/ Mid-West	Heatwave	In the Mid-West region, the city of Cuiabá (MT) recorded a period of 8 consecutive days with temperatures 6 °C above the historical average of the month. Brasília (DF) registered a heatwave with temperatures up to 9 °C above the average maximum of the month (1961 to 1990). In the Southeast, high temperatures were observed, especially in Minas Gerais, where the maximum average temperature varied by up to 6 °C above the climatological average (1961-1990) for approximately 15 days. In Rio de Janeiro, temperatures were measured 5 °C above the climatological average (1961-1990) for 11 days in October.	INMET, 2015 EPE, 2015a EPE, 2015b
2019	Southeast	Heatwave	In January, there were 22 days in Rio de Janeiro with temperatures 5°C above the climatological average from 1961 to 1990. The city of São Paulo recorded 14 days of maximum temperatures above the historical average. Residential consumption in the Southeast grew 8.3% compared to January 2018.	INMET, 2019 EPE, 2019b
2019	Mid-West	Heatwave	In September, an extreme temperature event reached the Mid-West region. According to the heatwave alert issued by INPE/CPTEC, the temperature remained 5°C above the historical average (1961 -1990) for the month, for a period longer than five days. Electricity consumption in the Mid-West region in that month had an increase of 13.4% compared to the previous year.	INMET, 2019b EPE, 2019c INMET, 2019c

Source: The authors of this study.

### 3.4 IMPACTS OBSERVED IN BIOENERGETIC CROPS

The drought that hit the Southeast of Brazil in 2014 resulted in a major impact on the productivity of sugarcane fields, especially in the state of São Paulo, the largest producer of sugarcane in Brazil (NOBRE et al., 2016). There was a 7.3% drop in average productivity in the Midwest and Southeast Region in the 2014/2015 harvest compared to the previous season, reaching 11% in the state of São Paulo (CONAB,



2017). Such drop in productivity in the main producing region of the country represented a lower production in the period for Brazil, which amounted to approximately 634 million tons of crushed sugarcane in the 2014/2015 harvest, 2.7% less than in the previous harvest, despite the 12% increase in production in the North-Northeast producing region in the harvest, which reached about 61 million tons of sugarcane milled (UNICA, 2020).

The drought context in the Midwest and Southeast Regions in the 2014/2015 harvest, despite having a profound impact on the production of sugarcane fields, ended up favoring a higher concentration of total recoverable sugars (ATR - as in its Portuguese acronym from *Açúcares Totais Recuperáveis*) in the culms of the plants, due to the favorable conditions in the maturation phase. The average content recorded in the harvest for the Midwest and Southeast were 136.58 kg of ATR / ton of sugarcane, an increase of 2.45% in relation to the previous harvest (UNICA, 2015).

Regarding ethanol, despite the absolute drop in the production of total recoverable sugars recorded compared to the previous harvest of 1.97%, the Midwest and Southeast Regions recorded a higher total fuel production, reaching 26,146 m<sup>3</sup> in 2014/2015 against 25,575 m<sup>3</sup> in the previous harvest. Therefore, sugar production was reduced by 6.73% compared to the previous season, reaching a total of 31,987 thousand tons (UNICA, 2015).

The 2015/2016 soybean harvest was affected by drought in areas in the North and Northeast regions of the country, especially in Matopiba, an acronym for the agricultural production region comprised by the Northeast and North states of Maranhão, Tocantins, Piauí, and Bahia. The lack of rain in November, the most suitable period for planting in the region, forced producers to postpone sowing. In addition, the high temperatures and periods of drought observed during the development of the crop strongly impacted its productivity. The averages obtained in the harvest ranged from 2.1 t/ha to 1.1 t/ha in the states of the region, representing decreases of 37% to 62% in relation to the maximum average productivity already observed until then in the respective states, close to 3.2 t/ha (HIRAKURI, 2016).

The productivity drop observed in the Matopiba region led to a reduction in total soybean production in Brazil in the 2015/2016 harvest, despite the increase observed in production in the South and Southeast regions. Production in Brazil in the 2015/2016 harvest was 95.4 million tons of soybeans against 96.2 million tons in the previous year (CONAB, 2020).

Regarding the production of biodiesel, there was a 3.5% decrease in 2016 compared to 2015, with production being reduced in all geographic regions, except the South. Soy oil remained the main raw material for fuel production, representing 79.1% of the total (ANP, 2017). It should be noted, however, that it is difficult to affirm that there is a direct correlation between climatic stress for soybean production in the Matopiba region and the supply of biodiesel in Brazil given some circumstances. Firstly, most of the soybean production is destined for export in the form of grains, with a considerably lower portion led to crushing in the country for the production of oil and bran (CONAB, 2020). Also, the biodiesel production capacity is concentrated in the South and Mid-West regions, while the combined production capacity of the North and Northeast regions accounts for less than 10% of the country's total in 2016 (ANP, 2017).

A relevant factor to be considered is that the demand for biodiesel depends essentially on the demand for diesel by the transport sector and the minimum mandatory percentage of biodiesel in diesel, which is currently 12%, with the forecast of reaching 15% in 2023 with increases of 1% per year (BRASIL, 2018). Thus, the expected increase in the mandatory minimum content, followed by an increase on diesel demand may intensify the impacts of soybean crop losses in the biodiesel chain. Table 4 presents the impacts of climatic events in Brazilian bioenergetic crops between 2011 and 2020.

**Table 4 | Impacts of extreme events in the cultivation of soy and sugarcane between 2011 and 2020**

<i>Crop</i>	<i>Harvest</i>	<i>Region</i>	<i>Type of climate impact</i>	<i>Description</i>	<i>Reference</i>
Soy	2011/2012	South (RS)	Drought	The prolonged drought in the southern part of South America hampered the development of soybean plantations in the state of Rio Grande do Sul that year. The average value of crop productivity was 1.55 t/ha, representing a drop of 45% compared to the previous harvest.	EMATER/RS-Ascar, 2012; HIRAKURI, 2016 Portal Agronotícias, 2020
Soy	2015/2016	MATOPIBA*	Drought, High mean temperatures	The weather conditions for the cultivation of soybeans in the 2015/2016 harvest were adverse for Brazil, in general, resulting in a 4.3% reduction of the average productivity of the crop in the country in relation to the previous year, breaking a historical increase trend. The MATOPIBA producing region suffered the greatest impacts, due to drought at the time of planting, which delayed sowing, followed by a period of drought and high temperatures. The states of Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, and Paraná also showed declines in productivity in this harvest compared to the previous year.	HIRAKURI, 2016 CONAB, 2020
Soy	2019/2020	South (RS)	Drought	The drought that occurred during the soybean cultivation cycle in Rio Grande do Sul resulted in a historic crop failure for the state's crop. The average soybean yield in the state was 1.79 t/ha, representing a decrease of approximately 46% in the estimated value at the beginning of cultivation. In the six previous harvests, productivity had varied between 2.60 and 3.36 t/ha.	EMATER/RS-Ascar, 2020 CONAB, 2020
Sugarcane	2014/2015	Mid-west and Southeast	Drought	The severe drought that caused a period of intense water restriction in the Southeast of Brazil, especially in the State of São Paulo, severely impacted the 2014/2015 crop in the Mid-west and Southeast producing regions, which had its agricultural productivity reduced by 7.3% in comparison to the previous harvest. This reduction reached 11% on average in the state of São Paulo, the largest producer of sugarcane in the country.	CONAB, 2017
Sugarcane	2018/2019	Mid-west, Southeast and South (São Paulo, Mato Grosso do Sul and Paraná)	Drought	The drought that occurred between February and July 2018 in some productivity areas of those states, which had a rainfall rate 34% below the historical average, impacted the production of sugar cane in the 2018/2019 harvest. The harvest recorded a crushing rate 4% lower than the previous harvest in the region.	GOMES, 2018 UNICA, 2020

<i>Crop</i>	<i>Harvest</i>	<i>Region</i>	<i>Type of climate impact</i>	<i>Description</i>	<i>Reference</i>
Sugarcane	2019/2020	Mid-west, Southeast and South São Paulo, Mato Grosso do Sul and Paraná)	Frost	A frost that occurred in early July 2019 in those productivity zones impacted an area equivalent to 400 thousand hectares of sugarcane fields, of which about 65% had not yet been harvested. It is estimated that the impact of this climatic event reduced crop productivity by up to 5 t/ha.	SAMORA, 2019

*Source: The authors of this study*

## 4 DISCUSSION

The impacts observed on the energy system due to climatological factors attest to the importance of adaptation measures to guarantee greater energy security in Brazil. Energy planning is carried out to identify future energy needs, in order to meet the projected demand. Considering climate-related impacts and vulnerabilities in the energy planning process strengthens the resilience and adaptability of the energy system. Also, it is necessary that future energy planning consider mitigation measures for GHGs to define adaptation strategies that are sustainable over time.

The first Nationally Determined Contribution – NDC, commitment assumed by the Country for 2030 within the scope of the Paris Agreement of 2015 (MCTIC, 2019), seeks to ensure 45% of renewable sources in the primary energy matrix, expand participation of non-hydraulic renewable sources to a level between 28% and 33% and an increase the share of biofuels to 18%. Additionally, EPE (2018) indicates the possibility of achieving 10% efficiency gains in the electricity sector. Thus, the great challenge for the energy sector is to comply with the Brazilian NDC considering climate change and its impact on renewable energies. Also, the expected increase in electricity demand in the residential sector, given the need for cooling for thermal comfort, makes increasing energy efficiency more challenging.

The Plans support decision-making in energy expansion projections. They provide plenty of information on market studies, sectors of the energy chain, system performance indicators, and investment requirements, among others (EPE, 2017a). In addition, they also serve as a basis for bidding for the contracting of new energy, which takes place through auctions.

To this end, it is necessary to carry out studies with future climate change scenarios. The results could be considered in the planning instruments for the energy sector, Ten-Year Energy Expansion Plan (PDE as in its Portuguese acronym) and National Energy Expansion Plan (PNE as in its Portuguese acronym), with regard to the expansion of energy supply, demand and transport and other aspects. Conducting these studies and incorporating them into energy auctions can be considered low-cost when compared to the impacts of climate change on energy production and the energy infrastructure. The study of future climate change scenarios in the energy system can be carried out in the medium term.

Thus, an analysis of options for adapting the energy sector is very relevant. These options, however, must also consider the impact on water, food, socio-environmental, and climate security.

The Brazilian interconnected system has a good diversity of the electricity matrix, which makes it possible to compensate for climate change impacts on power generation. This compensation provides the power system with an intrinsic adaptation capacity (BRASIL, 2016b). However, it is necessary to consider the possible variation in generation costs, GHG emissions, as well as in electricity demand, variables that are related to energy security. The analysis carried out in the previous sections shows the vulnerability of water resources for hydropower, especially in the Northeast Region. Also, other studies show the possibility of increasing wind and solar potential in Brazil. However, the high participation of hydroelectric generation makes an impact on the SIN more significant. In response, the adaptive

capacity of the SIN can increase the participation of thermoelectric plants in fossil fuels or biomass to meet the demand for electricity (LUCENA et al., 2018).

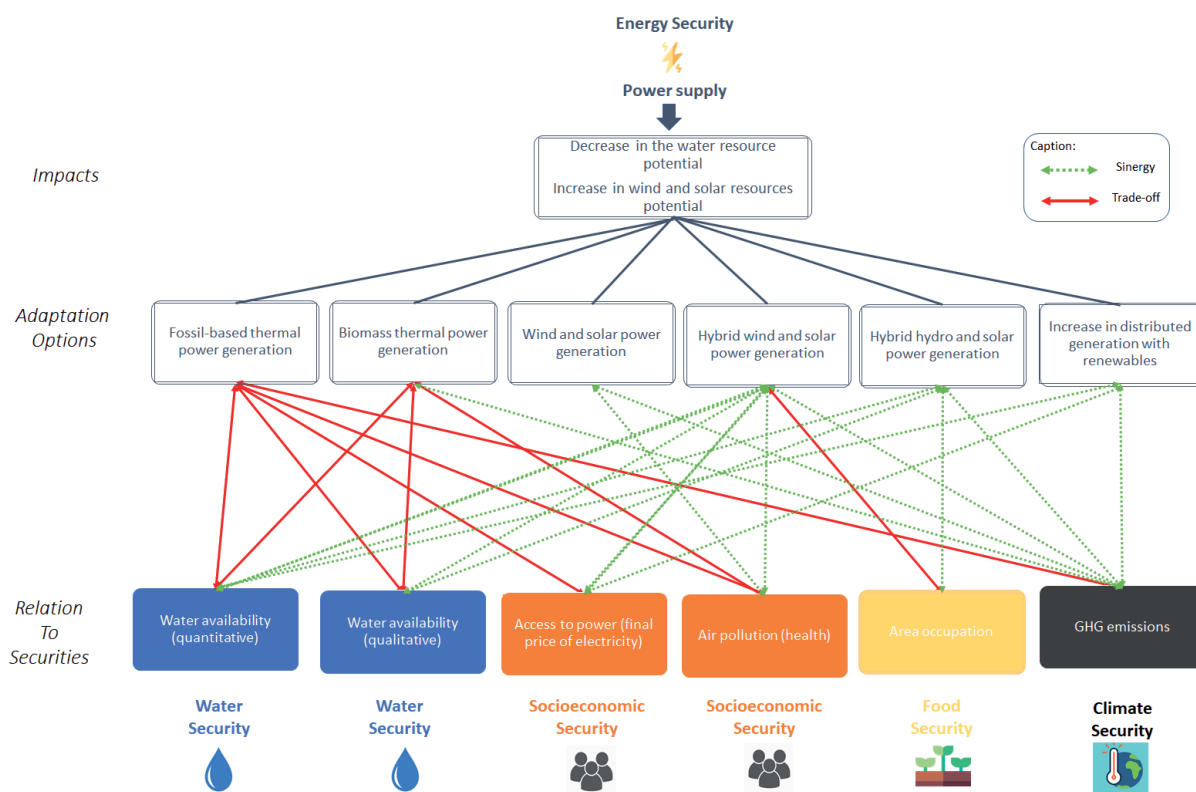
Thermoelectric generation can lead to an increase in emissions of local air pollutants, with consequences for people's health (PORTUGAL-PEREIRA et al., 2018). Furthermore, the final price of electricity may increase due to the fuel consumption and the investments in the installation, operation, and maintenance of new thermoelectric plants (EPE, 2017). This affects the population and all economic sectors. Moreover, the demand and consumption of water resources will depend on the cooling technology that the thermoelectric plants use (ARROYO, 2018). The effluents generated could also impact the quality of water resources and aquatic ecosystems (ARROYO, 2018).

Furthermore, there is the possibility of creating hybrid plants, so that photovoltaic and wind systems can be installed close to the reservoirs and produce electricity to compensate for the losses of hydroelectric generation due to droughts. The integration of photovoltaic systems to the Três Marias plant, for instance, could make it a hybrid solar-hydro plant with a higher generation capacity factor.

The abundance of solar resources in periods of scarcity in the São Francisco River basin would result in a high photovoltaic generation, offsetting the losses from hydroelectric generation in the same period (VELLOSO, 2017). The implementation of floating photovoltaic systems in hydroelectric reservoirs would be another important adaptation measure, as it contributes to a greater generation of electric energy and a reduction in the evaporation of the reservoirs, thus slowing down the drop in the level of the reservoirs during the dry period (FARFAN; BREYER, 2018).

The impact of extreme events, such as cyclones and heavy rainfalls, on transmission and distribution systems can be mitigated by encouraging off-grid distributed generation systems, based on biomass and solar energy, in consumer units connected to the grid. If the supply of electricity is interrupted during these events, a residential photovoltaic system with energy storage in batteries, for example, can be activated and maintain the electricity supply of the residence in which it is located (IRENA, 2019). Finally, studies to identify and analyze the greatest number of interruptions in energy transport systems due to the extreme events would support the strengthening of actions for resilience to the future impacts. Both options strengthen the energy security of the electricity supply and, consequently, the socioeconomic security.

Figure 5 shows adaptation options proposed for the power system and their relationship with other security measures.



**Figure 5 |** Adaptation options for the supply of the electricity sector and its interaction with water, food, socioeconomic, and climate security

*Source: The authors of this study. This figure was drawn using Flaticon.com resources.*

The negative impact related to electricity consumption during heatwaves events, the strengthening of government energy management, guided by energy conservation policies, can reduce energy demand. Management must be directed towards the efficiency of all energy consumption sectors, such as buildings, industry, and transport.

The strengthening should be directed to aspects of management instruments by the public sector, technological aspects in the search for more efficient equipment, and to promoting behavioral change in the population and other energy users. As an aggravating factor in this context, the rise in air temperature may influence the increase in electricity demand for cooling in different sectors. In the building sector, the greater use of cooling devices maintains the thermal comfort (health) of people. The adaptive measure creates feedback, since the increase in energy consumption, especially during peak hours, can lead to an increase in GHG emissions (DEPAULA and MENDELSON, 2010).

In addition, it is important to strengthen technical construction standards with sustainable energy conservation measures for all sectors: residential, commercial, services and public buildings, and industrial enterprises. Energy efficiency standards should be considered to all sectors, such as those indicated by Procel Buildings, which evaluate the enveloping, lighting, and air conditioning systems. Also, management must be integrated with the urban planning of natural cooling systems (passive cooling) such as green spaces on roofs, for example.

Finally, the increase in climatic risk for sugarcane and soybeans due to droughts, evidenced by Costa (2019), Pires et al. (2016), and Zullo et al. (2018), can be mitigated by more efficient irrigation methods and by the genetic improvement of crops to allow their adaptation in regions with different climates (ZULLO et al., 2018). This achievement proves the technical capacity of Brazilian agriculture to adapt important crops to new edaphoclimatic conditions (FREITAS, 2011). Carvalho and Furtado (2013) point out that there are important technological centers for the research of sugarcane in Brazil, which are



capable of providing the necessary answers to the expected climate adversities. However, it is observed that research in the country currently focuses on short-term issues, such as increased productivity and effective pest control.

## 5 FINAL CONSIDERATIONS

The present study is aimed to analyze the impacts of extreme events in the Brazilian energy system, analyzing them qualitatively. In this way, evident occurrences of the vulnerability of the energy sector show that planning considering climate change should not only take into account the long term but also the short and medium-term scenarios. Thus, this approach can provide valuable information for decision-makers. The discussion of adaptation options and their interaction with other security measures also highlights the need for integrated management so that it is sustainable over time. Finally, climate change must not be understood as a distant problem, and there must be a current commitment of financial and human resources for both mitigation and adaptation.

## ACKNOWLEDGMENTS

The present study was carried out with the support of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) - Financing Code 001, the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and the National Institute of Science and Technology for Climate Change (INCT-MC).

## REFERENCES

- ANA. **Sistema de Acompanhamento de Reservatórios – SAR**. 2019. Disponível em: <<http://sar.ana.gov.br/MedicaoSin>>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- ANEEL. **Aneel conclui revisão tarifária da Escelsa (ES), Iguaçu (SC) e Celesc (SC)**. 2004. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Parte I: Energia no Brasil e no mundo. 2005. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par1\\_cap1.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap1.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- ANEEL. **Relatório de Análise: desligamentos forçados do sistema de transmissão**. 2016.
- ANEEL. **Desligamentos Forçados do Sistema de Transmissão**. 2018.
- ANEEL. **Capacidade de Geração do Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br>>. Acesso em: 15 ago. 2020.
- ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020**. Brasília, 2020.
- ARIAS, M. et al. Impacts of climate change and deforestation on hydropower planning in the Brazilian Amazon. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 6, p. 430-436, 2020.
- ARROYO, E. **Incorporação do nexos energia-água em um modelo de otimização da expansão do sistema energético brasileiro**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético. Coppe – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Estratégia Geral. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudança do Clima e Florestas. Brasília, DF: MMA, 2016a. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- BRASIL. Conselho Nacional de Política Energética. **Resolução N° 16, de 29 de outubro de 2018**. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Brasília, DF: CNPE, 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Acordo de Paris**. Publicação Bilingue do Acordo de Paris - Inglês e Português, Brasília, 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br>> Acesso em: 20 ago. 2020.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: <<http://bit.ly/1iC6rDg>>. Acesso em: 22 ago. 2020.

CEEE. Câmara dos Deputados do Brasil. Comissão Externa Destinada a Acompanhar a Situação de Emergência no Estado de Santa Catarina. 2012. Relatório de Atividades. Março de 2017. 2017.

CEEE. Comunicado aos Clientes da CEEE Distribuição. [on-line] Portal CEEE, 2020. Disponível em: <<https://www.cee.com.br/noticias/comunicado-aos-clientes-da-eeee-distribuaao>>.

CEINFO. **Boletim CEInfo Análise**. A onda de calor de fevereiro de 2014 e o excesso de mortes no município de São Paulo, Ano IX, nº 9, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/saude/arquivos/publicacoes/Boletim\\_Analise\\_09.pdf](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/saude/arquivos/publicacoes/Boletim_Analise_09.pdf)>. Acesso em: 20 de jul. 2020.

CEMADEN. **Relatório da Situação Atual da Seca no Semiárido Brasileiro e Impactos**, 2016.

CEMADEN. **Boletim Monitoramento de Secas e Impactos no Brasil**. p. 0-13. Abril, 2020.

CEMIG. **Usina Hidrelétrica de Três Marias**. 2019. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/pt-br/a\\_cemig/Nossa\\_Historia/Paginas/Usinas\\_Hidreletricas.aspx](http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/Usinas_Hidreletricas.aspx)> Acesso em: 19 ago. 2020.

CLARKE, L. et al. Effects of long-term climate change on global building energy expenditures. **Energy Economics**, v. 72, p. 667-677, 2018.

CONAB. **Perfil do Setor do Açúcar e do Etanol no Brasil**: edição para a safra 2014/15. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, 2017.

CONAB. **Boletim de Safra de grãos, 11º levantamento**: safra 2019/2020. 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

COSTA, M. H. et al. Climate risks to Amazon agriculture suggest a rationale to conserve local ecosystems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 17, n. 10, p. 584-590. 2019.

CUNHA, A. et al. **Secas e seus Impactos no Brasil em 2018**, v. 1, p. 1-19. 2019a. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/categoria/monitoramento/boletim-de-impactos>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

CUNHA, A. et al. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, v. 10, n. 11, 2019b.

DEPAULA, G.; MENDELSON, R. Development and the impact of climate change on energy demand: evidence from Brazil. **Climate Change Economics**, v. 1, n. 03, p. 187-208, 2010.

ELETROSUL. **Relatório anual e de sustentabilidade Eletrosul**. Florianópolis: [s.n.], 2014. Disponível em: <[http://www-en.eletrosul.gov.br/files/files/sustentabilidade/relatorios-de-sustentabilidade/RELATÓRIO ANUAL E DE SUSTENTABILIDADE ELETROSUL 2014\(1\).pdf](http://www-en.eletrosul.gov.br/files/files/sustentabilidade/relatorios-de-sustentabilidade/RELATÓRIO ANUAL E DE SUSTENTABILIDADE ELETROSUL 2014(1).pdf)>. Acesso em: 15 ago. 2020.

EMATER/RS-Ascar. **Informativo Conjuntural**. Emater/RS-Ascar. Gerência de Planejamento. Núcleo de Informações e Análises. Jun. 1989. Porto Alegre, 2020.

EPE. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**. Ano III. n. 30, Rio de Janeiro, 2010.

EPE. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Ano VII, n. 78, Rio de Janeiro, 2014a.

EPE. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Ano VII, n. 86. Rio de Janeiro, 2014b.

- EPE. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Ano IX, n. 97. Rio de Janeiro, 2015a.
- EPE. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Ano IX, n. 98. Rio de Janeiro, 2015b.
- EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Ministério de Minas e Energia. MME/EPE. Brasília. 2017.
- EPE. **Mudanças Climáticas e Desdobramentos sobre os Estudos de Planejamento Energético**: considerações iniciais. 2018.
- EPE. **Brazilian Energy Balance**. 2019. Year, 2018 p. 303, 2019.
- EPE. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Ano XII, n. 137. Rio de Janeiro, 2019b.
- EPE. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Ano XII, n. 145. Rio de Janeiro, 2019c.
- EPE. **Solar Fotovoltaica Flutuante**. 2020.
- FARFAN, J.; BREYER, C. Combining floating solar photovoltaic power plants and hydropower reservoirs: a virtual battery of great global potential. **Energy Procedia**, v. 155, p. 403-411, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.038>>. Acesso em: 15 dez. 2020.
- FORRESTER, S. **Residential Cooling Load Impacts on Brazil's Electricity Demand**. 2019. Tese (Doutorado), p. 33, 2019.
- GEIRINHAS, J. L. et al. Characterizing the atmospheric conditions during the 2010 heatwave in Rio de Janeiro marked by excessive mortality rates. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 796-808, Rio de Janeiro, 2019.
- GLEICK, P. H. **Impacts of California's Ongoing Drought**: hydroelectricity generation. Pacific Institute, n. February, p. 1-14, 2016.
- GOMES, J. **Tempo seco e lavoura envelhecida reduzem safra de cana 18/19 no centro-sul, diz FCStone**. Reuters/Portal Terra. 2018. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/economia/tempo-seco-e-lavoura-envelhecida-reduzem-safra-de-cana-1819-no-centro-sul-diz-fcstone,daaddbe27b3601e3c21dcb1ebc6e94dap09xce9y.html>>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- HIRAKURI, M. Impactos econômicos de estresses na produção de soja da safra 2015/16. **Circular Técnica**, 125. Londrina, PR: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p. 8. 2016.
- INMET. **Boletim Agroclimatológico mensal**, v. 44, n. 01, 2010. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO\\_MENSAL\\_201002.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201002.pdf)>.EPE>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- INMET. **Boletim Agroclimatológico Mensal**, v. 48, n. 02, 2014a. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO\\_MENSAL\\_201402.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201402.pdf)> Acesso em: 20 jul. 2020.
- INMET. **Boletim Agroclimatológico Mensal**, v. 48, n. 10, 2014b. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO\\_MENSAL\\_201410.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201410.pdf)> Acesso em: 20 jul. 2020.
- INMET. **Boletim agroclimatológico mensal**, v. 49, n.09, 2015. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO\\_MENSAL\\_201509.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201509.pdf)> Acesso em: 20 jul. 2020.
- INMET. **Boletim Agroclimatológico Decendial**. 2019a. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO\\_DECENDIAL\\_201901.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_DECENDIAL_201901.pdf)>. Acesso em: 23 jul. 2020.
- INMET. **Boletim Agroclimatológico Mensal**, v. 54, n. 03, 2019b. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO\\_MENSAL\\_201910.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201910.pdf)>. Acesso em: 23 jul. 2020.
- INMET. **Alert-AS – Centro Virtual para Avisos de Eventos Meteorológicos Severos**. 2019c. Disponível em: <[http://alert-as.inmet.gov.br/cv/emergencia/cap/10598?fbclid=IwAR0MsQMIBb-8\\_it670SwhkEZMd5hFzJyVUv5NBOeVEblmvkJI4nU\\_q4wikl](http://alert-as.inmet.gov.br/cv/emergencia/cap/10598?fbclid=IwAR0MsQMIBb-8_it670SwhkEZMd5hFzJyVUv5NBOeVEblmvkJI4nU_q4wikl)> Acesso em: 23 jul. 2020.
- INVIDIATA, A.; GHISI, E. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 130, p. 20-32, 2016.

IPCC. Wind Energy. In: **IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change**. IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, 2011.

IPCC. **Climate Change 2014**: synthesis report, contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 1, n. October, p. 1-169, 2014b. 2014.

IRENA. **Off-grid renewable energy solutions to expand electricity access**: an opportunity not to be missed. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, p. 144, 2019.

JEREZ, S. The impact of climate change on photovoltaic power generation in Europe. **Nature Communications**, v. 6, 2015.

JONG, P. et al. Estimating the impact of climate change on wind and solar energy in Brazil using a South American regional climate model. **Renewable Energy**, v. 141, p. 390-401, 2019.

LELIS, T. A. et al. Impactos causados pelas mudanças climáticas nos processos erosivos de uma bacia hidrográfica: simulação de cenários. Impacts of climate change on erosion of a watershed: simulation of scenarios. **Revista Ambiente & Água**, v. 6, n. 2, p. 282, 2011.

LUCENA, A. et al. Interactions between climate change mitigation and adaptation: the case of hydropower in Brazil. **Energy**, 164, p.1161-1177, 2018.

LUCENA, A. et al. The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil, **Energy Policy**, v. 37, n. 3, p. 879-889, 2009.

MARENGO, J. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil**. Cachoeira Paulista v. CPTEC/Inpe, p. 16. 2004.

MARENGO, J. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, v. 106, n. 31, 2015.

MARENGO, J. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1973-1985, 2018.

MARTINS, E.; FRANCISCO JÚNIOR. O clima da Região Nordeste entre 2009 e 2017: monitoramento e previsão. **Parc. Estrat.**, v. 22, n. 44, p. 63-80, 2017.

\_\_\_\_\_. A seca de 2012-2015 no Nordeste e seus impactos. **Parcerias Estratégicas**, 107-128, 2015.

NOBRE, C. et al. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 08, n. 02, p. 252-262, 2016.

ONG, P. et al. Hydroelectric production from Brazil's São Francisco River could cease due to climate change and inter-annual variability. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 1540-1553, 2018.

ONS. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 22 ago. 2020.

PEREIRA, E. B. et al. The impacts of global climate changes on the wind power density in Brazil. **Renewable energy**, v. 49, p. 107-110, 2013.

PEZZA, A. B.; SIMMONDS, I.; FILHO, A. J. P. Climate perspective on the large-scale circulation associated with the transition of the first South Atlantic hurricane. 2008. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 8, mar. 2018. p. 2011-2029.

PIRES, G. et al. Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: implications for land use in Northern Brazil. **Agricultural and forest meteorology**, v. 228, p. 286-298, 2016.

PORTAL AGRONOTÍCIAS. **Seca atual é comparada com a que provocou quebra na safra de 2012**. Notícias/Clima e Temperatura. 2020. Disponível em: <<http://www.portalagronoticias.com.br/noticia/7836/rs-seca-atual-e-comparada-com-a-que-provocou-quebra-na-safra-de-2012>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

PORTUGAL-PEREIRA et al. Interactions between global climate change strategies and local air pollution: lessons

learnt from the expansion of the power sector in Brazil. 2018. **Climatic Change**. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2193-3>.

SAILOR, D. J.; SMITH, M.; HART, M. Climate change implications for wind power resources in the Northwest United States. **Renewable Energy**, v. 33, n. 11, p. 2393-2406, 2008.

SAMORA, R. **Moagem de cana do centro-sul cai abaixo de previsão**: Unica cita perdas por geadas. Economia/Notícias/Reuters/UOL. 2019. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/reuters/2019/07/24/moagem-de-cana-do-centro-sul-recua-95-na-1-quinzena-unica-cita-perdas-por-geadas.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

SANTOS, A. **Impacto de Mudanças Climáticas no Potencial de Energia Solar Fotovoltaica no Setor Residencial Brasileiro**. 426f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2020.

SCHAEFFER, R. et al. **Adaptação às mudanças climáticas no Brasil**: cenários e alternativas, p. 1-56, 2015.

SCHAEFFER, R. et al. **Energy sector vulnerability to climate change**: a review, *energy*, v. 38, n. 1, p. 1-12, 2012.

SIMIONI, T.; SCHAEFFER, R. Georeferenced operating-efficiency solar potential maps with local weather conditions – An application to Brazil. **Solar Energy**, v. 184, n. October 2018, p. 345-355, 2019.

SINGH, P.; RAVINDRA, N. M. **Temperature dependence of solar cell performance**: an analysis, *solar energy materials and solar cells*, v. 101, p. 36-45, 2012.

SIVAK, M. Potential energy demand for cooling in the 50 largest metropolitan areas of the world: implications for developing countries. **Energy Policy**, v. 37, n. 4, p. 1382-1384, 2009.

SKOPLAKI, E.; BOUDOUVIS, A. G.; PALLYVOS, J. A. A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 92, n. 11, p. 1393-1402, 2008.

TEIXEIRA, M. et al. Assaí: an energy view on an Amazon residue. **Biomass and Bioenergy**, 58, p. 76-86, 2013.

TOBIN, I. et al. Assessing climate change impacts on European wind energy from Ensembles high-resolution climate projections. **Climatic Change**, v. 128, n. 1-2, p. 99-112, 2015.

ÚNICA. **Relatório final da safra 2014/2015**: região centro-sul. São Paulo: União da Indústria de Cana-de-Açúcar, 2015.

ÚNICA. **Relatório final da safra 2019/2020**. 2020. Disponível em: <<http://unicadata.com.br/listagem.php?idMn=118>>. Acesso em: 22 ago. 2020.

VELLOSO, M. F. **Possibilidade de geração híbrida hidrossolar na bacia do São Francisco, 145f**. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

WANDERLEY, L. DE A. et al. As chuvas na cidade do Recife: uma climatologia de extremos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 149-164, 2018.

WORLD BANK. **Avaliação de Perdas e Danos**: inundações bruscas em Santa Catarina em novembro de 2008. 2012a. Disponível em: <<http://documents1.worldbank.org/curated/en/250881468232500513/pdf/NonAsciiFileName0.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

WORLD BANK. **Avaliação de Perdas e Danos**: inundações bruscas em Pernambuco em junho de 2010. 2012b. Disponível em: <<http://documents1.worldbank.org/curated/pt/495391468013874079/pdf/NonAsciiFileName0.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

WORLD BANK. **Avaliação de Perdas e Danos**: inundações e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro em janeiro de 2011. 2012c. Disponível em: <<http://documents1.worldbank.org/curated/en/260891468222895493/pdf/NonAsciiFileName0.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

ZULLO, J.; PEREIRA, V.; KOGA-VICENTE, A. Sugar-energy sector vulnerability under CMIP5 projections in the Brazilian central-southern macro-region. **Climatic Change**, v. 149, n. 3-4, p. 489-502, 2018.



# Impactos climáticos na segurança energética no Brasil: análise de eventos observados e opções de adaptação

*Climate impacts in the Brazilian energy security: analysis of observed events and adaptation options*

Eveline Vasquez-Arroyo<sup>a</sup>

Fábio da Silva<sup>b</sup>

Alberto Santos<sup>c</sup>

Deborah Cordeiro<sup>d</sup>

José Antônio Marengo<sup>e</sup>

André F. P. Lucena<sup>f</sup>

<sup>a</sup> Programa de Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: eveline@ppe.ufrj.br

<sup>b</sup> Programa de Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: fabioteixeira@ppe.ufrj.br

<sup>c</sup> Programa de Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: albertojlsantos@ppe.ufrj.br

<sup>d</sup> Programa de Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: deborahcordeiro@ppe.ufrj.br

<sup>e</sup> Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, São José dos Campos, SP, Brasil  
End. Eletrônico: jose.marengo@cemaden.gov.br

<sup>f</sup> Programa de Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: andre lucena@ppe.ufrj.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33838

Received: 31/08/2020  
Accepted: 07/12/2020

*Os dados e os resultados apresentados nesta publicação foram desenvolvidos no âmbito do projeto “Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, por meio dos recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente, aos quais oferecemos nossos agradecimentos.*

## RESUMO

As mudanças climáticas poderão aumentar a ocorrência e intensidade de eventos climáticos extremos, que podem afetar os sistemas de energia. Assim, este estudo objetiva identificar impactos de eventos meteorológicos que tiveram influência sobre o sistema energético brasileiro, por uma análise de relatos recentes. São levantados e avaliados casos de impactos em hidrelétricas, sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, produção de culturas bioenergéticas e demanda de energia elétrica do setor residencial. Por último, analisam-se os desafios do planejamento energético diante das mudanças climáticas e propõem-se medidas de adaptação, apontando suas possíveis repercussões na segurança hídrica, alimentar, socioambiental e climática.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas. Impacto. Adaptação. Segurança energética. Brasil.

## ABSTRACT

*Climate change is expected to increase the frequency and intensity of extreme weather events, which can affect energy systems. Thus, this study aims to evaluate impacts of meteorological events on the Brazilian energy system, through an analysis of recent reports. Cases of impacts on hydropower, power transmission and distribution, bioenergy crops and residential cooling demand in recent years are assessed. Finally, the challenges of energy planning in the face of climate change are analyzed and adaptation measures for the energy system are proposed, pointing out possible repercussions on water, food, socio-environmental and climate security.*

**Keywords:** Climate change. Impact. Adaptation. Energy security. Brazil.

## 1 INTRODUÇÃO

Mudanças climáticas trazem uma extensa lista de impactos ambientais e socioeconômicos em áreas díspares com biodiversidade, zonas costeiras, abastecimento de água, agricultura, segurança alimentar, saúde, energia, etc., podendo afetar a população e a sustentabilidade do planeta (ALBERTO, 2006; LELIS et al., 2011; MARENGO, 2004).

A disponibilidade de fontes primárias, a conversão, o transporte e o uso final de energia podem ter uma relação direta ou indireta com as variáveis climáticas. Contudo, mudanças na temperatura, precipitação e velocidade do vento estão sendo associadas à acumulação de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera (IPCC, 2014). Essas mudanças podem gerar benefícios no setor energético em certas regiões e recursos, mas deterioração em outros.

A energia hidrelétrica é responsável, atualmente, por cerca de 11% da energia primária e 67% da geração elétrica brasileira (EPE, 2019). Essa tecnologia é impactada pela falta de chuvas que diminui a vazão afluyente das usinas a fio d'água e dos reservatórios, induzindo assim a uma redução do seu volume útil e, conseqüentemente, da energia armazenada (SCHAEFFER et al., 2010). Eventos extremos, como secas, tornam vulnerável a segurança dessa tecnologia. Vários estudos no Brasil indicam impactos, principalmente no Norte e Nordeste (ARIAS et al., 2020; LUCENA et al., 2009).

Schaeffer et al. (2015) concluem que o alto risco de déficit no suprimento de hidroelectricidade sugere a necessidade de investimentos massivos em nova capacidade de geração elétrica por outras fontes. Os impactos de estiagens em hidrelétricas não são restritos apenas ao Brasil. Na Califórnia (EUA), estima-se que a geração hidrelétrica entre 2012 e 2015 tenha reduzido sua participação em uma média de 18% para 7% (GLEICK, 2016). A transmissão e a distribuição de energia elétrica apresentam um risco alto a esses eventos. Além disso, a vulnerabilidade da transmissão de energia aumenta em infraestruturas de grande porte, como é caso do Sistema Interligado Nacional (SIN) no Brasil.

A energia eólica depende do regime, intensidade e direção dos ventos. Rajadas de vento podem impactar a operação e o design das turbinas eólicas (IPCC, 2011). Estudos no Brasil indicam que o potencial eólico não seria impactado significativamente (JONG et al., 2019; LUCENA et al., 2010; PEREIRA et al., 2013). Projeções de clima mostraram um aumento do potencial eólico ao longo do tempo, especialmente nas regiões Nordeste e Sul.

Em outros países, no entanto, o recurso eólico poderia ser impactado, como no noroeste dos Estados Unidos, onde o potencial poderia ser reduzido em até 40% (SAILOR et al., 2008), e no Sul da Europa com uma redução de 10% do potencial eólico (TOBIN et al., 2015). Já a energia solar fotovoltaica depende principalmente da radiação solar, velocidade do vento na superfície e da temperatura ambiente. Maior recurso solar tende a aumentar a geração, enquanto maiores temperaturas levam a uma menor eficiência do painel (GARCÍA; BALENZATEGUI, 2004; SIMIONI; SCHAEFFER, 2019; SINGH; RAVINDRA, 2012).

Estudos sugerem que o potencial fotovoltaico no Brasil não seria afetado consideravelmente no futuro devido às projeções de aumento simultâneo de radiação solar e temperatura em grande parte do País (SANTOS, 2020). Na Europa, projeta-se um aumento modesto do potencial na região do Mediterrâneo e uma queda desse potencial entre 10% e 12% na Escandinávia (JEREZ et al., 2015).

No setor de biocombustíveis, os principais impactos de mudanças climáticas estão associados à oferta do recurso primário, ou seja, das culturas bioenergéticas (SCHAEFFER et al., 2012). No caso brasileiro, os principais biocombustíveis são o etanol e o biodiesel. Para o etanol, praticamente a totalidade da produção provém da cana-de-açúcar (UNICA, 2020). A produção de biodiesel, por sua vez, possui uma cesta de fontes oleaginosas mais diversificada no País, porém, a mais relevante é o óleo de soja, que foi responsável por cerca de 68% da produção do biocombustível no País em 2019 (ANP, 2020). Assim, alterações no clima que afetem o zoneamento agroecológico dessas culturas têm o potencial de impactar o setor de biocombustíveis do Brasil.

Os impactos das mudanças climáticas não se limitam à oferta, podendo também afetar a demanda. Os aumentos da temperatura e umidade podem levar a mudanças no padrão de consumo, elevando a demanda por resfriamento pela busca do conforto térmico (CLARKE et al., 2018; INVIDIATA; GHISI, 2016; SCHAEFFER et al., 2012). Isso é mais significativo no setor de edificações, podendo atingir valores ainda maiores com o aumento da renda e da posse de condicionadores de ar. Na Austrália, Hatvani-Kovacs (2016) identificou uma correlação entre os picos de demanda de energia e o aumento da temperatura diária registrada devido às ondas de calor, tendo um aumento médio na demanda de eletricidade de 6,35% por aumento de 1° na temperatura máxima diária. Phoenix e Washington DC apresentaram um aumento de demanda de 3,6% para cada grau de aumento de temperatura (FRANCO, 2008).

Neste estudo, são apresentados os impactos de eventos meteorológicos extremos observados recentemente – tais como secas, chuvas intensas e ondas de calor –, que poderão ocorrer com maior frequência, e seus efeitos no sistema energético brasileiro. O estudo também discute como poderiam reduzir os impactos por meio de desafios de adaptação. As opções de adaptação são avaliadas de maneira integrada com aspectos externos que também influenciam a segurança energética do País, como aspectos socioeconômicos, políticos e ambientais.

## 2 METODOLOGIA

Primeiramente, identificam-se casos de eventos meteorológicos extremos observados nos últimos 20 anos no Brasil. Relatos de secas hidrológicas, ciclones e ondas de calor são levantados na literatura científica e em publicações de literatura cinzenta.

Em seguida, de acordo com o tipo de evento observado e sua localização, coletam-se dados sobre o comportamento da produção ou demanda de energia no mesmo intervalo de tempo. Para isso, são utilizadas bases de dados públicas de instituições oficiais brasileiras, como ONS, EPE, CEEE, entre outras. São avaliados impactos na geração hidrelétrica, na transmissão e distribuição de eletricidade, no setor de biocombustíveis e na demanda residencial por resfriamento.

Finalmente, os eventos climáticos e seus impactos observados no sistema energético são correlacionados em tabelas, divididas pelos segmentos impactados do setor de energia. As amostras são classificadas por região, período e tipo de evento, com uma descrição qualitativa de seu impacto verificado.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 IMPACTOS OBSERVADOS NA GERAÇÃO HIDRELÉTRICA

Em 2014 aconteceu uma seca hidrológica na Região Sudeste que impactou a cabeceira da Região Hidrográfica do São Francisco e, por consequência, os usuários a jusante, localizados na Região Nordeste.

O reservatório de Três Marias, destinado ao aproveitamento hidrelétrico, está localizado na Região Sudeste. Atualmente possui uma potência instalada de 396 MW, com seis unidades geradoras e um volume de armazenamento de 19.528 hm<sup>3</sup> (CEMIG, 2019). Três Marias é a cabeceira de um conjunto de usinas em cascata que alimenta outras usinas localizadas a jusante com reservatório, como Sobradinho e Itaparica, e a fio d'água, como Moxotó, Paulo Afonso e Xingó (Figura 1). Assim, sua operação é fundamental para a regulação do Rio São Francisco, principalmente no trecho entre o reservatório e a usina hidrelétrica de Sobradinho, na Bahia.

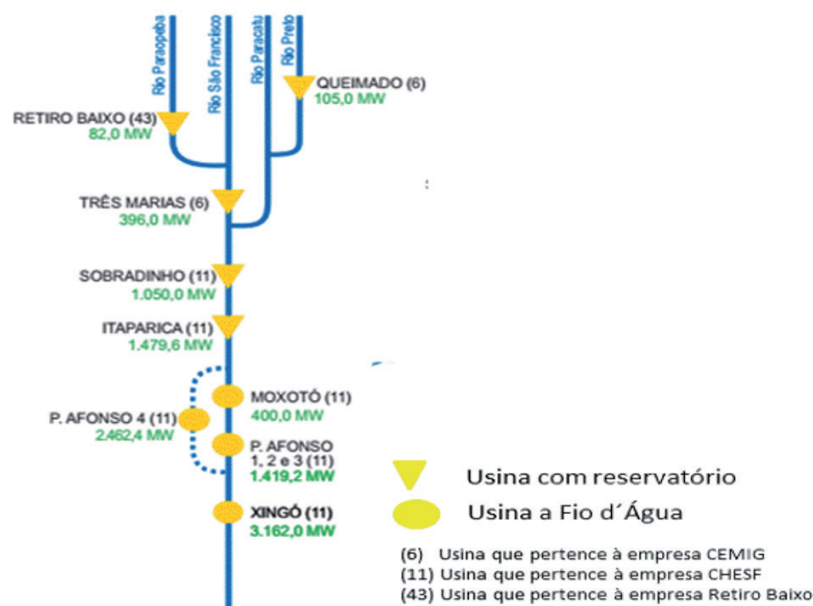


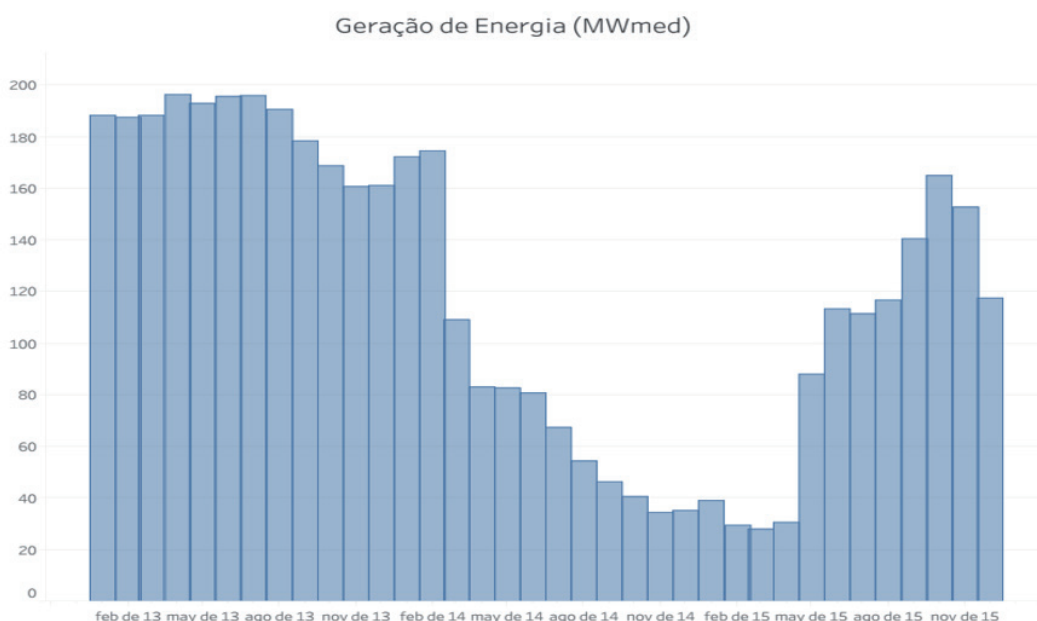
Figura 1 | Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

Fonte: ONS, 2018

Uma análise dos últimos 19 anos mostra que a usina encontrou dificuldade operativa por ter o volume útil com baixa capacidade de armazenamento em alguns períodos, chegando a ter uma média anual inferior a 30%, especialmente nos anos 2001, 2014, 2015, 2016 e 2017 (ANA, 2019). A partir de 2011, a bacia do Rio São Francisco registrou anomalias negativas de precipitação, com uma redução de 40% das chuvas em 2012 (MARTINS; FRANCISCO JÚNIOR, 2017). O norte e centro-leste da Região Nordeste registraram uma queda entre 20% e 40% da precipitação anual nos anos de 2014 e 2015 (MARTINS; FRANCISCO JÚNIOR, 2017).

Essas condições levaram à diminuição do nível dos reservatórios na bacia do Rio São Francisco no período entre 2012 e 2017. O período mais crítico foi verificado entre os meses de setembro de 2014 e fevereiro de 2015, quando o volume útil ficou abaixo dos 10% da sua capacidade, atingindo 2,9% em novembro de 2014 (ANA, 2019). Ao longo dos anos seguintes, o reservatório não conseguiu se recuperar completamente, sendo que em 2017 o volume útil atingiu 6% (ANA, 2019). Durante as secas enfrentadas na Região Sudeste, o reservatório garantiu a outorga para as demandas de abastecimento humano e dessedentação animal, que, por força de lei, são prioridade no uso de água (BRASIL, 1997).

Isso fez a usina acionar apenas duas turbinas das seis instaladas. Três Marias reduziu sua geração de 188 MWmed em março de 2013 a 28 MWmed em março de 2015 (menor geração no intervalo de tempo analisado). Assim, essa redução de geração deve ter uma relação direta com a redução do volume útil do reservatório.



**Figura 2 |** Geração média (MWmed) da Usina Hidrelétrica de Três Marias entre os anos de 2013 e 2015.

Fonte: ONS, 2020.

As usinas hidrelétricas localizadas a jusante foram impactadas pela seca no Sudeste (2014) e estiagens no Nordeste (2013 a 2017), conforme mostra a Figura 3. Sobradinho registrou uma queda gradual da geração média. Em 2014, a usina teve o volume útil em 60% e chegou até 20% em dezembro de 2015 (ONS, 2020). Em 2017, condições de seca predominaram e o reservatório atingiu um valor máximo próximo a 15%. O valor mínimo de geração de Sobradinho caiu 105 MWmed em novembro de 2017, de 356 MWmed registrados em 2013 (ONS, 2020).

O reservatório de Itaparica registrou uma queda do seu volume útil (40%) a partir de 2013, e com o impacto de Três Marias chegou a 14% (ANA, 2020; ONS, 2020). Com a continuação da estiagem no Nordeste, o volume útil do reservatório chegou a 9% em novembro de 2015 (ANA, 2020). Em 2017,



o volume útil voltou a cair rapidamente, atingindo 7% em janeiro (ANA, 2020). Adicionalmente, o complexo de usinas de Paulo Afonso e Xingó, localizado na sequência, observou uma leve redução da geração média a partir de 2014. De certa maneira, os impactos sofridos pelas usinas diminuem conforme mais distantes estão da usina de Três Marias.

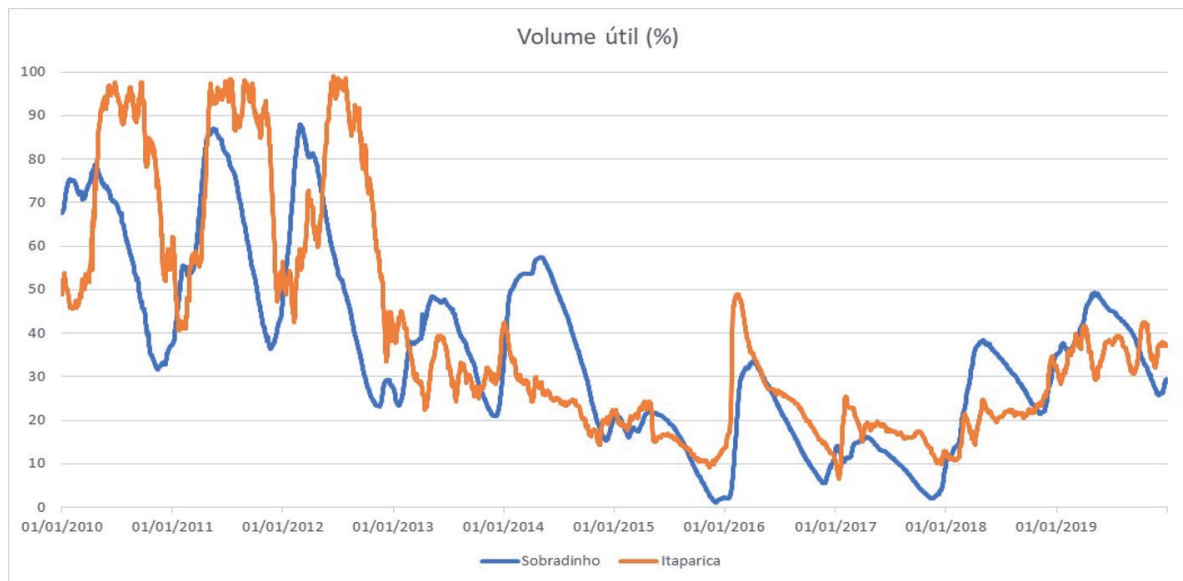


Figura 3 | Volume útil de Sobradinho e Itaparica entre 2010 e 2020.

Fonte: Elaboração própria, com base em ANA (2020).

A seguir, a Tabela 1 mostra um resumo dos impactos observados na geração hidrelétrica em outros locais, identificados entre 2012 e 2020.

Tabela 1 | Identificação de impactos observados por eventos extremos na oferta hidrelétrica entre 2012 e 2020

Ano	Região	Tipo de Impacto climático	Descrição do evento	Referência
2012 - 2017	Região Nordeste (Semiárido)	Seca	Redução de energia natural afluyente (ENA) e do volume de reservatórios de hidrelétricas e portanto, da energia armazenada do Subsistema Nordeste. Os reservatórios da bacia do rio São Francisco foram muito afetados pela estiagem, como Três Marias e Sobradinho. Em Três Marias, o volume útil chegou a 2,6% em 2014, 7% em 2015 e 6% em 2017. Em Sobradinho, volume útil atingiu mínimos de 1% em 2015, 6% em 2016 e 2% em 2017. Em Itaparica, os valores mínimos de volume útil foram de 14% em 2014, 9% em 2015 e 7% em 2017. A energia armazenada no subsistema Nordeste começou a decair a partir de 2013, atingindo um valor mínimo de 4% em novembro de 2015 e em novembro de 2017.	CUNHA et al., 2019a CUNHA et al., 2019b CEMADEN, 2016 MARTINS & MAGALHÃES, 2015 MARENGO et al., 2018 ONS, 2020
verão 2013-2014 2014-2015	Região Sudeste (São Paulo e Minas Gerais)	Seca	Redução do volume de reservatórios de hidrelétricas, que resultou em quedas de energia natural afluyente e de energia armazenada no Subsistema Sudeste/Centro-Oeste. O subsistema Sudeste registrou um percentual mínimo de 15% de energia armazenada em novembro de 2014, muito inferior aos 42% registrados em novembro de 2013.	CUNHA et al., 2019b MARENGO et al., 2015 NOBRE et al., 2016 ONS, 2020

Ano	Região	Tipo de Impacto climático	Descrição do evento	Referência
2015/2016	Região Norte (Amazônia)	Seca	Redução do nível de reservatórios de hidrelétricas e consequente diminuição de energia natural afluyente e energia armazenada no Subsistema Norte. A energia armazenada também caiu consideravelmente entre 2015 e 2016. Após superar 90% em 2014, o EAR máximo caiu para 81% em 2015 e para 65% em 2016.	CUNHA et al., 2019b WANDERLEY et al., 2018 ONS, 2020
2019-2020	Região Sul (Paraná e Rio Grande do Sul)	Seca	Queda do volume de reservatórios de hidrelétricas no subsistema Sul e diminuição da energia natural afluyente e da energia armazenada nos reservatórios presentes no subsistema Sul em decorrência de estiagem nos estados do Sul entre 2019 e 2020. O volume de energia armazenado (EAR) no subsistema Sul registrou o menor valor em pelo menos 20 anos, atingindo o percentual de 14% em abril de 2020, valor muito inferior aos 28% registrados em abril de 2000, que era o menor valor neste período.	CEMADEN, 2020 ONS, 2020

Fonte: Elaboração própria

### 3.2 REDES DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A transmissão de eletricidade é uma operação fundamental para o sistema elétrico brasileiro. As linhas de transmissão possuem como papel principal o de interconectar as bacias hidrográficas, otimizando o aproveitamento dos recursos hídricos de todo o País (SIN). As redes e linhas de distribuição de eletricidade do SIN suportam cerca de 96% de toda a capacidade de produção de energia elétrica do País ao conectar as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da Região Norte (ANEEL, 2005). As linhas de transmissão e distribuição de eletricidade são vulneráveis especialmente a eventos de chuvas intensas acompanhadas de ventos fortes (ANEEL, 2018). Eventos como ciclones extratropicais também provocam chuvas intensas e ventos, e já afetaram o sistema de transmissão e distribuição no Sul do Brasil nos últimos anos, como o ciclone Catarina em 2004 e o ciclone bomba em 2020.

Os danos à infraestrutura do sistema de distribuição e transmissão elétrica afetam diretamente a Segurança Energética por meio da interrupção do transporte de eletricidade aos consumidores. Em junho de 2020, um ciclone interrompeu o fornecimento de energia elétrica em 1,5 milhão de unidades consumidoras e provocou um prejuízo superior a R\$ 60 milhões no sistema de geração e distribuição de energia elétrica de Santa Catarina (CELESC, 2020).

Outro aspecto importante é o custo gerado para o reparo das redes danificadas, que pode ser repassado aos consumidores. Esse foi o caso da Celesc, em que a Aneel concedeu um aumento na tarifa de 0.45% relacionado aos prejuízos decorrentes da reconstrução de redes destruídas pelo ciclone Catarina (ANEEL, 2004). A Eletrosul (2014) indica que a empresa incluiu nas apólices de seguros de seus ativos operacionais de geração e transmissão a cobertura para sinistros decorrentes de vendaval, ciclone, furacão, granizo, inundação, alagamento, terremoto e incêndio.

A seguir, a Tabela 2 mostra um resumo dos impactos observados na transmissão e distribuição de energia elétrica, identificados entre 2004 e 2020.

**Tabela 2 |** Identificação de impactos observados por eventos extremos no transporte de energia elétrica: transmissão e distribuição, entre 2004 e 2020.

Ano	Região	Tipo de Impacto climático	Descrição do evento	Referência
2004	Santa Catarina	Ciclone Catarina	Os fortes ventos derrubaram cerca de mil postes em Santa Catarina e destruíram pelo menos 250 transformadores, deixando municípios sem energia elétrica, como Araranguá, Criciúma, Passo de Torres, Maracajá e Sombrio.	PEZZA, SIMMONDS, & FILHO, 2008
2008	Santa Catarina	Chuvas extremas	Perdas e danos somaram R\$ 74 milhões (R\$ 2009), principalmente por necessidade de reparação em linhas de transmissão, postes e torres, e por danos a gasodutos.	WORLD BANK, 2012B
2010	Pernambuco	Chuvas extremas	Perdas e danos somaram quase R\$ 13 milhões (R\$ 2010). 589 postes, 8.500 medidores, 41 transformadores, 183 refletores e 132 quilômetros de cabo foram substituídos.	WORLD BANK, 2012 <sup>a</sup>
2011	Região Serrana do Rio de Janeiro	Chuvas extremas	Estimou-se um prejuízo superior a 35 milhões de reais (2011) por danos e perdas na infraestrutura de fornecimento de energia elétrica. 75 mil pessoas ficaram sem luz após o evento.	WORLD BANK, 2012C
2012	Rio Grande do Sul	Vento forte/ Chuvas intensas	Cerca de 530 mil unidades consumidoras ficaram sem energia elétrica no Rio Grande do Sul após temporal em dezembro de 2012.	CEEE, 2012
2015	Santa Catarina	Tornado	Danos ao sistema de transmissão de energia elétrica. No estado, 11 torres de transmissão de energia foram afetadas. Este foi o maior acidente da Celesc em 60 anos.	CÂMARA DOS DEPUTADOS DO BRASIL, 2017
2016	Rio Grande do Sul	Ventos fortes/ Chuvas intensas	Temporal deixou cerca de 450 mil unidades consumidoras da concessionária CEEE sem luz em Porto Alegre. 2 subestações ficaram fora de operação e 125 alimentadores sem energia.	CEEE, 2016
2020	Região Sul	Ventos fortes/ Chuvas intensas/ Ciclone extratropical	No estado de Santa Catarina, cerca de 1,5 milhão de unidades consumidoras ficaram sem acesso à energia elétrica após a passagem do ciclone bomba. Estima-se um prejuízo de 63 milhões no sistema de geração e distribuição de energia elétrica do estado. A Celesc, maior concessionária de energia elétrica em Santa Catarina, informou que o dano provocado à rede elétrica do estado foi o maior da história. No Rio Grande do Sul, a distribuidora CEEE reportou que 750 mil clientes ficaram sem energia elétrica após o ciclone.	INMET, 2020 CELESC, 2020 DEFESA CIVIL DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2020

Fonte: Elaboração própria

### 3.3 DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA DO SETOR RESIDENCIAL (EDIFICAÇÕES)

Considerando a demanda por eletricidade, o setor de edificações (residencial e serviços) participa com 42%, seguido pelo setor industrial com 32%, setor energético com 5%, agropecuário com 5% e transportes com 0,4% (EPE, 2019). Aumentos de temperatura forçam um aumento na demanda de energia elétrica por maior uso de ar-condicionado. O condicionamento térmico de ambientes, que surge como uma medida adaptativa às mudanças climáticas para manter populações em temperaturas confortáveis, é também um obstáculo para a descarbonização do sistema energético. O aumento no uso de aparelhos para resfriamento de ambientes influencia diretamente na demanda de pico (SIVAK, 2009).

Ondas de calor foram registradas em 2019. O Rio de Janeiro evidenciou temperatura 5°C acima da máxima média climatológica (1961 - 1990), que durou 22 dias no mês de Janeiro (EPE, 2019a). A média

máxima mensal foi de 37,4°C, 7,3°C acima da máxima média normal (1961-1990) de 30,1°C, superando o recorde anterior de maior média máxima, registrada para o mês em 2014 (INMET, 2019a).

A cidade de São Paulo registrou 14 dias de temperaturas máximas acima da normal climatológica (1961-1990). A estação do Inmet do Mirante de Santana registrou o recorde em 35,1°C no dia 30 de janeiro, mais de 7°C acima da média histórica desse mês (1961-1990). Sob essa onda de calor, o consumo residencial de energia elétrica teve um aumento de 8,0% no setor residencial (Figura 4) com ênfase para a Região Sudeste que cresceu 8,3% comparado a janeiro de 2018. O estado do Rio de Janeiro teve aumento próximo a 8%, e em São Paulo o consumo residencial cresceu 7,3%, considerando a taxa ajustada ao ciclo de faturamento (EPE, 2019a).



Figura 4 | Aumento do consumo residencial em GWh.

Fonte: EPE, 2019a

No mês de setembro, uma onda de calor atingiu parte das regiões Sudeste e Centro-Oeste. A temperatura se manteve 5°C acima da média histórica (1961 a 1990) para o mês, por período maior do que cinco dias (INMET, 2019c). Em Cuiabá (MT) as temperaturas máximas se mantiveram acima da média histórica para o mês por 17 dias (INMET, 2019b). O consumo de energia elétrica na Região Centro-Oeste nesse mês foi de 1.113 GWh, um aumento de 13,4% comparado ao mesmo período do ano anterior, com destaque para os estados de Mato Grosso e de Mato Grosso do Sul com desvio positivo de consumo de 18,5% e 28,9%, respectivamente, o que indica um impacto das temperaturas mais elevadas na região (EPE, 2019b). A Tabela 3 apresenta impactos de ondas de calor na demanda de energia elétrica do setor residencial brasileiro entre 2010 e 2019.

Tabela 3 | Identificação de impactos observados por ondas de calor na demanda elétrica residencial entre 2010 e 2019

Ano	Região	Tipo de Impacto climático	Descrição do evento	Referência
2010	Sudeste	Onda de Calor	O Rio de Janeiro manteve temperaturas elevadas por oito dias consecutivos em fevereiro, tendo um desvio de 11,8°C da média histórica para o mês de 1961 a 1990. A região Sudeste apresentou neste mês um aumento de 9,7% comparado ao mesmo período do ano anterior.	GEIRINHAS et al., 2019 INMET, 2010 EPE, 2010

2014	Sul/ Sudeste	Onda de Calor	Em fevereiro, as regiões Sul e Sudeste apresentaram desvios de temperatura positiva superiores aos 5°C comparados a média histórica de 1961 - 1990 para o mês. Todos os estados na região Sul e Sudeste observaram um consumo de energia elétrica expressivo no mês de fevereiro, com crescimento de 12,2% no Sudeste e 26,5% no Sul.	CEInfo, 2014 INMET, 2014a EPE, 2014
2014	Centro-Sul	Onda de Calor	A região Centro Sul registrou temperaturas máximas entre 5 a 10°C acima da máxima normal climatológica de 1961 a 1990, caracterizando o evento de onda de calor no período de 13 a 17 de outubro. Neste mês o consumo das residências foi de 11 mil GWh, 5,2% maior que o mesmo período de 2013, evidenciando a região centro-oeste com um aumento de consumo de 13,4%.	INMET,2014b EPE, 2014b
2015	Norte/ Sudeste/ Centro Oeste	Onda de Calor	Na região Centro Oeste, a cidade de Cuiabá (MT) registrou um período de 8 dias consecutivos de temperaturas seis graus acima da média histórica do mês. Brasília (DF) registrou uma Onda de Calor com temperaturas até 9°C superiores à máxima média do mês (1961 à 1990). No Sudeste foram observadas temperaturas elevadas, especialmente em Minas Gerais onde a temperatura máxima média variou em até 6°C acima da média climatológica (1961-1990) por aproximadamente 15 dias. No Rio de Janeiro, mediu-se temperaturas com desvio da média climatológica (1961-1990) acima dos 5°C por 11 dias em outubro.	INMET, 2015 EPE, 2015a EPE, 2015b
2019	Sudeste	Onda de Calor	Em janeiro, no Rio de Janeiro houveram 22 dias com temperatura 5°C acima da média climatológica de 1961 à 1990. A cidade de São Paulo registrou 14 dias de temperaturas máximas acima da média histórica. O consumo residencial no Sudeste cresceu 8,3% comparado a janeiro de 2018.	INMET, 2019 EPE, 2019b
2019	Centro-Oeste	Onda de Calor	No mês de setembro, um evento extremo de temperatura atingiu a região Centro-Oeste. De acordo com esse alerta de onda de calor emitido pelo INPE/CPTEC, a temperatura se manteve 5°C acima da média histórica (1961 -1990) para o mês, por um período maior do que cinco dias. O consumo de energia elétrica na região Centro-Oeste nesse mês foi de 1.113 GWh um aumento de 13,4% comparado ao ano anterior.	INMET, 2019b EPE, 2019c INMET, 2019c

Fonte: Elaboração própria.

### 3.4 CULTURAS BIOENERGÉTICAS

A seca que assolou a Região Sudeste no ano de 2014 resultou em grande impacto na produtividade de canaviais, sobretudo no estado de São Paulo, maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil (NOBRE et al., 2016). Relataram-se quedas de 7,3% na produtividade média da Região Centro-Sul na safra 2014/2015 em relação ao observado na safra anterior, alcançando o patamar de 11% no estado de São Paulo (CONAB, 2017). Tal queda de produtividade na principal região produtora do País representou uma menor produção no período para o Brasil, que somou um montante de aproximadamente 634 milhões de toneladas de cana-de-açúcar moída na safra 2014/2015, 2,7% a menos que na safra anterior, não obstante o aumento de 12% na produção da região produtora Norte-Nordeste na safra, que alcançou uma moagem de cerca de 61 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (UNICA, 2020).

O contexto de estiagem na Região Centro-Sul na safra 2014/2015, apesar de ter impactado profundamente a produção dos canaviais, acabou por favorecer uma maior concentração de açúcares totais recuperáveis (ATR) nos colmos das plantas, em razão das condições propícias à fase de maturação.



O teor médio registrado na safra para o Centro-Sul foi de 136,58 kg de ATR/tonelada de cana, um aumento de 2,45% em relação à safra anterior (UNICA, 2015).

Em relação ao etanol, apesar da queda absoluta na produção de açúcares totais recuperáveis (ATR) registrada em relação à safra anterior de 1,97%, a Região Centro-Sul registrou uma maior produção total do combustível, atingindo 26.146 m<sup>3</sup> na safra 2014/2015 contra 25.575 m<sup>3</sup> na anterior. Para tanto, a produção de açúcar foi reduzida em 6,73% em relação à safra anterior, chegando a um total de 31.987 mil toneladas (UNICA, 2015).

A safra de 2015/2016 da soja foi marcada por uma seca em áreas das regiões Norte e Nordeste do País, sobretudo no Matopiba, acrônimo para a região de produção agrícola compreendida pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. A falta de chuvas em novembro, período mais adequado ao plantio na região, forçou os produtores a adiarem a semeadura. Ademais, as altas temperaturas e períodos de estiagem verificados ao longo do desenvolvimento da lavoura impactaram fortemente sua produtividade. As médias obtidas na safra variaram entre 2,1 t/ha até 1,1 t/ha nos estados da região, representando reduções de 37% até 62% em relação à máxima produtividade média já observada até então nos respectivos estados, próxima a 3,2 t/ha (HIRAKURI, 2016).

Essa queda de produtividade verificada na região do Matopiba levou a uma redução na produção total de soja no Brasil na safra 2015/2016, mesmo com o aumento observado na produção nas regiões Sul e Sudeste. A produção no Brasil na safra 2015/2016 foi de 95,4 milhões de toneladas de soja contra 96,2 milhões de toneladas no exercício anterior (CONAB, 2020).

Em relação à produção de biodiesel, foi registrada uma queda de 3,5% no ano de 2016 em relação a 2015, tendo a produção sido reduzida em todas as regiões geográficas, com exceção do Sul. O óleo de soja manteve-se como principal matéria-prima para a produção do combustível, representando 79,1% do total (ANP, 2017). Cabe ressaltar, contudo, que é difícil afirmar que há uma correlação direta entre um estresse climático para a produção de soja no Matopiba e o suprimento de biodiesel no Brasil por alguns aspectos.

Primeiramente, a maior parte da produção de soja é destinada à exportação na forma de grãos, sendo uma parcela consideravelmente inferior levada ao esmagamento para a produção de óleo e farelo (CONAB, 2020). Ademais, a capacidade de produção de biodiesel concentra-se nas regiões Sul e Centro-Oeste, sendo em 2016 a capacidade de produção combinada das regiões Norte e Nordeste inferior a 10% do total do País (ANP, 2017).

Um fator relevante a ser considerado é que a demanda por biodiesel depende essencialmente da demanda por diesel na economia e do percentual mínimo obrigatório de biodiesel no diesel, que atualmente é de 12%, com a previsão de chegar a 15% em 2023 com aumentos de 1% ao ano (BRASIL, 2018). Assim, a esperada elevação do teor mínimo mandatário e o aumento da atividade econômica podem futuramente aumentar os impactos de quebras de safra de soja na cadeia do biodiesel. A Tabela 4 apresenta impactos de eventos climáticos em culturas bioenergéticas brasileiras entre 2011 e 2020.

**Tabela 4 |** Identificação de impactos observados por eventos extremos na cultura de soja e cana-de-açúcar entre 2011 e 2020

<i>Cultura</i>	<i>Safra</i>	<i>Região</i>	<i>Tipo de Impacto climático</i>	<i>Descrição</i>	<i>Referência</i>
Soja	2011/2012	Sul (RS)	Seca	A seca prolongada na parte sul da América do Sul prejudicou o desenvolvimento dos plantios de soja do estado do Rio Grande do Sul naquele ano. O valor médio de produtividade do cultivo foi de 1,55 t/ha, representando uma queda de 45% em relação à safra anterior.	EMATER/RS-Ascar, 2012; HIRAKURI, 2016 Portal Agronotícias, 2020
Soja	2015/2016	MATOPIBA*	Seca, Temperaturas médias elevadas	As condições climáticas para o cultivo da soja na safra 2015/2016 foram adversas para o Brasil, de forma geral, tendo resultado em uma redução da produtividade média da cultura no país de 4,3% em relação ao ano anterior, quebrando uma tendência histórica de aumento. A região produtora do MATOPIBA sofreu os maiores impactos, devido a uma estiagem na época do plantio, que atrasou a semeadura, seguida de um período de seca e altas temperaturas. Os estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Paraná também apresentaram quedas de produtividade nessa safra em relação ao ano anterior.	HIRAKURI, 2016 CONAB, 2020
Soja	2019/2020	Sul (RS)	Seca	A seca ocorrida ao longo do ciclo de cultivo da soja no Rio Grande do Sul resultou em uma quebra de safra histórica para a cultura no estado. A produtividade média da soja no estado foi de 1,79 t/ha, representando uma queda de aproximadamente 46% no valor estimado ao início do cultivo. Nas últimas seis safras, a produtividade variou entre 2,60 e 3,36 t/ha.	EMATER/RS-Ascar, 2020 CONAB, 2020
Cana-de-açúcar	2014/2015	Centro-Sul	Seca	A forte seca que provocou um período de intensa restrição hídrica no Sudeste do Brasil, sobretudo no estado de São Paulo, impactou severamente a safra 2014/2015 na região produtora do Centro-Sul, que teve sua produtividade agrícola reduzida em 7,3% em relação à safra anterior. Esta redução chegou a atingir 11% em média no estado de São Paulo, maior produtor de cana-de-açúcar do país.	CONAB, 2017
Cana-de-açúcar	2018/2019	Centro-Sul (São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná)	Seca	A estiagem verificada entre fevereiro e julho de 2018 em algumas áreas dos estados da região produtora do Centro-Sul, que apresentou índice de pluviosidade 34% inferior à média histórica, impactou a produção de cana-de-açúcar na safra 2018/2019. A safra no Centro-Sul registrou moagem 4% menor que a safra anterior da região.	GOMES, 2018 UNICA, 2020

<i>Cultura</i>	<i>Safra</i>	<i>Região</i>	<i>Tipo de Impacto climático</i>	<i>Descrição</i>	<i>Referência</i>
Cana-de-açúcar	2019/2020	Centro-Sul (PR, MS e sul de SP)	Geada	Uma geada ocorrida no início de julho de 2019 na região produtora do Centro-Sul impactou uma área equivalente a 400 mil hectares de canaviais, da qual cerca de 65% ainda não havia sido colhida. Estima-se que o impacto deste evento climático tenha reduzido a produtividade do cultivo em até 5 t/ha.	SAMORA, 2019

Fonte: *Elaboração própria*

## 4 DISCUSSÃO

Os impactos observados no sistema energético em decorrência de fatores climáticos atestam a importância de medidas de adaptação para garantir uma maior segurança energética no Brasil. O planejamento energético é realizado para identificar as necessidades futuras de energia, visando ao atendimento de uma demanda projetada. Considerar os impactos e vulnerabilidades relacionados ao clima no processo de planejamento energético fortalece a resiliência e a capacidade de adaptação do sistema energético. Ainda, faz-se necessário que o planejamento energético futuro considere medidas de mitigação dos GEE para, com isso, definir estratégias de adaptação que sejam sustentáveis no tempo.

O compromisso assumido pelo País para 2030 em sua Contribuição Nacionalmente Determinada – NDC (MCTIC, 2019), no âmbito do Acordo de Paris de 2015, busca assegurar 45% de fontes renováveis na matriz energética primária, expandir participação de fontes renováveis não hidráulicas para um patamar entre 28% e 33% e aumentar a participação de biocombustíveis para 18%. Adicionalmente, a EPE (2018) indica a possibilidade de alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico. Dessa forma, o grande desafio do setor energético está em cumprir a NDC brasileira considerando as mudanças do clima e seu impacto nas energias renováveis. Além disso, o esperado aumento da demanda elétrica no setor residencial, dada a necessidade de resfriamento para conforto térmico, faz com que o aumento da eficiência energética seja mais desafiador.

Os Planos apoiam a tomada de decisões em projeções da expansão energética, fornecendo diversas informações sobre estudos de mercado, de setores da cadeia energética, indicadores de desempenho do sistema, requisitos para investimentos, entre outros (EPE, 2017a). Além disso, eles também servem de base para licitação de contratação de energia nova, que acontece por meio de leilões.

Para tanto, cabe a realização de estudos de cenários climáticos futuros, cujos resultados sejam considerados em instrumentos de planejamento do setor energético (como o PDE e o PNE), no que tange à expansão da oferta, demanda e transporte de energia e outros aspectos. A realização de estudos de cenários climáticos e sua incorporação nos leilões de energia podem ser considerados de baixo custo quando comparados com os impactos da mudança do clima na produção de energia e nas infraestruturas. O estudo de cenários climáticos futuros no sistema energético pode ser realizado a médio prazo.

Assim, faz-se muito relevante uma análise de opções de adaptação do setor energético. Essas opções, contudo, devem considerar também o impacto na segurança hídrica, alimentar, socioambiental e climática.

O Brasil possui o SIN com um grau de diversidade da matriz elétrica que possibilita a compensação dos impactos climáticos na geração. Essa compensação dota o sistema elétrico de uma capacidade intrínseca de adaptação, a assim chamada Capacidade Adaptativa (BRASIL, 2016b). No entanto, deve-se considerar a possível variação nos custos da geração, emissões de GEE, bem como na demanda elétrica, variáveis estas que estão relacionadas à segurança energética. A análise realizada nas seções

anteriores indica a vulnerabilidade da disponibilidade do recurso hídrico para geração hidroelétrica, principalmente na Região Nordeste. Ademais, estudos mostram a possibilidade do aumento do potencial eólico e solar no Brasil. Contudo, a alta participação da geração hidrelétrica faz com que o impacto seja mais significativo no SIN. Como resposta, a capacidade adaptativa do SIN pode aumentar a participação de usinas termoelétricas a combustíveis fósseis ou biomassa para atendimento da demanda de eletricidade (LUCENA et al., 2018).

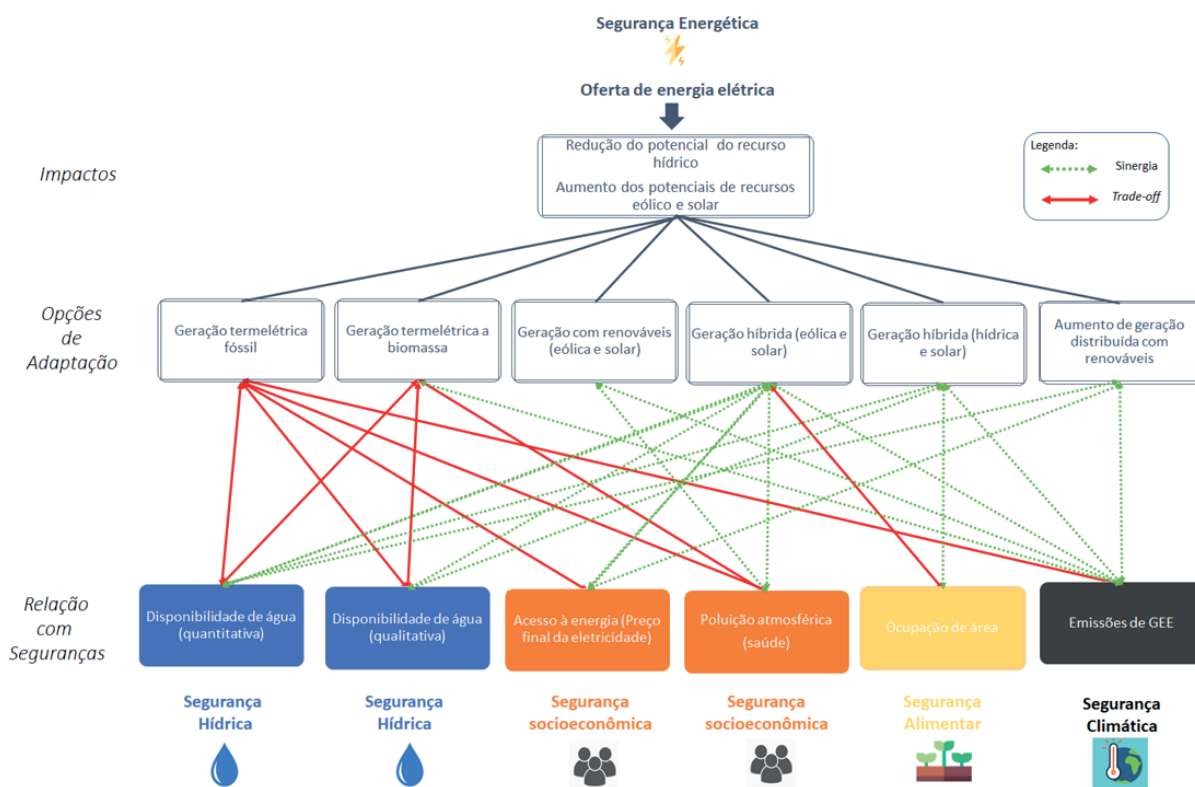
A geração termoelétrica pode originar um aumento das emissões de poluentes atmosféricos locais, com consequências para a saúde da população (PORTUGAL-PEREIRA et al., 2018). Outrossim, o preço final da eletricidade pode ter um incremento devido ao aumento do custo pelo consumo de combustível e os investimentos para instalação, operação e manutenção de novas usinas termoelétricas (EPE, 2017). Isso afeta a população e todos os setores econômicos. Além disso, a demanda e o consumo dos recursos hídricos dependerão da tecnologia de resfriamento que as usinas utilizam (ARROYO, 2018). Os efluentes gerados também poderiam impactar a qualidade dos recursos hídricos e os ecossistemas aquáticos (ARROYO, 2018).

Também, há a possibilidade de criar usinas híbridas, de forma que sistemas fotovoltaicos e eólicos possam ser instalados próximos aos reservatórios e produzir energia elétrica de forma a compensar as perdas de geração hidrelétrica por conta de estiagens. A integração de sistemas fotovoltaicos à usina de Três Marias, por exemplo, tornaria esta uma usina híbrida solar-hídrica com um fator de capacidade maior de geração.

A abundância de recurso solar em períodos de escassez na bacia do São Francisco acarretaria uma elevada geração fotovoltaica, compensando as perdas de geração hidrelétrica no mesmo período e mantendo a geração total em patamar similar (VELLOSO, 2017). A implementação de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidrelétricas seria uma outra importante medida de adaptação, pois contribui para uma maior geração de energia elétrica e uma redução da evaporação dos reservatórios, desacelerando, assim, a queda do nível dos reservatórios durante o período seco (FARFAN; BREYER, 2018).

O impacto de eventos extremos, como ciclones e chuvas intensas nos sistemas de transmissão e distribuição, pode ser contornado pelo incentivo a sistemas de geração distribuída off-grid, baseados em biomassa e energia solar, em unidades consumidoras conectadas ao grid. Caso o fornecimento de energia elétrica seja interrompido durante esses eventos, um sistema fotovoltaico residencial com armazenamento de energia em baterias, por exemplo, pode ser acionado e manter o abastecimento de energia elétrica da residência em que está situado (IRENA, 2019). Finalmente, estudos de identificação e análise da maior quantidade de ocorrências de interrupção dos sistemas de transporte de energia por causa do aspecto climático subsidiariam o fortalecimento das ações para resiliência aos impactos de eventos extremos futuros. Ambas as opções fortalecem a segurança energética da oferta de energia elétrica e, por consequência, a segurança socioeconômica.

A Figura 5 mostra as opções de adaptação para o sistema elétrico discutidas e sua relação com as outras seguranças.



**Figura 5 |** Opções de adaptação na oferta do setor elétrico e sua interação com as seguranças hídrica, alimentar, socioeconômica e climática

Fonte: Elaboração própria. Essa figura tem sido desenhada utilizando recursos do Flaticon.com

Para cenários de aumento da demanda de energia elétrica durante ondas de calor, o fortalecimento da gestão energética governamental, orientado a políticas de conservação de energia, pode reduzir a demanda energética. A gestão deve ser direcionada à eficiência de todos os setores de consumo de energia, como de edificações, industrial e de transportes.

O fortalecimento deve ser direcionado aos aspectos de instrumentos de gestão por parte do setor público, aspectos tecnológicos em busca de equipamentos mais eficientes e na promoção de uma mudança comportamental da população e dos outros usuários de energia. Como um agravante nesse contexto, o aumento de temperatura do ar poderá influenciar a elevação da demanda elétrica para resfriamento em diferentes setores. No setor de edificações, a maior utilização de aparelhos de resfriamento mantém o conforto térmico (saúde) das pessoas. A medida adaptativa cria uma retroalimentação, uma vez que o aumento do consumo de energia, principalmente em horários de pico, pode levar ao aumento de emissão de GEE (DEPAULA e MENDELSON, 2010).

Adicionalmente, é importante o fortalecimento de normas técnicas de construção com medidas sustentáveis de conservação de energia para todos os setores: edificações residenciais, comerciais, serviços e públicos, e empreendimentos industriais. Devem-se considerar padrões mínimos de eficiência energética, como os indicados pelo Procel Edificações que avaliam os sistemas de envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Também, a gestão deve ser integrada ao planejamento urbano de sistemas naturais de resfriamento (resfriamento passivo) como espaços verdes em telhados, por exemplo.

Finalmente, o aumento do risco agroclimático para cana-de-açúcar e soja em decorrência de estiagens, evidenciado por Costa (2019), Pires et al. (2016) e Zullo et al. (2018), pode ser mitigado por métodos de irrigação mais eficientes e por tecnologias de melhoramento genético das culturas para permitir sua adaptação em regiões com climas diferentes (ZULLO et al., 2018). Tal feito comprova a capacidade técnica da agricultura brasileira para adaptação de culturas importantes a novas condições edafoclimáticas



(FREITAS, 2011). Carvalho e Furtado (2013) apontam que há no Brasil importantes centros tecnológicos para a pesquisa de cana-de-açúcar capazes de fornecer as respostas necessárias às adversidades climáticas esperadas. Contudo, observam-se que as pesquisas no País, atualmente, concentram-se em questões de curto prazo, como o aumento da produtividade e o enfrentamento eficaz de pragas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo objetiva fazer uma análise de casos observados de impactos de eventos meteorológicos extremos no sistema energético brasileiro, analisando-os qualitativamente. Dessa maneira, ocorrências evidentes da vulnerabilidade do setor energético mostram que o planejamento considerando mudanças climáticas não deve ser só de longo prazo, mas de curto e médio prazos. Assim, essa abordagem pode fornecer informações preciosas para tomadores de decisão. Ainda a discussão das opções de adaptação e sua interação com as outras seguranças evidencia a necessidade de uma gestão integrada para que ela seja sustentável no tempo. Finalmente, não se deve entender mudanças climáticas como um problema distante, devendo haver um comprometimento atual de recursos financeiros e humanos tanto para a mitigação quanto para a adaptação.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-MC).

## REFERÊNCIAS

- ANA. **Sistema de Acompanhamento de Reservatórios – SAR**. 2019. Disponível em: <<http://sar.ana.gov.br/MedicaoSin>>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- ANEEL. **Aneel conclui revisão tarifária da Escelsa (ES), Iguaçu (SC) e Celesc (SC)**. 2004. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Parte I: Energia no Brasil e no mundo. 2005. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par1\\_cap1.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap1.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- ANEEL. **Relatório de Análise: desligamentos forçados do sistema de transmissão**. 2016.
- ANEEL. **Desligamentos Forçados do Sistema de Transmissão**. 2018.
- ANEEL. **Capacidade de Geração do Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br>>. Acesso em: 15 ago. 2020.
- ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020**. Brasília, 2020.
- ARIAS, M. et al. Impacts of climate change and deforestation on hydropower planning in the Brazilian Amazon. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 6, p. 430-436, 2020.
- ARROYO, E. **Incorporação do nexo energia-água em um modelo de otimização da expansão do sistema energético brasileiro**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético. Coppe – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Estratégia Geral. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudança do Clima e Florestas. Brasília, DF: MMA, 2016a. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- BRASIL. Conselho Nacional de Política Energética. **Resolução N° 16, de 29 de outubro de 2018**. Dispõe sobre a

evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Brasília, DF: CNPE, 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Acordo de Paris**. Publicação Bilíngue do Acordo de Paris - Inglês e Português, Brasília, 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br>> Acesso em: 20 ago. 2020.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: <<http://bit.ly/1iC6rDg>>. Acesso em: 22 ago. 2020.

CEEE. Câmara dos Deputados do Brasil. Comissão Externa Destinada a Acompanhar a Situação de Emergência no Estado de Santa Catarina. 2012. Relatório de Atividades. Março de 2017. 2017.

CEEE. Comunicado aos Clientes da CEEE Distribuição. [on-line] Portal CEEE, 2020. Disponível em: <<https://www.ceeec.com.br/noticias/comunicado-aos-clientes-da-ceeec-distribuicao>>.

CEINFO. **Boletim CEInfo Análise**. A onda de calor de fevereiro de 2014 e o excesso de mortes no município de São Paulo, Ano IX, nº 9, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/saude/arquivos/publicacoes/Boletim\\_Analise\\_09.pdf](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/saude/arquivos/publicacoes/Boletim_Analise_09.pdf)>. Acesso em: 20 de jul. 2020.

CEMADEN. **Relatório da Situação Atual da Seca no Semiárido Brasileiro e Impactos**, 2016.

CEMADEN. **Boletim Monitoramento de Secas e Impactos no Brasil**. p. 0-13. Abril, 2020.

CEMIG. **Usina Hidrelétrica de Três Marias**. 2019. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/pt-br/a\\_cemig/Nossa\\_Historia/Paginas/Usinas\\_Hidreletricas.aspx](http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/Usinas_Hidreletricas.aspx)> Acesso em: 19 ago. 2020.

CLARKE, L. et al. Effects of long-term climate change on global building energy expenditures. **Energy Economics**, v. 72, p. 667-677, 2018.

CONAB. **Perfil do Setor do Açúcar e do Etanol no Brasil**: edição para a safra 2014/15. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, 2017.

CONAB. **Boletim de Safra de grãos, 11º levantamento**: safra 2019/2020. 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

COSTA, M. H. et al. Climate risks to Amazon agriculture suggest a rationale to conserve local ecosystems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 17, n. 10, p. 584-590. 2019.

CUNHA, A. et al. **Secas e seus Impactos no Brasil em 2018**, v. 1, p. 1-19. 2019a. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/categoria/monitoramento/boletim-de-impactos>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

CUNHA, A. et al. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, v. 10, n. 11, 2019b.

DEPAULA, G.; MENDELSON, R. Development and the impact of climate change on energy demand: evidence from Brazil. **Climate Change Economics**, v. 1, n. 03, p. 187-208, 2010.

ELETROSUL. **Relatório anual e de sustentabilidade Eletrosul**. Florianópolis: [s.n.], 2014. Disponível em: <[http://www-en.eletrosul.gov.br/files/files/sustentabilidade/relatorios-de-sustentabilidade/RELATÓRIO ANUAL E DE SUSTENTABILIDADE ELETROSUL 2014\(1\).pdf](http://www-en.eletrosul.gov.br/files/files/sustentabilidade/relatorios-de-sustentabilidade/RELATÓRIO ANUAL E DE SUSTENTABILIDADE ELETROSUL 2014(1).pdf)>. Acesso em: 15 ago. 2020.

EMATER/RS-Ascar. **Informativo Conjuntural**. Emater/RS-Ascar. Gerência de Planejamento. Núcleo de Informações e Análises. Jun. 1989. Porto Alegre, 2020.

EPE. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**. Ano III. n. 30, Rio de Janeiro, 2010.

EPE. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Ano VII, n. 78, Rio de Janeiro, 2014a.

- EPE. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Ano VII, n. 86. Rio de Janeiro, 2014b.
- EPE. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Ano IX, n. 97. Rio de Janeiro, 2015a.
- EPE. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Ano IX, n. 98. Rio de Janeiro, 2015b.
- EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Ministério de Minas e Energia. MME/EPE. Brasília. 2017.
- EPE. **Mudanças Climáticas e Desdobramentos sobre os Estudos de Planejamento Energético**: considerações iniciais. 2018.
- EPE. **Brazilian Energy Balance**. 2019. Year, 2018 p. 303, 2019.
- EPE. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Ano XII, n. 137. Rio de Janeiro, 2019b.
- EPE. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Ano XII, n. 145. Rio de Janeiro, 2019c.
- EPE. **Solar Fotovoltaica Flutuante**. 2020.
- FARFAN, J.; BREYER, C. Combining floating solar photovoltaic power plants and hydropower reservoirs: a virtual battery of great global potential. **Energy Procedia**, v. 155, p. 403-411, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.038>>. Acesso em: 15 dez. 2020.
- FORRESTER, S. **Residential Cooling Load Impacts on Brazil's Electricity Demand**. 2019. Tese (Doutorado), p. 33, 2019.
- GEIRINHAS, J. L. et al. Characterizing the atmospheric conditions during the 2010 heatwave in Rio de Janeiro marked by excessive mortality rates. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 796-808, Rio de Janeiro, 2019.
- GLEICK, P. H. **Impacts of California's Ongoing Drought**: hydroelectricity generation. Pacific Institute, n. February, p. 1-14, 2016.
- GOMES, J. **Tempo seco e lavoura envelhecida reduzem safra de cana 18/19 no centro-sul, diz FCStone**. Reuters/Portal Terra. 2018. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/economia/tempo-seco-e-lavoura-envelhecida-reduzem-safra-de-cana-1819-no-centro-sul-diz-fcstone,daaddbe27b3601e3c21dcb1ebc6e94dap09xce9y.html>>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- HIRAKURI, M. Impactos econômicos de estresses na produção de soja da safra 2015/16. **Circular Técnica**, 125. Londrina, PR: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p. 8. 2016.
- INMET. **Boletim Agroclimatológico mensal**, v. 44, n. 01, 2010. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO\\_MENSAL\\_201002.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201002.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- INMET. **Boletim Agroclimatológico Mensal**, v. 48, n. 02, 2014a. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO\\_MENSAL\\_201402.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201402.pdf)> Acesso em: 20 jul. 2020.
- INMET. **Boletim Agroclimatológico Mensal**, v. 48, n. 10, 2014b. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO\\_MENSAL\\_201410.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201410.pdf)> Acesso em: 20 jul. 2020.
- INMET. **Boletim agroclimatológico mensal**, v. 49, n.09, 2015. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO\\_MENSAL\\_201509.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201509.pdf)> Acesso em: 20 jul. 2020.
- INMET. **Boletim Agroclimatológico Decendial**. 2019a. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO\\_DECENDIAL\\_201901.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_DECENDIAL_201901.pdf)>. Acesso em: 23 jul. 2020.
- INMET. **Boletim Agroclimatológico Mensal**, v. 54, n. 03, 2019b. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO\\_MENSAL\\_201910.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201910.pdf)>. Acesso em: 23 jul. 2020.
- INMET. **Alert-AS – Centro Virtual para Avisos de Eventos Meteorológicos Severos**. 2019c. Disponível em: <[http://alert-as.inmet.gov.br/cv/emergencia/cap/10598?fbclid=IwAR0MsQMIBb-8\\_it670SwhkEZMd5hFzJyVUv5NBOeVEblmvkJI4nU\\_q4wikl](http://alert-as.inmet.gov.br/cv/emergencia/cap/10598?fbclid=IwAR0MsQMIBb-8_it670SwhkEZMd5hFzJyVUv5NBOeVEblmvkJI4nU_q4wikl)> Acesso em: 23 jul. 2020.

INVIDIATA, A.; GHISI, E. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 130, p. 20-32, 2016.

IPCC. Wind Energy. In: **IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change**. IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, 2011.

IPCC. **Climate Change 2014**: synthesis report, contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 1, n. October, p. 1-169, 2014b. 2014.

IRENA. **Off-grid renewable energy solutions to expand electricity access**: an opportunity not to be missed. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, p. 144, 2019.

JEREZ, S. The impact of climate change on photovoltaic power generation in Europe. **Nature Communications**, v. 6, 2015.

JONG, P. et al. Estimating the impact of climate change on wind and solar energy in Brazil using a South American regional climate model. **Renewable Energy**, v. 141, p. 390-401, 2019.

LELIS, T. A. et al. Impactos causados pelas mudanças climáticas nos processos erosivos de uma bacia hidrográfica: simulação de cenários. Impacts of climate change on erosion of a watershed: simulation of scenarios. **Revista Ambiente & Água**, v. 6, n. 2, p. 282, 2011.

LUCENA, A. et al. Interactions between climate change mitigation and adaptation: the case of hydropower in Brazil. **Energy**, 164, p.1161-1177, 2018.

LUCENA, A. et al. The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil, **Energy Policy**, v. 37, n. 3, p. 879-889, 2009.

MARENGO, J. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil**. Cachoeira Paulista v. CPTEC/Inpe, p. 16. 2004.

MARENGO, J. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, v. 106, n. 31, 2015.

MARENGO, J. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1973-1985, 2018.

MARTINS, E.; FRANCISCO JÚNIOR. O clima da Região Nordeste entre 2009 e 2017: monitoramento e previsão. **Parc. Estrat.**, v. 22, n. 44, p. 63-80, 2017.

\_\_\_\_\_. A seca de 2012-2015 no Nordeste e seus impactos. **Parcerias Estratégicas**, 107-128, 2015.

NOBRE, C. et al. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 08, n. 02, p. 252-262, 2016.

ONG, P. et al. Hydroelectric production from Brazil's São Francisco River could cease due to climate change and inter-annual variability. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 1540-1553, 2018.

ONS. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 22 ago. 2020.

PEREIRA, E. B. et al. The impacts of global climate changes on the wind power density in Brazil. **Renewable energy**, v. 49, p. 107-110, 2013.

PEZZA, A. B.; SIMMONDS, I.; FILHO, A. J. P. Climate perspective on the large-scale circulation associated with the transition of the first South Atlantic hurricane. 2008. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 8, mar. 2018. p. 2011-2029.

PIRES, G. et al. Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: implications for land use in Northern Brazil. **Agricultural and forest meteorology**, v. 228, p. 286-298, 2016.

PORTAL AGRONOTÍCIAS. **Seca atual é comparada com a que provocou quebra na safra de 2012**. Notícias/Clima e Temperatura. 2020. Disponível em: <<http://www.portalagronoticias.com.br/noticia/7836/rs-seca-atual-e-comparada-com-a-que-provocou-quebra-na-safra-de-2012>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

PORTUGAL-PEREIRA et al. Interactions between global climate change strategies and local air pollution: lessons learnt from the expansion of the power sector in Brazil. 2018. **Climatic Change**. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2193-3>.

SAILOR, D. J.; SMITH, M.; HART, M. Climate change implications for wind power resources in the Northwest United States. **Renewable Energy**, v. 33, n. 11, p. 2393-2406, 2008.

SAMORA, R. **Moagem de cana do centro-sul cai abaixo de previsão**: Unica cita perdas por geadas. Economia/Notícias/Reuters/UOL. 2019. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/reuters/2019/07/24/moagem-de-cana-do-centro-sul-recua-95-na-1-quinzena-unica-cita-perdas-por-geadas.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

SANTOS, A. **Impacto de Mudanças Climáticas no Potencial de Energia Solar Fotovoltaica no Setor Residencial Brasileiro**. 426f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2020.

SCHAEFFER, R. et al. **Adaptação às mudanças climáticas no Brasil**: cenários e alternativas, p. 1-56, 2015.

SCHAEFFER, R. et al. **Energy sector vulnerability to climate change**: a review, *energy*, v. 38, n. 1, p. 1-12, 2012.

SIMIONI, T.; SCHAEFFER, R. Georeferenced operating-efficiency solar potential maps with local weather conditions – An application to Brazil. **Solar Energy**, v. 184, n. October 2018, p. 345-355, 2019.

SINGH, P.; RAVINDRA, N. M. **Temperature dependence of solar cell performance**: an analysis, *solar energy materials and solar cells*, v. 101, p. 36-45, 2012.

SIVAK, M. Potential energy demand for cooling in the 50 largest metropolitan areas of the world: implications for developing countries. **Energy Policy**, v. 37, n. 4, p. 1382-1384, 2009.

SKOPLAKI, E.; BOUDOUVIS, A. G.; PALLYVOS, J. A. A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 92, n. 11, p. 1393-1402, 2008.

TEIXEIRA, M. et al. Assaí: an energy view on an Amazon residue. **Biomass and Bioenergy**, 58, p. 76-86, 2013.

TOBIN, I. et al. Assessing climate change impacts on European wind energy from Ensembles high-resolution climate projections. **Climatic Change**, v. 128, n. 1-2, p. 99-112, 2015.

ÚNICA. **Relatório final da safra 2014/2015**: região centro-sul. São Paulo: União da Indústria de Cana-de-Açúcar, 2015.

ÚNICA. **Relatório final da safra 2019/2020**. 2020. Disponível em: <<http://unicadata.com.br/listagem.php?idMn=118>>. Acesso em: 22 ago. 2020.

VELLOSO, M. F. **Possibilidade de geração híbrida hidrossolar na bacia do São Francisco, 145f**. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

WANDERLEY, L. DE A. et al. As chuvas na cidade do Recife: uma climatologia de extremos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 149-164, 2018.

WORLD BANK. **Avaliação de Perdas e Danos**: inundações bruscas em Santa Catarina em novembro de 2008. 2012a. Disponível em: <<http://documents1.worldbank.org/curated/en/250881468232500513/pdf/NonAsciiFileName0.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

WORLD BANK. **Avaliação de Perdas e Danos**: inundações bruscas em Pernambuco em junho de 2010. 2012b. Disponível em: <<http://documents1.worldbank.org/curated/pt/495391468013874079/pdf/NonAsciiFileName0.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

WORLD BANK. **Avaliação de Perdas e Danos**: inundações e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro em janeiro de 2011. 2012c. Disponível em: <<http://documents1.worldbank.org/curated/en/260891468222895493/pdf/NonAsciiFileName0.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

ZULLO, J.; PEREIRA, V.; KOGA-VICENTE, A. Sugar-energy sector vulnerability under CMIP5 projections in the Brazilian central-southern macro-region. **Climatic Change**, v. 149, n. 3-4, p. 489-502, 2018.



# Impacts of extreme climate events on Brazilian agricultural production

*Impactos da ocorrência de eventos climáticos extremos na produção agrícola brasileira*

André Luiz de Carvalho<sup>a</sup>

Diogo Victor Santos<sup>b</sup>

José Antônio Marengo<sup>c</sup>

Sonia Maria Viggiani Coutinho<sup>d</sup>

Stoécio Malta Ferreira Maia<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Doctor in Energy and Nuclear Technologies, Federal University of Alagoas, UFAL, Maceió, AL, Brazil  
E-mail: del.andre2@hotmail.com

<sup>b</sup> Ministry of Science, Technology and Innovation (MCTI),  
Brasília, DF, Brazil  
E-mail: diogo.santos@mctic.gov.br

<sup>c</sup> National Center for Monitoring and Early Warnings of Natural Disasters, Cemaden  
São José dos Campos, SP, Brazil  
E-mail: jose.marengo@cemaden.gov.br

<sup>d</sup> Doctor in Sciences, University of São Paulo, USP, São Paulo, SP, Brazil  
E-mail: scoutinho@usp.br

<sup>e</sup> Doctor in Soil and Plant Nutrition, Federal Institute of Alagoas, IFAL,  
Maceió, AL, Brazil  
E-mail: stoecio.maia@ifal.edu.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33814

Received: 30/08/2020  
Accepted: 18/11/2020

ARTICLE – DOSSIER

*Data and results presented in this article were developed under the project of the “Fourth National Communication and Biennial Update Reports of Brazil to the Climate Convention”, coordinated by the Ministry of Science, Technology and Innovations, with the support of the United Nations Development Programme and resources of the Global Environment Facility, to which we offer our thanks.*

## ABSTRACT

Brazilian agricultural production stands out in world food security, accounting for a large part of the food produced worldwide. However, occurrence of extreme climate events is a challenge for the sector across the country. Thus, this study aims to assess extreme climate events impacts on Brazilian

agricultural production. The loss index was calculated using crop data made available by the IBGE from 2005 to 2017, while data on the occurrence of extreme climate events (2002-2017) was obtained from literature. Data related to PROAGRO (2010-2018) and the Crop Assurance Program (2002-2016) were obtained from reports made available by the relevant agencies. Results showed high drought-induced production losses, mainly maize and beans produced in the Caatinga biome, and soybean and wheat in the Southeastern and Southern regions of the country. Hail and frost events also caused reductions in soybean and rice production in the Southeastern and Southern regions. Those impacts on the Brazilian agricultural production, in different regions, might have serious consequences on the availability and access of food to the population in the country.

**Keywords:** Food security. Climate extremes. Biomes. Crops.

## RESUMO

*A produção agrícola brasileira se destaca na segurança alimentar mundial, sendo responsável por grande parte dos alimentos produzidos. Porém, a ocorrência de eventos climáticos extremos torna-se um desafio para o setor em todo o País. Assim, o estudo tem o objetivo de analisar os impactos da ocorrência de eventos climáticos extremos na produção agrícola brasileira. O índice de perdas foi calculado com dados das culturas de 2005 a 2017 disponibilizados pelo IBGE, enquanto a ocorrência de eventos climáticos extremos (2002-2017) foi obtida em publicações de literatura. Dados referentes ao Proagro (2010-2018) e Garantia-Safra (2002-2016) foram obtidos em relatórios disponibilizados pelos órgãos responsáveis. Os resultados mostraram elevadas perdas de produção devido à seca, principalmente milho e feijão produzidos no bioma Caatinga, e soja e trigo nas regiões Sudeste e Sul do País. Eventos de granizo e geada também provocaram reduções na produção de soja e arroz nas regiões Sudeste e Sul. Esses impactos sobre a produção agrícola brasileira, nas diferentes regiões, poderão trazer sérias consequências em relação à disponibilização e ao acesso dos alimentos à população no País.*

*Palavras-chave:* Segurança Alimentar. Extremos climáticos. Biomas. Culturas agrícolas.

## 1 INTRODUCTION

Brazil's food production is based mainly on agriculture and livestock, particularly grain production (maize, soybeans, beans, etc.) and meat (beef, pork and chicken) (CASTRO, 2016; FERREIRA and VIEIRA FILHO, 2019). Between the 2010/2011 and 2017/2018 crops year grain production grew by 40%, going from 163 million tons to 228.3 million tons, with emphasis on soybean (CONAB, 2019). Meat production grew by 27.7% between 2009 and 2017, going from 19.5 million tons to 24.9 million tons (FERREIRA and VIEIRA FILHO, 2019). In addition to the growing domestic demand for food, the growth of the external commodities market made Brazil the world's 3<sup>rd</sup> largest exporter of agricultural products, responsible for 5.7% of the global market in 2016 (FAO, 2018).

The evolution of Brazilian agricultural production in recent decades has been benefited by favorable climate conditions, by the large extension of its territory, and mainly by the increase in productivity, due to technological and management advances (MATOS and PESSÔA, 2012). However, the country's agricultural production has been facing constant losses due to the occurrence of increasingly frequent and intense extreme climate events (excessive rainfalls, drought, dry spell, frost and hail), which strongly affect farmers and the local economy (EMBRAPA, 2008; CEPED UFSC, 2013). Those events represent extremes of climate variability.

Some regions are more vulnerable to the impacts of extreme climate events, such as, the Brazilian semi-arid region, which has been suffering from prolonged droughts and major reductions in its agricultural production in recent years (ASSAD et al., 2013; ARAUJO et al., 2014; ALVES, 2016; MARENGO et al., 2017; MARENGO et al., 2020;). Losses caused by the effects of drought on agricultural production in the Northeastern region of Brazil amounted to US\$ 6 billion between 2010 and 2015 (MARENGO et al., 2016).

In 2015-2016, the total of affected areas used for agricultural activities in the semiarid region, taking into account only the municipalities where the Office for the Development of the Northeast (SUDENE, for its acronym in Portuguese) operates, was 53 million hectares (ALVALÁ et al., 2017). Dry spells also strongly affect agricultural production in several regions of Brazil, mainly grain production in the Center-West region. According to the Brazilian Atlas of Natural Disasters, droughts and dry spells are the disasters that affect the Brazilian population the most (mostly the population in the Northeastern region of the country) for being more recurrent (CEPED UFSC, 2013).

On the other hand, excessive rainfalls have become heavier and more frequent, causing surface water floods, floods and flash floods throughout the country (PBMC, 2016). Lastly, hail and frost events also represent significant damage to agricultural production, occurring more frequently in the country's Southeastern and Southern regions (BERGAMASCHI e MATZENAUER, 2014; BRAZ, 2015). In addition, hail and frost events cause deaths and population displacements (CEPED UFSC, 2013).

Projected aggravation of extreme climate events and climate change impacts may represent real challenges to food production in the country, due to the increase in temperature and changes in the rainfall regime that could cause significant losses in grain crops and alter the geography of Brazilian production (EMBRAPA, 2008; CUNHA et al., 2013). The occurrence of extreme events will become more frequent and intense with climate change, causing major reductions in crop production and changing both food production and consumption patterns in the country (EMBRAPA, 2008; CGEE, 2019; MARENGO et al., 2020).

Extreme climate events may also impact on other factors related to the country's food production. Production costs are increased in an attempt to compensate for losses caused by the impacts, and food prices go up because of their lower availability to the population, becoming a worrying factor for the country's needy families. Thus, the intensification of agricultural losses caused by climate change may further increase food costs and prices.

An analysis of the main factors that relate Brazilian agricultural production to the occurrence of extreme climate events is essential for the development of measures to minimize crop losses and, consequently, impacts on the availability and access to food by the population. Thus, this study aims to assess the main extreme climate events impacts on Brazilian agricultural production between 2002 and 2018.

## 2 MATERIAL AND METHODS

This study is composed of an analysis of extreme climate events impacts on agricultural production, and the losses index and agricultural credit, covering the period from 2002 to 2018, in the Amazon, Caatinga, Cerrado, Atlantic Forest, Pampa and Pantanal biomes, and also the Coastal Zone (Figure 1). The Coastal Zone represents the coastline (from the Northern to the Southern regions), which is 8.5 thousand km long, and also includes the maritime strip formed by territorial sea, with a width of 12 nautical miles from the coastline (MMA, 2020).

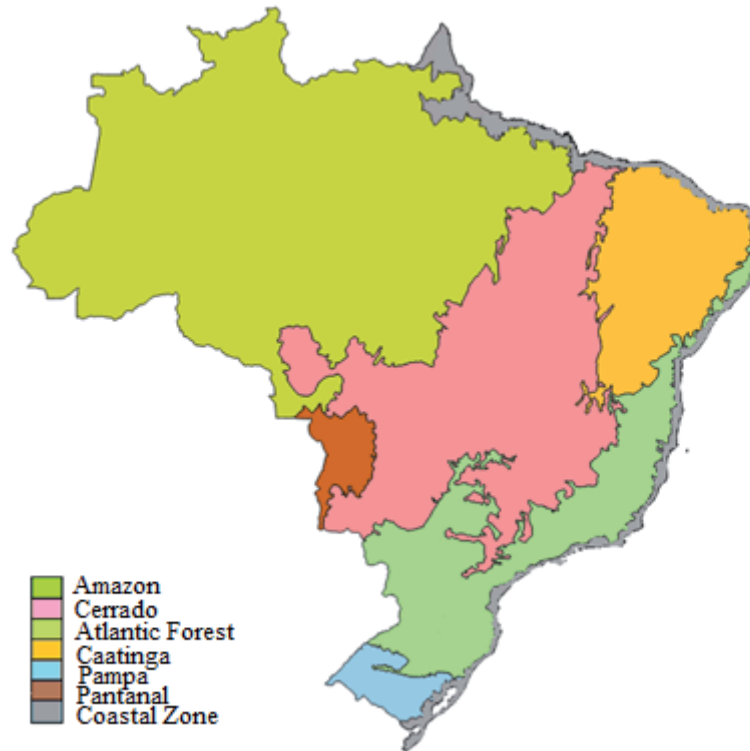




Figure 1 | Brazilian biomes and Coastal zone.




Source: IBGE (modified by the authors).

## 2.1 EXTREME CLIMATE EVENTS

The occurrence of extreme climate events (drought, excessive rainfall, dry spells, frost and hail), between 2002 and 2017, was collected based on information provided by the Federal Government’s National Plan of Disaster Risk Management and Response of and by the National Center for Monitoring and Early Warnings of Natural Disasters (CEMADEN, for its acronym in Portuguese), which encompasses the monitoring of 958 Brazilian municipalities (MIKOSZ, 2017; CEMADEN, 2020) and records obtained in the Brazilian Atlas of Natural Disasters (CEPED UFSC, 2013). Information about occurrence of extreme events may be seen in Box 1. This information was analyzed together with agricultural production in several municipalities, in order to obtain those events impacts on local production.

Box 1 | Occurrence of extreme climate events in Brazil

Events	Definitions	Occurrences*
<p><b>Excessive Rainfall</b></p> 	<p>Continuous and frequent rainfall with large volume of precipitated water (Monteiro, 2009).</p>	<p>Excessive rainfalls have occurred mainly in the Northern and Southern regions, particularly 2012-2013 and 2015. In those years, an increase in annual rainfall was observed, which varied from 28.6 to 66.7% in the Northern Region, and 40.0 to 53.0% in the South.</p>
<p><b>Drought</b></p> 	<p>Low rainfall in a certain region, for a prolonged time, causing a sustained reduction in water reserves (Grigoletto et al., 2016).</p>	<p>Droughts have occurred in all regions of the country in recent years, particularly in 2010 to 2014 and 2017. In those years, a decrease in annual rainfall was observed, which varied from 42.9 to 66.7% in the North, 25.0 to 33.0% in the South, 15.0 to 70.0% in the Northeast, 15.0 to 20,0% in the Southeast, and 30.0 to 60.0% in the Center-West region**.</p>

<i>Events</i>	<i>Definitions</i>	<i>Occurrences*</i>
<p><b>Dry Spell</b></p> 	<p>Period of low (or absence of) rainfall, when the loss of soil moisture is greater than its replacement (Grigoletto et al., 2016).</p>	<p>Dry spells have occurred in all regions of the country in recent years, mainly in the Northeastern and Center-West regions, particularly in 2010 and 2013. In those years, a decrease in annual rainfall was observed, which varied from 25.0 a 50.0% in the Center-West region and 15.0 to 60% in the Northeastern region.</p>
<p><b>Frost</b></p> 	<p>It occurs when temperature reaches 0°C on exposed surfaces, transforming the water vapor directly to the solid state after the dew freezes and the temperature continues to fall (EMBRAPA, 2020a).</p>	<p>Frost has occurred mainly in the Southeastern and Southern regions, particularly in 2014 and 2016. In those years, a decrease in average temperature was observed, which varied from 6.0 to 7.5% in the Southeastern region, and 4.8 to 5.9% in the Southern region.</p>
<p><b>Hail</b></p> 	<p>Rain in the form of ice crystals, which may be round or irregular, but with more than 5 mm in diameter (UFES, 2020).</p>	<p>Hail has occurred mainly in the Southeastern and Southern regions, particularly in 2011 and 2014. In those years, an increase in annual rainfall was observed, which varied from 25.0 to 50.0% in the Southeastern region, and 30.0 to 60.0% in the Southern region.</p>

*Source: based on MIKOSZ (2017); XAVIER et al. (2016) and CEPED UFSC, 2013; \*\*INMET (2018).*

## 2.2 AGRICULTURAL PRODUCTION

Rice, coffee, beans, cassava, maize, wheat and soybeans production data per municipality were obtained from the database of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE, for its acronym in Portuguese), available in the IBGE Automatic Recovery System (SIDRA, for its acronym in Portuguese), for the 2002-2017 period. Production was calculated for the biomes and the Coastal Zone, by selecting the municipalities in each of these territorial sections, according to the information obtained in the most current Brazilian municipalities *shapefile*, which is available by the IBGE.

## 2.3 LOSSES IN AGRICULTURAL PRODUCTION

Production losses (from planting to pre-harvest) were calculated using the loss index, according to the methodology applied by the IBGE (IBGE, 2004). Production, planted area, harvested area and average crop yield data between 2010 and 2017 (provided by the IBGE Automatic Recovery System - SIDRA) were used to calculate the index of agricultural losses by biome. According to the IBGE (2004), the sum of actual production (Pr) plus harvest losses (Pn) represents an approximation of production potential up to pre-harvest ( $PR = Pr + Pn$ ), in a baseline year, with the quotient of the division of Pn by PR represented by the loss index, of each crop ( $Pe = (Pn / PR) * 100$ ). Harvest loss is the difference between the planted are and the area actually harvested for a given crop, and corresponds to the area lost. The difference between the area planted and actual harvested area was used in the calculation of harvest loss due to loss of area.

## 2.4 FARM SUBSIDIES AND CREDIT PROGRAMS

Data related to farm subsidies and credit programs, such as the Agricultural Activity Guarantee Program (PROAGRO, for its acronym in Portuguese) and the Crop Assurance Program in the period 2002-2018 were obtained through published reports and historical records of the relevant public agencies. For PROAGRO, variables such as deferred coverage and amounts paid for the period 2010-2018 were used (CENTRAL BANK OF BRAZIL, 2019). Data referring to the Crop Assurance Program consisted of the variable adhesions and payments made during the period 2002-2016 (MDA, 2019).



### 3 RESULTS AND DISCUSSION

Agricultural losses proved to be quite variable among the biomes and over the years (Table 1). Among the crops analyzed, beans and maize showed higher loss rates, especially in regions that were more vulnerable to extreme climate events, such as the semiarid region. The maximum values of the agricultural loss index taking into consideration the major producing regions were: beans (62.4%), wheat (60.9%), maize (46.6%), soybeans (38.1%), cassava (34.3%), coffee (17.2%) and rice (10.1%).

The Caatinga showed the highest values in the loss index upon analyzing the specific results for the biomes. The high losses that occasionally occur for crops in this biome may be explained by the drought that has hit the region in recent years. The length and intensity of the drought, which has been occurring since 2012, has affected the semiarid region of the Northeast's economy in several municipalities, creating problems in urban and rural areas (MARENGO et al., 2017; MARENGO et al., 2020). Production losses caused by drought events were observed with greater intensity in 2012 and 2016, mainly for bean crops with a production drop by 62.4% and 48.2%, maize by 46.6% and 42.3%, and cassava by 34.3% and 15.6%, respectively.

In the Cerrado biome, agricultural losses were also significant, despite the lower values when compared to the Caatinga biome. Crops such as wheat, rice and maize were the most affected by dry spells events, with losses by 18.5% (2013), 10.1% (2016) and 8.7% (2016), respectively. It is worth mentioning that production of these crops in the Cerrado biome is high and losses of this magnitude may represent significant impacts for farmers and consumers. In the Federal District and surrounding areas, some 70% of drought events start in the middle of the rainy season, and are responsible for the fall in agricultural production (CUNHA et al., 2018). According to these authors, the occurrence of drought has been recurrent in the region of the Federal District in recent decades and future climate projections indicate rainfall reductions all year-round, which may further affect agricultural production.

In other biomes, the occurrence of drought and dry spells also caused a fall in agricultural production, with losses of soybeans (18.6%) in the Atlantic Forest in 2012; wheat (60.9%) and coffee (16.7%) in the Coastal Zone, in 2015 and 2016, respectively.

In the Southern region, the Pampa biome also showed declines in the harvests of several crops, with production losses for the soybean crop (38.1%) caused by frost/hail in 2012; wheat (28.2%) caused by drought/dry spells, in 2015; and rice (7.0%) caused by excessive rainfall/hail, in 2016.

**Table 1** - Agricultural loss index (%) of crops (from planting to pre-harvest) in Brazilian biomes and Coastal Zone and extreme climate events.

<i>Crops</i>	<i>Biomes</i>	<i>Loss index (%)</i>	<i>Year</i>	<i>Associated extreme events</i>
Rice	Cerrado	10.1	2016	Dry spell
	Pampa	7.0		Excessive rainfall/Hail
Coffee	Caatinga	17.2	2012	Drought
	Coastal zone	16.7	2016	Dry spell
Beans	Caatinga	62.4	2012	Drought
		48.2	2016	
Cassava	Pantanal	23.5	2012	Dry spell
	Caatinga	34.3	2012	Drought
		15.6	2016	
	Pantanal	12.4	2012	Dry spell

<i>Crops</i>	<i>Biomes</i>	<i>Loss index (%)</i>	<i>Year</i>	<i>Associated extreme events</i>
Maize	Caatinga	46.6	2012	Drought
		42.3	2016	
	Cerrado	8.7	2016	Dry spell
Soybeans	Atlantic Forest	18.6	2012	Dry spell/Drought
	Pampa	38.1	2012	Frost/Hail
	Coastal zone	16.2	2016	Dry spell
Wheat	Cerrado	18.5	2013	Dry spell
	Pampa	28.2	2015	Dry spell/Drought
	Coastal zone	60.9	2015	Dry spell/Drought

*Source: based on IBGE, 2004; MIKOSZ (2017).*

Climate-related impacts represent a major role of extreme climate variability events on food production, which may already be observed, and are of concern, since they have affected agricultural production, with consequences in supply, costs and prices, and thus, making the challenge of promoting food security in the country even more difficult. Food security is referred to herein as the “availability at all times of adequate world food supplies of basic foodstuffs to sustain a steady expansion of food consumption and to offset fluctuations in production and prices” (Universal Declaration on Eradication of Hunger and Malnutrition, 1975).

A more specific analysis of extreme events allowed for the identification, for example, that drought led to large reductions in national agricultural production, especially in more vulnerable biomes such as the Caatinga. Bean production in Araripina, in the Pernambuco countryside, dropped by 99.4% in 2012 compared to the average of the past ten years (Figure 2).

That year, the average annual rainfall in Araripina was 400 mm, some 43% less than the climatological average rainfall in the region (CLIMATE-DATA.ORG, 2020). That same year, drought was responsible for the 41.3% decline in soybean production in the municipality of Tupanciretã, in the state of Rio Grande do Sul. Impacts of the occurrence of drought were also responsible for the decline in temporary crops production in the state of Rio Grande do Norte between 2012 and 2016: oilseeds (91% to 100%), fiber (52% to 87%) and vegetables (77% to 86%) (SOUZA and AQUINO, 2018).

According to Souza and Aquino (2018), grains were most affected by the drought in the state of Rio Grande do Norte, with losses by 72.6% to 92.9% between 2012 and 2016. The authors also show that the most affected crops were maize and beans, with percentage decrease varying between 72.5% to 94.8% and 70.1% to 94.7% between 2012 and 2016, respectively. According to Alvalá et al. (2017) and CONAB (2017), grain production in the Northeastern region fell by 40%, and sugarcane production fell by 19%, between 2014/2015 and 2015/2016 crop years.

Dry spells have also been affecting the agricultural production in several regions of Brazil. In 2012, the state of Rio Grande do Sul suffered an intense drought, which affected local agriculture, reducing wheat production by 38.8% in the municipality of Ibirubá (MIKOSZ, 2017; IBGE, 2019c). According to Silva (2013), the 2011-2012 crop year had below-average rainfall in Ibirubá/RS, with a 46.4% decrease. In 2019, the dry spell caused a decline in the production of crops such as rice (683.8 thousand tons), maize (30.5 thousand tons) and soybeans (1.04 million tons), generating a loss of some 2 billion reais (RURAL CANAL, 2020). Dry spells also caused a 49.1% decline in cassava production in the municipality of Oriximiná, in the state of Pará. In the state of Paraná, soybean production, for example, fell by 30% in the 2018/2019 crop year due to dry spell, ceasing to produce some 6 million tons (COOPADAP SEMENTES, 2020; EMBRAPA 2020b).

However, in some cases extreme climate events might benefit the country's agricultural production. Excessive rainfall events accounted for the 32.0% increase in coffee production in the municipality of Barra do Choça/BA in 2014 and 13.4% in wheat production in Tibagi/PR in 2013 (Figure 2). In the municipality of Barra do Choça/BA, for example, total accumulated rainfall was 65.5% higher than the climatological average in 2013-2014. However, the occurrence of excessive rainfalls may also cause serious damage to agricultural production. In the state of Rio Grande do Sul, floods affected rice, maize and soybeans production, with losses amounting to 1.75 million tons in 2019 (CANAL RURAL, 2020).

Impacts on food production due to frost and hail events were also observed, occurring more frequently in Southeastern and Southern Brazil (Figure 2). The occurrence of frosts, for example, has fallen in the Southeastern region in recent years (SAPUCCI et al., 2018), but more intense events may cause significant damage to agricultural production (CEPED UFSC, 2013). In 2009, cold waves dropped the temperature below 5°C and caused frost events in several cities in the State of São Paulo (CAFEICULTURA, 2019), for example, in the municipality of Cândido, where the average annual temperature was 23,6°C, thus decreasing maize production by 57.9%. Another example occurred in Nova Alvorada do Sul/MS, where rice production dropped by 72.6% with the occurrence of frosts. In the state of Rio Grande do Sul, the occurrence of a hail event in 2005 caused losses in local agricultural production, decreasing soybean production by 88.1% in the municipality of Crissiumal/RS (MIKOSZ, 2017; IBGE, 2019c). In 2014, the occurrence of hail caused a 73.7% drop in wheat production in Lages/SC.

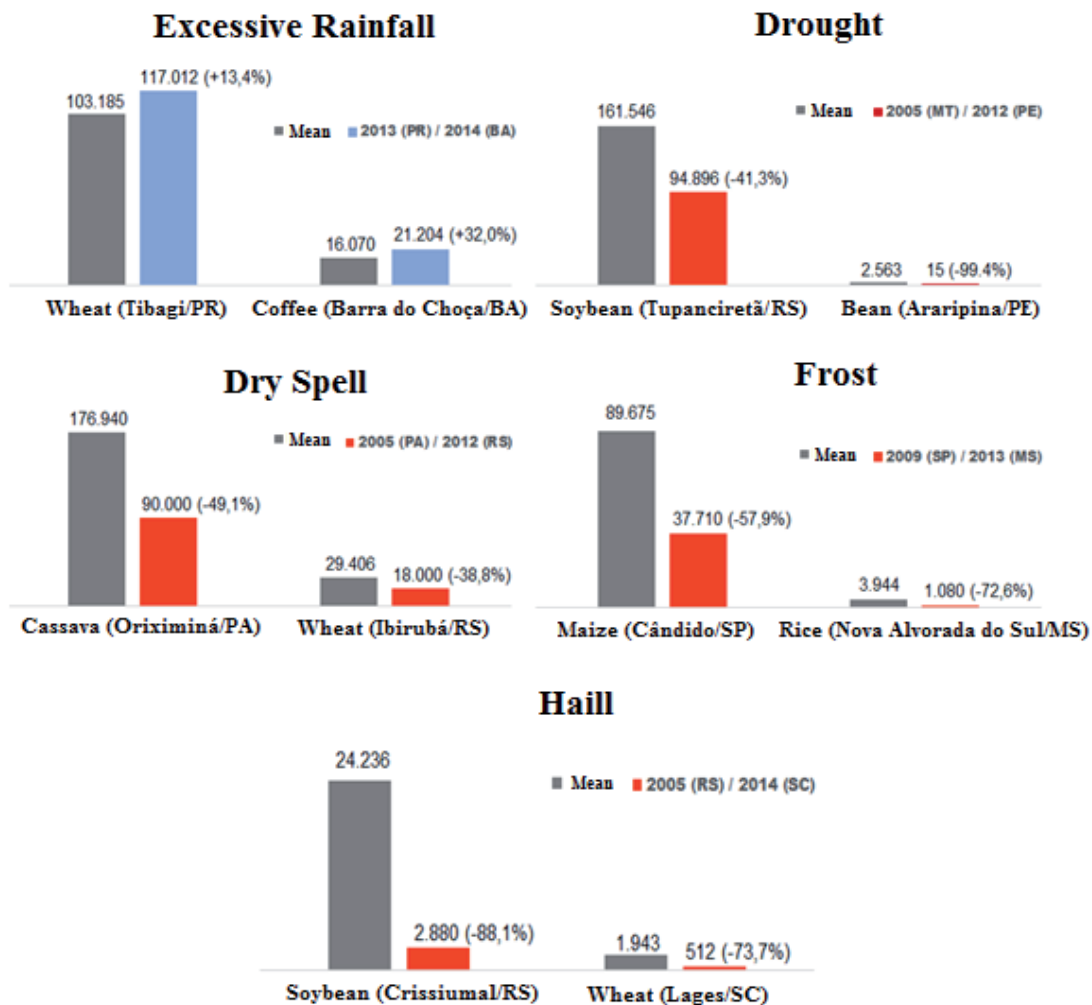


Figure 2 | Occurrence of extreme climate events and agricultural production (average of the past 10 years) in millions of tons in different Brazilian municipalities.

Source: IBGE (Automatic Recovery System/SIDRA, for its acronym in Portuguese); MIKOSZ (2017).

Agricultural losses during the production process in the field have become more frequent and intense, causing immense damage to farmers, despite the fact that food production in the country has shown robust expansion in recent decades (SAATH and FACHINELLO, 2018). Those impacts affect small farmers (who are more vulnerable and who actually end up producing for the local market) and the production of commodities for the foreign market alike. As mentioned above, the occurrence of extreme climate events strongly affects the country's agricultural production, leading to large volumes of production losses and, consequently, impacts on the country's economy (ALVALÁ et al., 2017). Therefore, the occurrence of extreme climate events may also be assessed through their effects on farm subsidies and credit programs, such as PROAGRO and the Crop Assurance Program, which had their actions intensified in the years when extreme climate events occurred.

Table 2 presents data communicating deferred crop losses (quantity and value) per extreme event in relation to PROAGRO (Agricultural Activity Guarantee Program) between 2010 and 2018. Results show that in the years where extreme events were more intense, there was a substantial increase in the amounts paid or the number of beneficiaries. The 2011-2012 crop year, for example, presented the largest number of losses with 110 thousand insurances, which corresponded to 989.45 million reais invested.

Out of this total, 86.3% were drought events, which occurred mainly in the Northeastern and Southern regions, and accounted for 78.8% of the total amount paid (CENTRAL BANK OF BRAZIL, 2019). In the same period, 10,353 frost events were deferred, representing 147.55 million reais paid (14.9% of the total amount paid), and it was also the crop year with the highest number of hail events in the country (3,383), representing approximately 47 million reais (4.8% of the amount paid).

Excessive rainfall events also had a significant share in the communication of losses. In the 2013-2014 crop year, some 30 thousand insurances were deferred for excessive rainfall, and a total of 590 million reais were paid, which represented 67.1% of the total amount paid by PROAGRO in the period. The 2014-2015 crop year had the highest number of frost events, which represented 48.4% of the total amount paid by PROAGRO in the period (338 million reais), with 15 thousand cases deferred. The 2014-2015 crop year was marked by frost events in the Southeastern and Southern regions, with approximately 15 thousand cases, representing a total of 338.8 million reais (48.4% of the total paid).

**Table 2 |** Deferred insurances\* (quantity and value) per extreme event referring to the Agricultural Activity Guarantee Program (PROAGRO), period 2010-2018.

		<i>Excessive Rainfall</i>	<i>Drought</i>	<i>Frost</i>	<i>Hail</i>	<i>Total</i>
2010-2011	Deferred	2,331	4,883	9,779	1,427	18,420
	Amount (BRL)**	24,000	39,315	162,697	12,741	238,753
	Average (BRL)***	10,296.0	8,051.4	16,637.4	8,928.5	12,961.6
2011-2012	Deferred	1,332	95,012	10,353	3,383	110,080
	Amount (BRL)**	14,597	780,008	147,545	47,296	989,446
	Average (BRL)***	10,958.7	8,209.6	14,251.4	13,980.5	8,988.4
2012-2013	Deferred	4,335	10,794	10,345	1,963	27,437
	Amount (BRL)**	77,810	116,802	229,563	29,799	453,974
	Average (BRL)***	17,949.3	10,821.0	22,190.7	15,180.3	16,546.1

		<i>Excessive Rainfall</i>	<i>Drought</i>	<i>Frost</i>	<i>Hail</i>	<i>Total</i>
2013-2014	Deferred	30,529	18,572	1,254	1,667	52,022
	Amount (BRL)**	590,384	233,593	24,966	30,435	879,378
	Average (BRL)***	19,338.5	12,577.7	19,909.1	18,257.3	16,904.0
2014-2015	Deferred	10,229	7,447	15,078	2,324	35,078
	Amount (BRL)**	192,588	119,314	338,816	49,445	700,163
	Average (BRL)***	18,827.6	16,021.8	22,470.9	21,275.8	19,960.2
2015-2016	Deferred	6,857	10,819	6,676	2,195	26,547
	Amount (BRL)**	172,357	297,656	200,347	47,124	717,484
	Average (BRL)***	25,135.9	27,512.3	30,010.0	21,468.8	27,026.9
2016-2017	Deferred	14,817	11,904	2,734	1,285	30,740
	Amount (BRL)**	334,007	292,380	72,634	33,379	732,400
	Average (BRL)***	22,542.1	24,561.5	26,566.9	25,975.9	23,825.6
2017-2018	Deferred	1,058	4,794	237	484	6,573
	Amount (BRL)**	26,370	101,926	10,921	12,155	151,372
	Average (BRL)***	24,924.4	21,261.2	46,080.2	25,113.6	23,029.4

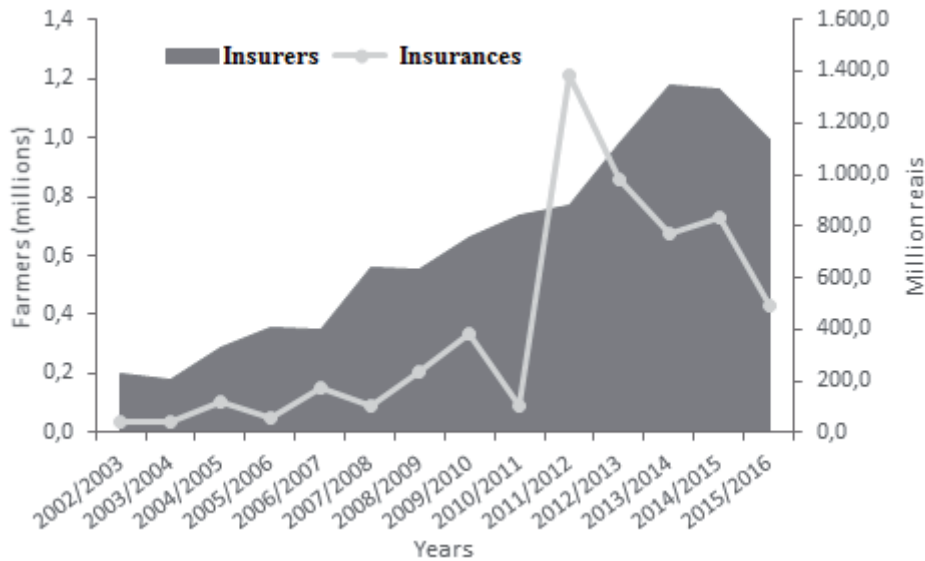
\* Values referring to Proagro Plus and Traditional Proagro; \*\*Million reais; \*\*\*Reais per insurance.

Source: CENTRAL BANK OF BRAZIL, 2019.

The impacts of extreme events on Brazilian agricultural production can also be seen when information from the Crop Assurance Program (Figure 3) is assessed, whose actions portray the effects of systematic crop loss due to the occurrence of extreme climate events for family farmers who live in the country's semiarid region. It is observed that the number of insurers increased significantly, from 200 thousand farmers in 2002 to around 1.2 million farmers in 2014. Therefore, the financial resources applied by this program also increased, according to the intensity of the extreme events upon the production and volume of losses presented.

In the 2011-2012 crop year, there was an increase in the number of payments due to droughts in the period, amounting to 769 thousand insurances, which corresponded to 1.4 billion reais (Figure 3). The 2014-2015 crop year again showed an increase in insurances paid, due to the continuity of drought in the region, amounting to a total of 829.4 thousand reais. In the 2015-2016 crop year, the Crop Assurance Program provided assistance to approximately 700 thousand farmers in 1,220 municipalities struck by drought (SAF/MDA 2017), with 12 thousand people affected in the region where SUDENE operates, with expenses of approximately 600 million reais (ALVALÁ et al., 2017). During this period, the annual accumulated rainfall in the semiarid region correspondent to a situation of severe drought presented figures lower than 600 mm (ALVALÁ et al., 2017).





**Figure 3 |** Annual total of (a) new insurers and payments made by the Crop Assurance Program in the period from 2002 to 2016.

Source: <http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-garantia/sobre-o-programa>. Accessed: December 2016.

These results show that the impacts of climate phenomena cause serious damage to the country's agricultural production and, consequently, affect those who directly and indirectly depend on this sector, such as farmers and the population. Other factors, such as production cost and food prices (MARENGO et al., 2020), are also affected by the occurrence of extreme climate events, in addition to the influence of economic indicators, such as inflation.

## 4 CONCLUSION

The results showed that the Brazilian agricultural production suffers major losses due to the occurrence of extreme climate events, with the Caatinga being the biome that presents the highest rates of loss. The drought that has hit the semiarid region in recent years was responsible for the decrease in several crops, mainly maize, beans and cassava. In general, droughts and dry spells events affect agricultural production in all regions of the country. Frost and hail events occurred mostly in the country's Southeastern and Southern regions, affecting the production of crops such as rice, soybeans and wheat. The exception was excessive rainfalls, which were responsible for the increase in coffee production in Bahia in 2014 and wheat in Paraná in 2013.

As a consequence, especially of the drought/dry spell events, there was a substantial increase in the actions carried out by the PROAGRO and Crop Assurance programs, mainly in Brazil's semiarid region. It will necessarily imply an increase in public spending on financing and agricultural insurance.

Given the current climate change scenarios, the trend is for an increase in the frequency and intensity of extreme climate events in all regions of the country. Therefore, further impacts on agriculture may be expected (production, productivity and agricultural credits), with adverse effects on food security.

It is worth noting that such impacts will affect both large and small farmers, thus generating imbalances in the production and export of commodities (soybean, coffee, orange, beef, etc.), as well as in the production and/or prices of the Brazilian staples food basket, which are mostly produced by small farmers. In other words, given the magnitude of the Brazilian agricultural sector, climate change may affect regional food security, at the national level, and even at the global level. Therefore, it is necessary

to adopt sustainable management practices and environmental policies aimed to mitigate and adapt to climate change, but which seek to contemplate the entire production chain, especially small farmers.

## REFERENCES

- ALVALÁ, R. C. S. et al. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, p. 1-15, 2017.
- ALVES, K. M. A. S. **Variabilidade pluvial no semiárido brasileiro: impactos e vulnerabilidades na paisagem da bacia hidrográfica do Rio Moxotó**. 2016. 164 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.
- ARAÚJO, P. H. C. et al. Uma análise do impacto das mudanças climáticas na produtividade agrícola da Região Nordeste do Brasil. **Revista Economia**, v. 45, n. 3, p. 46-57, 2014.
- ASSAD, E. et al. **Impactos das Mudanças Climáticas na Produção Agrícola Brasileira**. LCSAR – The World Bank, 2013.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Programa de Garantia da Atividade Agropecuária Proagro**. Relatório Circunstanciado Proagro (1999-2010; 2004-2011; 2004-2012; 2011-2014; 2012-2015; 2013-2016; 2014-2017; 2015-2018). Available in: <<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/creditorural>>. Accessed on: March 2019.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS – Ascar, 2014. v. 1, 84p.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Garantia-Safra**. Available in: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-garantia/sobre-o-programa>>. Accessed on: March 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Zona Costeira e Marinha**. Available in: <<https://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zona-costeira-e-marinha.html>>. Accessed on: August 2020.
- BRAZ, D. F. **Impacto de eventos severos na agricultura do Rio Grande do Sul**. 2015. 95 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.
- CANAL RURAL. **RS: prejuízo de produtores afetados por enchentes supera R\$ 2 bilhões**. Available in: <<https://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/rs-prejuizo-produtores-enchentes-supera-2-bilhoes/>>. Accessed on: July 2020.
- CASTRO, C. N. Pesquisa agropecuária pública brasileira: histórico e perspectivas. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental (IPEA)**, v. 16, p. 30-40, 2016.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Decodificação das notas técnicas sobre “Alimento e aquecimento global”**. Relatório técnico. Projeto: Apoio à Plataforma de Comunicação Agricultura e Alimento. Brasília, DF, 2017. Available in: <[https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/2679\\_Decodifica%C3%A7%C3%A3o+das+notas+t%C3%A9cnicas+sobre++Alimento+e+aquecimento+global\\_.pdf/67a011c9-97fc-43ce-996b-162054ff13f0?version=1.0](https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/2679_Decodifica%C3%A7%C3%A3o+das+notas+t%C3%A9cnicas+sobre++Alimento+e+aquecimento+global_.pdf/67a011c9-97fc-43ce-996b-162054ff13f0?version=1.0)>. Accessed on: April 2019.
- CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. **Municípios monitorados**. Available in: <<http://www.cemaden.gov.br/municipios-monitorados/>>. Accessed on: August. 2020.
- CEPED UFSC. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012: volume Brasil**. [Internet]. 2. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 104 p. 2013. Available in: <<https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>>. Accessed on: January 2019.
- CLIMATE-DATA.ORG. **Dados climáticos para cidades mundiais**. Available in: <<https://pt.climate-data.org/>>. Accessed on: August 2020.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra brasileira de grãos**. Available in: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>>. Accessed on: April 2019.

- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Levantamento de Safras**. 2017. Available in: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Accessed on: March 2017.
- COOPADAP SEMENTE. **Impactos da estiagem na produção da soja**. Available in: <<https://coopadapementes.com.br/site/impactos-da-estiagem-na-producao-da-soja/>>. Accessed on: July 2020.
- CUNHA, A. P. M. A. et al. As Secas entre 1963 e 2017 no Distrito Federal, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências** (UFRJ. Impresso), v. 41, p. 487, 2018.
- CUNHA, D. A. et al. Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos. **Revista de Economia e Sociologia Rural** (Impresso), v. 51, p. 369-386, 2013.
- EMBRAPA. **Métodos de proteção contra geadas em cafezais em formação**. Publicação técnica. Available in: <[http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes\\_tecnicas/protgeada.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/protgeada.pdf)>. Accessed on: August. 2020a.
- EMBRAPA. **Soja em números (safra 2018/19)**. Embrapa Soja. Available in: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Accessed on: July 2020b.
- EMBRAPA. Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil. **Resumo Executivo**, Embrapa e Unicamp, 84p., 2008.
- FERREIRA, M. D. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Inserção no Mercado Internacional e a Produção de Carnes no Brasil**. Texto para Discussão (IPEA), v. 2479, p. 1-43, 2019.
- FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Tendências no setor agropecuário**. Available in: <<http://www.fao.org/docrep/012/a1260p/a1260p02.pdf>>. Accessed on: November 2018.
- GRIGOLETTO, J. C. et al. Gestão das ações do setor de saúde em situações de seca e estiagem. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, p. 709-718, 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - Sidra**. Available in: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>>. Accessed on: January 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Índices Agropecuários: 1996-2003. **Estudos e Pesquisas: informação econômica**, v. 3, 2004.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Available in: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Accessed on: May 2018.
- IPCC. **Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team. PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (Ed.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp., 2014.
- MARENGO, J. A. et al. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4°C. **Natural Hazards**, v. 102, p. 1-26, 2020.
- MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, p. 1-13, 2017.
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brasil – past, presente and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 20, p. 1-12, 2016.
- MATOS, P. F.; PESSÔA, V. L. S. A modernização da agricultura no Brasil e os novos usos do território. **Geo UERJ** (Cessou em 2004. Cont. ISSN 1981-9021 Geo UERJ (2007)), v. 01, p. 290-322, 2012.
- MIKOSZ, L. **Sendai framework indicators for disaster risk reduction in Brazil: initial conditions, feasibility analysis, and understanding the risks**. Dissertação (Mestrado). Water-related Disaster Management Course. National Graduate Institute for Policy Studies (GRIPS), Tokyo, Japan, 2017.
- MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. v. 01. 530 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **Declaração Universal sobre Erradicação da Fome e má Nutrição**. Organização Mundial de Saúde – OMS. Report of the world food Conference, 5-16 nov. 1974, Roma, 1975.

PBMC. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas. **Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. [MARENGO, J. A.; SCARANO, F. R. (Ed.)]. PBMC, Coppe – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184p. 2016.

REVISTA CAFEICULTURA. **Próxima madrugada será ainda mais fria em São Paulo**. Available in: <<https://revistacafeicultura.com.br/?mat=22179>>. Accessed on: August 2019.

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de economia e sociologia rural**, v. 56, p. 195-212, 2018.

SAF/MDA. 2017. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário. Available in: <<http://www.mda.gov.br>>. Accessed on: March 2017.

SAPUCCI, C. R. et al. Condições meteorológicas associadas à ocorrência de geadas na Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 153-167, 2018.

SILVA, R. R. **Relação entre precipitação pluviométrica e produtividade da cultura de soja no município de Ibirubá-RS**. 2013. 95 f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SOUZA, E. M.; AQUINO, J. R. A grande seca e seus efeitos na produção agropecuária do Rio Grande do Norte (2012-2016). **Revista GeoNordeste**, São Cristóvão, Ano XXIX, n. 2, p. 174-195, Jul./Dez. 2018. ISSN: 2318-2695.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. **Capítulo 4 – Precipitação atmosférica**. Available in: <<http://www.mundogeomatica.com.br/CL/ApostilaTeoricaCL/Capitulo4-PrecipitacaoAtmosferica.pdf>>. Accessed: August 2020.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W. **Conjunto de dados de variáveis meteorológicas diárias no Brasil (1980-2013)**. CLIMA Policy Brief #2, Centro Clima/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 4p., 2016.

# Impactos da ocorrência de eventos climáticos extremos na produção agrícola brasileira

## *Impacts of extreme climate events on Brazilian agricultural production*

André Luiz de Carvalho<sup>a</sup>

Diogo Victor Santos<sup>b</sup>

José Antônio Marengo<sup>c</sup>

Sonia Maria Viggiani Coutinho<sup>d</sup>

Stoécio Malta Ferreira Maia<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Alagoas, UFAL, Maceió, AL, Brasil  
End. Eletrônico: del.andre2@hotmail.com

<sup>b</sup> Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, MCTI, Brasília, DF, Brasil  
End. Eletrônico: diogo.santos@mctic.gov.br

<sup>c</sup> Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, Cemaden, São José dos Campos, SP, Brasil  
End. Eletrônico: jose.marengo@cemaden.gov.br

<sup>d</sup> Doutorado em Ciências, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, SP, Brasil  
End. Eletrônico: scoutinho@usp.br

<sup>e</sup> Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, Instituto Federal de Alagoas, IFAL, Maceió, AL, Brasil  
End. Eletrônico: stoecio.maia@ifal.edu.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33814

Received: 30/08/2020  
Accepted: 18/11/2020

ARTICLE – DOSSIER

---

*Os dados e os resultados apresentados nesta publicação foram desenvolvidos no âmbito do projeto “Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, por meio dos recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente, aos quais oferecemos nossos agradecimentos.*



## RESUMO

A produção agrícola brasileira se destaca na segurança alimentar mundial, sendo responsável por grande parte dos alimentos produzidos. Porém, a ocorrência de eventos climáticos extremos torna-se um desafio para o setor em todo o País. Assim, o estudo tem o objetivo de analisar os impactos da ocorrência de eventos climáticos extremos na produção agrícola brasileira. O índice de perdas foi calculado com dados das culturas de 2005 a 2017 disponibilizados pelo IBGE, enquanto a ocorrência de eventos climáticos extremos (2002-2017) foi obtida em publicações de literatura. Dados referentes ao Proagro (2010-2018) e Garantia-Safra (2002-2016) foram obtidos em relatórios disponibilizados pelos órgãos responsáveis. Os resultados mostraram elevadas perdas de produção devido à seca, principalmente milho e feijão produzidos no bioma Caatinga, e soja e trigo nas regiões Sudeste e Sul do País. Eventos de granizo e geada também provocaram reduções na produção de soja e arroz nas regiões Sudeste e Sul. Esses impactos sobre a produção agrícola brasileira, nas diferentes regiões, poderão trazer sérias consequências em relação à disponibilização e ao acesso dos alimentos à população no País.

**Palavras-chave:** Segurança Alimentar. Extremos climáticos. Biomas. Culturas agrícolas.

## ABSTRACT

*Brazilian agricultural production stands out in world food security, accounting for a large part of the food produced worldwide. However, occurrence of extreme climate events is a challenge for the sector across the country. Thus, this study aims to assess extreme climate events impacts on Brazilian agricultural production. The loss index was calculated using crop data made available by the IBGE from 2005 to 2017, while data on the occurrence of extreme climate events (2002-2017) was obtained from literature. Data related to PROAGRO (2010-2018) and the Crop Assurance Program (2002-2016) were obtained from reports made available by the relevant agencies. Results showed high drought-induced production losses, mainly maize and beans produced in the Caatinga biome, and soybean and wheat in the Southeastern and Southern regions of the country. Hail and frost events also caused reductions in soybean and rice production in the Southeastern and Southern regions. Those impacts on the Brazilian agricultural production, in different regions, might have serious consequences on the availability and access of food to the population in the country.*

**Keywords:** Food Security. Climate extremes. Biomes. Crops.

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos no Brasil baseia-se, principalmente, na produção agropecuária, com destaque para a produção de grãos (milho, soja, feijão, etc.) e carnes (bovina, suína e frango) (CASTRO, 2016; FERREIRA; VIEIRA FILHO, 2019). A produção de grãos, por exemplo, entre as safras 2010/2011 e 2017/2018 aumentou 40%, saindo de 163 milhões de toneladas para 228,3 milhões de toneladas, com destaque para a cultura da soja (CONAB, 2019). Já a produção de carnes aumentou 27,7%, entre 2009 e 2017, saindo de 19,5 milhões de toneladas para 24,9 milhões de toneladas (FERREIRA; VIEIRA FILHO, 2019). Além da crescente demanda interna por alimentos, o crescimento do mercado externo de *commodities* tornou o Brasil o 3º maior exportador de produtos agrícolas do mundo, sendo responsável por 5,7% do mercado global no ano de 2016 (FAO, 2018).

A evolução da produção agropecuária brasileira nas últimas décadas foi favorecida pelas condições climáticas favoráveis, pela grande extensão de seu território, e principalmente pelo aumento da produtividade, devido aos avanços tecnológicos e de manejo (MATOS; PESSÔA, 2012). Porém, a produção agrícola no País vem sofrendo constantes perdas pela ocorrência de eventos extremos climáticos (chuvas excessivas, seca, estiagem, geada e granizo) cada vez mais frequentes e intensos, afetando fortemente os produtores e a economia local (EMBRAPA, 2008; CEPED UFSC, 2013). Esses eventos representam extremos da variabilidade climática.

Algumas regiões são mais vulneráveis aos impactos de eventos climáticos extremos, como, por exemplo, o semiárido brasileiro que vem sofrendo com secas prolongadas e grandes reduções na sua produção agropecuária nos últimos anos (ASSAD et al., 2013; ARAÚJO et al., 2014; ALVES, 2016; MARENGO et al., 2017; MARENGO et al., 2020). As perdas causadas pelos efeitos da seca sobre a produção agrícola na região Nordeste do Brasil foram de US\$ 6 bilhões entre 2010 e 2015 (MARENGO et al., 2016).

Em 2015-2016, o total de áreas afetadas usadas para atividades agropecuárias no semiárido, considerando apenas os municípios de atuação da Sudene, foi de 53 milhões de hectares (ALVALÁ et al., 2017). A estiagem também afeta fortemente a produção agrícola em diversas regiões do Brasil, principalmente a produção de grãos na Região Centro-Oeste. De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, a seca e a estiagem são os desastres que mais afetam a população brasileira, por ser mais recorrente, principalmente a que vive na Região Nordeste do País (CEPED UFSC, 2013).

Por outro lado, chuvas excessivas vêm ocorrendo cada vez mais intensas e frequentes, provocando alagamentos, enchentes e enxurradas por todo o País (PBMC, 2016). Por fim, eventos de geada e granizo também representam sérios danos à produção agrícola, ocorrendo em maior frequência nas regiões Sudeste e Sul do País (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014; BRAZ, 2015). Além disso, eventos de geada e granizo causam mortes e desalojamento à população (CEPED UFSC, 2013).

A projeção de agravamento desses impactos relacionados aos eventos climáticos extremos e às mudanças do clima pode representar desafios reais à produção de alimentos no País devido ao aumento da temperatura e mudanças no regime de chuvas, que poderão provocar perdas significativas nas safras de grãos e alterar a geografia da produção brasileira (EMBRAPA, 2008; CUNHA et al., 2013). Com as mudanças do clima, as ocorrências de eventos extremos se tornarão mais frequentes e intensas, proporcionando maiores reduções na produção das culturas e modificando tanto o padrão de produção como o de consumo de alimentos no País (EMBRAPA, 2008; CGEE, 2019; MARENGO et al., 2020).

Eventos climáticos extremos podem afetar também outros fatores relacionados à produção de alimentos no País. Aumento nos custos de produção são voltados a compensar as perdas devido a esses impactos, assim como o aumento no preço dos alimentos ocorre em decorrência da sua menor disponibilidade para a população, tornando-se fator preocupante para as famílias carentes do País. Assim, a intensificação de perdas agrícolas ocasionada pelas mudanças do clima poderá aumentar ainda mais os custos e preços dos alimentos.

A análise dos principais fatores que relacionam a produção agropecuária brasileira com as ocorrências de eventos climáticos extremos é fundamental para que se desenvolvam medidas para minimização das perdas de safras e, conseqüentemente, dos impactos na disponibilização e acesso aos alimentos pela população. Assim, este estudo teve como objetivo analisar os impactos da ocorrência dos principais eventos climáticos extremos ocorridos entre 2002 e 2018 na produção agrícola brasileira.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo é composto pela análise dos impactos dos eventos climáticos extremos sobre a produção agrícola e índice de perdas e crédito agrícolas, contemplando o período de 2002 a 2018, nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal, mais a Zona Costeira (Figura 1). A Zona Costeira representa a faixa litorânea (desde a Região Norte ao Sul do País) com 8,5 mil km de extensão e, inclui, ainda, a faixa marítima formada por mar territorial, com largura de 12 milhas náuticas a partir da linha da costa (MMA, 2020).

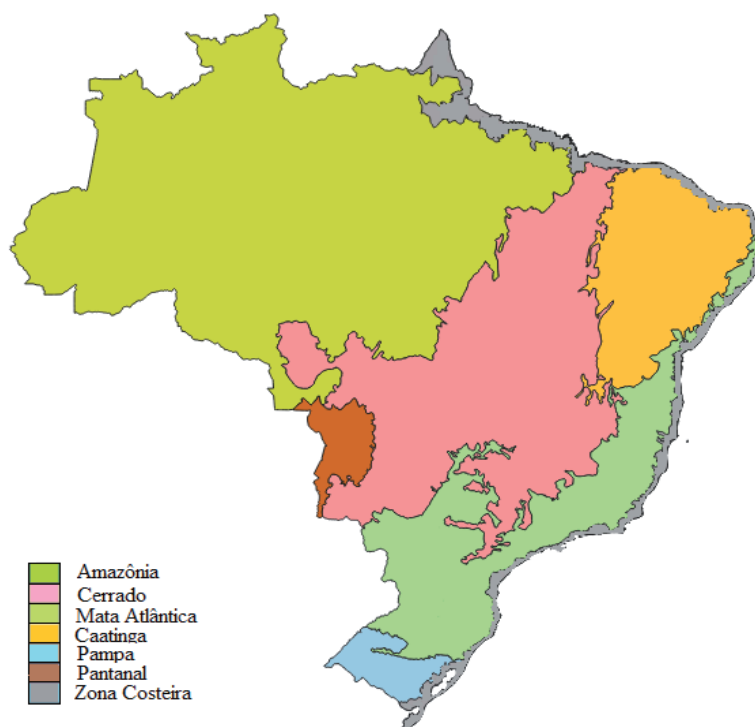



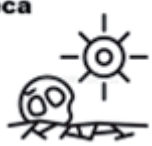
Figura 1 | Biomas brasileiros e Zona Costeira.




Fonte: IBGE (modificado pelo Autor).

## 2.1 EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

A ocorrência de eventos climáticos extremos (seca, chuva excessiva, estiagem, geada e granizo), entre 2002 e 2017, foi obtida com base nas informações fornecidas pelo Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres do governo federal e pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), que abrange o monitoramento de 958 municípios brasileiros (MIKOSZ, 2017; CEMADEN, 2020), e por meio de registros obtidos no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED UFSC, 2013). Informações a respeito das ocorrências dos eventos extremos podem ser vistas no Quadro 1. Essas informações foram analisadas em conjunto com a produção agrícola de diversos municípios, a fim de se obter o impacto desses eventos sobre a produção local.

Quadro 1 | Ocorrência de eventos extremos climáticos no Brasil.

Eventos	Definições	Ocorrências*
<b>Chuva excessiva</b> 	Precipitações contínuas e frequentes com grande volume de água precipitada (MONTEIRO, 2009).	Chuvas excessivas têm ocorrido principalmente nas regiões Norte e Sul, com destaque para os anos 2012-2013 e 2015. Nesses anos, observou-se o aumento na precipitação anual que variou de 28,6% a 66,7% na Região Norte e 40,0% a 53,0% no Sul.
<b>Seca</b> 	Insuficiência de precipitação em uma determinada região e por um período prolongado, provocando redução sustentada nas reservas hídricas (GRIGOLETTO et al., 2016).	A seca tem ocorrido em todas as regiões do País nos últimos anos, com destaque para os anos de 2010 a 2014 e 2017. Nesses anos, observou-se a redução na precipitação anual que variou de 42,9% a 66,7% no Norte, 25,0% a 33,0% no Sul, 15,0% a 70,0% no Nordeste, 15,0% a 20,0% no Sudeste e 30,0% a 60,0% no Centro-Oeste**.

<i>Eventos</i>	<i>Definições</i>	<i>Ocorrências*</i>
<b>Estiagem</b> 	Período de baixa ocorrência de chuvas (ou sua ausência), em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição (GRIGOLETTO et al., 2016).	A estiagem tem ocorrido em todas as regiões do País nos últimos anos, principalmente nas regiões Nordeste e Centro-Oeste, com destaque para os anos de 2010 e 2013. Nesses anos, observou-se a redução na precipitação anual que variou de 25,0% a 50,0% no Centro-Oeste e 15,0% a 60% no Nordeste.
<b>Geada</b> 	Ocorre quando a temperatura atinge 0°C sobre superfícies expostas, transformando o vapor de água diretamente para o estado sólido após o congelamento do orvalho e a contínua redução da temperatura (EMBRAPA, 2020a).	A geada tem ocorrido principalmente nas regiões Sudeste e Sul, com destaque para os anos de 2014 e 2016. Nesses anos, observou-se a redução na temperatura média que variou de 6,0% a 7,5% no Sudeste e 4,8% a 5,9% no Sul.
<b>Granizo</b> 	Precipitação sob a forma de pedras de gelo, podendo ser de forma arredondada ou irregular, porém, com diâmetro superior a 5 mm (UFES, 2020).	O granizo tem ocorrido principalmente nas regiões Sudeste e Sul, com destaque para os anos de 2011 e 2014. Nesses anos, observou-se o aumento na precipitação anual que variou de 25,0% a 50,0% no Sudeste e 30,0% a 60,0% no Sul.

Fonte: Com base em MIKOSZ (2017); XAVIER et al. (2016) e CEPED UFSC, 2013; \*\*INMET (2018).

## 2.2 PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Os dados de produção de arroz, café, feijão, mandioca, milho, trigo e soja por município foram obtidos no banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), disponível no sistema IBGE de Recuperação Automática (Sidra), para o período 2002-2017. A produção foi calculada para os biomas e para a Zona Costeira, selecionando-se os municípios pertencentes a cada um desses recortes territoriais, de acordo com as informações obtidas no *shapefile* mais atual dos municípios brasileiros, disponibilizado pelo IBGE.

## 2.3 PERDAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA

As perdas de produção (do plantio até a pré-colheita) foram calculadas por meio do índice de perdas, conforme metodologia aplicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004). No cálculo do índice de perdas agrícolas por bioma foram utilizados dados de produção, área plantada, área colhida e rendimento médio das culturas entre os anos de 2010 e 2017, disponibilizados no Sistema IBGE de Recuperação Automática (Sidra). De acordo com o IBGE (2004), a soma da produção realizada (Pr) com a produção não realizada (Pn) representa uma aproximação do potencial de produção até a pré-colheita ( $PR = Pr + Pn$ ), em um ano de referência, sendo o quociente da divisão de Pn por PR representado pelo índice de perdas, de cada cultura ( $Pe = (Pn / PR) * 100$ ). A produção não realizada é a diferença entre a área plantada e a área efetivamente colhida de uma determinada cultura, e corresponde à área perdida. Essa diferença entre a área plantada e a área colhida foi utilizada no cálculo da produção não realizada por perda de área.

## 2.4 PROGRAMAS DE FINANCIAMENTO E CRÉDITOS AGRÍCOLAS

Dados referentes aos Programas de financiamento e créditos agrícolas, como o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro) e o Garantia-Safra, no período 2002-2018, foram obtidos por meio de relatórios publicados e registros históricos de órgãos públicos responsáveis. Para o Proagro, foram utilizadas as variáveis coberturas deferidas e valores pagos para o período 2010-2018 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2019). Já os dados referentes ao Programa Garantia-Safra consistiram nas variáveis adesões e pagamentos realizados para o período 2002-2016 (MDA, 2019).

### 3 RESULTADO E DISCUSSÃO

As perdas agrícolas mostraram-se bastante variáveis entre os biomas e ao longo dos anos (Tabela 1). Entre as culturas analisadas, o feijão e o milho apresentaram maiores índices de perdas, principalmente em regiões mais vulneráveis à ocorrência de eventos climáticos extremos, como no semiárido. Os valores máximos do índice de perdas agrícolas considerando as regiões de maior produção foram: feijão (62,4%), trigo (60,9%), milho (46,6%), soja (38,1%), mandioca (34,3%), café (17,2%) e arroz (10,1%).

Ao analisar os resultados específicos para os biomas, constatou-se que a Caatinga apresentou os maiores valores do índice de perdas. As elevadas perdas que ocasionalmente ocorrem para as culturas agrícolas nesse bioma podem ser explicadas devido à seca que atingiu a região nos últimos anos. A extensão e a intensidade da seca, que ocorre desde 2012, afetaram a economia da região semiárida do Nordeste em diversos municípios, gerando problemas nas áreas urbanas e rurais (MARENGO et al., 2017; MARENGO et al., 2020). Perdas na produção ocasionadas por eventos de seca foram observadas com maior intensidade nos anos de 2012 e 2016, principalmente para as culturas do feijão com redução na produção em 62,4% e 48,2%, o milho com 46,6% e 42,3%, e a mandioca com 34,3% e 15,6%, respectivamente.

No Cerrado, as perdas agrícolas também foram consideráveis, apesar dos menores valores em comparação com o bioma Caatinga. Culturas como trigo, arroz e milho foram as mais afetadas pela ocorrência de eventos de estiagem, apresentando perdas de 18,5% (2013), 10,1% (2016) e 8,7% (2016), respectivamente. Vale destacar que a produção dessas culturas no Cerrado é elevada e perdas dessa magnitude podem representar impactos significativos para os produtores e consumidores. No Distrito Federal e entorno, cerca de 70% dos casos de seca têm início em plena estação chuvosa, sendo responsável pela quebra da produção agrícola (CUNHA et al., 2018). Ainda segundo esses autores, a ocorrência de seca vem sendo recorrente na região do Distrito Federal nas últimas décadas e as projeções futuras de clima indicam reduções na precipitação em todas as estações do ano, podendo afetar ainda mais a produção agrícola.

Nos outros biomas, a ocorrência de eventos de seca e estiagem também provocou reduções na produção agrícola, com perdas de soja (18,6%) na Mata Atlântica, em 2012; de trigo (60,9%) e café (16,7%) na Zona Costeira, em 2015 e 2016, respectivamente.

Na Região Sul, o Pampa também apresentou quebras nas safras de diversas culturas, com perdas de produção para a cultura da soja (38,1%) por geada/granizo, em 2012; trigo (28,2%) por estiagem/seca, em 2015; e arroz (7,0%) por (chuva excessiva/granizo), em 2016.

**Tabela 1 | Índice de perdas agrícolas (%) das culturas (plantio até a pré-colheita) nos biomas brasileiros e Zona Costeira e eventos extremos climáticos.**

<i>Culturas</i>	<i>Biomas</i>	<i>Índice de Perdas (%)</i>	<i>Ano</i>	<i>Eventos extremos associados</i>
Arroz	Cerrado	10,1	2016	Estiagem
	Pampa	7,0		Enchente/Granizo
Café	Caatinga	17,2	2012	Seca
	Zona Costeira	16,7	2016	Estiagem
Feijão	Caatinga	62,4	2012	Seca
		48,2	2016	
	Pantanal	23,5	2012	Estiagem
Mandioca	Caatinga	34,3	2012	Seca
		15,6	2016	
	Pantanal	12,4	2012	Estiagem



<i>Culturas</i>	<i>Biomias</i>	<i>Índice de Perdas (%)</i>	<i>Ano</i>	<i>Eventos extremos associados</i>
Milho	Caatinga	46,6	2012	Seca
		42,3	2016	
	Cerrado	8,7	2016	Estiagem
Soja	Mata Atlântica	18,6	2012	Estiagem/Seca
	Pampa	38,1	2012	Geadas/Granizo
	Zona Costeira	16,2	2016	Estiagem
Trigo	Cerrado	18,5	2013	Estiagem
	Pampa	28,2	2015	Estiagem/Seca
	Zona Costeira	60,9	2015	Estiagem/Seca

Fonte: *Elaboração própria, com base em IBGE (2004); Mikosz (2017).*

Os impactos relacionados ao clima representam uma maior atuação dos eventos extremos de variabilidade climática na produção de alimentos, que já podem ser observados e preocupam, visto que têm afetado a produção agrícola com consequências na oferta, custos e preços, e, assim, tornando o desafio de promover a segurança alimentar no País ainda mais difícil. Aqui entende-se como segurança alimentar a “disponibilidade, em todos os momentos, de reservas mundiais adequadas de alimentos básicos para sustentar a expansão constante do consumo de alimentos e para compensar as flutuações na produção e nos preços” (Declaração Universal sobre Erradicação da Fome e Má Nutrição, 1975).

Uma análise mais específica dos eventos extremos permitiu identificar, por exemplo, que a seca proporcionou elevadas reduções na produção agrícola nacional, principalmente em biomas mais vulneráveis como a Caatinga. A produção de feijão em Araripina, sertão pernambucano, apresentou uma redução de 99,4% no ano de 2012 em relação à média dos últimos dez anos (Figura 2).

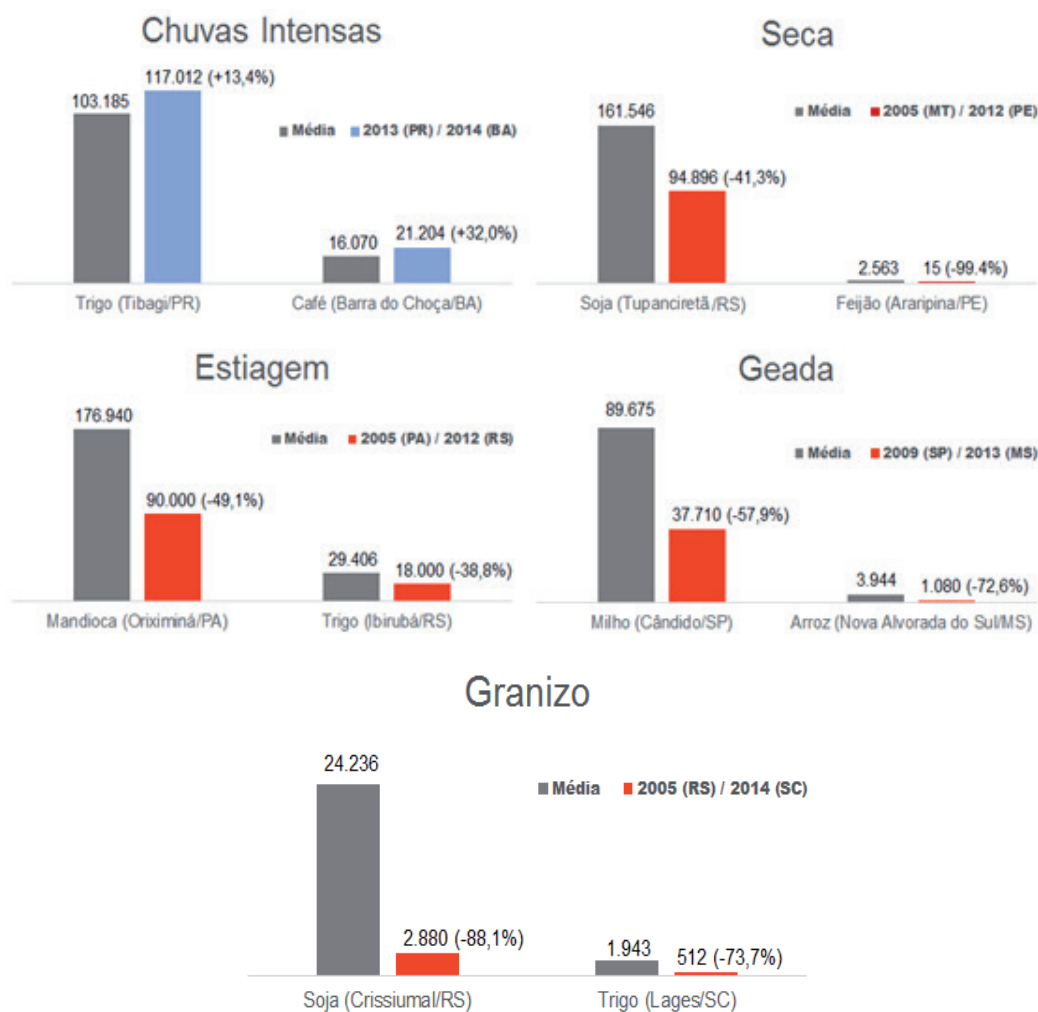
Naquele ano, a precipitação média anual em Araripina foi de 400 mm, cerca de 43% menor que a média climatológica de chuvas na região (CLIMATE-DATA.ORG, 2020). Nesse mesmo ano, a seca também foi responsável pela redução de 41,3% na produção de soja no município de Tupanciretã, no Rio Grande do Sul. Impactos da ocorrência de seca também foram responsáveis pela redução na produção de lavouras temporárias no estado do Rio Grande do Norte entre 2012 e 2016: Oleaginosas (91% a 100%), Fibras (52% a 87%) e Hortaliças (77% a 86%) (SOUZA; AQUINO, 2018).

De acordo com Souza e Aquino (2018), os grãos foram os mais afetados pela seca no Rio Grande do Norte, reduzindo sua produção de 72,6% a 92,9% entre 2012 e 2016. Ainda segundo esses autores, as culturas mais afetadas foram o milho e o feijão, com percentual de redução variando de 72,5% a 94,8% e 70,1% a 94,7% entre os anos de 2012 e 2016, respectivamente. Segundo Alvalá et al. (2017) e Conab (2017), a produção de grãos no Nordeste foi reduzida em cerca de 40%, e a produção de cana-de-açúcar em 19% entre os períodos 2014/2015 e 2015/2016.

A estiagem também vem afetando a produção agrícola em diversas regiões do Brasil. Em 2012, o estado do Rio Grande do Sul sofreu um intenso evento de estiagem, que prejudicou a agricultura local, reduzindo a produção de trigo em 38,8% no município de Ibirubá (MIKOSZ, 2017; IBGE, 2019c). De acordo com Silva (2013), o ano-safra 2011-2012 teve precipitação abaixo da média em Ibirubá/RS, com redução de 46,4%. Em 2019, a estiagem provocou redução na produção de culturas como arroz (683,8 mil toneladas), milho (30,5 mil toneladas) e soja (1,04 milhão de toneladas), gerando um prejuízo na ordem de 2 bilhões de reais (CANAL RURAL, 2020). A estiagem também provocou a redução de 49,1% na produção de mandioca no município de Oriximiná no Pará. No estado do Paraná, a produção de soja, por exemplo, foi reduzida em 30% na safra 2018/2019 devido à ocorrência de estiagem, deixando de produzir cerca de 6 milhões de toneladas (COOPADAP SEMENTES, 2020; EMBRAPA, 2020b).

No entanto, em alguns casos, a ação de eventos climáticos extremos pode beneficiar a produção agrícola no País. Eventos de chuvas excessivas foram responsáveis pelo aumento de 32,0% na produção de café no município de Barra do Choça/BA em 2014 e de 13,4% na produção de trigo em Tibagi/PR em 2013 (Figura 2). No município de Barra do Choça/BA, por exemplo, a precipitação total acumulada foi superior em 65,5%, em relação à média climatológica, nos anos que compreendem a safra 2013-2014. A ocorrência de chuvas excessivas também pode causar sérios danos à produção agrícola. No Rio Grande do Sul, enchentes afetaram os produtores de arroz, milho e soja com perdas de produção de 1,75 milhão de toneladas em 2019 (CANAL RURAL, 2020).

Impactos na produção de alimentos por eventos de geada e granizo também foram observados, ocorrendo em maior frequência nas regiões Sudeste e Sul do País (Figura 2). A ocorrência de geadas, por exemplo, foi reduzida na Região Sudeste nos últimos anos (SAPUCCI et al., 2018), porém, eventos mais intensos podem trazer sérios danos à produção agrícola (CEPED UFSC, 2013). Em 2009, ondas de frio reduziram a temperatura abaixo de 5°C e provocaram eventos de geada em várias cidades do estado de São Paulo (CAFEICULTURA, 2019) como, por exemplo, no município de Cândido, onde a temperatura média anual foi de 23,6°C, reduzindo a produção de milho em 57,9%. Outro exemplo ocorreu em Nova Alvorada do Sul/MS, onde a produção de arroz foi reduzida em 72,6% com a ocorrência de geadas. No Rio Grande do Sul, a ocorrência de um evento de granizo em 2005 foi responsável por prejuízos na produção agrícola local, reduzindo a produção de soja em 88,1% no município de Crissiumal/RS (MIKOSZ, 2017; IBGE, 2019c). Já em 2014, a ocorrência de granizo foi responsável pela redução em 73,7% na produção de trigo em Lages/SC.



**Figura 2 |** Ocorrências de eventos climáticos extremos e a produção agrícola (média dos últimos 10 anos) em milhões de toneladas em diferentes municípios brasileiros.

Fonte: IBGE (Sistema de Recuperação Automática/Sidra); MIKOSZ (2017).

A ocorrência de perdas agrícolas durante o processo de produção no campo vem se tornando mais frequente e intensa, trazendo enormes prejuízos aos produtores. Apesar da produção de alimentos no País ter apresentado forte expansão nas últimas décadas (SAATH; FACHINELLO, 2018), esses impactos afetam tanto os pequenos produtores, que são mais vulneráveis e que de fato acabam produzindo para o mercado local, como as produções de *commodities* para o mercado externo. Como exemplificado acima, a ocorrência de eventos climáticos extremos afeta fortemente a produção agrícola no País, refletindo em grandes volumes de perdas de produção e, conseqüentemente, causando impactos sobre a economia do País (ALVALÁ et al., 2017). Dessa forma, a ocorrência de eventos climáticos extremos também pode ser analisada por meio de seus reflexos em programas de financiamento e crédito agrícolas, como o Proagro e o Garantia-Safra, os quais têm suas ações intensificadas nos anos de ocorrência dos eventos climáticos extremos.

Na Tabela 2, são apresentados os dados de comunicação de perdas agrícolas deferidas (quantidade e valor) por evento extremo referente ao Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro) entre os anos de 2010 e 2018. Os resultados evidenciam que os anos nos quais os eventos extremos foram mais intensos, houve aumento substancial dos valores pagos ou do número de beneficiados. No ano agrícola 2011-2012, por exemplo, houve o maior número de perdas, com 110 mil coberturas, o que correspondeu a 989,45 milhões de reais aplicados.

Desse total, 86,3% foram ocorrências de seca, as quais ocorreram principalmente nas regiões Nordeste e Sul do País, e sendo responsável por 78,8% do valor total pago (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2019). No mesmo período, foram deferidas 10.353 ocorrências de geadas, representando 147,55 milhões de reais pagos (14,9% do valor total pago), e foi também o ano agrícola com maior quantidade de eventos de granizo no País (3.383), representando cerca de 47 milhões de reais (4,8% do valor pago).

Eventos de chuva excessiva também tiveram forte participação na comunicação de perdas. No ano agrícola 2013-2014, ocorreram cerca de 30 mil coberturas deferidas por chuva excessiva, sendo pago um total de 590 milhões de reais, que representa 67,1% de todo o valor pago pelo Proagro nesse período. Já o ano agrícola 2014-2015, foi caracterizado por maior ocorrência de eventos de geada, representando 48,4% de todo o valor pago pelo Proagro nesse período (338 milhões de reais), com 15 mil ocorrências deferidas. O ano agrícola 2014-2015 foi marcado por eventos de geada nas regiões Sudeste e Sul do País, com cerca de 15 mil ocorrências, representando um total de 338,8 milhões de reais (48,4% do total pago).

**Tabela 2 | Coberturas deferidas\* (quantidade e valor) por evento extremo referente ao Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro), período 2010-2018.**

		<i>Chuva Excessiva</i>	<i>Seca</i>	<i>Geada</i>	<i>Granizo</i>	<i>Total</i>
2010-2011	Deferidas	2.331	4.883	9.779	1.427	18.420
	Valor (R\$)**	24.000	39.315	162.697	12.741	238.753
	Média (R\$)***	10.296,0	8.051,4	16.637,4	8.928,5	12.961,6
2011-2012	Deferidas	1.332	95.012	10.353	3.383	110.080
	Valor (R\$)**	14.597	780.008	147.545	47.296	989.446
	Média (R\$)***	10.958,7	8.209,6	14.251,4	13.980,5	8.988,4
2012-2013	Deferidas	4.335	10.794	10.345	1.963	27.437
	Valor (R\$)**	77.810	116.802	229.563	29.799	453.974
	Média (R\$)***	17.949,3	10.821,0	22.190,7	15.180,3	16.546,1

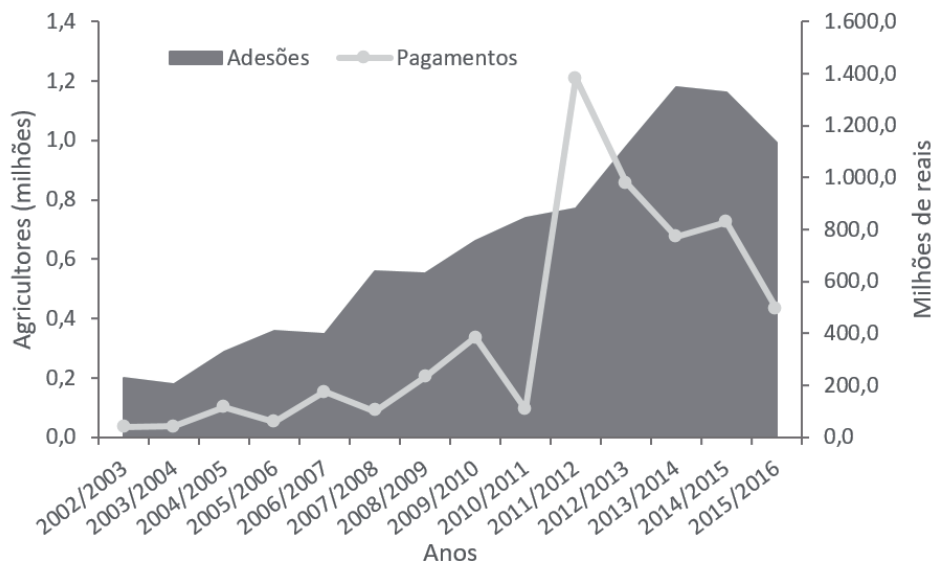
		<i>Chuva Excessiva</i>	<i>Seca</i>	<i>Geada</i>	<i>Granizo</i>	<i>Total</i>
2013-2014	Deferidas	30.529	18.572	1.254	1.667	52.022
	Valor (R\$)**	590.384	233.593	24.966	30.435	879.378
	Média (R\$)***	19.338,5	12.577,7	19.909,1	18.257,3	16.904,0
2014-2015	Deferidas	10.229	7.447	15.078	2.324	35.078
	Valor (R\$)**	192.588	119.314	338.816	49.445	700.163
	Média (R\$)***	18.827,6	16.021,8	22.470,9	21.275,8	19.960,2
2015-2016	Deferidas	6.857	10.819	6.676	2.195	26.547
	Valor (R\$)**	172.357	297.656	200.347	47.124	717.484
	Média (R\$)***	25.135,9	27.512,3	30.010,0	21.468,8	27.026,9
2016-2017	Deferidas	14.817	11.904	2.734	1.285	30.740
	Valor (R\$)**	334.007	292.380	72.634	33.379	732.400
	Média (R\$)***	22.542,1	24.561,5	26.566,9	25.975,9	23.825,6
2017-2018	Deferidas	1.058	4.794	237	484	6.573
	Valor (R\$)**	26.370	101.926	10.921	12.155	151.372
	Média (R\$)***	24.924,4	21.261,2	46.080,2	25.113,6	23.029,4

\*Valores referentes ao Proagro Mais e Proagro Tradicional. \*\*Milhões de Reais. \*\*\*Reais por cobertura.

Fonte: BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2019.

Os impactos da ocorrência de eventos extremos na produção agrícola brasileira também podem ser vistos ao analisar informações do Programa Garantia-Safra (Figura 3), cujas ações retratam os efeitos da perda sistemática de safra por ocorrências de eventos climáticos extremos aos produtores da agricultura familiar que vivem na região semiárida do País. Observa-se que o número de adesões cresceu fortemente, saindo de 200 mil agricultores em 2002 para cerca de 1,2 milhão de agricultores em 2014. Dessa forma, os recursos financeiros aplicados por esse programa também aumentaram, de acordo com a intensidade dos eventos extremos sobre a produção e o volume de perdas apresentado.

Na safra 2011–2012, houve incremento no número de pagamentos realizados devido à ocorrência de seca nesse período, atingindo a marca de 769 mil pagamentos, o que representa cerca de R\$ 1,4 bilhão de reais (Figura 3). Posteriormente, a safra 2014–2015 voltou a apresentar aumento nos pagamentos realizados em função da continuidade da seca na região, atingindo um total de R\$ 829,4 mil reais. Na safra 2015–2016, o Garantia-Safra forneceu assistência a aproximadamente 700 mil agricultores de 1.220 municípios atingidos pela seca (SAF/MDA, 2017), sendo que na região de atuação da Sudene foram atingidas 12 mil pessoas, com gastos de cerca de R\$ 600 milhões (ALVALÁ et al., 2017). Nesse período, a precipitação anual acumulada no semiárido correspondente à situação de seca severa apresentou valores menores a 600 mm (ALVALÁ et al., 2017).



**Figura 3 |** Total anual de adesões e pagamentos realizados pelo programa Garantia-Safra no período de 2002 a 2016.

Fonte: <http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-garantia/sobre-o-programa>. Acesso em: dezembro, 2016.

Esses resultados mostram que os impactos dos fenômenos climáticos causam sérios prejuízos à produção agrícola no País e, conseqüentemente, afetam quem depende direta e indiretamente desse setor, como os produtores rurais e a população. Outros fatores, como o custo de produção e preços dos alimentos (MARENGO et al., 2020), também são afetados pela ocorrência de eventos climáticos extremos, porém, há ainda a influência de indicadores econômicos, como a inflação.

## 4 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados mostraram que a produção agrícola no Brasil já sofre elevadas perdas, em função das ocorrências de eventos extremos do clima, sendo a Caatinga o bioma que apresenta os maiores prejuízos. A seca que atingiu a região semiárida nos últimos anos foi responsável pela redução da safra de diversas culturas, principalmente milho, feijão e mandioca. De forma geral, eventos de seca e estiagem afetam a produção agrícola em todas as regiões do País. Já eventos de geada e granizo ocorreram predominantemente nas regiões Sudeste e Sul, afetando a produção de culturas como arroz, soja e trigo. A exceção foram as chuvas excessivas, que foram responsáveis pelo aumento na produção de café na Bahia, em 2014, e trigo no Paraná em 2013.

Como consequência, sobretudo dos eventos de seca e estiagem, observou-se substancial aumento nas ações realizadas pelos programas Proagro e Garantia-Safra, principalmente na região semiárida do Brasil. Isso necessariamente implicará em aumento do gasto público com financiamentos e seguros agrícolas.

Diante dos atuais cenários de mudanças climáticas, a tendência é que haja aumento na frequência e intensidade dos eventos climáticos extremos em todas as regiões do País. Logo, pode-se esperar maiores impactos na agropecuária (produção, produtividade e créditos agrícolas), refletindo negativamente na segurança alimentar. Cabe ressaltar que tais impactos atingirão tanto os grandes quanto os pequenos produtores, gerando desequilíbrios na produção e exportação de *commodities* (soja, café, laranja, carne bovina, etc.), assim como na produção e/ou preços dos alimentos da cesta básica, os quais são produzidos em sua maioria pelo pequeno produtor. Ou seja, diante da magnitude do setor agropecuário brasileiro, as mudanças climáticas poderão afetar a segurança alimentar regional, nacional ou mesmo globalmente. Assim, há a necessidade de adoção de práticas de manejo



sustentável e políticas ambientais voltadas à mitigação e adaptação às mudanças do clima, mas que busquem contemplar toda a cadeia de produção, principalmente os pequenos produtores.

## REFERÊNCIAS

ALVALÁ, R. C. S. et al. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, p. 1-15, 2017.

ALVES, K. M. A. S. **Variabilidade pluvial no semiárido brasileiro: impactos e vulnerabilidades na paisagem da bacia hidrográfica do Rio Moxotó**. 2016. 164 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

ARAÚJO, P. H. C. et al. Uma análise do impacto das mudanças climáticas na produtividade agrícola da Região Nordeste do Brasil. **Revista Economia**, v. 45, n. 3, p. 46-57, 2014.

ASSAD, E. et al. **Impactos das Mudanças Climáticas na Produção Agrícola Brasileira**. LCSAR – The World Bank, 2013.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Programa de Garantia da Atividade Agropecuária Proagro**. Relatório Circunstanciado Proagro (1999-2010; 2004-2011; 2004-2012; 2011-2014; 2012-2015; 2013-2016; 2014-2017; 2015-2018). Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/creditorural>>. Acesso em: março de 2019.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS – Ascar, 2014. v. 1, 84p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Garantia-Safra**. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-garantia/sobre-o-programa>>. Acesso em: março de 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Zona Costeira e Marinha**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zona-costeira-e-marinha.html>>. Acesso em: agosto de 2020.

BRAZ, D. F. **Impacto de eventos severos na agricultura do Rio Grande do Sul**. 2015. 95 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

CANAL RURAL. **RS: prejuízo de produtores afetados por enchentes supera R\$ 2 bilhões**. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/rs-prejuizo-produtores-enchentes-supera-2-bilhoes/>>. Acesso em: julho de 2020.

CASTRO, C. N. Pesquisa agropecuária pública brasileira: histórico e perspectivas. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental (IPEA)**, v. 16, p. 30-40, 2016.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Decodificação das notas técnicas sobre “Alimento e aquecimento global”**. Relatório técnico. Projeto: Apoio à Plataforma de Comunicação Agricultura e Alimento. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <[https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/2679\\_Decodifica%C3%A7%C3%A3o+das+notas+t%C3%A9cnicas+sobre++Alimento+e+aquecimento+global\\_.pdf/67a011c9-97fc-43ce-996b-162054ff13f0?version=1.0](https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/2679_Decodifica%C3%A7%C3%A3o+das+notas+t%C3%A9cnicas+sobre++Alimento+e+aquecimento+global_.pdf/67a011c9-97fc-43ce-996b-162054ff13f0?version=1.0)>. Acesso em: abril de 2019.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. **Municípios monitorados**. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/municipios-monitorados/>>. Acesso em: agosto de 2020.

CEPED UFSC. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012: volume Brasil**. [Internet]. 2. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 104 p. 2013. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>>. Acesso em: janeiro de 2019.

CLIMATE-DATA.ORG. **Dados climáticos para cidades mundiais**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/>>. Acesso em: agosto de 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra brasileira de grãos**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>>. Acesso em: abril de 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Levantamento de Safras**. 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: março de 2017.

COOPADAP SEMENTE. **Impactos da estiagem na produção da soja**. Disponível em: <<https://coopadapementes.com.br/site/impactos-da-estiagem-na-producao-da-soja/>>. Acesso em: julho de 2020.

CUNHA, A. P. M. A. et al. As Secas entre 1963 e 2017 no Distrito Federal, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências** (UFRJ. Impresso), v. 41, p. 487, 2018.

CUNHA, D. A. et al. Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos. **Revista de Economia e Sociologia Rural** (Impresso), v. 51, p. 369-386, 2013.

EMBRAPA. **Métodos de proteção contra geadas em cafezais em formação**. Publicação técnica. Disponível em: <[http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes\\_tecnicas/protgeada.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/protgeada.pdf)>. Acesso em: agosto de 2020a.

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2018/19)**. Embrapa Soja. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: julho de 2020b.

EMBRAPA. Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil. **Resumo Executivo**, Embrapa e Unicamp, 84p., 2008.

FERREIRA, M. D. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Inserção no Mercado Internacional e a Produção de Carnes no Brasil**. Texto para Discussão (IPEA), v. 2479, p. 1-43, 2019.

FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Tendências no setor agropecuário**. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/012/a1260p/a1260p02.pdf>>. Acesso em: novembro de 2018.

GRIGOLETTO, J. C. et al. Gestão das ações do setor de saúde em situações de seca e estiagem. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, p. 709-718, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - Sidra**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>>. Acesso em: janeiro de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Índices Agropecuários: 1996-2003. **Estudos e Pesquisas: informação econômica**, v. 3, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: maio de 2018.

IPCC. **Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team. PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (Ed.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp., 2014.

MARENGO, J. A. et al. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4°C. **Natural Hazards**, v. 102, p. 1-26, 2020.

MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, p. 1-13, 2017.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil – past, presente and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 20, p. 1-12, 2016.

MATOS, P. F.; PESSÔA, V. L. S. A modernização da agricultura no Brasil e os novos usos do território. **Geo UERJ** (Cessou em 2004. Cont. ISSN 1981-9021 Geo UERJ (2007)), v. 01, p. 290-322, 2012.

MIKOSZ, L. **Sendai framework indicators for disaster risk reduction in Brazil: initial conditions, feasibility analysis, and understanding the risks**. Dissertação (Mestrado). Water-related Disaster Management Course. National Graduate Institute for Policy Studies (GRIPS), Tokyo, Japan, 2017.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. v. 01. 530 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **Declaração Universal sobre Erradicação da Fome e má Nutrição**. Organização Mundial de Saúde – OMS. Report of the world food Conference, 5-16 nov. 1974, Roma, 1975.

PBMC. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas. **Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. [MARENGO, J. A.; SCARANO, F. R. (Ed.)]. PBMC, Coppe – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184p. 2016.

REVISTA CAFEICULTURA. **Próxima madrugada será ainda mais fria em São Paulo**. Disponível em: <<https://revistacafeicultura.com.br/?mat=22179>>. Acesso em: agosto de 2019.

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de economia e sociologia rural**, v. 56, p. 195-212, 2018.

SAF/MDA. 2017. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br>>. Acesso em: março de 2017.

SAPUCCI, C. R. et al. Condições meteorológicas associadas à ocorrência de geadas na Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 153-167, 2018.

SILVA, R. R. **Relação entre precipitação pluviométrica e produtividade da cultura de soja no município de Ibirubá-RS**. 2013. 95 f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SOUZA, E. M.; AQUINO, J. R. A grande seca e seus efeitos na produção agropecuária do Rio Grande do Norte (2012-2016). **Revista GeoNordeste**, São Cristóvão, Ano XXIX, n. 2, p. 174-195, Jul./Dez. 2018. ISSN: 2318-2695.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. **Capítulo 4 – Precipitação atmosférica**. Disponível em: <<http://www.mundogeomatica.com.br/CL/ApostilaTeoricaCL/Capitulo4-PrecipitacaoAtmosferica.pdf>>. Acesso em: agosto de 2020.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W. **Conjunto de dados de variáveis meteorológicas diárias no Brasil (1980-2013)**. CLIMA Policy Brief #2, Centro Clima/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 4p., 2016.

# Projections of Brazilian biomes resilience and socio-environmental risks to climate change

## *Projeções de resiliência dos biomas brasileiros e riscos socioambientais às mudanças climáticas*

Patrícia F. Pinho<sup>a</sup>

Luciano J. S. Anjos<sup>b</sup>

Saulo Rodrigues-Filho<sup>c</sup>

Diogo V. Santos<sup>d</sup>

Peter M. Toledo<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Institute of Advanced Studies (IEA) - University of São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brazil  
E-mail: pinhopati@gmail.com

<sup>b</sup> Federal Rural University of the Amazon, Parauapebas, PA, Brasil  
E-mail: ljsanjos@gmail.com

<sup>c</sup> Sustainable Development Center, University of Brasilia (CDS/UnB), Brasília, DF, Brazil  
E-mail: saulofilhocds@gmail.com

<sup>d</sup> Ministry of Science, Technology and Innovations (MCTI), Brasília, DF, Brasil  
E-mail: diogo.santos@mctic.gov.br

<sup>e</sup> Earth System Science Center (CCST), INPE, São José dos Campos, SP, Brazil  
E-mail: peter.toledo@hotmail.com

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33918

Received: 04/09/2020  
Accepted: 03/11/2020

ARTICLE – DOSSIER

---

*Data and results presented in this article were developed under the project of the “Fourth National Communication and Biennial Update Reports of Brazil to the Climate Convention”, coordinated by the Ministry of Science, Technology and Innovations, with the support of the United Nations Development Programme and resources of the Global Environment Facility, to which we offer our thanks.*

### ABSTRACT

Climate change has been considered, at a global level, as one of the main anthropogenic drivers of environmental transformation, especially on biomes, ecosystems and the most vulnerable population. In this regard, the concept of resilience has been widely used in ecology to explain the ecosystem transition thresholds by which forests and other habitats are able to restructure in the face of various external disturbances. However, the concept of resilience in facing climate change impacts and risks through the lens of socio-environmental risks in Brazil is still underdeveloped, especially at the biome

level. This article uses the theory of critical transitions to ecological niche distribution modeling in future global warming scenarios by the end of the century, in order to highlight the change in ecological resilience of the Amazon, Caatinga, Cerrado, Atlantic Forest and Pampa biomes, and how the changes in resilience can lead to an increased exposure, vulnerabilities and risks to socio-environmental security. This article shows how an interdisciplinary approach bringing together modeling of biome resilience may be a tool to support decision making and public policies on mitigation and adaptation to climate change and reduce risks to socio-environmental security.

**Keywords:** Biomes. Modeling. Resilience Ecosystem services. Climate Change Socio-environmental security.

## RESUMO

*As mudanças climáticas são consideradas globalmente um dos principais vetores de transformações socioambientais, sobretudo em biomas, ecossistemas e populações mais vulneráveis. Nesse contexto, o conceito de resiliência tem sido frequentemente empregado, sendo utilizado na ecologia para entender os limiares de transição ecossistêmicos pelo qual florestas e outros habitats conseguem se estruturar diante das diversas perturbações externas. No entanto, o conceito de resiliência ante os impactos e riscos das mudanças climáticas pelas lentes de riscos socioambientais no Brasil ainda é pouco desenvolvido, sobretudo na escala de biomas. Neste artigo, utilizamos a teoria das transições críticas à modelagem de distribuição de nicho ecológico em cenários futuros de aquecimento global até o final do século, a fim de evidenciar a alteração da resiliência ecológica dos biomas da Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pampa, e de que forma as alterações na resiliência podem levar a um aumento da exposição, vulnerabilidades e riscos à segurança socioambiental. O artigo mostra como a abordagem interdisciplinar na modelagem de resiliência dos biomas pode ser um instrumento auxiliar para tomada de decisões no âmbito das políticas públicas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas e redução de riscos à segurança socioambiental.*

*Palavras-chave:* Biomas. Modelagem. Resiliência. Serviços Ecossistêmicos. Mudanças Climáticas. Segurança Socioambiental.

## 1 INTRODUCTION

In Brazil, climate modeling analyses (using baseline scenario from 1970 to 2050) of the cumulative effects of climate and non-climate drivers in the loss of species show that land-use change (LUC) forcing has a critical historical role in changes in the Amazon, Cerrado, Caatinga and Atlantic Forest biomes, as well as marine ecosystems (Carlos A. Joly, Maíra C. G. Padgurschi e et al., 2018). However, since 1970, climate change started to have an increased role in biodiversity loss, posing significant risks to the delivery of ecosystem services in 2050 (Ometto et al., 2018).

Climate change projections for Brazil point at significant impacts of extreme rainfall regime changes in the form of floods and landslides, a strong increase in heat extremes and heat waves (mainly in urban areas), and droughts (AMBRIZZI et al., 2007; MARENGO e SCARANO, 2016). It is critical the fact that these climate impacts on top of processes arising from land-use changes within the ecosystems happen in a non-linear way, and are heterogeneous in time and space and are still poorly elucidated, as is the debate of ecological tipping points (LENTON, 2013; LENTON et al., 2008).

Thus, it is important to recognize the temperature, rainfall and humidity thresholds by which ecosystems (oceans and forests) will incur in tipping points, so that emerging systemic socio-environmental risks may be foreseen and managed (OPPENHEIMER et al., 2014). Recent scientific evidence suggest that current climate conditions and future change projections impose significant environmental, economic and social burdens to tropical countries in the Global South like Brazil, which will experience severe economic impacts and risks in a non-linear and heterogeneous way



(BURKE, HSIANG e MIGUEL, 2015). However, in theory, the economic losses and socio-environmental costs might be minimized if adaptation strategies is implemented (CARLETON e HSIANG, 2016).

In this context, this article aims at contributing with the socio-environmental resilience analysis in an integrated way the biomes level (Amazon, Cerrado, Caatinga, Atlantic Forest and Pampa), taking into consideration their greatest vulnerabilities to climate change. This study aims at contributing to reduce risks in different sectors of the economy, human well-being and population health, especially among the most vulnerable ones. For this purpose, the results presented might provide a technical support to embase decisions on socioeconomic development and urban planning policies, and setting up priority areas for conservation within the agenda of mitigation (e.g. reforestation) and adaptation to climate change.

## 2 INTEGRATED METHODOLOGICAL FRAMEWORK

Three distinct phases have been developed in order to compose the analysis of terrestrial biomes changes in the face of climate change and their consequences for what has been defined herein as socio-environmental security<sup>1</sup>. First, current and future biome resilience (Amazon, Caatinga, Cerrado, Atlantic Forest and Pampas) were assessed by climate niche distribution modeling. Then, the results were assessed from the perspective of specific Land-use change (LUC) forcing for each of the biomes, except the Pantanal<sup>2</sup>. After data triangulation, a broader discussion is presented on the possible socio-environmental risks to climate change in the country's main biomes.

The ecological resilience analyses per biome were carried out by climate niche distribution, taking into consideration the temperature and rainfall variations for the current period (1960-1990) and future climate change scenarios representing different global average temperature warming (1.5°C, 2°C and 4°C, respectively) for the Representative Carbon Pathway (RCP 8.5). Qualitative and quantitative LUC analyses were considered for the present and future projections (when available) in the biomes via rates of deforestation, dependency and fragility of indigenous peoples and traditional communities and family farming, the expansion of agriculture and commodities, urbanization and consumption, which have a central role in changing ecosystems and habitats, and synergistically interact with climate changes. The next section approaches the conceptual premise and state-of-the-art of ecological resilience and distribution modeling.

## 3 CONCEPTUAL PREMISE AND STATE-OF-THE-ART OF ECOLOGICAL RESILIENCE AND DISTRIBUTION MODELING

The classic definition of resilience, by Holling (1973), still widely used, and states that ecological resilience is the measure of disturbances that a system can tolerate before undergoing a change to a different stable state. This concept suggests that there are eco-physiological thresholds that guarantee the adequate functioning of natural ecosystems (referred to as biomes herein) along an environmental gradient (e.g. temperature, rainfall). In theory, the gradual changes under the environmental conditions may lead to an ecosystem to lose its resilience, and thus reducing its self-organization capacity following a disturbance, and as a result compromising its structure and functioning (SCHEFFER et al., 2009). The theory of ecological stability and critical transitions provides that if a certain environmental threshold (e.g. temperature and precipitation) is exceeded, it may trigger a critical transition event, which would lead this low-resilience system to an alternative stable state (FOLKE et al., 2004; Gunderson, 2000; Scheffer et al., 2001). In other words, an ecosystem would transform into another type of ecosystem, undergoing an environmental reconfiguration under a specific geographic space. In the current context of accelerated climate change, it may be expected that such ecological changes act like an important driver to threatened ecosystems by altering its resilience (ANADÓN, SALA e MAESTRE, 2014).

1 | *Socio-environmental security* is defined herein as the way in which human life and the respective livelihoods are ensured within the environment, whether in the provision of water, energy, food, material goods and cultural attributes (as adopted by the Fourth National Communication of Brazil to the UNFCCC, 2019).

2 | Modeling analyses have not been undertaken for the Pantanal, therefore, it is not included in this article.

From this narrative perspective, in order to address ecosystem changes and their consequences for biomes' socio-environmental security in Brazil, this paper first sought to assess current and future resilience of ecosystems in the Amazon, Caatinga, Cerrado, Atlantic Forest and Pampas biomes by using the distribution of climate niche concept and modeling, and, in parallel, analyze the impact chain associated with land-use change (LUC) forcing.

Ecosystem resilience analyses per biome will be presented for current and future climate change scenarios, representing different warming levels (1,5°C, 2°C and 4°C for RCP 8.5), and reflecting time scales focused on 2025, 2045 and 2085, based on data observed at present and in the past. Given that land-use changes (LUC) have a central role in ecosystems and habitats alterations, which are exposed to climate change impacts, providing a synergistic process of positive feedback from environmental degradation and socio-environmental risks, a qualitative and quantitative assessment of such current and future changes in biomes was made. As a result, the integration of present and future climate niche analysis with the assessments of current and trendy LUC will infer on potential socio-environmental resilience in the context of climate change for the country.

### 3.1 MODELING TERRESTRIAL BIOMES RESILIENCE IN BRAZIL

With the purpose of estimating Brazil's terrestrial biomes resilience, the assumption is that each type of vegetation is adapted to a certain range of current temperature and rainfall conditions. If, in the future, a biome is exposed to different climate conditions, to which it is not adapted to, its resilience might be reduced to an extent in which it would lead to another stability level, and resulting in a dominant vegetation pattern that is different from the current one. Thus, computer models were projected to verify what would be the likelihood of biomes' vegetation types changes, if they were submitted to different temperatures and rainfall conditions other than the current ones.

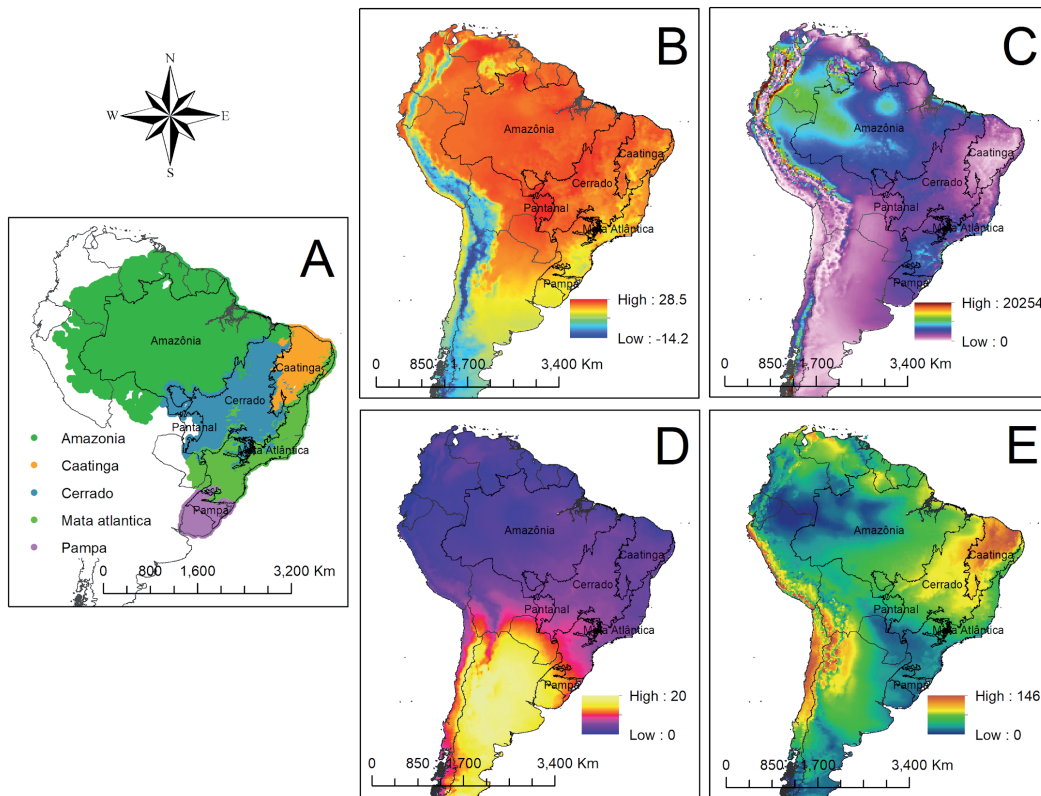
Measuring the ecological resilience in an objective manner is not a trivial task (NIKINMAA et al., 2020), especially at large spatial scales (REYER et al., 2015). With the advent of computational resources with high processing power and the large availability of massive amounts of data, several approaches have been proposed to bridge this gap. For example, Hirota et al., (2011) used a logistic regression to measure rainfall effects on stable forest and savannah states for South America.

Using a different approach, Comer et al., (2019) created an index to assess habitat vulnerability to climate change by modeling resilience from the inclusion of factors such as intact landscapes, invasive species, alteration of the fire regime, forest insects and risk of diseases. In a recent review, Chambers, Allen e Cushman, (2019) tried to operationalize the concept of resilience from a explicitly spatial conceptual framework. The approach used herein differs from the previous ones because it incorporates the concept of ecological resilience in the scope of the critical transitions theory to ecological niche modeling (ANJOS e TOLEDO, 2018).

In this study, in order to assess the potential response from the Brazilian terrestrial biomes in the face of climate change, it is assumed that each biome represents a stable state within a large-scale multi-stability ecosystem system (SCHEFFER et al., 2012). This assumption has a strong empirical support, given that each biome presents an adaptive phenotypic response that is species peculiar to the prevailing climate conditions of a certain region, modulated and consolidated throughout the evolutionary history of the biomes (DONOGHUE e EDWARDS, 2014) and why have some biome shifts been more frequent than others? To orient this line of research we develop a conceptual framework in which the likelihood of a biome shift is a function of (a. With the purpose of increasing spatial accuracy in determining and classifying biomes, the ecoregion polygons as defined by (Olson et al., 2001), were used. Moreover, in order to avoid bias caused by sub-sampling (due to geopolitical borders), the entire range of biome climate response was considered for South America.

Then, the polygons of each biome were converted into a presence-absence binary data, under a point vector format with spatial resolution of 0.20° (~ 24 km). A geo-referenced signature was attributed to each presence or absence, with longitude and latitude, covering all the range occupied by biomes in South America. Such information on presence-absence were then used as inputs in building correlative distribution models based on the ecological niche. Altogether, 21,441 points were included in the analyzes as sample units, covering part of South America (Figure 1A). When a certain biome was modeled, the original presence data was taken into consideration, and all other points in the sample cloud were considered to be absences from that respective biome.

In order to model and predict the relationship of terrestrial biomes with the dominant climate, four critical climate predictors for terrestrial ecosystems were used (Lehmann et al., 2014; Oliveras e Malhi, 2016). These variables were selected from two variability eco-climate axes, as per (Anjos e Toledo, 2018): (1) moisture availability – annual accumulated rainfall (Figure 1C) and precipitation seasonality (Figure 1E) and; (2) energy availability– annual average temperature (Figure 1B) and annual temperature range (Figure 1D). These variables were obtained from the Eta Regional Model, under the HadGEM2-ES global model boundary conditions (Eta-HadGEM2 ES), developed by the National Institute for Space Research (INPE, in the Portuguese acronym) (Chou et al., 2014) with 0.20°(24 km) spatial resolution, covering all South America. Future climate projections encompass three time periods associated to global average warming for IPCC’s RCP 8.5: 1.5 °C (2011- 2040); 2°C (2040-2070); 4°C (2070- 2099).



**Figure 1 |** A presents occurrence for each biome, taking into consideration its original distribution. The set of climate predictors used in the modeling are presented in B- average annual temperature; C- annual accumulated rainfall; D- annual temperature range; E- rainfall seasonality.

Source: Authors.

In order to model the distribution of terrestrial biome stable states, the biomod2 package was used (THUILLER et al., 2009) written in R language (R CORE TEAM, 2020). Distribution models were calibrated by using presence-absence data of each stable state combined to selected climate predictors. The models were run using nine different methods available in the biomod2 platform: Bioclim (SRE), Classification

Tree Analysis (CTA); Random Forest (RF); Generalized Linear Models (GLM); Generalized Additive Models (GAM); Generalized Boosted Models (GBM), Function Discriminant Analysis (FDA); Artificial Neural Networks (ANN); Multiple Additive Regression Splines (MARS). For each method, 10 replicas with 75% partition for training and 25% for testing were run. The accuracy assessment of models in each method was carried out with True Skill Statistics (TSS) and Receiver Operating Characteristic (ROC) metrics.

Each method presents distinct biological, mathematical and/or statistical assumptions, and may produce different results from the same input data set. According to (RANGEL e LOYOLA, 2012), taking into consideration the characteristics of each modeling method, they may be grouped as ‘aquariums’ (Bioclim), ‘turbines’ (GLM, GAM, MARS, FDA) or ‘safes’ (CTA, RF, GBM, ANN). In this regard, the creation of a consensual model among the different methods in order to minimize the effects of uncertainties associated with each modeling method was the option adopted. Therefore, the best models of each method to compose the ‘ensemble’ were selected using the TSS metric, that measures quality combining sensitivity and specificity of the models (ALLOUCHE, TSOAR E KADMON, 2006)

For threshold purposes, those models with TSS values greater than or equal to 0.6 were considered accurate. The consensual distribution model was obtained by the arithmetic mean of the best models of the different methods (Diniz-Filho et al., 2009). A consensual distribution model was built for each biome from the selection of models that presented  $TSS \geq 0.6$ .

#### 4 RESULTS OF BIOME RESILIENCE MODELING

Figure 2 indicates the result of biome distribution modeling for the current climate, which explicitly shows that there is little overlap in the occupation of climate space (temperature and rainfall) among the biomes in Brazil. The pattern observed is that each biome occupies a specific range of the climate environmental gradient, and along these lines, they all present relatively high resilience, with low or average resilience in their transition ranges.

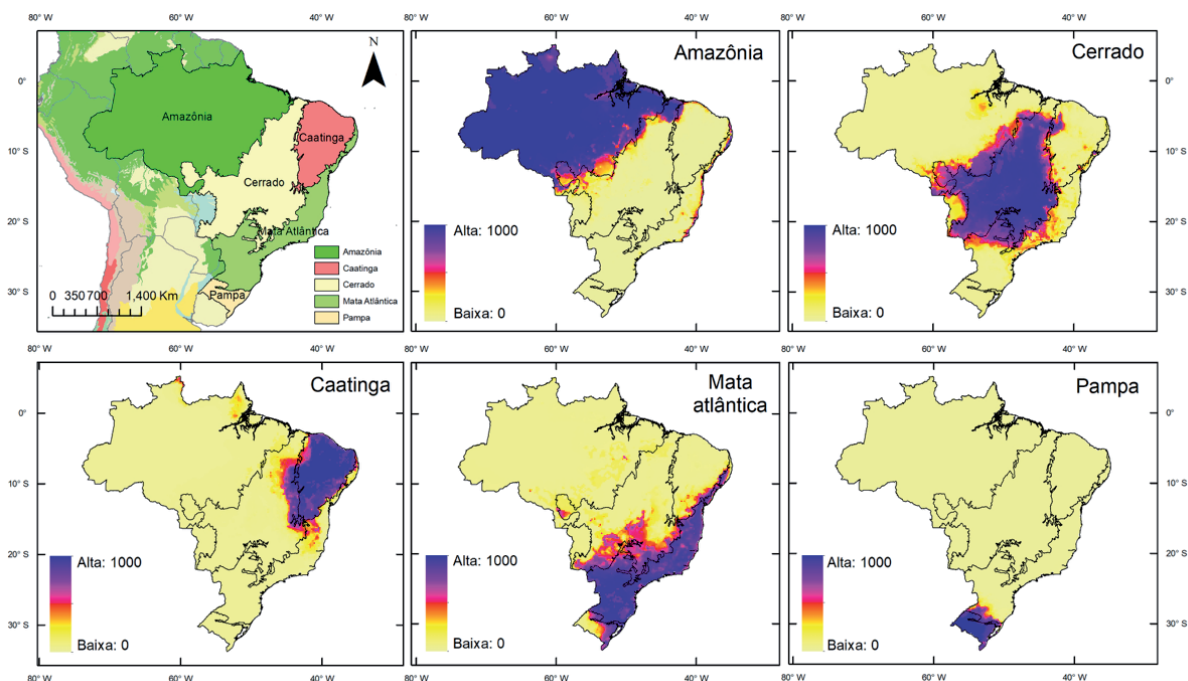


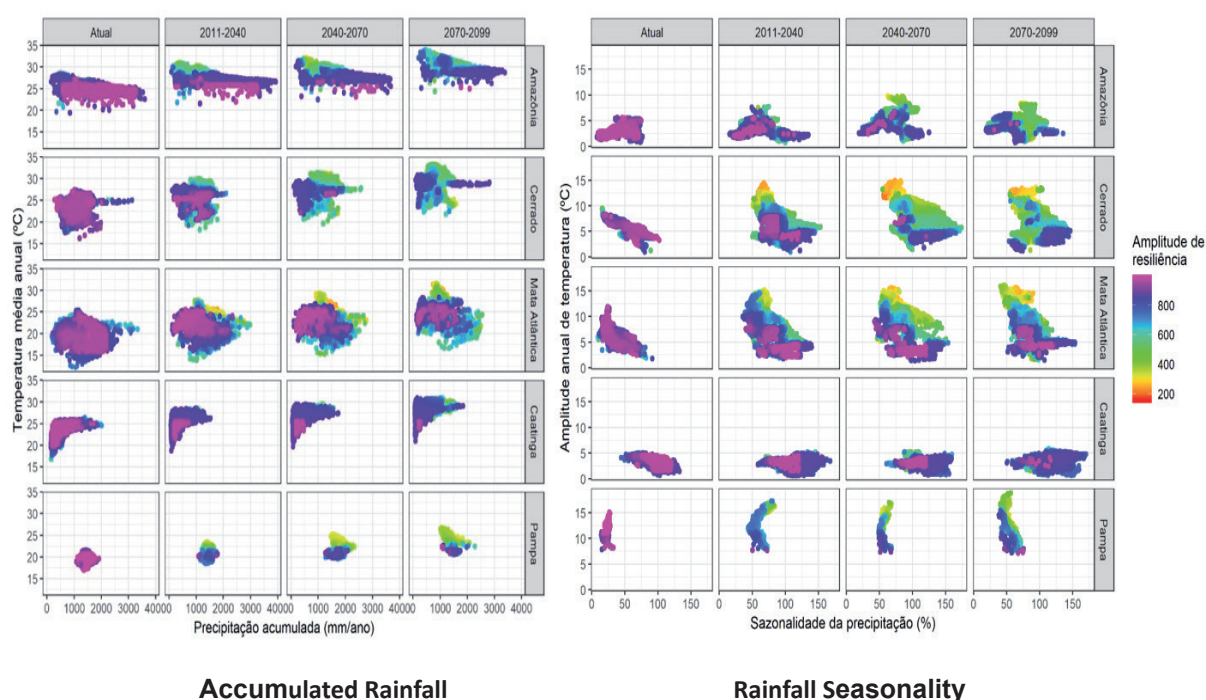
Figure 2 | Current biome resilience (low: 0 to high:1000) for eco-climate dynamic.

Source: Authors.



The varying resilience range represents the dominance level of a certain biome within its original biogeographic borders. The high values in this variable indicate that a biome has strong predominance in comparison with other biomes, that is, it presents greater eco-climate resilience. On the other hand, low values of dominance level point at lower resilience and greater susceptibility to transition events into other ecosystem stable states.

In this regard, when the resilience range is assessed at a two-dimensional climate plan under different climate scenarios (columns), it is possible to detect changes at the biome dominance level from shifting climate conditions that are not analogous to the present ones (Figure 3). For instance, this figure shows that the Amazon biome is more vulnerable to critical transition in future scenarios due to an increase in the average temperature (y axis) and decrease in annual accumulated rainfall (x axis) under its biogeographic domains. Likewise, in the same biome, small changes in temperature seasonality (y axis) and rainfall (x axis) caused strong alterations in the resilience range, thus suggesting greater vulnerability to critical transition events due to projected climate change.



**Figure 3 |** Current and future Biome Resilience Range related to warming levels of 1.5°C, 2°C, 4°C at the climate-niche modeling two-dimensional space. The set of variables used were average annual temperature (°C) and accumulated rainfall (mm/year), and annual temperature range (°C) and rainfall seasonality (%).

Source: Authors.

### AMAZON

The resilience range in the ‘current’ eco-climate space occupied by the Amazon (high levels of rainfall and temperature) shows the forest’s high adaptive capacity and is represented in Figure 3. Figure 3 also shows that the forest’s change threshold is sensitive to annual rainfall decrease from 1,500 mm/year. Projections show a significant alteration in resilience range and evidence its loss in most of the Amazon biome, starting at a warming level of 1.5°C, focusing on high resilience only in the western part of the biome, but with significant retraction in higher warming levels.

Therefore, downward trends in rainfall and humidity would affect the forest’s resilience. This scenario has been documented for this biome (ZANIN, MACHADO e ALBERNAZ, 2016), resulting in increased



tree mortality, reduced forest biomass and increased incidence of fire episodes, culminating in the loss of biodiversity and ecosystem services (ANJOS e TOLEDO, 2018; OMETTO et al., 2014).

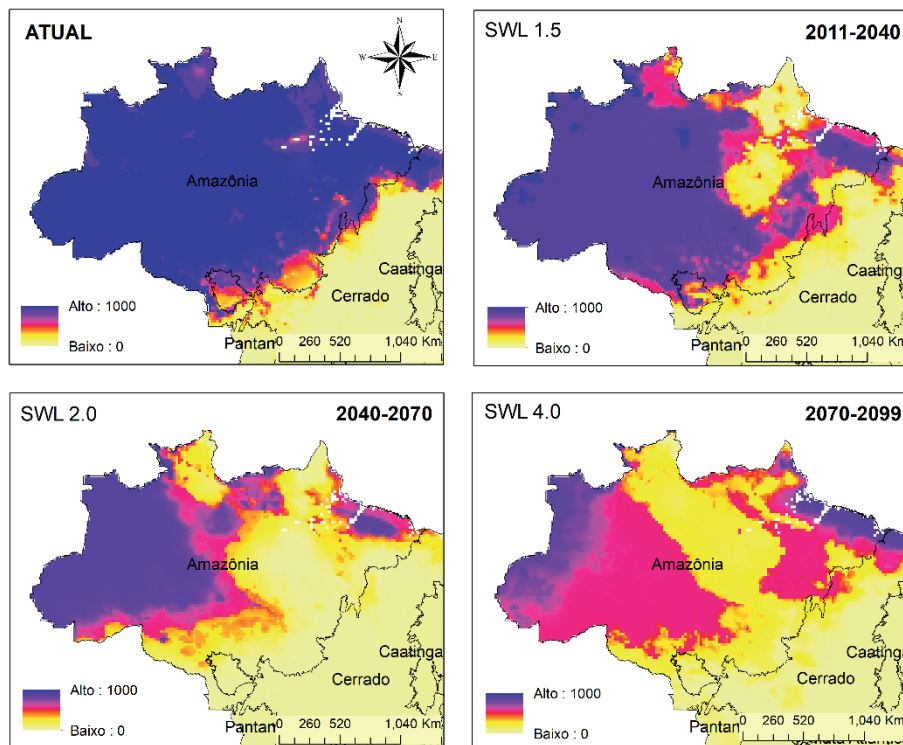


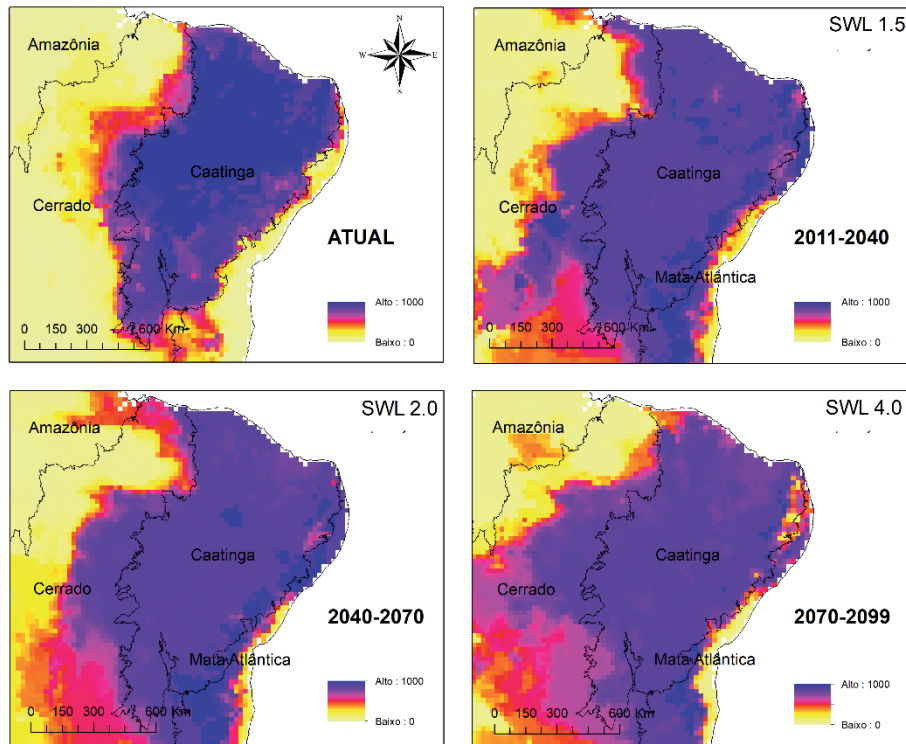
Figure 4 | Projection of Resilience alterations for the Amazon (low: 0 to high:1000) at 1.5°C, 2°C and 4°C

Source: Authors.

### CAATINGA

For the Caatinga, the high resilience range is very narrow for the current period, which means it is a low-resilient biome to eco-climate variables (temperature and rainfall), as shown in Figure 5. Future projections show another stable state, more desert-like, with high temperatures and critical rainfall levels, with no biomass. These factors indicate a greater tendency towards an aridization process, which, together with environmental degradation leads to an expansion of deserted areas, decreasing the Caatinga's resilience range.

Projections indicate that with an increase in warming levels to 1.5°C, the biome expands to the coastal zone, southern and central-western regions of the country, with high resilience. From a warming level relative to 2°C, more expansion occurs, overlapping with the Atlantic Forest biome and advancing in the Cerrado. For a warming level at 4°C, the biome will have high resilience range in areas that used to be occupied by the Atlantic Forest, and will also expand to the center-west region, occupying the Cerrado biome. Results of this modeling for the Caatinga biome have also been described by Zanin, Machado and Albernaz, 2016, and are compatible with the biome's results.

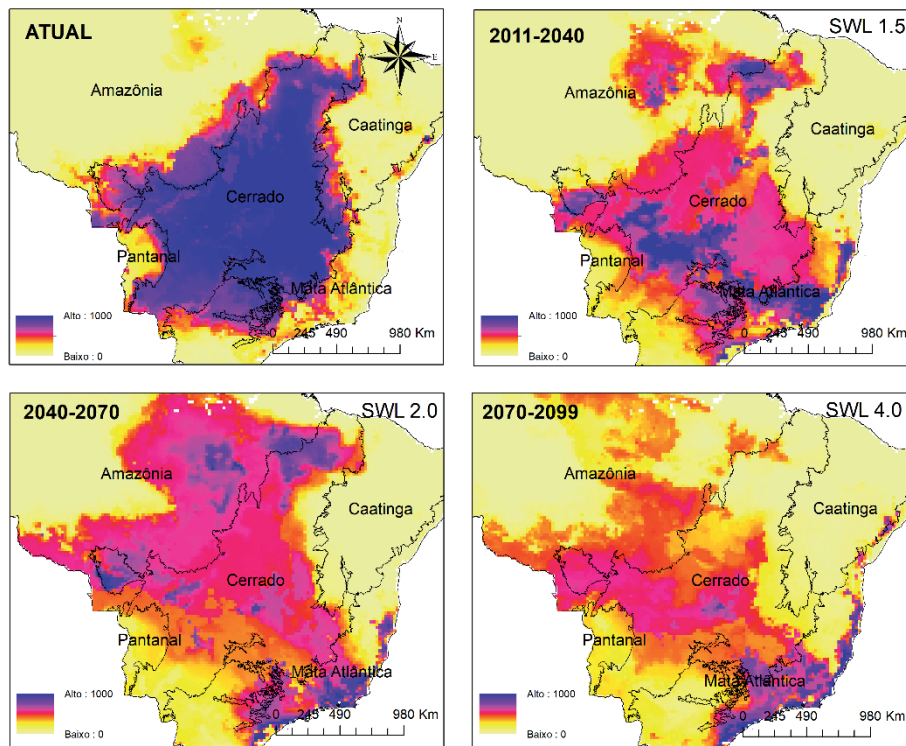


**Figure 5 |** Projection of Resilience alterations for the Caatinga (low: 0 to high:1000) at 1.5°C, 2°C and 4°C

*Source: Authors*

## CERRADO

The resilience range is higher in the Cerrado, and greater than that in the Amazon, presenting relatively sensibility in relation to increased rainfall (~2,500 mm/year) and higher tolerance to high temperature gradient at present, as per Figure 6. This biome also presents an intermediate level of biomass, within the transition between increased or reduced resilience. Projections based at the current period show that from a warming level at 1.5°C, the Cerrado expands to areas previously occupied by the Amazon biome, and also areas occupied by the Atlantic Forest and coastal region. Projections based on a warming level relative to 2°C show that the biome significantly shift towards occupying a large part of the Amazon and Atlantic Forest. For a warming level at 4°C, modeling results show a drop in resilience in the region currently occupied by the Amazon biome. In this scenario, the coastal region (Atlantic Forest) is occupied by the Cerrado, with intermediate resilience.



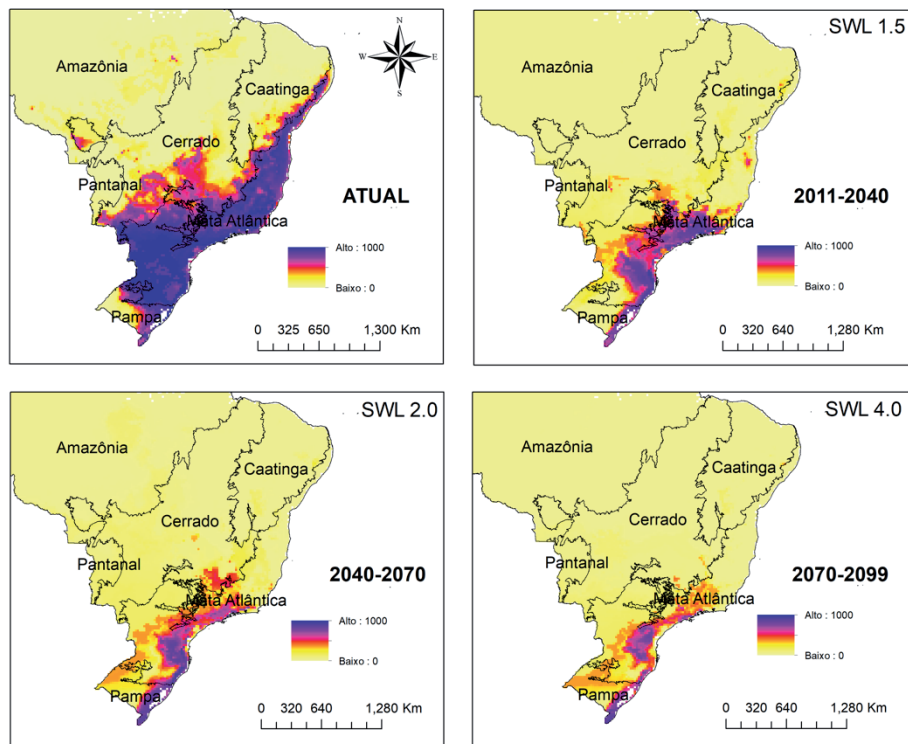
**Figure 6 |** Projection of Resilience alterations for the Cerrado (low: 0 to high:1000) at 1.5°C, 2°C and 4°C

Source: Authors.

Under that perspective, the Cerrado presents less sensitivity to climate stress and good adaptive capacity when compared to forest biomes such as the Amazon and Atlantic Forest. The Cerrado also presents relative resilience and adaptability to fire episodes, which are the biome's ecology natural agents, and high-risk drivers for the Amazon biome. Likewise, results of the resilience assessment for the Cerrado biome have also been described by Zanin, Machado e Albernaz, 2016, and are compatible with the biome's results.

### ATLANTIC FOREST

For the Atlantic Forest, the division pattern is very solid, with a relatively narrow high resilience range, with high temperature range (12°C to 26°C), but with a more restrict range in terms of extreme rainfall (~1,200 and 2,000 mm/year), which suggests a critical threshold (~1,200 and 2,000 mm/year) for the Atlantic Forest to transition to another biome, like the Cerrado, as per Figure 7. For a warming level of 1.5°C, a decline in biome occupation occurs, with significant resilience loss, that is, low resilience in the largest part occupied by the biome, and intermediate and high resilience concentrated in the coast. For a warming level relative to ~2°C, high resilience only occurs in small patches along the coastal region, much like the 4°C scenario, where most of the biome presents low resilience.



**Figure 7 |** Projection of Resilience alterations for the Atlantic Forest (low: 0 to high:1000) at 1.5°C, 2°C and 4°C

*Source: Authors.*

### PAMPA

For the Pampa, the temperature variation thresholds are the lowest (18 °C – 22 °C) with a relatively narrow rainfall range (1,100 to 2,000) for high resilience, as shown in Figure 7. The Pampa biome loses its high resilience at every warming level, and by the end of the century it is restricted to only a small fraction in the far south of the country. The biome also expands to other areas before occupied by the Cerrado at every warming level, but with low resilience. As indicated by modeling results, there is an upward trend in vulnerability to climate change in this biome, due to temperature increase projections and extreme rainfall events, which will affect its resilience and adaptive capacity.

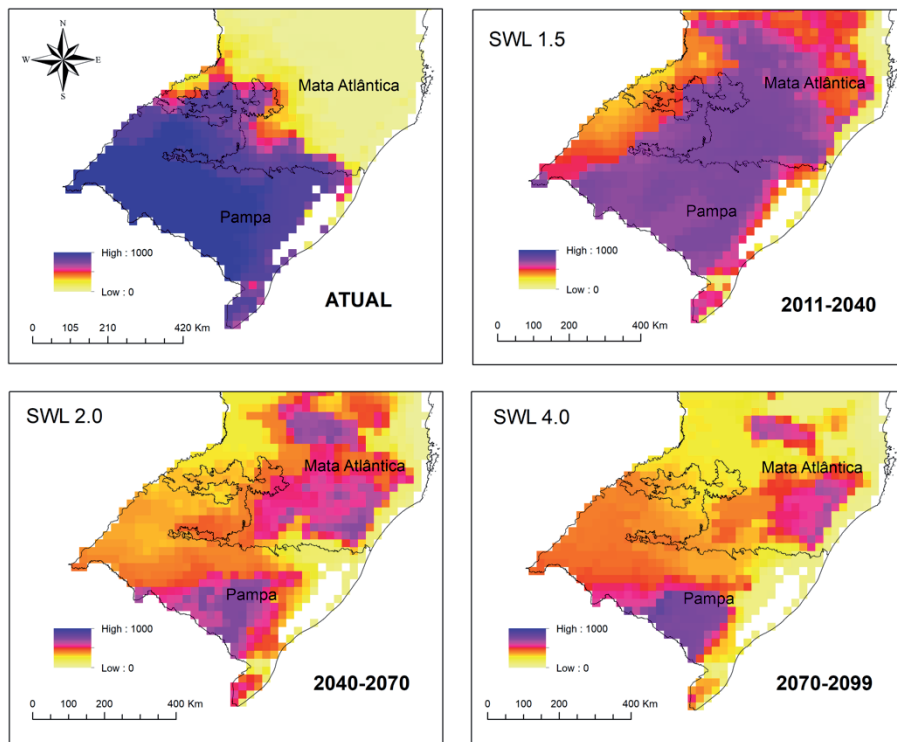


Figure 8 | Projection of Resilience alterations for the Pampa (low: 0 to high:1000) at 1.5°C, 2°C and 4°C

Source: Authors.

## 5 SOCIO-ENVIRONMENTAL RISKS PER BIOME

For all biomes, resilience modeling shows that biodiversity loss is expected, and will compromise the functioning of ecosystems and the provision of ecosystem services to society.

Since the ecosystem resilience modeling presented herein does not include non-climate forcing specifically related to land-use changes, they were pointed out in this section in a quanti-qualitative way, which, when overlapped to resilience modeling per biome, points at the main socio-environmental vulnerabilities and risks in the future.

Current exposure and exposure associated to the main land-use change drivers, vulnerabilities, potential future impacts and projected impacts for the biome by 2100 are presented herein as inferred socio-environmental risks, associated to climate change with resilience loss as evidenced by the ecological niche modeling. Although there are multiple land-use change drivers, as well as vulnerabilities to climate change that are not described in this analysis, some of the most evident examples for each biome, available in the literature in the past decade, were selected.

The Amazon will lose its capacity as a carbon sink, a climate regulation ecosystem service of global relevance (LAPOLA et al 2018; O'NEILL et al. 2017). Current the deforestation level that have intensified, together with an increase in forest fires and precarious and rapid urbanization are exposing the population and ecosystems to greater impacts from climate extremes. The effects of climate change and land use lead to increased tree mortality, reduced forest biomass and increased incidence of fire episodes, loss of biodiversity and ecosystem services (ANJOS e TOLEDO, 2018; OMETTO et al., 2018)

Given the importance of biodiversity to livelihoods of indigenous and traditional people they are highly vulnerable to climate extremes in the region (BRONDÍZIO et al., 2016; PINHO, 2016; PINHO,



MARENGO e SMITH, 2015). Both the rural and urban poor populations have low capacity to cope with extreme climate impacts associated with factors of poverty, marginalization and low State presence (MARU et al., 2014). If urgent adaptation measures are not advanced, the loss of ecosystem services and biodiversity, which are essential for livelihoods, economy and population wellbeing, will be even greater (BRONDÍZIO et al., 2016; LAPOLA et al., 2018).

Furthermore, it is expected that social costs associated with climate change projected in a scenario without adaptation by 2030 are mostly underestimated. For instance, there are no assessments on costs of migration associated with loss of livelihoods associated with climate impacts, but there is evidence that new migration flows will occur in the Amazon by 2030 due to climate extremes. This will bring high social costs, since migrants end up occupying marginal spaces and precarious housing and jobs in bigger cities like Manaus and Boa Vista (LAPOLA et al., 2018). It is also expected that water supply will be compromised in the main rivers of the region at a 2°C warming, thus affecting food and water security in the Region (BETTS et al., 2018).

As pointed out for the Caatinga biome, it would present an expansion of high resilience areas, mainly over the part of the Atlantic Forest in the Northeast and the Cerrado, showing that it presents greater resilience to global temperature increase. However, the increased desertification incidence will cause a profound impact on food production, especially among family farmers, compromising local and regional food market supply.

This is so as 35% of all food production area by family farming is located in the Caatinga biome (EMBRAPA, 2014), and that family farmers are responsible for some 80% of the domestic diversification of food production (Saraiva et al., 2018). Climate change impacts caused by desertification in the region have already been affecting food and water security among rural population (LINDOSO et al., 2014; MESQUITA, BURSZTYN e WITTMAN, 2014), and increasing poverty, potential conflicts and migration, that tend to intensify with the increase in the desertification process associated with climate change.

In the Cerrado and Atlantic Forest biomes, which also present a high level of endemism and are global biodiversity hotspots (Myers et al., 2000), vulnerabilities related to the high reduction of the original vegetation cover, enhanced by a strong degradation pressure that continues on remnants, mainly associated to agricultural practices of commodities, livestock and urbanization, together with the relatively low number of protected areas (CARLOS A. JOLY, MAÍRA C. G. PADGURSCHI e et al., 2018). Moreover, in the case of the Cerrado biome, it is estimated that a reduction in water availability will compromise commodities production, mostly soybeans (Strassburg et al., 2017), and potentially family farming, along with an increase in the incidence of dengue fever (Perez et al herein) and heat waves (LAPOLA et al., 2019).

It is expected that the Atlantic Forest experiences loss of ecosystem services of pollination with a global temperature increase, will compromising food production (GIANNINI et al., 2017). The only non-biome areas that will potentially remain resilient to climate change are currently anthropogenic environments, showing the need to invest in reforestation of native vegetation in areas identified as critical for high resilience. Although a drastic reduction in deforestation in the Atlantic Forest (SOS Mata Atlântica, 2018) has occurred over the recent years, the investments and actions to recover native vegetation and increase fragment connectivity are still incipient in order to ensure ecological processes, biodiversity and the provision of ecosystem services.

In the Pampa, vulnerability to climate extremes is relatively high, and just as in the Atlantic Forest, it is so due to historical deforestation processes, with only 26% left of native vegetation (BUSTAMANTE, METZGER e et al., 2018). The low native vegetation cover, high habitat fragmentation, and less than 3% of protected areas in the Pampa represent a low adaptive capacity in the face of climate change (Bustamante, Metzger e et al., 2018; Jenkins et al., 2015). In addition, agricultural activities have favored the invasion of herbaceous species in the Pampa, and change the cycle of fire and incidence

of the *Aedes aegypti* (Culicidae) mosquito, contributing to the spread of cases of dengue fever, yellow fever, zika and chikungunya fever, which compete with native species, cause damage to agriculture and is a human-disease vector (BUSTAMANTE, METZGER e et al., 2018).

Some gaps have been identified in the scientific field, mainly the strong disparity in the availability of studies that explore evidence of climate-related impacts and future scenarios among biomes. Therefore, it is necessary to advance studies on the observed climate change impacts and projections on ecosystem services and human wellbeing, according to the socio-environmental approach, so that all the Brazilian biomes, cities and coastal zones are represented in science and priority actions on mitigation and adaptation to climate change.

Additionally, studies mapping material and non-material losses associated to climate change, such as changes in human wellbeing, loss of cultural values due to land conflicts and migratory flows that might be enhanced with climate change are crucial to advance adaptive strategies for the reduction of systemic risks for socio-environmental security in the country. Likewise, studies that give priority to explaining ecological and social tipping points for the different biomes in the global warming processes have contributed with knowledge on socio-environmental resilience in tropical areas, which is still a somewhat new field of study.

## 6 CONCLUSION

Climate change, caused by the increase in the global average temperature expected for the next decades within the end of the century, related to an increase in greenhouse gases (GHG), reduces ecosystem resilience in all biomes, incurring loss of biodiversity and ecosystem services and increased exposure and socio-environmental vulnerabilities. At first instance, the Caatinga is the most resilient biome in the face of the global average temperature increase, and the Amazon, Atlantic Forest and the Cerrado are more likely to lose resilience.

Results of resilience loss shown herein, for example, in the Amazon biome, contribute to “moderate” and “extreme” estimates, conditioned to the severity of the forest’s dieback process, which means that at least 30% and 50% of the Amazon forest area would be lost due to climate change, respectively (KRIEGLER et al., 2009), and that deforestation caused by direct human activities would be kept in less than 20% of the forest area (LOVEJOY e NOBRE, 2018). Brazilian scientist Eneas Salati shattered the long held dogma that vegetation is simply the consequence of climate and has no influence on climate whatsoever (1).

For the Caatinga, the aridization process is enhanced (ACOSTA SALVATIERRA et al., 2017) and advances towards other possible areas occupied by the Atlantic Forest, mainly in the coastal region (ZANIN, MACHADO e ALBERNAZ, 2016). In the Atlantic Forest and the Cerrado biomes, large-scale production of agricultural commodities, especially for the foreign market, will experience significant losses (Lapola et al., 2014). These losses, in turn, represent concrete threats to a number of sectors in the economy, namely agriculture and energy generation, as well as to the survival of traditional people and communities.

Therefore, efforts to limit global warming, as well as actions and policies towards adaptation and vulnerability reduction at the local and regional level are paramount to reduce risks to socio-environmental security. There is high confidence that by limiting climate change to ~1.5°C instead of 2°C by 2040 will reduce risks to unique and threatened ecosystems, thus protecting ecosystem services for populations’ livelihoods and providing better opportunities for adaptation to climate change and promotion of sustainable development (B.C. O’ NEILL et al. 2017; BATHIANY et al. 2018; ROY et al. 2018), particularly in biodiverse ecosystems such as the Amazon, Cerrado, Caatinga and Atlantic Forest. Moreover, investment in reforestation and the establishment of protected areas, sustainable development areas, and delimitation of indigenous territories based on the legislation in force, as well as command and control mechanisms, contribute to reduce biome exposure and vulnerabilities to global warming.

The global proposals to implement nature-based solutions, such as ecosystem-based adaptation (EbA) can directly contribute to the mitigation and adaptation to climate change agenda (Seddon et al., 2020) and urgently need to move forward in Brazil (Kasecker et al., 2018). Especially in tropical countries, the ecosystem resilience may and shall be strengthened at the present moment so that they may play their vital role in tackling the climate crisis (Malhi et al., 2020).

## REFERENCES

- ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 6, p. 1223-1232, set. 2006.
- AMBRIZZI, T. et al. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI**: projeções de clima usando três modelos regionais. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Diretoria de Conservação da Biodiversidade – Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade. Subprojeto: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas, v. 3, p. 112, 2007.
- ANADÓN, J. D.; SALA, O. E.; MAESTRE, F. T. Climate change will increase savannas at the expense of forests and treeless vegetation in tropical and subtropical Americas. **Journal of Ecology**, 2014.
- ANJOS, L. J. S.; TOLEDO, P. M. DE. Measuring resilience and assessing vulnerability of terrestrial ecosystems to climate change in South America. **PLOS ONE**, v. 13, n. 3, p. e0194654, 19 mar. 2018.
- BETTS, R. A. et al. Changes in climate extremes, fresh water availability and vulnerability to food insecurity projected at 1.5°C and 2°C global warming with a higher-resolution global climate model. **Phil. Trans. R. Soc. Lond. A**, v. 376, 2018.
- BRONDÍZIO, E. S. et al. **Social and health dimensions of climate change in the Amazon Annals of Human Biology**, 2016. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03014460.2016.1193222>>
- BURKE, M.; HSIANG, S. M.; MIGUEL, E. Global non-linear effect of temperature on economic production. **Nature**, v. 527, n. 7577, 2015.
- CARLETON, T. A.; HSIANG, S. M. Social and economic impacts of climate. **Science**, 2016.
- CHAMBERS, J. C.; ALLEN, C. R.; CUSHMAN, S. A. Operationalizing Ecological Resilience Concepts for Managing Species and Ecosystems at Risk. **Frontiers in Ecology and Evolution**, 2019.
- CHOU, S. C. et al. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, 2014.
- COMER, P. J. et al. Habitat climate change vulnerability index applied to major vegetation types of the western interior United States. **Land**, 2019.
- DINIZ FILHO, J. A. F. et al. Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species turnover under climate change. **Ecography**, v. 32, n. 6, p. 897-906, dez. 2009.
- DONOGHUE, M. J.; EDWARDS, E. J. Biome Shifts and Niche Evolution in Plants. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 45, n. 1, p. 547-572, 2014.
- EMBRAPA. **Agricultura familiar no Brasil**.
- FOLKE, C. et al. **Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management**. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2004.
- GIANNINI, T. C. et al. Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. **PLOS ONE**, v. 12, n. 8, p. e0182274, 9 ago. 2017.
- GUNDERSON, L. H. Ecological Resilience: in theory and application. **Annual Review of Ecology and Systematics**,

v. 31, n. 1, p. 425-439, nov. 2000.

HIROTA, M. et al. Global resilience of tropical forest and savanna to critical transitions. **Science**, 2011.

JOLY, C. A. et al. **1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos, 2018.

KASECKER, T. P. et al. Ecosystem-based adaptation to climate change: defining hotspot municipalities for policy design and implementation in Brazil. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, 2018.

KRIEGLER, E. et al. Imprecise probability assessment of tipping points in the climate system. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 2009.

LAPOLA, D. M. et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 1, p. 27-35, 1 jan. 2014.

\_\_\_\_\_. Limiting the high impacts of Amazon forest dieback with no-regrets science and policy action. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 46, p. 11671-11679, 13 nov. 2018.

\_\_\_\_\_. Heat stress vulnerability and risk at the (super) local scale in six Brazilian capitals. **Climatic Change**, 2019.

LEHMANN, C. E. R. et al. Savanna Vegetation-Fire-Climate Relationships Differ Among Continents. **Science**, v. 343, n. January, p. 548-553, 2014.

LENTON, T. M. Environmental Tipping Points. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 38, n. 1, p. 1-29, 2013.

LENTON, T. M. et al. Tipping elements in the Earth's climate system. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 6, p. 1786-1793, 2008.

LINDOSO, D. P. et al. Integrated assessment of smallholder farming's vulnerability to drought in the Brazilian Semi-arid: a case study in Ceará. **Climatic Change**, v. 127, n. 1, p. 93-105, 8 nov. 2014.

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon Tipping Point. **Science Advances**, 2018.

MALHI, Y. et al. Climate change and ecosystems: threats, opportunities and solutions. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 375, n. 1794, p. 20190104, 16 mar. 2020.

MARENGO, J. A.; SCARANO, F. R. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas. **Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC)**, p. 184, 2016.

MARU, Y. T. et al. A linked vulnerability and resilience framework for adaptation pathways in remote disadvantaged communities. **Global Environmental Change**, v. 28, p. 337-350, 2014.

MESQUITA, P.; BURSZTYN, M.; WITTMAN, H. **Climate variability in semi-arid Brazil: food insecurity, agricultural production and adjustment to perceived changes**. UNDP: International Policy Centre for Inclusive Growth. Disponível em: <<https://pcc.uw.edu/wp-content/uploads/sites/15/2014/10/Sample-One-Page-3.pdf>>. Acesso em: jun. 2017.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 2000.

NIKINMAA, L. et al. Reviewing the Use of Resilience Concepts in Forest Sciences. **Current Forestry Reports**, 2020.

OLIVERAS, I.; MALHI, Y. Many shades of green: the dynamic tropical forest-savanna transitions. **Philosophical Transactions B. Biological Sciences**, 2016.

OLSON, D. M. et al. Terrestrial Ecoregions of the World: a new map of life on earth. **BioScience**, v. 51, n. 11, p. 933, 2001.

OMETTO, J. P. et al. Interações entre Natureza e Sociedade: trajetórias do presente ao futuro. In: **1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. [s.l.: s.n.]. p. 46.

OPPENHEIMER, M. et al. Emergent Risks and Key Vulnerabilities. **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, p. 1039-1099, 2014.

PINHO, P. F. **Watching Brazil but missing the story: an amazonian inferno**. Latin American Studies Association. Special Issue on Environmental Justice and Climate Change in Latin America *Lasaforum*, Fall 2016, v. XLVIII, n. 4, p. 21-25, 2016.

PINHO, P. F.; MARENGO, J. A.; SMITH, M. S. Complex socio-ecological dynamics driven by extreme events in the Amazon. **Regional Environmental Change**, v. 15, n. 4, 2015.

RANGEL, T. F.; LOYOLA, R. D. Labeling ecological niche models. **Natureza y Conservación**, 2012.

REYER, C. P. O. et al. Forest resilience and tipping points at different spatio-temporal scales: approaches and challenges. **Journal of Ecology**, 2015.

SALVATIERRA, L. H. A. et al. Protected areas buffer the Brazilian semi-arid biome from climate change. **Biotropica**, 2017.

SARAIVA, A. et al. Contribuições da Natureza para Qualidade de Vida. In: SEIXAS, C. S. (Ed.). **Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. [s.l.: s.n.].

SCHEFFER, M. et al. Catastrophic shifts in ecosystems. **Nature**, v. 413, 2001.

\_\_\_\_\_. Early-warning signals for critical transitions. **Nature**, v. 461, p. 53, set. 2009.

\_\_\_\_\_. Anticipating Critical Transitions. **Science**, v. 338, n. 6.105, p. 344, p. 348, out. 2012.

SEDDON, N. et al. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. **Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences**, v. 375, n. 1794, p. 20190120, 16 mar. 2020.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Relatório Anual Sosma**. São Paulo: [s.n.].

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, 2017.

THUILLER, W. et al. Biomod – A platform for ensemble forecasting of species distributions. **Ecography**, v. 32, n. 3, p. 369-373, jun. 2009.

ZANIN, M.; MACHADO, N.; ALBERNAZ, A. L. M. Mudanças climáticas e a cobertura vegetal nativa: impactos em um país megadiverso e seus biomas. In: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (Ed.). **Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil**. [s.l.: s.n.]. p. 93-125.



# Projeções de resiliência dos biomas brasileiros e riscos socioambientais às mudanças climáticas

*Projections of climate change resilience of Brazilian biomes  
and socio-environmental risks*

Patrícia F. Pinho<sup>a</sup>

Luciano J. S. Anjos<sup>b</sup>

Saulo Rodrigues-Filho<sup>c</sup>

Diogo V. Santos<sup>d</sup>

Peter M. Toledo<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Estudos Avançados (IEA), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brasil  
End. Eletrônico: pinhopati@gmail.com

<sup>b</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas, PA, Brasil  
End. Eletrônico: ljsanjoss@gmail.com

<sup>c</sup> Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília (CDS/UnB), Brasília, DF, Brasil  
End. Eletrônico: saulofilhocds@gmail.com

<sup>d</sup> Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), Brasília, DF, Brasil  
End. Eletrônico: diogo.santos@mctic.gov.br

<sup>e</sup> Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), Inpe, São José dos Campos, SP, Brasil  
End. Eletrônico: peter.toledo@hotmail.com

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33918

Received: 04/09/2020  
Accepted: 03/11/2020

ARTICLE – DOSSIER

Os dados e os resultados apresentados nesta publicação foram desenvolvidos no âmbito do projeto “Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, por meio dos recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente, aos quais oferecemos nossos agradecimentos.

## RESUMO

As mudanças climáticas são consideradas globalmente um dos principais vetores de transformações socioambientais, sobretudo em biomas, ecossistemas e populações mais vulneráveis. Nesse contexto, o conceito de resiliência tem sido frequentemente empregado, sendo utilizado na ecologia para entender os limiares de transição ecossistêmicos pelo qual florestas e outros habitats conseguem se

estruturar diante das diversas perturbações externas. No entanto, o conceito de resiliência ante os impactos e riscos das mudanças climáticas pelas lentes de riscos socioambientais no Brasil ainda é pouco desenvolvido, sobretudo na escala de biomas. Neste artigo, utilizamos a teoria das transições críticas à modelagem de distribuição de nicho ecológico em cenários futuros de aquecimento global até o final do século, a fim de evidenciar a alteração da resiliência ecológica dos biomas da Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pampa, e de que forma as alterações na resiliência podem levar a um aumento da exposição, vulnerabilidades e riscos à segurança socioambiental. O artigo mostra como a abordagem interdisciplinar na modelagem de resiliência dos biomas pode ser um instrumento auxiliar para tomada de decisões no âmbito das políticas públicas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas e redução de riscos à segurança socioambiental.

**Palavras-chave:** Biomas. Modelagem. Resiliência. Serviços Ecosistêmicos. Mudanças Climáticas. Segurança Socioambiental.

## ABSTRACT

*Climate Change is amongst the major drivers of socio-ecological transformation on vulnerable biomes and populations in the developing countries. The concept of resilience has been widely debated in the context of climate change and used in ecology to understand the ecosystem thresholds by which forests and other habitats restructure in the face of various external disturbances. However, the concept of resilience in the context of the impacts and risks of climate change through the lens of the socio-ecological security in Brazil is still less advanced, especially at the scales of biomes. In this article, we use a conceptual approach that combines the theory of critical transitions with the modeling of ecological distribution in future scenarios of gradual increase in global temperature by the end of the century for the Amazon, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica and Pampa's biomes. We show how changes in the ecological resilience of these biomes may cascade into possible higher exposure vulnerabilities and risks to socioecological security. The article offers the possibility of using biome resilience modeling as a supporting tool for decision making for climate change public policies, as mitigation and adaptive strategies, as reforestation and the establishment of priority areas for conservation in the country.*

**Keywords:** Biomes. Modeling. Resilience. Ecosystem Services. Climate Change. Social and Environmental Security.

## 1 INTRODUÇÃO

Para todo o Brasil, as análises de modelagem climática (utilizando o cenário-base 1970 até 2050) dos efeitos cumulativos de vetores climáticos e não climáticos na perda de espécies revelam que as forçantes de Mudanças do Uso da Terra (MUT) têm um papel histórico preponderante nas alterações dos biomas Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica e para os ambientes marinhos (JOLY et al., 2018). Contudo, a partir de 1970, as mudanças climáticas passam a ter participação crescente na perda de biodiversidade, oferecendo em 2050 riscos significativos ao provimento de serviços ecossistêmicos (OMETTO et al., 2018).

As projeções de mudanças climáticas para o Brasil apontam para impactos significativos na alteração do regime de precipitação extrema na forma de enchentes e inundações; forte aumento nos extremos de calor e maiores probabilidades de ondas de calor, sobretudo em meio urbano; maiores riscos de secas e aumento da aridez (AMBRIZZI et al., 2007; MARENGO; SCARANO, 2016). Ainda crítico se faz o fato de que tais impactos climáticos sobrepostos aos processos oriundos das mudanças do uso da terra nos ecossistemas acontecem de forma não linear, heterogênea no tempo e no espaço e são ainda pouco elucidados, tal como o debate sobre os pontos de inflexão ou “*tipping points*” nos biomas (LENTON, 2013; LENTON et al., 2008).

Nesse contexto, é importante reconhecer os limiares de temperatura, precipitação e umidade pelos quais os ecossistemas (oceanos e de florestas) incorrerão em pontos de inflexões para poder antever

e gerenciar riscos emergentes (OPPENHEIMER et al., 2014). As evidências científicas recentes sugerem que as condições climáticas atuais e projeções de alterações futuras impõem ônus ambientais, econômicos e sociais substanciais aos países tropicais do Sul Global, tal como o Brasil, que sofreram impactos econômicos e riscos de forma não linear e heterogênea (BURKE; HSIANG; MIGUEL, 2015). Contudo, as perdas econômicas e custos socioambientais poderiam ser minimizados, em teoria, por meio da implementação de estratégias de adaptação (CARLETON; HSIANG, 2016).

Por essa perspectiva, este artigo visa contribuir com análises de resiliência socioambiental de forma integrada na escala dos biomas da Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica e Pampa considerando as suas maiores vulnerabilidades às mudanças climáticas. O estudo busca contribuir para a redução de riscos em diferentes setores da economia, e bem-estar humano e saúde das populações, sobretudo as mais vulneráveis. Para esse fim, os resultados aqui apresentados possibilitam o apoio técnico a decisões sobre políticas de desenvolvimento socioeconômico, de planejamento urbano e áreas prioritárias para conservação na agenda de mitigação (e.g. reflorestamento) e de adaptação aos riscos oriundos da crise climática.

## 2 ABORDAGEM METODOLÓGICA INTEGRADA

Para compor as análises de alterações dos biomas terrestres diante das mudanças climáticas e seus desdobramentos para o que aqui definimos como segurança socioambiental<sup>1</sup>, três etapas distintas foram desenvolvidas. Primeiramente, avaliou-se a resiliência atual e futura dos biomas (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pampas) por meio da modelagem de distribuição de nicho climático. Posteriormente, os resultados das análises de resiliência foram avaliados sob a ótica da forçante de MUT específicas para cada um dos biomas, com exceção do Pantanal<sup>2</sup>. A partir da triangulação dos dados, apresentamos uma discussão mais ampla sobre os possíveis riscos socioambientais às mudanças climáticas nos principais biomas do País.

As análises de resiliência dos ecossistemas por biomas foram realizadas por meio da distribuição do nicho climático, considerando variáveis de temperatura e precipitação para o período atual (1960-1990) e cenários de mudanças climáticas futuros representando diferentes níveis de aquecimento médio global (1,5°C, 2°C e 4°C, respectivamente), para RCP 8.5. Consideraram-se análises qualitativas e quantitativas de MUT no presente e projeções futuras (quando disponíveis) nos biomas por meio de taxas de desmatamento, dependência e fragilidade de povos indígenas, comunidades tradicionais e agricultura familiar, a expansão da agropecuária e “*commodities*”, urbanização e consumo, que têm um papel central na alteração dos ecossistemas e habitats, e sinergicamente interagem com as MC. Na próxima seção abordaremos a premissa conceitual do estado da arte de resiliência ecológica e modelagem de distribuição.

## 3 PREMISSA CONCEITUAL DO ESTADO DA ARTE EM RESILIÊNCIA ECOLÓGICA E MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO

A clássica definição de resiliência de Holling (1973), até hoje amplamente utilizada, assevera que resiliência ecológica corresponde à magnitude de distúrbios que um sistema pode tolerar antes de mudar para um estado estável diferente. Tal conceito sugere que há limites ecofisiológicos de tolerância que garantem o adequado funcionamento dos ecossistemas naturais (aqui biomas) ao longo de um gradiente ambiental (e.g. temperatura e precipitação). Teoricamente, mudanças gradativas das condições ambientais podem fazer com que um ecossistema perca resiliência, reduzindo sua capacidade de auto-organização após um distúrbio e, conseqüentemente, comprometendo sua estrutura e

1 | Aqui, segurança socioambiental é definida como a forma que a vida humana e respectivos modos de vida dentro do meio ambiente sejam assegurados, seja na provisão de água, energia, alimento, bens materiais e atributos culturais (Adotado para a Quarta Comunicação Nacional do Brasil para a UNFCCC, 2019).

2 | Para o Pantanal, não foram realizadas análises de modelagem e, portanto, não foi contemplado no artigo.

funcionamento (SCHEFFER et al., 2009). A teoria da estabilidade ecológica e transições críticas prevê que se um determinado limiar ambiental (e.g. climático) for excedido, poderá desencadear um evento de transição crítica, o qual conduziria tal ecossistema com baixa resiliência a um estado alternativo de estabilidade (FOLKE et al., 2004; GUNDERSON, 2000; SCHEFFER et al., 2001). Em outras palavras, ocorreria a transformação de um ecossistema em outro, com uma reconfiguração dos ambientes sobre o espaço geográfico. No contexto atual, de mudanças climáticas em curso, podemos esperar que tais alterações atuem como um vetor proeminente de ameaça aos ecossistemas em função da promoção da perda de resiliência dos ecossistemas naturais (ANADÓN; SALA; MAESTRE, 2014).

Para tratar, a partir dessa lógica de narrativa, as análises de alterações dos ecossistemas e seus desdobramentos para a segurança socioambiental por biomas no Brasil, este trabalho buscou avaliar primeiramente a resiliência atual e futura dos ecossistemas nos biomas (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pampas) usando o conceito e modelagem de distribuição do “nicho climático” e concomitantemente analisar a cadeia de impactos associada às forçantes de Mudanças no Uso da Terra (MUT).

As análises de resiliência dos ecossistemas por bioma serão apresentadas para os cenários de mudanças climáticas atual e futuros, representados por diferentes níveis de aquecimento global (1,5°C, 2°C e 4°C para RCP 8.5), e refletindo horizontes temporais centrados em 2025, 2045 e 2085, baseados em dados observados no presente e passado. Dado que as Mudanças do Uso da Terra (MUT) têm um papel central na alteração dos ecossistemas e *habitats*, e exposição destes aos impactos das Mudanças Climáticas (MC), proporcionando um processo sinérgico de retroalimentação positivo de degradação ambiental e riscos socioambientais, uma avaliação qualitativa e quantitativa de tais alterações atuais e futuras nos biomas é feita. Como resultado, a integração de análises de nicho climático presente e futura com as avaliações da atual e tendência de MUT irá inferir sobre a potencial resiliência socioambiental no contexto das mudanças climáticas para o País.

### 3.1 MODELANDO A RESILIÊNCIA DOS BIOMAS TERRESTRES DO BRASIL

Com o intuito de estimar a resiliência dos biomas terrestres do Brasil, foi tomado como premissa que cada tipo de vegetação está adaptado a uma determinada faixa de condições de temperatura e precipitação atuais, ou seja, a vegetação está em equilíbrio com o clima. Se, no futuro, um bioma for exposto a condições climáticas diferentes, às quais não está adaptado, sua resiliência poderia diminuir até alcançar um ponto em que ocorreria a transição para um outro patamar de estabilidade, resultando em um padrão de vegetação dominante distinto do atual. Assim, os modelos computacionais adotados foram projetados a fim de verificar qual seria a provável resposta da vegetação dos biomas se estes estivessem submetidos a condições de temperatura e precipitação diferentes das atuais.

Mensurar de forma objetiva a resiliência ecológica não é uma tarefa trivial (NIKINMAA et al., 2020), sobretudo em largas escalas espaciais (REYER et al., 2015). Com o advento de recursos computacionais com alto poder de processamento e a grande disponibilidade de massivas quantidades de dados, várias abordagens têm sido propostas no sentido de ocupar essa lacuna. Por exemplo, Hirota et al. (2011) utilizaram uma regressão logística para mensurar o efeito da precipitação sobre os estados estáveis de floresta e savana para a América do Sul.

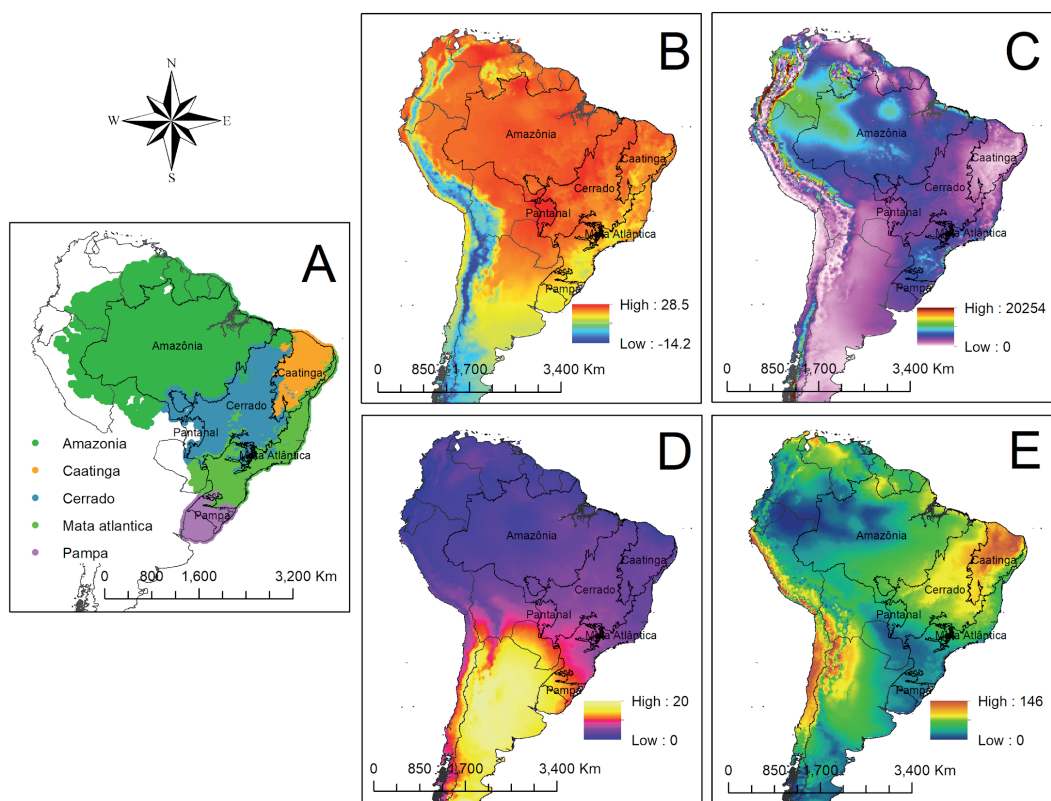
Com outra abordagem, Comer et al. (2019) criaram um índice para avaliar a vulnerabilidade de *habitats* à mudança climática modelando resiliência a partir da inclusão de fatores, como paisagens intactas, espécies invasoras, alteração do regime de fogo, insetos florestais e risco de doenças. Em uma revisão recente, Chambers, Allen e Cushman (2019) buscam operacionalizar o conceito de resiliência a partir de uma estrutura conceitual espacialmente explícita. A abordagem adotada aqui difere das anteriores devido ao fato desta incorporar o conceito de resiliência ecológica, no âmbito da teoria das transições críticas, à modelagem de nicho ecológico (ANJOS; TOLEDO, 2018).

Neste estudo, para analisar a potencial resposta dos biomas terrestres brasileiros ante as mudanças climáticas, assumimos a premissa de que cada bioma representa um estado estável dentro de um sistema de multiestabilidade de ecossistemas em uma larga escala (SCHEFFER et al., 2012). Essa premissa possui um forte suporte empírico, visto que cada bioma apresenta uma resposta fenotípica e adaptativa peculiar das espécies às condições climáticas predominantes de uma região, modulada e consolidada ao longo de sua história ecológica evolutiva (DONOGHUE; EDWARDS, 2014). Com o objetivo de aumentar a acurácia espacial na determinação e classificação dos biomas, utilizamos os polígonos de ecorregiões, definidas por (OLSON et al., 2001). Além disso, a fim de contornar o viés causado pela subamostragem por conta de fronteiras geopolíticas, consideramos toda a amplitude de resposta climática dos biomas na América do Sul.

Após essa definição, os polígonos de cada bioma foram convertidos para um dado binário de presença-ausência, sob o formato vetorial de pontos com resolução espacial de 0.20° (~24 km). Para cada ocorrência de presença ou ausência foi atribuída uma assinatura georreferenciada com longitude e latitude, cobrindo toda a amplitude ocupada pelos biomas na América do Sul. Tais informações de presença-ausência foram usadas então como “inputs” no procedimento de construção dos modelos correlativos de distribuição baseados no nicho ecológico. Ao todo, foram incluídos nas análises 21.441 pontos como unidades amostrais, cobrindo parte da América do Sul (Figura 1A). Quando determinado bioma era modelado, levava-se em conta o dado de presença original, e todos os outros pontos da nuvem de amostras eram considerados como ausências daquele respectivo bioma.

Para modelar e prever a relação dos biomas terrestres com o clima dominante, utilizamos quatro preditores climáticos críticos para os ecossistemas terrestres (LEHMANN et al., 2014; OLIVERAS; MALHI, 2016). Essas variáveis foram selecionadas a partir de dois eixos ecoclimáticos de variabilidade, conforme (ANJOS; TOLEDO, 2018): (1) disponibilidade de umidade – precipitação acumulada anual (Figura 1C) e sazonalidade da precipitação (Figura 1E) e; (2) disponibilidade energética – temperatura média anual (Figura 1B) e amplitude anual de temperatura (Figura 1D). Tais variáveis foram obtidas a partir do Modelo Regional ETA, sob as condições de contorno do modelo global HadGEM2 ES (Eta-HadGEM2 ES), desenvolvido pelo Inpe (CHOU et al., 2014) com resolução espacial de 0.20° (24 km) abrangendo toda a América do Sul. As projeções climáticas para o futuro compreendem três períodos associados em níveis de aquecimento médio global para o RCP 8.5 do IPCC: 1.5°C (2011-2040); 2°C (2040-2070) e 4°C (2070-2099).





**Figura 1 |** Em A são apresentadas as ocorrências para cada bioma levando em conta sua distribuição original. Os preditores climáticos utilizados na modelagem são apresentados em B – temperatura média anual; C – precipitação acumulada anual; D – amplitude anual de temperatura; E – sazonalidade da precipitação.

Fonte: *Elaboração própria.*

Para modelar a resiliência dos estados estáveis dos biomas terrestres, utilizamos o pacote *biomod2* (THUILLER et al., 2009) implementado na linguagem R (R CORE TEAM, 2020). Os modelos de distribuição foram calibrados utilizando os dados de presença-ausência de cada estado estável do bioma combinado aos preditores climáticos selecionados. Os modelos foram rodados utilizando nove métodos diferentes disponíveis na plataforma *biomod2*: *Bioclim* (SRE); *Classification Tree Analysis* (CTA); *Random Forest* (RF); *Generalized Linear Models* (GLM); *Generalized Additive Models* (GAM); *Generalized Boosted Models* (GBM); *Function Discriminant Analysis* (FDA); *Artificial Neural Networks* (ANN) e *Multiple Additive Regression Splines* (Mars). Para cada método, foram rodadas 10 réplicas com partição de 75% para treino e 25% para teste. A avaliação da acurácia dos modelos de cada método foi realizada com as métricas *True Skill Statistics* (TSS) e *Receiver Operating Characteristic* (ROC).

Cada método apresenta distintos pressupostos biológicos, matemáticos e/ou estatísticos, podendo produzir diferentes resultados a partir de um mesmo conjunto de dados de entrada. De acordo com Rangel e Loyola (2012), levando em conta tais características de cada método de modelagem, estes podem ser agrupados como “aquários” (*Bioclim*), “turbinas” (GLM, GAM, MARS e FDA) ou “cofres” (CTA, RF, GBM e ANN). Nesse sentido, optamos pela criação de um modelo consensual entre os diferentes métodos a fim de minimizar os efeitos de incertezas associados a cada método de modelagem. Para isso, os melhores modelos de cada método para compor o “ensemble” foram selecionados utilizando a métrica TSS que mede a qualidade combinando sensibilidade e especificidade dos modelos (ALLOUCHE; TSOAR; KADMON, 2006).

Para efeito de limiar, foram considerados acurados aqueles modelos com valores de TSS maior ou igual a 0.6. O modelo de distribuição consensual foi obtido por meio da média aritmética entre os melhores

modelos dos diferentes métodos (DINIZ FILHO et al., 2009). Construímos um modelo de distribuição consensual para cada bioma a partir da seleção dos modelos que alcançaram um valor de TSS  $\geq 0.6$ .

#### 4 RESULTADOS DA MODELAGEM DE RESILIÊNCIA DOS BIOMAS

A Figura 2 retrata o resultado da modelagem de distribuição dos biomas para o clima atual, que de forma explícita evidencia que há pouca sobreposição de ocupação do espaço climático (temperatura e precipitação) entre os biomas no Brasil. O padrão que se observa é que cada bioma ocupa uma determinada faixa do gradiente ambiental climático e, dentro desse contexto, todos apresentam relativa alta resiliência, e com resiliência baixa e ou intermediária em suas faixas de transição.

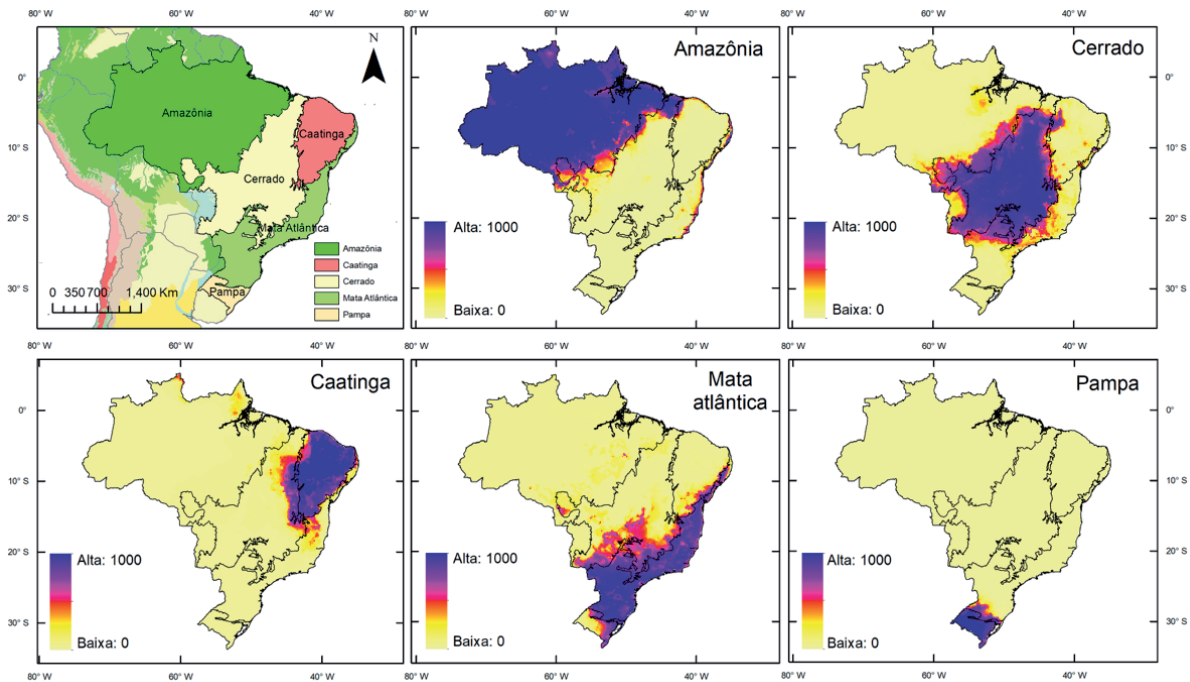
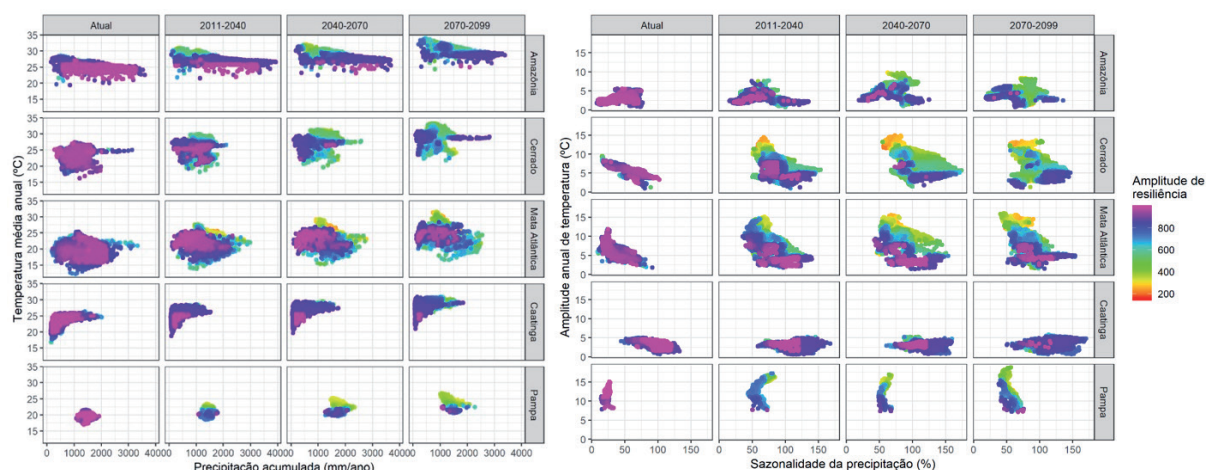


Figura 2 | Resiliência (baixa: 0 até alta: 1000) atual dos biomas para a dinâmica ecoclimática.

Fonte: Elaboração própria

A variável resiliência representa o grau de dominância de um certo bioma dentro de seus limites biogeográficos originais. Altos valores dessa variável indicam que um bioma possui uma forte predominância em comparação a outros biomas, ou seja, ele apresenta uma maior resiliência ecoclimática. Por outro lado, baixos valores apontam para uma menor resiliência e uma maior suscetibilidade a eventos de transição para outros estados estáveis dos ecossistemas.

Nesse sentido, quando a amplitude de resiliência é avaliada em um plano climático bidimensional, sob diferentes cenários climáticos (colunas), é possível detectar mudanças no nível de dominância do bioma a partir do deslocamento para condições climáticas não análogas ao presente (Figura 3). Por exemplo, nesta figura, observa-se o bioma amazônico mais vulnerável à transição crítica em cenários futuros por conta do aumento da temperatura média (eixo y) e redução da precipitação acumulada anual (eixo x) sob seus domínios biogeográficos. Da mesma forma, no mesmo bioma, observa-se que pequenas mudanças na sazonalidade da temperatura (eixo y) e precipitação (eixo x) provocaram fortes alterações na amplitude de resiliência, sugerindo uma maior vulnerabilidade a eventos de transição crítica em função das mudanças climáticas projetadas.



**Figura 3 |** Amplitude de resiliência atual e futura dos biomas relativa ao grau de aquecimento de 1,5°C, 2°C e 4°C no espaço bidimensional da modelagem de nicho climático. O conjunto das variáveis utilizadas foram de temperatura média anual (°C) e precipitação acumulada (mm/ano), e de amplitude anual de temperatura (°C) e sazonalidade da precipitação (%).

Fonte: Elaboração própria.

## AMAZÔNIA

A amplitude de resiliência no espaço ecoclimático “atual” ocupado pela Amazônia (níveis altos de precipitação e temperatura) denota alta capacidade adaptativa da floresta e está representada na Figura 3. Esta mostra que o limiar de alteração da amplitude de resiliência é sensível à diminuição da precipitação anual a partir de 1.500 mm/ano. As projeções mostram uma alteração significativa na amplitude de resiliência e evidenciam sua perda na maior parte do bioma da Amazônia, a partir do nível de aquecimento de 1,5°C, se concentrando em alta resiliência apenas na parte oeste do bioma, mas com retração significativa da amplitude em níveis de aquecimento mais elevados.

Dessa forma, as tendências de diminuição de precipitação e umidade afetam a resiliência da floresta. Tal cenário já tem sido documentado para o bioma (ZANIN; MACHADO; ALBERNAZ, 2016) resultando em aumento da mortalidade de árvores, redução da biomassa florestal e incremento na incidência de episódios de incêndio, culminando com a perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos (ANJOS; TOLEDO, 2018; OMETTO et al., 2014).

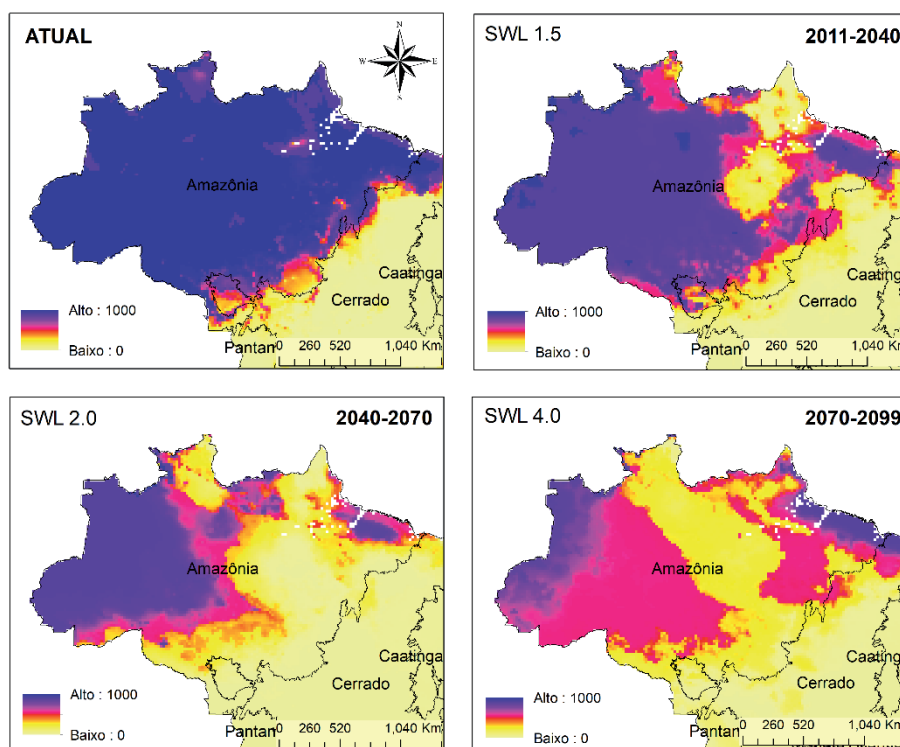


Figura 4 | Projeção das alterações da resiliência para a Amazônia (baixa: 0 até alta: 1000) em 1,5°C, 2°C e 4°C.

Fonte: Elaboração própria.

## CAATINGA

Para a Caatinga, a faixa de alta resiliência é bastante estreita no período atual, sendo dessa forma um bioma de baixa resiliência às variáveis ecoclimáticas (temperatura e precipitação), como é demonstrado na Figura 5. As projeções futuras mostram um outro estado estável, mais característico de deserto, com altas temperaturas e níveis críticos de precipitação, sem biomassa. Tais fatores indicam uma tendência maior ao processo de aridização, que, em conjunto com a degradação ambiental, leva a uma expansão das áreas de desertificação com a diluição da amplitude da resiliência da Caatinga.

As projeções indicam que, a partir do aumento do nível de aquecimento para 1.5°C, ocorre uma expansão do bioma para as zonas costeiras, Sul e Centro-Oeste do País, com resiliência alta. A partir do nível de aquecimento relativo a 2°C, mais expansão ocorre, sobrepondo o bioma da Mata Atlântica e avançando para o Cerrado. Para o nível de aquecimento de 4°C, o bioma fica com uma faixa de resiliência alta em áreas antes ocupadas pelo bioma da Mata Atlântica, e expansão para o Centro-Oeste ocupando o bioma do Cerrado. Os resultados dessa modelagem para o bioma da Caatinga também já foram descritos por Zanin, Machado e Albernaz (2016), mostrando compatibilidade dos resultados para o bioma.

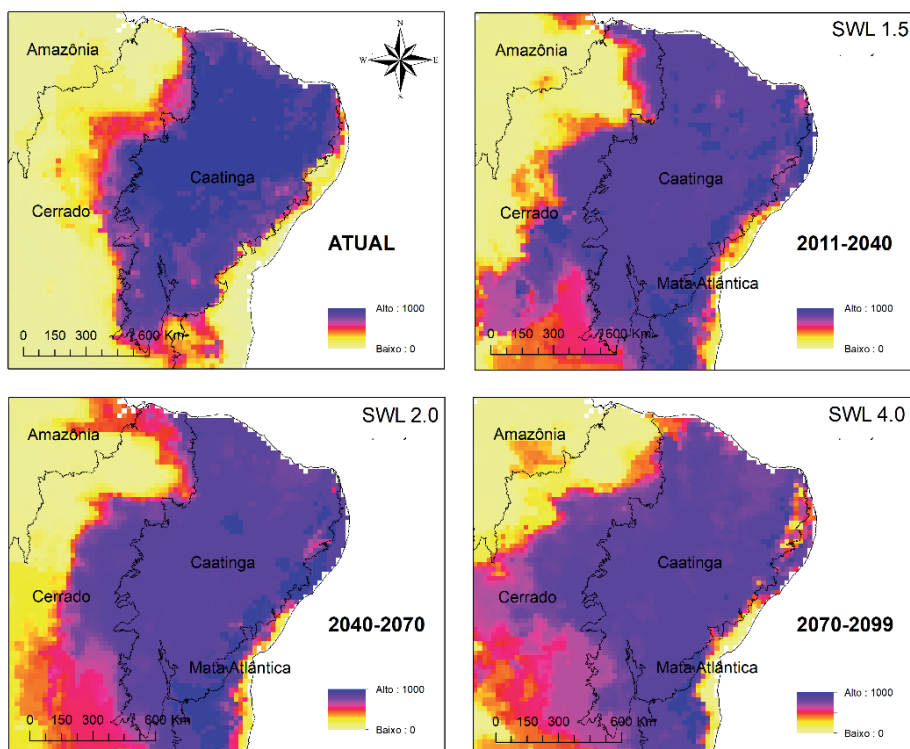


Figura 5 | Projeção das alterações da resiliência da Caatinga (baixa: 0 até alta: 1000) em 1,5°C, 2°C e 4°C.

Fonte: Elaboração própria.

## CERRADO

Para o Cerrado, a faixa de amplitude de resiliência é alta, maior do que para a Amazônia, apresentando relativa baixa resiliência em relação ao aumento das precipitações (~2,500 mm/ano) e uma maior tolerância ao gradiente de altas temperaturas no período atual, conforme é demonstrado na Figura 6. O bioma também apresenta nível intermediário de biomassa, dentro de transição do aumento e ou perda de resiliência. As projeções baseadas no período atual mostram que a partir de um nível de aquecimento relativo a 1.5°C, o Cerrado se expande em áreas antes ocupadas pelo bioma da Amazônia, e áreas ocupadas pela Mata Atlântica e região costeira. Para projeções de nível de aquecimento equivalente a 2°C, o bioma avança significativamente para ocupar grande parte da Amazônia e da Mata Atlântica. Para o nível de aquecimento de 4°C, os resultados dos modelos indicam uma diminuição da resiliência na região que é atualmente ocupada pelo bioma da Amazônia. Nesse mesmo cenário, a região costeira (Mata Atlântica) é ocupada pelo Cerrado, com resiliência intermediária.



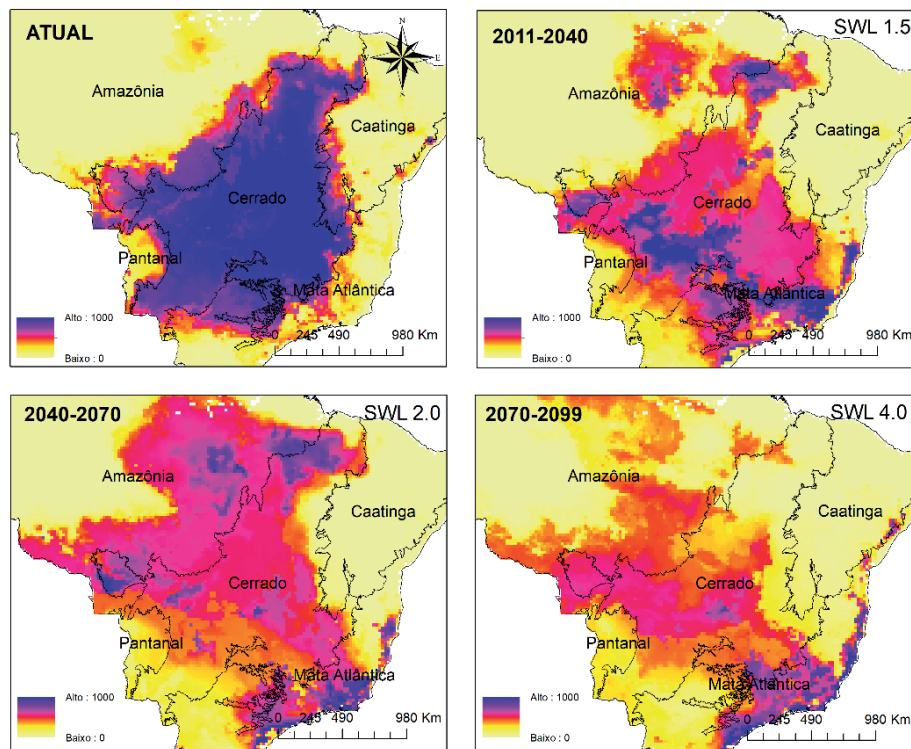


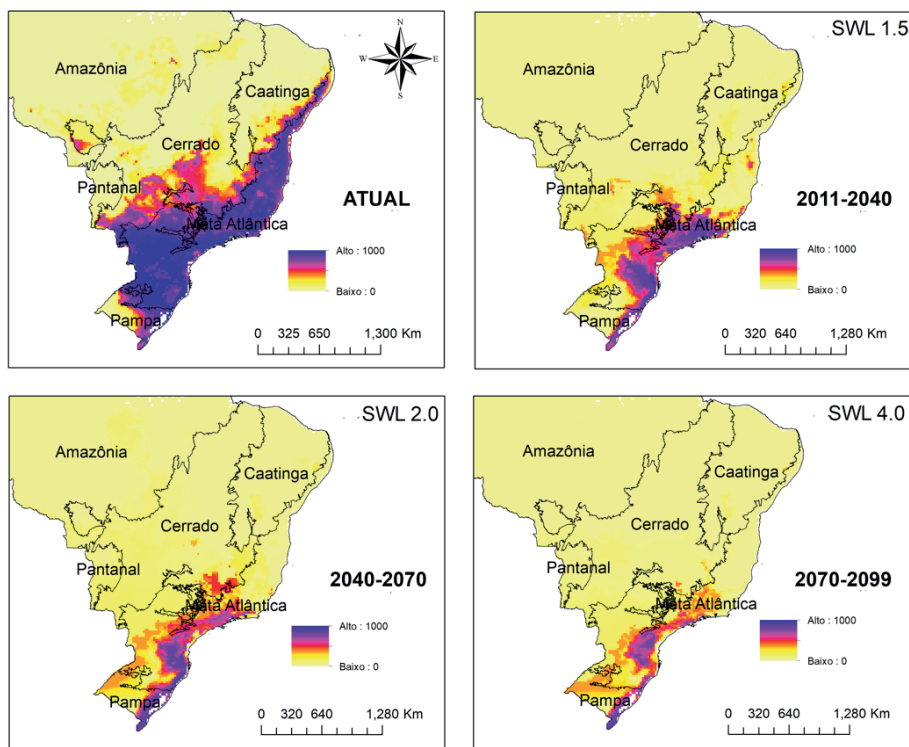
Figura 6 | Projeção das alterações da resiliência do Cerrado (baixa: 0 até alta: 1000) em 1,5°C, 2°C e 4°C.

Fonte: Elaboração própria.

Nessa perspectiva, a savana possui menor sensibilidade ao estresse climático e boa capacidade adaptativa se comparada com os biomas de floresta, como a Amazônia e a Mata Atlântica. O Cerrado também possui uma resistência relativa e adaptabilidade aos episódios de fogo, os quais são agentes naturais da ecologia do Cerrado, sendo vetores de grande risco para o bioma da Amazônia. Da mesma maneira, os resultados de avaliação da resiliência para o bioma do Cerrado também já foram descritos por Zanin, Machado e Albernaz (2016), e mostram compatibilidade dos resultados encontrados para o bioma.

### MATA ATLÂNTICA

Para a Mata Atlântica, o padrão de divisão é bastante forte, com faixa de alta resiliência relativamente estreita, sendo que a amplitude de temperatura é alta (12°C até 26°C), mas com uma faixa mais restrita aos extremos de precipitação (~1,200 e 2,000 mm/ano), o que sugere um limiar crítico (~1,200 e 2,000 mm/ano) para a Mata Atlântica de transição para um outro bioma, como o Cerrado, conforme é demonstrado na Figura 7. Para o nível de aquecimento de 1.5°C, uma retração da ocupação do bioma acontece, com perda significativa de resiliência, ou seja, resiliência baixa na maior parte ocupada pelo bioma e resiliência intermediária e alta concentrada no litoral. Com nível de aquecimento relativo a ~2°C, a alta resiliência ocorre apenas em pequenas manchas da região costeira, de forma semelhante ao cenário de 4°C de nível de aquecimento, no qual a maior parte do bioma apresenta baixa resiliência.



**Figura 7** | Projeção das alterações da resiliência da Mata Atlântica (baixa: 0 até alta: 1000) em 1,5°C, 2°C e 4°C.

*Fonte: Elaboração própria.*

### PAMPA

Para o Pampa, os limiares de variação na temperatura são os mais baixos (18°C – 22°C) com faixa relativamente estreita de precipitações (1,100 mm a 2,000 mm) para alta resiliência, como é demonstrado na Figura 8. O bioma Pampa perde a alta resiliência em todos os níveis de aquecimento, se concentrando em apenas uma faixa bem pequena no extremo sul do País ao final do século. Também ocorre uma expansão desse bioma para outras áreas ocupadas pelo Cerrado em todos os níveis de aquecimento, mas com baixa resiliência. Conforme os resultados da modelagem indicam, existe uma tendência de aumento das vulnerabilidades de tal bioma às mudanças climáticas, tendo em vista as projeções de aumento de temperatura e de eventos extremos de precipitação, que afetarão a capacidade adaptativa e a resiliência do Pampa.

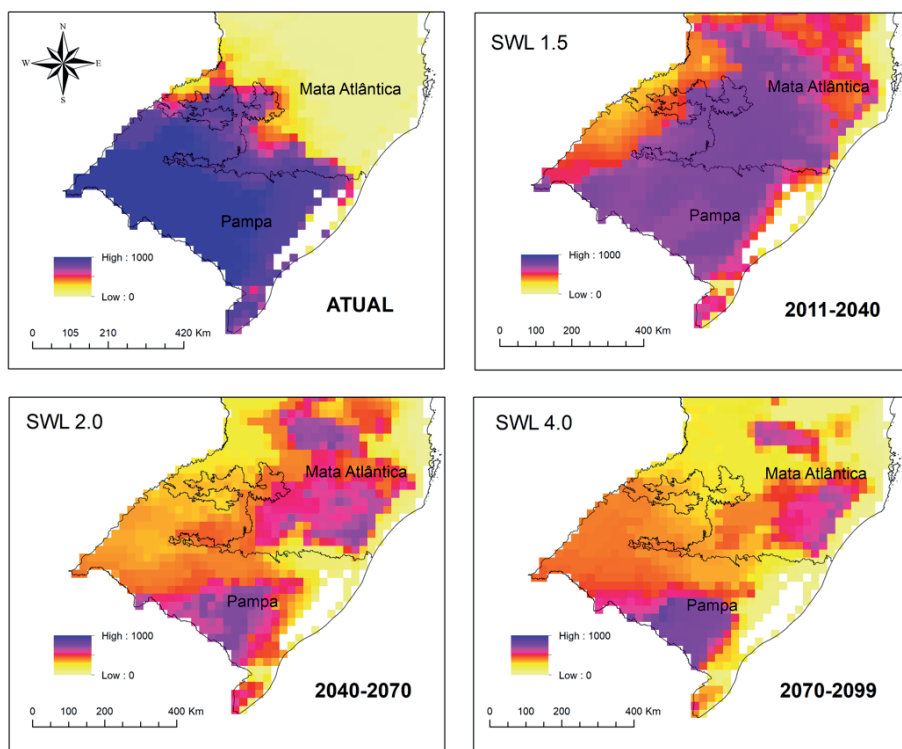


Figura 8 | Projeção das alterações da resiliência do Pampa (baixa: 0 até alta: 1000) em 1,5°C, 2°C e 4°C.

Fonte: Elaboração própria.

## 5 RISCOS SOCIOAMBIENTAIS POR BIOMA

Para todos os biomas, a modelagem de resiliência mostra que a perda de biodiversidade é esperada, comprometendo assim a funcionalidade dos ecossistemas, bem como a provisão de serviços destes para a sociedade.

Dado que a modelagem de resiliência dos ecossistemas aqui apresentada não inclui as forçantes não climáticas, especificamente ligadas às mudanças no uso da terra, nesta seção apontamos de forma quali-quantitativa tais forçantes, que, sobrepostas à modelagem de resiliência por biomas, apontam as principais vulnerabilidades e riscos socioambientais.

Como riscos socioambientais inferidos, apresentamos para cada bioma a exposição atual e associada aos principais vetores de mudanças no uso da terra, as vulnerabilidades e os potenciais e projetados impactos futuros para o bioma até 2100, associados às mudanças climáticas com a perda de resiliência conforme evidenciado na modelagem de nicho ecológico. Embora existam múltiplos vetores de mudança de uso da terra, bem como vulnerabilidades às mudanças climáticas que não estão contempladas nesta análise, aqui tratamos apenas de selecionar alguns exemplos para cada bioma mais evidentes e disponíveis na literatura na última década.

A Amazônia perderá sua capacidade de sumidouro de carbono, um serviço ecossistêmico de regulação climática de importância global (LAPOLA et al. 2018; O'NEILL et al. 2017). As forçantes de desmatamento atuais que têm se intensificado, em conjunto com o aumento de queimadas e urbanização acelerada e precária, atuam em expor a população e ecossistemas a extremos climáticos. Tais efeitos das mudanças climáticas e de uso da terra, levam a um aumento da mortalidade de árvores, redução da biomassa e na incidência de episódios de incêndio, perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos (ANJOS; TOLEDO, 2018; OMETTO et al., 2018).

Dada a atual ligação da biodiversidade com o modo de vida, os povos indígenas e populações tradicionais já são altamente vulneráveis aos extremos climáticos na região (BRONDÍZIO et al., 2016; PINHO, 2016; PINHO, MARENGO; SMITH, 2015). A população, tanto rural como urbana, apresenta baixa capacidade de enfrentamento aos impactos de extremos climáticos associada a fatores de pobreza, marginalização e ausência da presença do Estado (MARU et al., 2014). Caso ações urgentes de adaptação não se concretizem, a perda dos serviços ecossistêmicos e de biodiversidade, essenciais para o modo de vida, economia e bem-estar da maioria da população na região, e globalmente, será ainda maior (BRONDÍZIO et al., 2016; LAPOLA et al., 2018).

Da mesma forma, é esperado que os custos sociais associados às mudanças climáticas projetadas em um cenário sem adaptação até 2030 são em sua maioria ainda pouco estimados. Por exemplo, não existem avaliações sobre os custos das migrações associadas aos impactos climáticos, mas existem evidências de que ocorrerão novos fluxos migratórios em decorrência dos extremos climáticos na Amazônia até 2030, com altos custos sociais, uma vez que migrantes terminam por ocupar espaços marginais e empregos precários nas grandes cidades, como Manaus e Boa Vista (LAPOLA et al., 2018). Espera-se que haja também um comprometimento na oferta hídrica dos principais rios da região a partir do aquecimento global de 2°C afetando as seguranças alimentar e hídrica (BETTS et al., 2018).

Como apontado para o bioma da Caatinga, apresentaria uma expansão das áreas com alta resiliência, principalmente sobre a Mata Atlântica nordestina e o Cerrado, mostrando, assim, que o bioma apresenta maior resiliência ao aumento da temperatura global. No entanto, o aumento da incidência de desertificação, levará a um impacto profundo na produção de alimentos, sobretudo de produtores rurais familiares, comprometendo o abastecimento do mercado local e regional de alimentos, tendo em vista que 35% de toda a área de produção de alimentos pela agricultura familiar está localizada no bioma da Caatinga (EMBRAPA, 2014), além de ser responsável por cerca de 80% da produção de alimentos nacionalmente (SARAIVA et al., 2018). Os impactos das mudanças climáticas mediante o processo de desertificação na região já estão afetando as seguranças alimentar e hídrica (LINDOSO et al., 2014; MESQUITA; BURSZTYN; WITTMAN, 2014), aumentando a incidência de pobreza, potenciais conflitos e migração, que tendem a se acirrar com o aumento do processo de desertificação associado à mudança climática.

Nos biomas do Cerrado e Mata Atlântica, que também apresentam alto grau de endemismo e configuram “hotspots” mundiais de biodiversidade (MYERS et al., 2000), salientam-se as vulnerabilidades relacionadas à alta redução da cobertura vegetal original, agravada pela forte pressão de degradação que permanece sobre os remanescentes, principalmente associada a práticas agrícolas de “commodities”, pecuária e urbanização, em conjunto com o relativo baixo número de áreas protegidas (JOLY et al., 2018). Em adição, no caso do Cerrado, estima-se que a redução da disponibilidade hídrica irá comprometer a produção de “commodities”, sobretudo soja (STRASSBURG et al., 2017) e potencialmente a agricultura familiar, e levar à incidência de doenças como a dengue e a ondas de calor (LAPOLA et al., 2019).

Espera-se que a Mata Atlântica sofra com a perda de serviços ecossistêmicos de polinização com o aumento da temperatura global, comprometendo a produção de alimentos (GIANNINI et al., 2017). As únicas áreas no bioma que potencialmente permanecerão resilientes à mudança do clima, hoje, são ambientes antrópicos, evidenciando a necessidade de se investir em reflorestamento da vegetação nativa em áreas apontadas como críticas de alta resiliência. Embora tenha havido uma redução dramática do desmatamento na Mata Atlântica (SOS MATA ATLÂNTICA, 2018), ainda são incipientes os investimentos e ações de recuperação da vegetação nativa e aumento de conectividade entre os fragmentos, a fim de assegurar processos ecológicos, biodiversidade e a provisão de serviços ecossistêmicos.

No Pampa, a vulnerabilidade a extremos climáticos no bioma é relativamente alta, como na Mata Atlântica, devido a processos históricos de desmatamento, restando apenas 26% da vegetação nativa (BUSTAMANTE et al., 2018). A baixa cobertura de vegetação nativa, alta fragmentação dos “habitats” e menos do que 3% de áreas protegidas no Pampa representam uma baixa capacidade adaptativa ante

as mudanças climáticas (BUSTAMANTE et al., 2018; JENKINS et al., 2015). Além disso, as atividades agropecuárias têm favorecido a invasão de espécies de herbáceas no Pampa e alteram o ciclo do fogo e a incidência na propagação do *Aedes aegypti* (Culicidae), contribuindo para o alastramento de casos de dengue, febre amarela, zika e chikungunya, que competem com espécies nativas, provocam estragos na agricultura e são vetores de doenças em humanos (BUSTAMANTE et al., 2018).

Algumas lacunas no campo da ciência foram identificadas, principalmente a forte discrepância na disponibilidade de estudos que explorem as evidências dos impactos relacionados ao clima e cenários futuros entre os biomas. É, portanto, necessário avançar em estudos sobre os impactos observados e projeções das mudanças climáticas nos serviços ecossistêmicos e bem-estar humano, segundo o nexo da segurança socioambiental, para que todos os biomas brasileiros, suas cidades e as zonas costeiras sejam representados na ciência e na prioridade de ações em mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

Da mesma maneira, estudos que mapeiem as perdas e danos materiais e não materiais associados às mudanças climáticas, tal como alterações em bem-estar humano, perda de valores culturais devido a conflitos de uso da terra e fluxos migratórios que possam ser acirrados com as mudanças climáticas, são cruciais para avançar em estratégias adaptativas para a redução de riscos sistêmicos na segurança socioambiental no País. Da mesma forma, estudos que priorizem o entendimento dos limites (“*tipping points*”) ecológicos e sociais para os diferentes biomas no processo de aquecimento global contribuíram para o conhecimento da resiliência socioambiental nos trópicos, uma área ainda incipiente.

## 6 CONCLUSÃO

As mudanças climáticas são decorrentes do aumento da temperatura média global esperado para as próximas décadas até o final do século, que, por sua vez, está relacionado ao aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE), levando à redução da resiliência dos ecossistemas em todos os biomas, incorrendo em perda de biodiversidade e de serviços ecossistêmicos e aumento da exposição e vulnerabilidades socioambientais. A princípio, o bioma da Caatinga é o mais resiliente ao aumento global de temperatura, e a Amazônia, Mata Atlântica e Cerrado os mais susceptíveis e com perda de resiliência.

Os resultados da perda de resiliência aqui demonstrados, tal como para o bioma da Amazônia, colaboram com as estimativas “moderadas” e “extremas”, condicionadas à gravidade do processo de “*dieback da floresta*”, o que significa que pelo menos 30% e 50% da área da floresta amazônica seria perdida por fatores relacionados às mudanças climáticas, respectivamente (KRIEGLER et al., 2009), e que o desmatamento por atividades humanas diretas seria mantido abaixo de 20% da área florestal (LOVEJOY; NOBRE, 2018).

Para a Caatinga, o processo de aridização é potencializado (SALVATIERRA et al., 2017) e avança espacialmente para outras possíveis áreas ocupadas pela Mata Atlântica, sobretudo na região costeira (ZANIN; MACHADO; ALBERNAZ, 2016). Na Mata Atlântica e no Cerrado, a produção em larga escala de “*commodities*” agrícolas, sobretudo para o mercado externo, sofrerá perdas expressivas (LAPOLA et al., 2014). Tais perdas, por sua vez, representam ameaças concretas a uma série de setores da economia, com destaque para a agricultura e a geração de energia, assim como à sobrevivência de povos e comunidades tradicionais.

Dessa forma, esforços para limitar o aquecimento global, bem como ações e políticas de adaptação e redução das vulnerabilidades em escala local e regional, são imprescindíveis para se reduzir os riscos para a segurança socioambiental. Existe uma confiança alta de que limitando o aquecimento global a ~1.5oC, em vez de 2oC, até 2040 reduz os riscos dos ecossistemas únicos e ameaçados, protegendo os serviços ecossistêmicos para os modos de vida da população e proporcionando melhores oportunidades para a adaptação às mudanças climáticas e para a promoção do desenvolvimento sustentável (BATHIANY et al. 2018; O’NEILL et al. 2017; ROY et al., 2018), particularmente em ecossistemas biodiversos,



como Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica. No mais, o investimento em reflorestamentos e o estabelecimento de unidades de conservação e de desenvolvimento sustentável, e demarcação de territórios indígenas, ancorados na legislação vigente e mecanismos de comando e controle, contribuem para a redução das exposições e vulnerabilidades dos biomas ao aquecimento global.

Além disso, propostas globais para a implementação de soluções baseadas na natureza, tal como adaptação baseada nos ecossistemas (EbA), têm colaborado diretamente para a agenda de mitigação e adaptação (SEDDON et al., 2020) e precisam urgentemente avançar no Brasil (KASECKER et al., 2018). Sobretudo em países tropicais como o Brasil, a resiliência dos ecossistemas pode e deve ser fortalecida no momento atual a fim de que estes possam desempenhar sua contribuição vital no enfrentamento da crise climática (MALHI et al., 2020).

## REFERÊNCIAS

ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 6, p. 1223-1232, set. 2006.

AMBRIZZI, T. et al. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI**: projeções de clima usando três modelos regionais. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Diretoria de Conservação da Biodiversidade – Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade. Subprojeto: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas, v. 3, p. 112, 2007.

ANADÓN, J. D.; SALA, O. E.; MAESTRE, F. T. Climate change will increase savannas at the expense of forests and treeless vegetation in tropical and subtropical Americas. **Journal of Ecology**, 2014.

ANJOS, L. J. S.; TOLEDO, P. M. DE. Measuring resilience and assessing vulnerability of terrestrial ecosystems to climate change in South America. **PLOS ONE**, v. 13, n. 3, p. e0194654, 19 mar. 2018.

BETTS, R. A. et al. Changes in climate extremes, fresh water availability and vulnerability to food insecurity projected at 1.5°C and 2°C global warming with a higher-resolution global climate model. **Phil. Trans. R. Soc. Lond. A**, v. 376, 2018.

BRONDÍZIO, E. S. et al. **Social and health dimensions of climate change in the Amazon Annals of Human Biology**, 2016. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03014460.2016.1193222>>

BURKE, M.; HSIANG, S. M.; MIGUEL, E. Global non-linear effect of temperature on economic production. **Nature**, v. 527, n. 7577, 2015.

CARLETON, T. A.; HSIANG, S. M. Social and economic impacts of climate. **Science**, 2016.

CHAMBERS, J. C.; ALLEN, C. R.; CUSHMAN, S. A. Operationalizing Ecological Resilience Concepts for Managing Species and Ecosystems at Risk. **Frontiers in Ecology and Evolution**, 2019.

CHOU, S. C. et al. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, 2014.

COMER, P. J. et al. Habitat climate change vulnerability index applied to major vegetation types of the western interior United States. **Land**, 2019.

DINIZ FILHO, J. A. F. et al. Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species turnover under climate change. **Ecography**, v. 32, n. 6, p. 897-906, dez. 2009.

DONOGHUE, M. J.; EDWARDS, E. J. Biome Shifts and Niche Evolution in Plants. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 45, n. 1, p. 547-572, 2014.

EMBRAPA. **Agricultura familiar no Brasil**.

FOLKE, C. et al. **Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management**. Annual Review of Ecology,

Evolution, and Systematics, 2004.

GIANNINI, T. C. et al. Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. **PLOS ONE**, v. 12, n. 8, p. e0182274, 9 ago. 2017.

GUNDERSON, L. H. Ecological Resilience: in theory and application. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 31, n. 1, p. 425-439, nov. 2000.

HIROTA, M. et al. Global resilience of tropical forest and savanna to critical transitions. **Science**, 2011.

JOLY, C. A. et al. **1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos, 2018.

KASECKER, T. P. et al. Ecosystem-based adaptation to climate change: defining hotspot municipalities for policy design and implementation in Brazil. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, 2018.

KRIEGLER, E. et al. Imprecise probability assessment of tipping points in the climate system. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 2009.

LAPOLA, D. M. et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 1, p. 27-35, 1 jan. 2014.

\_\_\_\_\_. Limiting the high impacts of Amazon forest dieback with no-regrets science and policy action. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 46, p. 11671-11679, 13 nov. 2018.

\_\_\_\_\_. Heat stress vulnerability and risk at the (super) local scale in six Brazilian capitals. **Climatic Change**, 2019.

LEHMANN, C. E. R. et al. Savanna Vegetation-Fire-Climate Relationships Differ Among Continents. **Science**, v. 343, n. January, p. 548-553, 2014.

LENTON, T. M. Environmental Tipping Points. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 38, n. 1, p. 1-29, 2013.

LENTON, T. M. et al. Tipping elements in the Earth's climate system. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 6, p. 1786-1793, 2008.

LINDOSO, D. P. et al. Integrated assessment of smallholder farming's vulnerability to drought in the Brazilian Semi-arid: a case study in Ceará. **Climatic Change**, v. 127, n. 1, p. 93-105, 8 nov. 2014.

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon Tipping Point. **Science Advances**, 2018.

MALHI, Y. et al. Climate change and ecosystems: threats, opportunities and solutions. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 375, n. 1794, p. 20190104, 16 mar. 2020.

MARENGO, J. A.; SCARANO, F. R. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas. **Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC)**, p. 184, 2016.

MARU, Y. T. et al. A linked vulnerability and resilience framework for adaptation pathways in remote disadvantaged communities. **Global Environmental Change**, v. 28, p. 337-350, 2014.

MESQUITA, P.; BURSZTYN, M.; WITTMAN, H. **Climate variability in semi-arid Brazil**: food insecurity, agricultural production and adjustment to perceived changes. UNDP: International Policy Centre for Inclusive Growth. Disponível em: <<https://pcc.uw.edu/wp-content/uploads/sites/15/2014/10/Sample-One-Page-3.pdf>>. Acesso em: jun. 2017.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 2000.

NIKINMAA, L. et al. Reviewing the Use of Resilience Concepts in Forest Sciences. **Current Forestry Reports**, 2020.

OLIVERAS, I.; MALHI, Y. Many shades of green: the dynamic tropical forest-savanna transitions. **Philosophical Transactions B. Biological Sciences**, 2016.

OLSON, D. M. et al. Terrestrial Ecoregions of the World: a new map of life on earth. **BioScience**, v. 51, n. 11, p. 933, 2001.

OMETTO, J. P. et al. Interações entre Natureza e Sociedade: trajetórias do presente ao futuro. In: **1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. [s.l.: s.n.]. p. 46.

OPPENHEIMER, M. et al. Emergent Risks and Key Vulnerabilities. **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, p. 1039-1099, 2014.

PINHO, P. F. **Watching Brazil but missing the story: an amazonian inferno**. Latin American Studies Association. Special Issue on Environmental Justice and Climate Change in Latin America *Lasaforum*, Fall 2016, v. XLVIII, n. 4, p. 21-25, 2016.

PINHO, P. F.; MARENGO, J. A.; SMITH, M. S. Complex socio-ecological dynamics driven by extreme events in the Amazon. **Regional Environmental Change**, v. 15, n. 4, 2015.

RANGEL, T. F.; LOYOLA, R. D. Labeling ecological niche models. **Natureza y Conservación**, 2012.

REYER, C. P. O. et al. Forest resilience and tipping points at different spatio-temporal scales: approaches and challenges. **Journal of Ecology**, 2015.

SALVATIERRA, L. H. A. et al. Protected areas buffer the Brazilian semi-arid biome from climate change. **Biotropica**, 2017.

SARAIVA, A. et al. Contribuições da Natureza para Qualidade de Vida. In: SEIXAS, C. S. (Ed.). **Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. [s.l.: s.n.].

SCHEFFER, M. et al. Catastrophic shifts in ecosystems. **Nature**, v. 413, 2001.

\_\_\_\_\_. Early-warning signals for critical transitions. **Nature**, v. 461, p. 53, set. 2009.

\_\_\_\_\_. Anticipating Critical Transitions. **Science**, v. 338, n. 6.105, p. 344, p. 348, out. 2012.

SEDDON, N. et al. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. **Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences**, v. 375, n. 1794, p. 20190120, 16 mar. 2020.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Relatório Anual Sosma**. São Paulo: [s.n.].

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, 2017.

THUILLER, W. et al. Biomod – A platform for ensemble forecasting of species distributions. **Ecography**, v. 32, n. 3, p. 369-373, jun. 2009.

ZANIN, M.; MACHADO, N.; ALBERNAZ, A. L. M. Mudanças climáticas e a cobertura vegetal nativa: impactos em um país megadiverso e seus biomas. In: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (Ed.). **Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil**. [s.l.: s.n.]. p. 93-125.

# Climate change and disasters: analysis of the Brazilian regional inequality

## *Mudanças climáticas e desastres: análise da desigualdade regional brasileira*

Letícia Palazzi Perez<sup>a</sup>

Saulo Rodrigues-Filho<sup>b</sup>

José Antônio Marengo<sup>c</sup>

Diogo V. Santos<sup>d</sup>

Lucas Mikosz<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Visiting professor at the Federal University of Paraíba  
Department of Architecture and Urbanism, João Pessoa, PB, Brasil  
E-mail: leticia.palazzi@gmail.com

<sup>b</sup> Professor at the University of Brasília, Sustainable Development Center  
Brasília, DF, Brazil  
E-mail: srodrigues@unb.br

<sup>c</sup> Head of Research and General R&D Coordinator at the Center for Monitoring and Early Warnings of  
Natural Disasters, Cemaden,  
São José dos Campos, SP, Brazil  
E-mail: jose.marengo@cemaden.gov.br

<sup>d</sup> Vulnerability and Adaptation Supervisor in the scope of the Fourth Communication of Brazil to the  
Convention of Climate Change  
Ministry of Science, Technology and Innovations, MCTI, Brasília, DF, Brazil  
E-mail: diogo.santos@mctic.gov.br

<sup>e</sup> Infrastructure analyst at Cenad,  
Ministry of Regional Development, Brasília, DF, Brazil  
E-mail: lucas.mikosz@gmail.com

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33813

Received: 30/08/2020  
Accepted: 10/11/2020

ARTICLE – DOSSIER

---

*Data and results presented in this article were developed under the project of the “Fourth National Communication and Biennial Update Reports of Brazil to the Climate Convention”, coordinated by the Ministry of Science, Technology and Innovations, with the support of the United Nations Development Programme and resources of the Global Environment Facility, to which we offer our thanks.*

## ABSTRACT

One of the main consequences of climate change in Brazil is the increase in the occurrence of extreme rainfall, which in turn trigger Hydrometeorological disasters; the Brazilian continental dimension, the regional characteristics of biomes and socioeconomic inequality are conditioning factors for the impacts of extreme events in the country. This work analyzes Brazil's socioeconomic and urban infrastructure vulnerability, combined with the regional exposure of the population, based on disasters observed and future scenarios for the occurrence of rainfall extremes. As a result, it points out that climate change impact differently on large Brazilian regions, due to population density and the poor quality of urban infrastructure services.

**Keywords:** Disasters Climate. Change Social. Inequality. Urban Infrastructure.

## RESUMO

*Uma das principais consequências das mudanças climáticas no Brasil é o aumento dos extremos de chuva, que causa desastres hidrometeorológicos. A dimensão continental brasileira, as características regionais dos biomas e a desigualdade socioeconômica são fatores condicionantes dos impactos dos eventos extremos no País. Este trabalho analisa a vulnerabilidade socioeconômica e de infraestrutura urbana brasileira, aliada à exposição da população, de maneira regional, a partir de desastres já observados e dos cenários futuros para a ocorrência de extremos chuvosos. Como resultados, aponta que as mudanças climáticas impactam diferentemente as grandes regiões brasileiras, em função da densidade populacional e da baixa qualidade dos serviços de infraestrutura urbana.*

*Palavras-chave:* Desastres. Mudanças Climáticas. Desigualdade Social. Infraestrutura Urbana.

## 1 INTRODUCTION

One of the consequences of climate change is the variation in the rainfall regime and an increase in the frequency and intensity of extreme weather events (IPCC, 2014; PBMC, 2014; MARENGO, 2010). Extreme climate events like rains, droughts or heat waves, are characterized by occurring with intensity, duration or season that is different from the average climate state (MARENGO, 2009), and are natural phenomena that trigger disasters when they bring impacts to society (TOMINAGA et al., 2009).

Highly-intense short-duration extreme rainfall causes floods; mildly-intense long-duration extreme rainfall soaks the soil; therefore, the subsequent occurrence of short-duration highly-intense rain when the soils is waterlogged causes landslides (TOMINAGA et al., 2009), also affecting the health of the population, as they cause deaths, leave people injured, unsheltered, and increase the risk of contamination by waterborne diseases (HACON et al., 2018).

For example, heat waves are associated to an increase in stress and sunstroke rates, aggravation of cardiovascular diseases, (HACON et al., 2018; PBMC, 2014), and insufficient rainfall determines normal dry periods, but when such periods are extended and intensified by the increase in temperature, they are characterized as droughts (TOMINAGA et al., 2009; MARENGO et al 2019; 2020).

Specifically, related to hydrometeorological disasters, triggered by extreme rainfall, according to the EM-DAT (the database of the *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), between 1980 and 2000, 1,828 worldwide flood-type or landslide-type events were recorded, jumping to 3,550 worldwide occurrences between 2001 and 2019. The impact of extreme rainfall events does not affect everyone in the same way. EM-DAT data presented in the United Nations report on poverty and losses caused by disasters (UNISDR, 2018) show that between 1998 and 2017 an average of 130 people per million died in disasters in poor countries, while this average falls to 18 in rich countries.



Another important fact is that according to the 2019 report by the United Nations Disaster Risk Reduction (UNDRR, 2019), more than 50% of the world population lives in urban areas, and by 2050 this percentage should increase to 75%. It is precisely in cities where the population most affected by extreme weather events are concentrated.

In cities, rainwater drainage systems have been used for centuries for different purposes, among which flood containment (BURIAN & EDWARDS, 2002). Tucci (2008) and Kita (2017) point to environmental sanitation as an essential element of urban infrastructure, and Tucci (2008) states that the occupation of lowland or slopes areas, and soil waterproofing without sufficient drainage to capture rainwater, trigger the processes of floods, in addition to landslides.

Brazil has a historic presence of informal settlements, without urban infrastructure (MARICATO, 2009), with socio-spatially segregated cities, and it is precisely in areas of low or no urban infrastructure that the poorest, and most economically vulnerable population, lives (MARICATO, 2003 a and b; 2009), which makes Brazilian cities even more vulnerable to climate change.

A reduction of disaster risks in Brazil includes monitoring and issuing alerts, which is an attribution of the CEMADEN; disaster risk management, an attribution of the National Center for Risk and Disaster Management (CENAD), as well national, state and municipal Civil Defense and the Geological Survey of Brazil, working with CEMADEN and Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). It also includes the policy for housing provision<sup>1</sup> and the development of instruments for planning urban development and managing risk areas.

It is understood that, in addition to the population's socioeconomic vulnerabilities, urban policy is a determining factor for climate adaptation. Hence, this article presents a discussion on natural disasters in Brazil, in the context of climate change and social inequality and urban infrastructure. This work analyzes the relationship between natural disasters and urban infrastructure, as well as Brazil's regional socioeconomic conditions, taking into account future scenarios for the occurrence of rainfall extremes. The objective is to understand which Brazilian regions, socioeconomic and environmental conditions are more vulnerable to Hydrometeorological disasters.

## 1.1 HYDROMETEOROLOGICAL DISASTERS IN BRAZIL

Hydrometeorological disasters have been identified in a number of metropolitan regions, including the metropolitan region of São Paulo (MARENGO et al., 2020 a b), and urban precariousness aggravates the impacts of extreme rainfall events (MARICATO, 2009; HUMMELL, 2016; RASCH, 2016; TRAVASSOS et al., 2020). Changes in the rainfall regime and increase in the occurrence of extreme rain have already been identified in the Southern and Southeastern regions of Brazil in the past 50 years (DUNN et al., 2020; MARENGO, 2007), but small and medium-sized cities in the interior also concentrate areas of risk and are subject to disasters (SAITO et al., 2019 e 2020).

In fact, disasters with the highest death tolls in Brazil are landslides, followed by floods. The Brazilian Atlas of Natural Disasters (CEPED 2020) shows that between 2000 and 2019, totaling only 27% of the total occurrences of all typologies of disasters, and affecting 20% of the total people affected, the hydrometeorological disasters accounted for 84% of the unsheltered in the country, and 79.6% of the deaths: 3.040 out of the 3.816 deaths in the period.

Brazil's continental dimensions imply different levels of exposure to the impacts of the climate change in its territory. In Northern Brazil, represented by the Amazon biome, there are indications of changes in rainfall regime that may cause from sudden floods to droughts, which may become seasonal (MARENGO and ESPINOZA, 2016, MARENGO et al., 2018; PBMC, 2014).

1 | Sustainable Development Goal, SDG 13, Indicator 13.1.1 Available: <https://odsbrasil.gov.br/objetivo13/indicador1312>

In the Brazilian Center-West region, basically composed of the Cerrado and the Pantanal, and in the Northeast, covered by the Caatinga, the data analyzed by the PBMC (2014) point to an increase in temperature between 5 to 20% by 2040, further aggravated in the future, mainly in the Caatinga, where in addition to the trend of more recurrent severe droughts, an increase in floods due to intense and short-term rains is also expected. In the Southeastern region, the PBMC (2014) indicates that minimum temperatures should increase, despite the gradual increase in temperatures in general, and an increase in rain extremes of 5 to 10% in 2040 and up to 30% by 2100 (IPCC 2014, CHOU ET AL 2014 a and b). In Southern Brazil, PBMC (2014) models indicate a similar situation to the Southeast, with a gradual increase in temperature, 15 to 20% increase in rainfall by 2040, reaching a 40% increase in 2100. This increase would be in the form of intense events of extreme rainfall with dry and warm periods in-between.

An increase in rainfall extremes may intensify the occurrence of hydrometeorological disasters, mainly in exposed urban areas (MARENGO, 2007, DEBORTOLI et al 2016; AVALA et al, 2019); and the increase in temperature, combined with population growth and urban sprawl over the Atlantic Forest, may intensify water scarcity and increase the risk of rising sea levels in coastal areas (PMBC, 2016, 2017).

In 2011, Brazil’s worst natural disaster happened in the mountainous region of Rio de Janeiro, with 947 people killed, over 300 missing and thousands displaced, besides severe economic losses and the destruction of housing and infrastructure due to floods and landslides (MARENGO and ALVES, 2012; GRAEFF et al., 2012).

In January 2020, Belo Horizonte (capital of the state of Minas Gerais) and other 195 cities in the state were hit by the highest recorded rainfall in 110 years. Cities declared a *state of emergency*, with 60 people dead and almost 30 thousand displaced (UFMG, 2020). On 3 February 2020, in the Baixada Santista region, in the state of São Paulo, a single extreme rainfall event caused 45 deaths and left over 200 families unsheltered (GOVERNMENT OF THE STATE OF SÃO PAULO, 2020). Floods in the state of Amazonas, in 2009 and 2012 (MARENGO et al., 2013), affected some 20,000 families who lived in precarious settlements.

It is worth highlighting the focus on Brazilian urban areas, where there has been a significant increase in the number of disasters, as shown in Figure 1, which shows the population affected by disasters by type of household: rural x urban.

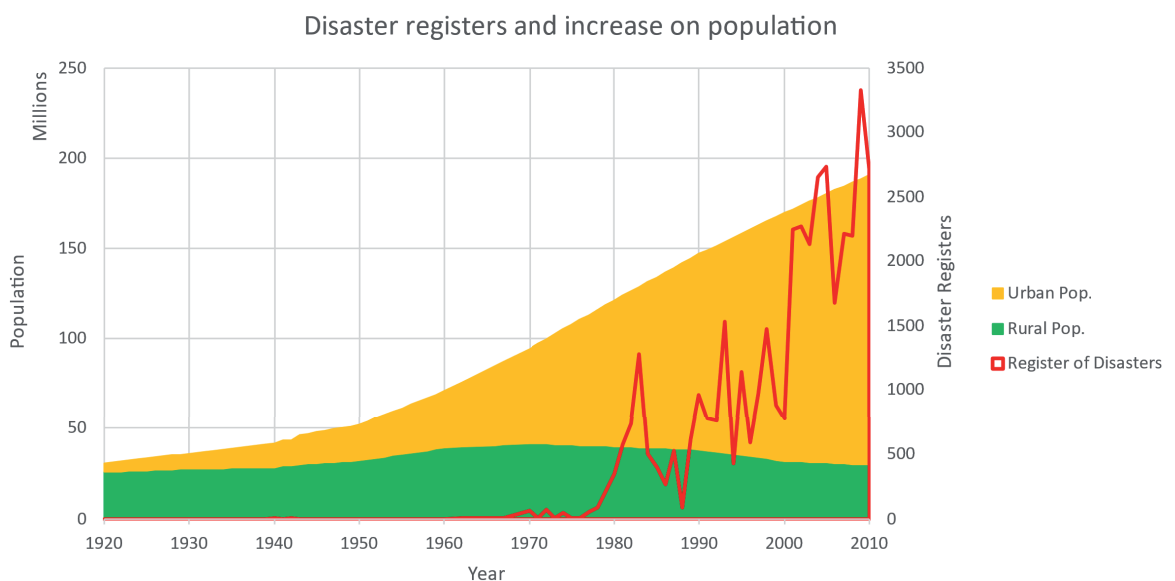


Figure 1 | Disasters in Urban x Rural Brazil

Source: Mikozs (2017).

Given the Brazilian urban precariousness, the increase in rainfall extremes is expected to increasingly intense disasters (TRAVASSOS et al., 2020; RASCH, 2016; MARENGO, 2007).

## 1.2 SOCIO-SPATIAL INEQUALITY AND HYDROMETEOROLOGICAL DISASTERS IN BRAZIL

Climate change impacts on human life are complex and may be enhanced or minimized according to individual and collective determinants that are inherent to a given social organization and their inter-relations, including aspects such as age, health system's capacity, and conditioning social factors (HUMMELL, 2016; RASCH, 2016; RUFAT et al., 2015; KOKS et al., 2015).

With regard to social conditions, the housing situation, sanitation, personal hygiene and access to health services are factors that influence the vulnerability of populations exposed to climate stress, which when combined to other environmental exposures may act as a trade-off, generating even more risk for populations (HACON et al., 2018; HUMMELL, 2016; RUFAT et al., 2015).

Brazil is an unequal and socio-economically vulnerable country. The urgency of the issue on natural disasters in Brazil becomes even more evident when the effects of the profound social inequality (OXFAM, 2019; IPEA, 2017) are observed, affecting the ability of a large share of the population to cope with impacts, whether health or climate ones (IPCC, 2014), due to their lack of access to appropriate housing and sanitation conditions, for example.

According to Figure 2, the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014) points out that the most socially vulnerable populations are also the most vulnerable to climate change impacts. Inequality identity aspects and dimensions, expressed by social class, gender, ethnicity, skin color, age and special needs are conditioning factors of multidimensional vulnerability and risk exposure.

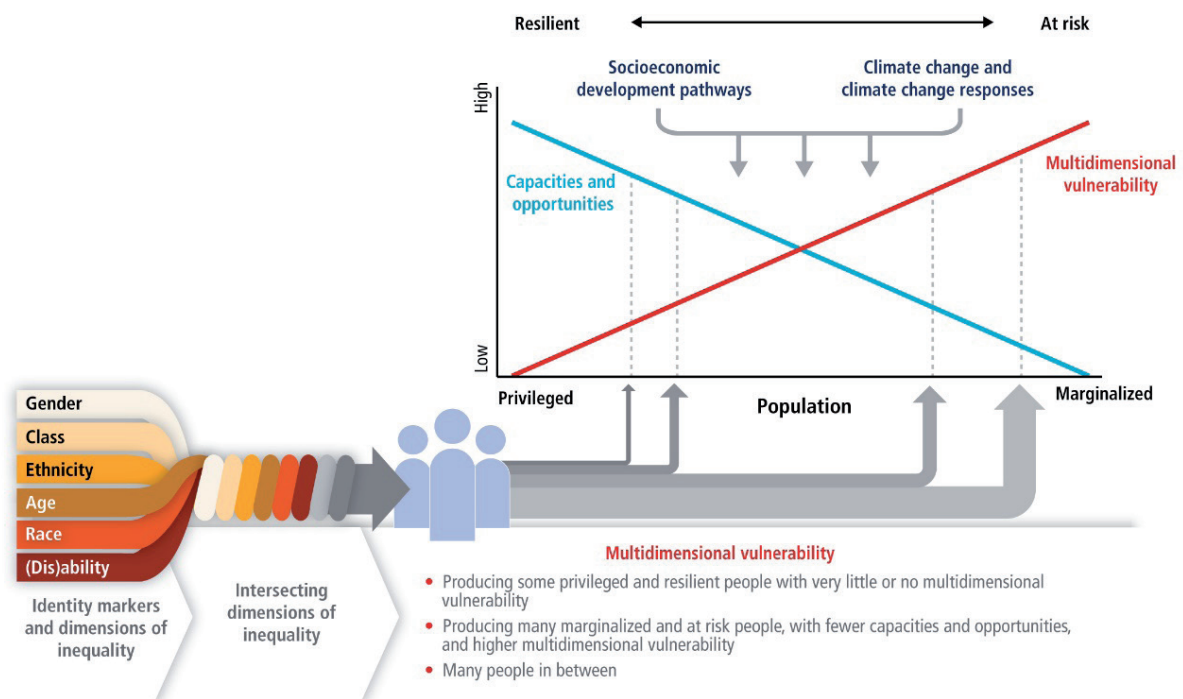


Figure 2 | Vulnerability multidimensions.

Source: AR5 (IPCC, 2014) WGII, Cap. 13, Fig. 13.5 (translated by the authors).

Dias et al. (2018) explains the relationship between socioeconomics, urban infrastructure conditions and the occupation of at-risk areas, from the crossing of census information, including the location of

subnormal agglomerates<sup>2</sup> (AGSN, in the Portuguese acronym) and the quality of urban infrastructure, showing that not only AGSN have low urban infrastructure rates, such as access to piped water and sewage, but this is a condition that also occurs in formally regularized Brazilian settlements.

Some 85% of the Brazilian population live in cities, almost 25% live in the country's main metropolitan regions, and most Brazilian cities lack basic environmental sanitation and urban drainage services (IBGE, 2010; 2017). According to the Ministry of Cities (2007) and the João Pinheiro Foundation (MARICATO, 2009), there are approximately 12 million informal and precarious households in Brazil, but according to IBGE (2010), only 3 million households are considered AGSN, where almost 13 million people live.

Of the 5,570 Brazilian municipalities, 75% are exempt from preparing an Urban Master Plan because they have less than 20 thousand inhabitants, and unplanned urbanization leads to informal settlements, with no environmental licensing, nor proper regulation of land subdivision and, although 70% of AGSN are found in and around capitals (IBGE, 2010), informality and precariousness are increasing in small and medium-sized cities (PEREZ et al., 2017).

The Brazilian urbanization process, according to Maricato (2000), "is a slum production mechanism" and, 20 years after this statement, even with the approval of the City Statute (LF 10.257/2001), Brazilian cities are still presenting high socioeconomic and environmental inequality, with enclaves of poverty and slums (CALDEIRA, 2010; MARICATO, 2017; 2009; 2003 a and b). For decades, private ownership of land, derived from colonial times, associated with formal housing for the upper classes of the population, has created socio-spatial segregation, and part of the low-income population started to occupy borders of streams, floodplains, lands of high declivity, especially in large cities, informality and precariousness are what is left for the low income classes (MARICATO, 2009), which, in addition to their financial condition, now see their houses as another factor of vulnerability against hydrometeorological disasters (HARDOY AND PANDIELLA, 2009). This is reflected in the fact that 42% of AGSNs are in at-risk areas mapped by IBGE-BATER (IBGE, 2017).

Saito et al. (2020) conducted an extensive analysis of the IBGE-BATER risk areas with census data, showing that more than 8 million Brazilians are living in risk areas, concentrated in 825 municipalities, 47.7% of which are small cities, with up to 100 thousand inhabitants, 29.6% in cities with up to 500 thousand inhabitants and 22.7% in large urban centers. In absolute numbers, the population living in risk areas goes against the trend: 48% in large cities, 28% in cities with up to 500 thousand inhabitants and 24% in small cities with up to 100 thousand inhabitants, but the authors consider that, in relative numbers, residents in small Brazilian cities are more exposed to risk, compared to 8% of inhabitants in large cities (SAITO et al., 2020).

According to Saito et al. (2019), 67% of households in risk areas in the Northern region, 54% in the Center-West region, 33% in the Northeastern region, 18% in the Southern region and 16% in the Southeastern region do not have adequate sanitation. If, on one hand, urban precariousness is not exclusive to AGSN or large cities, on the other hand, more densely occupied areas, such as the Southeastern region, concentrate more people exposed to hydrometeorological disasters (CEMADEN, 2017).

Territories' climate and physical modeling are not enough to assess the population's vulnerability to disasters. It is necessary to have information that present the spatial heterogeneity of the population's socioeconomic vulnerability (KOKS et al., 2015; HUMMELL et al, 2016).

Several indexes measure and spatialize the inequality of Brazilian municipalities, such as the Social Vulnerability Index (IPEA, 2015) or the MHDI (UNDP, 2013), all of which are based on census data, income, education, urban infrastructure services and sanitation, life expectancy, among other socioeconomic variables. As per Burian & Edwards (2012), Tucci (2008), Maricato (2009) and Kita (2017), sanitation

---

2 | Subnormal Agglomerates are a form of irregular occupation of public or private land for housing purposes, in urban or precariously urbanized areas.

infrastructure and water and sewage networks are essential elements of urban resilience against hydrometeorological disasters. Therefore this article decided not to use a ready-made index, but to build a new one, using raw census data on sanitation, income and household inadequacy<sup>3</sup> to spatialize these variables within the national territory. The access ranking to health services and basic public education and, subsequently, population density were added to these data. The result was analyzed together with the disasters observed and also discussed in relation to future climate scenarios.

## 2 METHODOLOGY

Alphanumeric data (IBGE, 2010; IDSUS, 2010 and IDEB, 2011) were spatialized by municipality; disaster data observed between 2005 e 2015<sup>4</sup> were plotted in the municipality centroid in which they occurred; future climate scenarios were produced by Chou et al. (2014) and Debortoli et al. (2017), and plotted by this article's authors.

The Urban Vulnerability Index (UVI) was prepared based on Burian & Edwards (2012), Tucci (2008), Maricato (2009) and Kita (2017), and the variables that make up the UVI were inspired by the SVI' "Urban Infrastructure Dimension" (IPEA, 2015), aimed at characterizing not only the precariousness of urban infrastructure, but also the social conditions that show socioeconomic inequality in Brazil. Also, census data in addition to covering the entire national territory, are compatible with the observed disaster data, which occurred at most 5 years before or after the collection of the 2010 Census.

The following data were considered for the composition of the UVI: IBGE, 2010 (people by permanent private housing units in the municipality; number of permanent private housing units in the municipality; average household income in the municipality; permanent private housing units connected to water and sewage network with garbage collection system in the municipality; number of inadequate or semi-inadequate private households in the municipality); quality index of health services in the municipality (IDSUS 2010); quality index of public education in the municipality (IDEB, elaborated in odd years, 2011).

These data have been spatialized and normalized according to the maximums and minimums of the entire base of 5570 municipalities. The following formula was adopted for the calculation of the UVI:

$$UVI = \frac{\text{household density} + \text{water} + \text{sewage} + \text{garbage} + \text{income} + \text{adequacy} + IDEB + IDSUS}{8}$$

Therefore, in order to compose the analysis with the urban vulnerability index, exposure was calculated based on population density as follows:

$$Exp = \frac{\ln_{10} \text{value (pd)} - \ln_{10} (\text{minimum pd})}{\ln_{10} (\text{maximum pd}) - \ln_{10} (\text{minimum pd})}$$

Where dp = population divided by area

After exposure calculation, the factor was applied to UVI, creating the Urban Vulnerability Index with population exposure (UVIexp):

$$UVIexp = UVI * \text{population density}$$

3 | Inadequate households are the ones with no access to environmental sanitation services and more than two residents per bedroom; Semi-inadequate households are the ones that present a deficit in only one of the indicators above.

4 | Within CENAD's extensive database, there are inconsistencies that can lead to error. **This temporal snapshot** had these inconsistencies corrected, such as "flash floods". In the Southern and Southeastern regions, debris flow disasters like the one in the mountainous region of Rio de Janeiro, in 2011, were originally classified as flash floods, while in the Northern region this term is often used for rapid flooding.

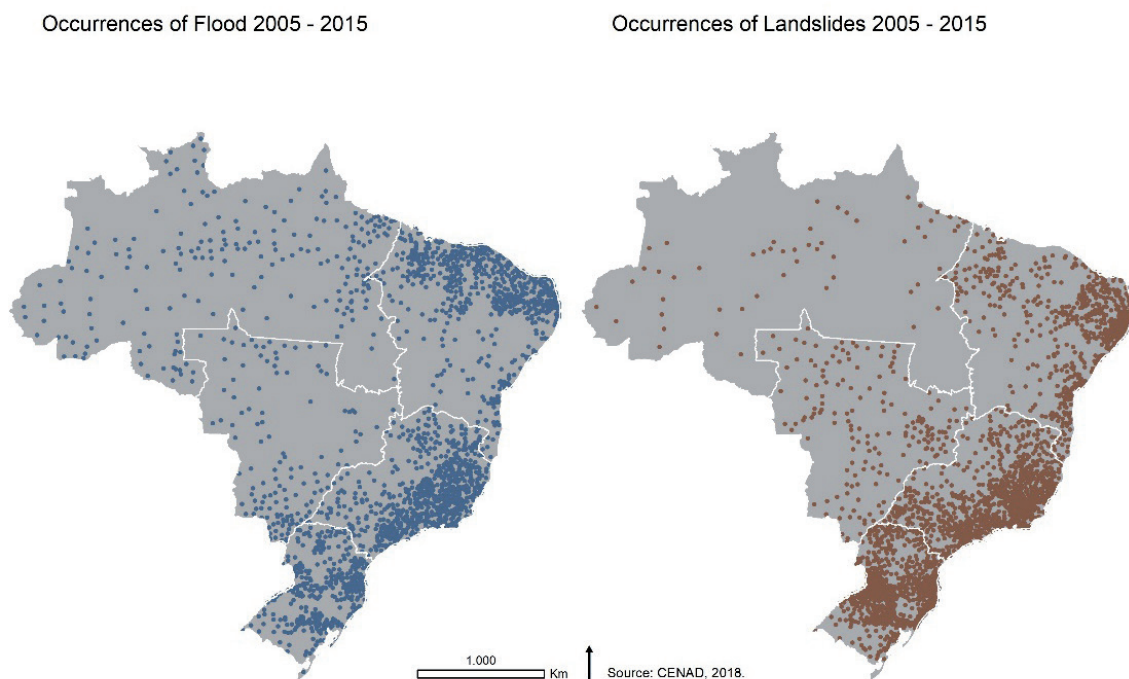


Disaster data observed herein were sourced by CENAD, assessed by Mikosz (2017), and grouped in two typologies: (i) landslides and (ii) floods.

Extreme climate indexes were used by the IPCC (2014) and include: RX1day - maximum rainfall in one day; Rx5day - 5-day maximum accumulated rainfall; R95p - accumulated rainfall higher than 95% of very rainy days; and CWD - maximum consecutive rainy days (any rainfall greater than 1mm). These indexes were used by Debortoli *et. al* (2017) in studies assessing present and future vulnerability to natural disasters (2017)<sup>5</sup>. Indexes were generated from outputs of the global HadGEM2-ES MIROC5 models downscaled by the regional Eta model (CHOU *et. al.*, 2014), for the baseline period encompassing 1961-1990 and future RCP 8.5 scenarios for 2010/2040, 2041/2070 and 2017/2099 - which correspond, approximately, to the average global warming levels of 1.5°C, 2°C and 4°C.

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

Figure 3 shows disasters related to floods on the left, and landslides on the right. Between 2005 and 2015, 10,225 floods or landslides were reported, affecting over 5 million Brazilians and causing 2,609 deaths.



**Figure 3 | Disaster spatialization**

*Source: CENAD (2018). Prepared by Perez, 2020, for QNC Brazil UNFCCC.*

UVI (left) and UVlexp (right) were elaborated in order to discuss the disasters observed between 2005 and 2015 (Figure 4). The UVI is composed by sanitation data (water and sewage network, garbage collection), household inadequacy<sup>6</sup>, income in minimum wages, access to health services and public education quality. The UVlexp is the UVI multiplied by the demographic density, which represents population's exposure.

Knowing the different regional Brazilian realities, it was expected that the UVI would show higher especially those furthest from the state capitals, and less vulnerability in the Southern and Southeastern regions.

5 | For a detailed description of each compound indicator: Debortoli et al. (2017) | DOI 10.1007/s11069-016-2705-2.

6 | *Vulnerability hotspots* to natural disasters: high population concentration areas where natural disasters occur, and which will continue to suffer the impacts of the climate changes that trigger disasters.

The most recent data on Brazilian households still show this regional inequality in the country. According to the National Household Sample Survey (IBGE, 2017), results of access to sanitary sewage and water network are, respectively: 20% and 59% in the Northern region, 45% and 80% in the Northeastern region, 53% and 87% in the Center-West region, 66% and 88% in the Southern region, 89% and 92% in the Southeastern. In relation to income (PNAD, 2018), in the Southern and Southeastern regions, the average is around 1 minimum wage; in the Center-West region, it is 0.99 minimum wage, which is at least 40% higher than in the Northern region (0,65 minimum wage) or the Northeastern region (0,56 minimum wage).

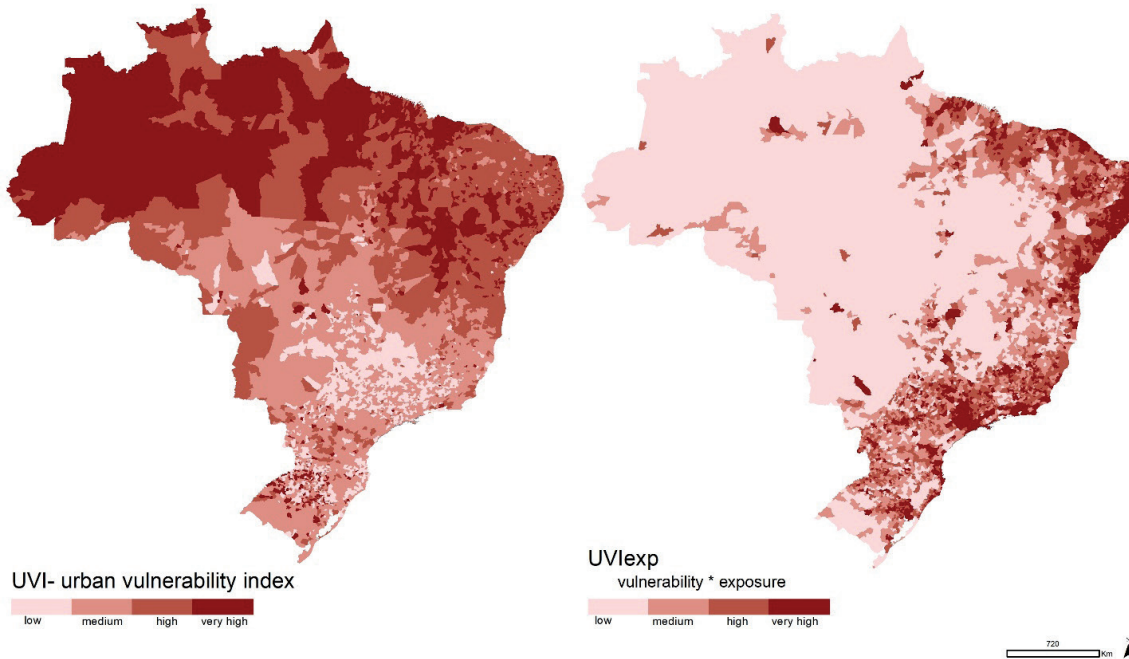


Figure 4 | UVI (left) and UVIexp (right)

Source: IBGE and IDSUS (2010) and IDEB (2011) 2010. Prepared by Perez, 2020, for QNC Brazil UNFCCC.

If compared with SVI (IPEA, 2015) or with MHD (UNDP, 2013), the UVI (Figure 4, left) would present a very similar spatial distribution of vulnerability to the IVS or the MHD. Other authors, such as Debortoli et al. (2017) and Humell et al. (2016) present socioeconomic vulnerability with the same spatial distribution, based on income, education, access to employment, skin color, among other variables. Similar regional results are due to the fact that the Northern and Northeastern regions are poorer, in terms of income, infrastructure, and access to health services. The Northern region is less densely occupied than the Center-West region, and mainly, than the Southeastern and Southern regions (HUMMELL et al., 2016).

Municipalities in the Northern and Northeastern regions are more vulnerable in several socioeconomic and environmental aspects, which affects mainly the response capacity of these populations and decreases their resilience, but disasters in the proportions of that in the mountainous region of Rio de Janeiro, in 2011 (MARENGO E ALVES, 2012; GRAEFF et al., 2012), had such an impact precisely because it occurred in a densely occupied region.

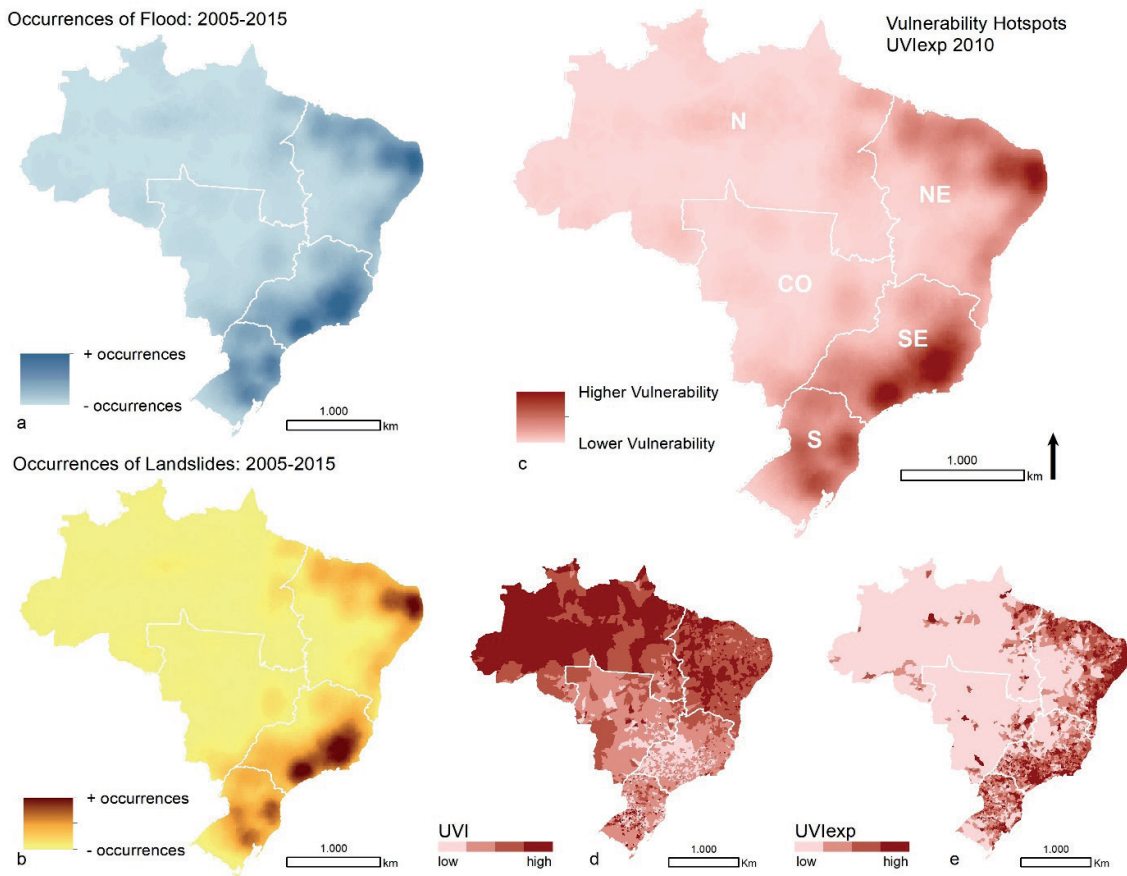
It is important to highlight that 45% of municipalities with over 250 thousand inhabitants are in the coastal zone – 13 out of the 27 capital cities border the Atlantic Ocean. 40% of the Brazilian population live in the Southeastern region. On the other hand, there are fewer inhabitants in the entire Northern region compared to the Metropolitan region of the state of São Paulo alone (IBGE, 2010), which, despite having a higher average income than other regions, also presents a high concentration of precarious settlements.

The UVIexp (Figure 4, right) shows the Brazilian urban vulnerability taking into consideration population density, making it possible to visually observe that even though Brazilian cities present a similar

regional distribution of the economic, educational and environmental vulnerability in the UVI, with similar results to those from Hummell (2016) or Debortoli (2017), it is possible to read this vulnerability associated with the number of people exposed to risk, in the UVlexp. Also, just like Hummell et al vulnerability risk (2016), UVlexp (Figure 4, on the right) also highlights high vulnerabilities in the capital cities: in the Northern region, in addition to the capital cities, large urban centers may be mentioned, such as Santarém - PA, Parintins and Tabatinga - AM or Cruzeiro do Sul - AC; in the Center-West region, the metropolitan areas; in the Northeastern, state' capital cities and regional hinterlands, such as Patos-PB or Petrolina-PE and, the extremely poor municipalities in the interior.

When the UVlexp is spatialized in order to demonstrate the concentration of vulnerability and exposure, compared to the hydrometeorological disasters observed between 2005-2015, a strong correlation between vulnerability *hotspots*<sup>7</sup> (Figure 5c) and disaster concentration is noted (Figures 5a e 5b).

Figure 5 shows high UVlexp patches and high concentration of disasters are observed in the area close to the Atlantic Ocean. Tabular data assessment shows 399 municipalities in the Brazilian Coastal Zone (IBGE, 2010), with 13 out of 27 state capitals with approximately 50 million people (IBGE, 2010). Although these represent only 10% of the total disaster occurrences during the period assessed, 25% of the Brazilian population live in those areas where, between 2005 and 2015, 23 deaths and 260,000 people affected (homeless, displaced or injured) by river floods were recorded; and 529 people were killed and another 580,000 were affected by landslides.



**Figure 5 |** Occurrence density of (a) surface water floods, floods and flash floods, and (b) landslides and mudslides; (c) vulnerability *hotspots*; (d) UVI and (e) UVlexp. Sources: CENAD (2018), IBGE and IDSUS (2010), IDEB (2011).

Source: Prepared by Perez, 2020, for QNC Brazil UNFCCC.

In relation to the Southern and Southeastern regions (Figure 5), which concentrate 27 and 80 million inhabitants, respectively, it is possible to observe that exposure is an important factor when analyzing disaster impacts in the country, especially when large patches of floods and landslides are concentrated in these two regions. The Southeastern region reported the highest death toll from landslides (1,724 dead and 192 people missing), and the second highest death toll from floods (116 dead and 30 people missing). The Southern region reported 177 deaths and 36 people missing from landslides, and 93 deaths and 10 people missing from floods. In total, the Southeastern and Southern regions combined accounted for approximately 65% of those affected by landslides and 37% of those affected by floods (Table 1).

**Table 1 | Percentage of people affected by hydrometeorological disasters between 2005 and 2015.**

Landslides					Floods				
Region	Dead/missing	Injured	Displaced	Total affected	Region	Dead/missing	Injured	Displaced	Total affected
N	0,2%	1,5%	0,5%	0,5%	CO	1,6%	0,7%	0,9%	0,9%
CO	0,6%	0,3%	1,0%	1,0%	S	20,4%	3,0%	17,4%	16,2%
S	9,0%	13,1%	26,8%	26,1%	SE	28,9%	7,1%	22,4%	21,1%
NE	8,9%	62,4%	31,2%	32,7%	NE	20,0%	28,1%	22,1%	22,6%
SE	81,2%	22,7%	40,5%	39,7%	N	29,2%	61,1%	37,1%	39,2%

Source: prepared by the authors.

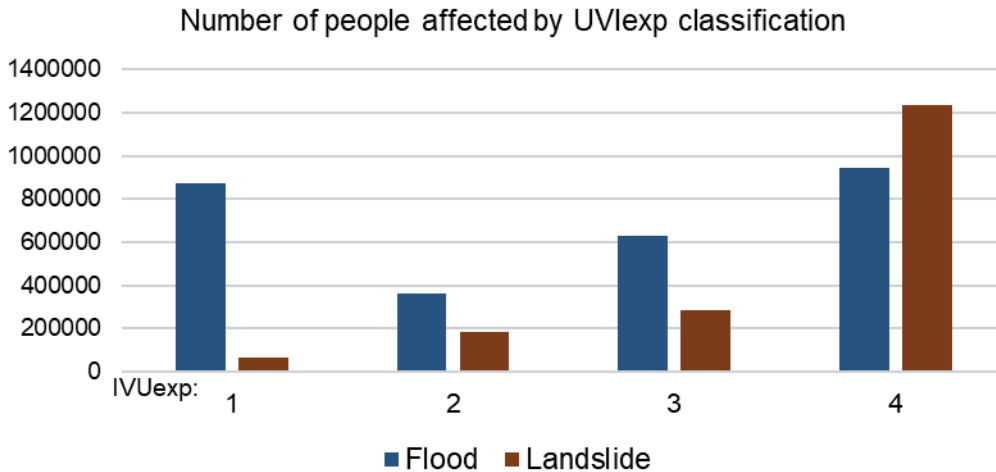
The Northeastern region, highlighted both as a vulnerability *hotspot* and in the occurrence of disasters (Figure 5 a, b and c) presents the second largest concentration of people affected by both types of disasters, with values that are very close to those in the Southeastern, in both cases. There, 76 deaths and 25 people missing were reported due to floods and 123 deaths and 88 people missing were reported due to landslides; 525,000 people were left homeless or displaced by landslides and more than 300,000 due to floods during the period assessed.

The outcomes reported for the Southeastern and Northeastern regions are corroborated by floods and landslides vulnerability outcomes, presented by Debortoli *et al.* (2017), which show high vulnerability to both types of disasters in these two regions, and Saito (2019) who, when presenting the number of people and households in risk areas, highlights these same three regions, with a greater concentration of people exposed in the Southeastern and Northeastern regions.

The Northern region presents the lowest number of people affected by landslides, as shown by Debortoli *et al.* (2017), for being a region with little declivity and low vulnerability to this type of disaster. However, the regions presents the highest number of total people affected by floods, when compared to other regions, with over 1 million people affected in the snapshot assessed, which is largely explained by Bartiko *et al.* (2019), which show the great magnitude of floods in the Amazon, which coincide with the abrupt floods in the period assessed herein, from 2005 to 2015, and in the highlighted area, of high IVUexp, which is more visible in Figure 5e in the central region of the Amazon. Finally, the Center-West region presents fewer people affected in both types of disasters. Nevertheless, numbers are in the tens of thousands, in addition to 8 deaths from floods, and 14 deaths from landslides.

In relation to Urban Vulnerability and Exposure classes, Graph 1 shows the absolute numbers of people affected, by type of disaster and by UVIexp class, based on the disaster occurrences.

**Graph 1 |** Number of people affected, by UVlexp class.

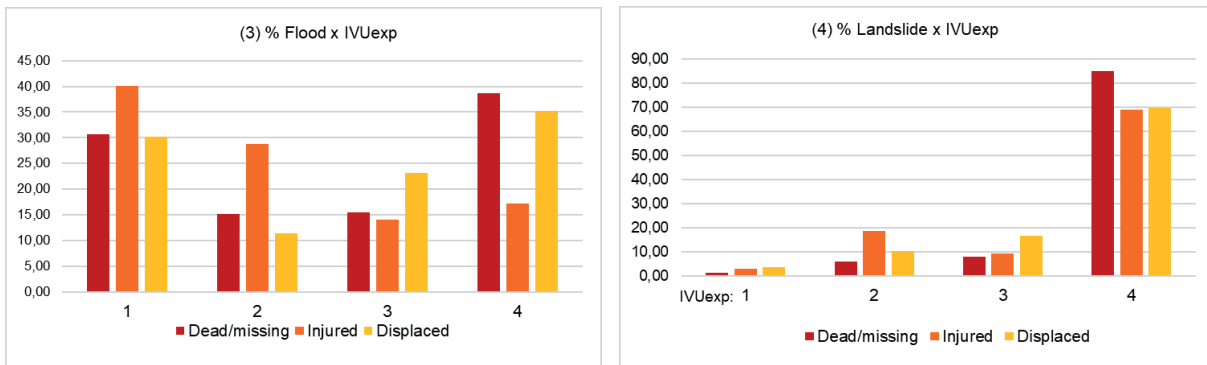


Source: Source: prepared by the authors.

The number of people affected increases as vulnerability and exposure increases, as represented by classes 1 to 4 of the UVlexp, except those affected by floods in Class 1, with less vulnerability and exposure. When data is assessed on the micro-scale, this result is explained by the large number of floods in small municipalities, 63% of them with less than 20,000 inhabitants, which confirm the analyzes by Saito et al. (2020) that the most densely populated areas are not always the most exposed, and that special attention is needed for small municipalities.

The percentages of people affected by disasters as per CENAD categories: dead and missing; sick and injured; unsheltered and displaced, are presented herein in Graphs 2 and 3, divided per UVlexp class.

**Graphs 2 and 3 |** Percentage of people affected, per disaster category and UVlexp class



Source: Source: prepared by the authors.

Graph 2 shows that the major concentrations of dead or missing people as a result of floods, are in UVlexp classes 1 and 4. UVlexp class 1 refers to small municipalities. UVlexp class 4 refers to informal settlements in larger cities (MARICATO, 2009), and high waterproofing rate in Brazilian cities (RASCH, 2016). Graph 3 presents a clear relationship among urban vulnerability, exposure and percentage of people affected by disasters.

The largest concentrations of people affected are in the most vulnerable municipalities, with greater exposure, which are also capital cities and metropolitan regions, according to Hummell et al. (2016). These results are coherent to those by Saito et al. on areas of risk (2019 2020), except for the Northern region, mainly due to the low population density. This finding is in line with IPCC projections (2019) in the *Climate Change and Land Special Report*, which point at higher occurrence of landslide disasters in



cities with “poor planning”, that is, with high concentration of informal settlements, slums and housing units (MARICATO, 2009).

Finally, it is determined that an index where 4 of 8 variables refer to urban infrastructure shows adherence to disasters that have been observed, and which are directly related to environmental sanitation services.

### 3.1 FUTURE CLIMATE SCENARIOS

When vulnerabilities to floods and landslides are plotted using the Debortoli et al indexes (2017), the high risk areas (Figure 6 -*Baseline* in blue and yellow) are the Southeastern and Southern regions, northern Northeastern region, east Amazon and the mouth of the Amazon river (which is a permanent flooded area), as well as the eastern coastal zone in the Northeastern region. These regions are similar to those mapped by Debortoli *et. al.* (2017), which, in the *Baseline*, show that the most vulnerable areas to sudden floods are the Southern and Southeastern regions of Brazil, as well as the east part of the states in the Northeast. The Amazon has some areas that are most at risk for flooding, but the municipalities in this area have low population density and exposure is not high. These regions are qualitatively similar to the areas affected by these hydrometeorological hazards as indicated by CEPED (2013).

Regarding landslides (Figure 6, yellow), the most vulnerable locations in the *Baseline*, according to Debortoli et al (2017) and the CEPED Atlas (2013) coincide with municipalities that are usually linked to areas affected by extreme rainfall, like: the metropolitan regions of São Paulo and Santos, São Paulo’s northern coast, the borders between São Paulo and Rio de Janeiro (Cunha, São José do Barreiro and Angra dos Reis); the region of Serra da Mantiqueira, Southern and Southeastern regions of Minas Gerais, the mountainous region of Rio de Janeiro and the region near Serra do Caparão. When records of floods are associated with climate indicators of extreme current rain, they suggest an increase in the vulnerability of urban areas in the Southern, Southeastern and parts of the Northeastern regions, particularly in the Atlantic Forest, the most populated biome.

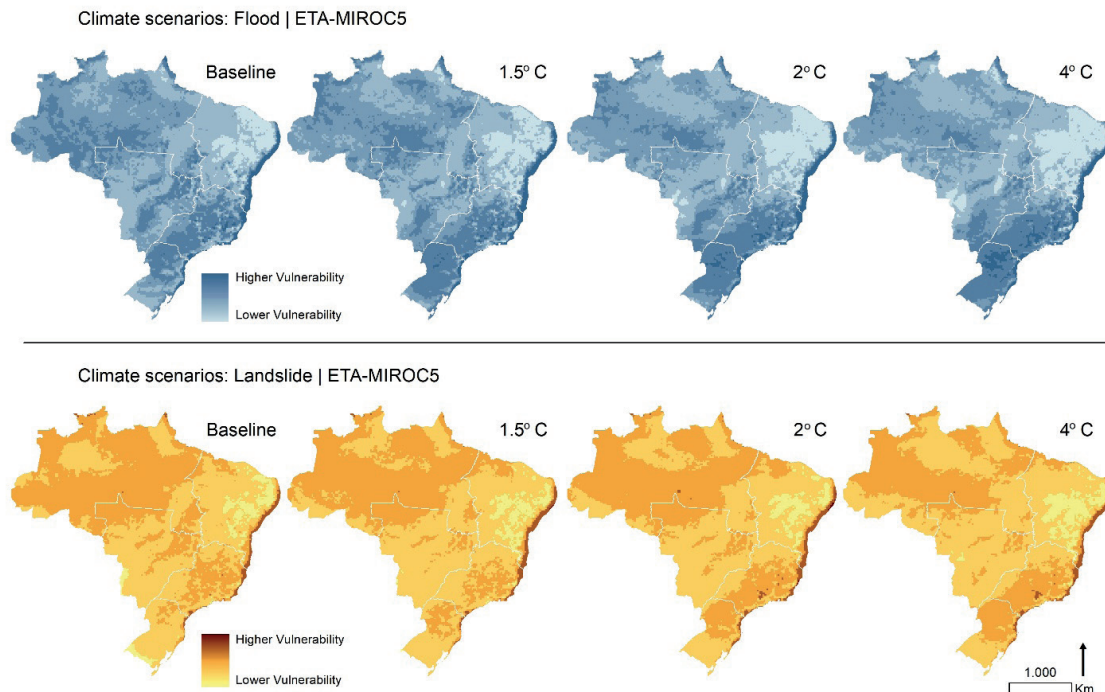


Figure 6 | Climate extremes compound indexes.

Source: Debortoli et al. (2017). Prepared by Perez, 2020, for QCN Brazil UNFCCC.

Projections for various warming levels (Figure 6, in blue) show that, due to the increase in intense rainfall in the Southeastern and Southern regions, projected by models, in the future the risk of floods may increase in these regions, as well as in the coastal zone in the states of the Northeast and some areas in the Amazon. The risk of increased disaster occurrences is greater when global warming exceeds 2°C.

In the semiarid region, the risk of Hydrometeorological disasters is lower due to projections that show a decrease in total and intense rainfall, with warming above 2°C. In the RCP 4.5 scenario, the central region of Brazil (the Pantanal) and the semiarid region in the Northeast have shown a reduction in vulnerability. On the other hand, the Southern and Southeastern regions, as well as the eastern coastal zone in the Northeast, have shown a significant increase in the risk of hydrometeorological hazards.

The same association for landslides (Figure 6, in yellow) shows that, mostly for SWL 2º and 4º scenarios, and for RCP 4.5, extreme rainfall that cause landslides are expected to further increase in the Southern and Southeastern regions, and in some coastal areas in the Northeast. This increases the risk of landslides in the states of Santa Catarina, Rio Grande do Sul, eastern Paraná, the northeastern coast of São Paulo and the region of Serra da Mantiqueira, particularly the region close to the border with the state of Minas Gerais. These places have been characterized as likely spots for recurrent landslide disasters at present, and show strong evidence of intensification in the future. On the other hand, vulnerability index drops in the country's central region due to a declining trend in extreme rainfall, particularly in the Center-West states and in the semiarid region in the Northeast.

According to the present index analysis, some areas have been stricken by disasters; thus, vulnerability in those areas may become more frequent and intense in the future due to strong evidence that extreme rainfall events will increase. Our results and those by Debortoli et. al. (2017) support the AR5 (IPCC, 2014) results, that extreme rainfall events causing disasters are expected to increase in the Southern and Southeastern regions of Brazil, mainly in the Coastal Zone, where a large number of capital cities is located, with much of the country's population.

It must be noted that, in the coastal zone, disaster risks may be aggravated by events associate with sea level rise, such as storm tides, phenomena that may be likewise influenced by climate change, mainly in the area comprising mouth of the Amazon river to the Maranhão coast, along the entire south and southeast coast and in the northeastern capitals, as per Almeida et. al. (2016), who, when also measuring municipalities response and adaptation capacities to this impact, shows that the Northern and Northeastern regions concentrate the least prepared municipalities.

## 4 FINAL CONSIDERATIONS

The high concentration of observed disasters and the vulnerability and exposure hotspots in the Northeastern region are a concern because of the poor regional urban infrastructure and projections for increased extreme rainfall that cause floods. Even with better urban infrastructure, the high population density and the large number of precarious settlements in the Southern and Southeastern regions, coupled with the same forecast of increased extreme rainfall in the future, also trigger a warning for an increase in hydrometeorological disasters. The Center-West region, despite presenting lower occurrences, shows numbers in the tens of thousands. In the Northern region, UVl<sub>exp</sub> failed and showed no spatial correlation with floods that affected one million people in the 10 years of data assessed, mostly because of low exposure.

Among the Brazilian Government's proposals to reduce the risk of disasters, the creation of CEMADEN, liaison between CPRM and IBGE for the mapping and classification of risk areas, and the proposed civil defense chain have been performed. However, the key to reduce the risk of disasters in the country also lies in urban development (NOGUEIRA et al., 2014).

The main instrument for regulating, managing, planning and improving Brazilian urban conditions is the City Statute (LF 10.257/2001), which provides for planning. The Ministry of Cities (now extinct) was responsible for integrating urban policies among the 3 levels of Government (2003 - 2019), in addition to supporting land regularization, housing provision, sanitation and mobility, intergovernmental integration, which is extremely important for small municipalities that depend on technical support from the Government (PEREZ et al., 2017).

Discontinuity of programs such as Risk Reduction and Eradication within the Urbanization, Regularization and Integration of Precarious Settlements Program (or simply Urbanization of Favelas), which provided for the allocation of federal resources for urbanization works and disaster risk reduction, creation permeable green areas, or the Papel Passado program, which provided technical training to implement land regularization, weakens urban adaptation to climate change. The use of instruments of the Reurb Law (Federal Law No. 13,465/2017), which allow for adapting housing to the necessary legislation to ensure the social and environmental security of families at risk, is also weakened without the Ministry of Cities. The Master Plan is urban policy's main **municipal** instrument, and it is pivotal for adaptation to climate change, however, besides the fact that 75% of Brazilian cities being exempt from the obligation to elaborate it, many cities have legislation that has been approved without spatial planning (ALMEIDA et al, 2017).

Housing provision for AGSN families in risk to be relocated, marked in recent years by the *Minha Casa Minha Vida* (My House, My Life) program, not only is now extinguished but, when in operation, amplified the periphery of low-income communities (ROLNIK, 2015).

Lastly, the new Brazilian Basic Sanitation Law (Federal Law No. 14,026/2020) provides for the management of water and sewage services, without considering climate change or the increase of rainfall extremes that cause hydrometeorological disasters. Therefore, it does not specify rules for the resizing of rainwater management systems, or the use of green or blue infrastructure in order to increase urban resilience and mitigate emissions.

Inter-institutional and inter-level liaisons are an essential condition for reduction of disaster risks. The lack of an urban policy that reaches precarious settlements, universal environmental sanitation and sustainable implementation of green and blue infrastructures means that the role of monitoring entities of risk and civil defense will continue to fail in prevention.

## REFERENCES

- ALMEIDA, L. Q.; WELLE, T.; BIRKMAN, J. Disaster risk indicators in Brazil: a proposal based on the world risk index. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, n. 17, p. 251-272, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.04.007>
- ALMEIDA, G. M. et al. **A política nacional de regularização fundiária**: capacidades institucionais dos municípios na implementação do Programa Federal Papel Passado e suas implicações na gestão do território. In: XVII ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL – ENANPUR, XVII, 2017. São Paulo, 2017.
- ALVALÁ, R. et al. Mapping characteristics of at-risk population to disasters in the context of Brazilian early warning system. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 41, 2019. 101326.
- BARCELLOS, C.; HACON, S. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 18, n. 3, p. 285-304, Brasília, 2009.
- BARTIKO, D. et al. Spatial and seasonal patterns of flood change across Brazil. *Hydrological Sciences Journal*, v. 64, n. 9, p. 1071-1079, 2019. DOI: 10.1080/02626667.2019.1619081
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Regularização fundiária sustentável**: conceitos e diretrizes. Brasília, 2007.

BURIAN, S.; EDWARDS, F. Historical Perspectives of Urban Drainage. **Ninth International Conference on Urban Drainage**. 2012. [https://doi.org/10.1061/40644\(2002\)284](https://doi.org/10.1061/40644(2002)284)

CALDERIA, T. **Cidades de muros: crime e segregação na metrópole**. EdUSP: São Paulo, 2000.

CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C. Drought and water policies in Northeast Brazil: backgrounds and rationale. **Water policy**, v.10, p. 425-38, 2008.

CENAD. **Registro de ocorrência de desastres naturais 2005-2015**. Dados gentilmente cedidos pela Coordenação de Análise de Risco do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres, 2018.

CEPED. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais On-line**. 2020.

CHOU, S. et al. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-527, 2014.

DEBORTOLI, N. et al. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disaster in the context of climate change. **Natural hazard**, v. 8, n. 2, 2017.

DIAS, M. C. A. et al. Estimation of exposed population to landslides and floods risk areas in Brazil, on an intra-urban scale. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 31, Oct. 2018.

DUNN, R. J. H. et al. Development of an updated global land in situ-based data set of temperature and precipitation extremes: HadEX3. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 125, 2020 e2019JD032263. <https://doi.org/10.1029/2019JD032263>

FONSECA, P. A. M. **Influência de variáveis hidroclimáticas na ocorrência de diarreias em menores de 5 anos na Amazônia ocidental**. Manaus: [s.n.], 2018.

FREITAS, C. M. et al. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 9, p. 3645-3656, 2014.

HACON, S. S.; OLIVEIRA, B. F. A.; SILVEIRA, I. Climate Change Risks in Brazil: a review of the health sector impacts of 4°C or more temperature rise. NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. (Org.). **Impacts of 4°C or more Temperature Risk**. UK: Springer, 2018.

HARDOY, J.; PANDIELLA, G. Urban poverty and vulnerability to climate change in Latin America. **Environment and Urbanization**, v. 21, n. 1, p. 203-224, 2009.

HUMMELL, B.; CUTTER, S.; EMRICH, C. Social vulnerability to natural hazards in Brazil. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 7, n. 2, 2016. doi: 10.1007/s13753-016-0090-9.

IBGE. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: ago. 2020.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: ago. 2020.

IBGE. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais: Munic 2013**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/10586-pesquisa-de-informacoes-basicas-municipais.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: ago. 2020.

IDEB. **Índice de Desenvolvimento da Educação Básica**. 2011. Disponível em: <<http://ideb.inep.gov.br/resultado/>>. Acesso em: ago. 2020.

IDSUS. **Índice de Desempenho do Sistema Único de Saúde**. 2010. Disponível em: <<http://idsus.saude.gov.br/>>. Acesso em: ago. 2020.

IPCC. **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. BARROS, V. R. et al. (Ed.). Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014.

IPCC. **Special Report: climate change and land**. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2019.

IPEA. **Índice de Vulnerabilidade Social**. 2015. Disponível em: <<http://ivs.ipea.gov.br>>.

KITA, S. M. Urban vulnerability, disaster risk reduction and resettlement in Mzuzu city, Malawi. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 22, 2017.

KOKS, E. E. et al. Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. **Environmental Science & Policy**, n. 47, p. 45-52, 2015.

LITRE, G.; BURSZTYN, M. Percepções e adaptação aos riscos climáticos e socioeconômicos na pecuária familiar do bioma Pampa. **Ambiente & Sociedade**, v. XVIII, n. 3, p. 55-80, 2015.

MARENGO, J. O futuro do clima no Brasil. **Revista USP**, n. 103, p. 25-32. São Paulo, 2014.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **Int. J. Climatol.** v. 36, p. 1033-1050, 2016. doi: 10.1002/joc.4420

MARENGO, J. A. et al. Changes in climate and land use over the amazon region: current and future variability and trends. **Front. Earth Sci.** v. 6, p. 228, 2018. doi: 10.3389/feart.2018.00228

MARENGO, J. A. et al. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. **Ann. N.Y. Acad. Sci.** p. 1-16, 2020a. doi: 10.1111/nyas.14307

MARENGO, J. A. et al. Changing Trends in Rainfall Extremes in the Metropolitan Area of São Paulo: causes and impacts. **Front. Clim.** v. 2, n. 3, 2020b. doi: 10.3389/fclim.2020.00003

MARENGO, J. A. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**. São Paulo, n. 106, p. 31-44 julho/agosto/setembro 2015.

MARENGO, J.; ALVES, L. M. The 2011 intense rainfall and floods in Rio de Janeiro. In: State of the Climate in 2011. **Bulletin of American Meteorological Society**, 93, p. S175-S177, 2012.

MARENGO, J. et al. Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: vulnerabilities and human adaptation. **American Journal of Climate Change**, v. 02, n. 02, p. 87-96, 2013a.

MARICATO, E. Conhecer para resolver a cidade ilegal. CASTROLA, L. (Org.) **Urbanização Brasileira**. Ed. C/Arte: São Paulo, 2003.

\_\_\_\_\_. Metrôpole, legislação e desigualdade. **Estudos Avançados**, v. 17, n. 48, p. 151, 2003b.

\_\_\_\_\_. Informalidade Urbana no Brasil: a lógica da cidade fraturada. In: **A cidade de São Paulo, relações internacionais e gestão pública**. WANDERLEY, L. E.; RAICHELIS, R. (Org.). Ed Educ, 2009.

\_\_\_\_\_. The future of global peripheries cities. **Latin America Perspective**, v. 44, n. 2, p. 18-37, 2017. doi:10.1177/0094582X16685174

MIKOSZ, L. **Sendai Framework Indicators for Disaster Risk Reduction in Brazil**: initial conditions, feasibility analysis, and understanding the risk. National Graduate Institute for Policy Studies (GRIPS): Tokyo, Japan, 2017.

NOGUEIRA, F.; OLIVEIRA, V.; CANIL, K. Políticas Públicas Regionais para Gestão de Riscos: o processo de implementação no ABC, SP. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. XVII, n. 4, p. 177-194, out.-dez. 2014.

OJIMA, R. Urbanização, dinâmica migratória e sustentabilidade no semiárido nordestino: o papel das cidades no processo de adaptação ambiental. **Caderno Metrôpoles**, v. 15, n. 29, p. 35-54. São Paulo, 2013.

PBMC. **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional**: impactos, vulnerabilidade e adaptação. v. 2. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Governo Federal, Brasília, 2016.

PEREZ, L. P. et al. Spatial data in the Global South: a case study of alternative land management tools for cities



with limited resources. In: **2017 IEEE - GHTC**: California, 2017.

PNUD. **Atlas Brasileiro do Desenvolvimento Humano nos Municípios Brasileiros**. Disponível em: <<http://atlasbrasil.org.br/2013/>>. Acesso em: ago. 19.

RASCH, R. Income Inequity and Urban Vulnerability to Flood Hazard in Brazil. **Social Science Quarterly**, v. 98, n. 1, p. 299-325, 2017.

ROLNIK, R. O Programa Minha Casa Minha Vida nas regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas: aspectos socioespaciais e segregação. **Cad. Metrop.** São Paulo, v. 17, n. 33, p. 127-154, May 2015.

RUFAT, S. et al. Social vulnerability to floods: review of case studies and implications for measurement. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 14, p. 4, 2015.

SAITO, S. M. et al. Disaster risk areas in Brazil: outcomes from an intra-urban scale analysis. **International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment**. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-01-2020-0008>

SAITO, S. M. et al. População urbana exposta aos riscos de deslizamentos, inundações e enxurradas no Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 31, 29 nov. 2019.

SÃO PAULO (Estado). **Relatório de Defesa Civil**. 2019. Disponível em: <<https://www.saopaulo.sp.gov.br/sponoticias/defesa-civil-do-estado-atualiza-situacao-na-baixada-santista/>>. Acesso em: ago. 2020.

SILVA, D. X.; BARCELLOS, C.; BACURI, R. **Vulnerabilidade e efeitos das mudanças climáticas na saúde pública em Manaus**. Project report on Guidance for Conducting Assessments of Health Vulnerability and Public Health and Health Care Interventions to Address Climate Change, funded by the Pan-American Health Organisation, 2010.

TOMINAGA, L.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. Instituto Geológico: São Paulo, 2009.

TRAVASSOS, L.; TORRES, P.; GIULIO, G. et al. Why do extreme events still kill in the São Paulo Macro Metropolis Region? Chronicle of a death foretold in the global south. **International Journal of Urban Sustainable Development**. 2020. DOI:10.1080/19463138.2020.1762197

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Revista Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, São Paulo, 2008.

UFMG. **Podcast da UFMG: as chuvas de BH**, 2020. Disponível em: <<https://ufmg.br/comunicacao/noticias/planejamento-equivocado-transforma-chuva-em-inimiga>>. Acesso em: ago. 2020.

UNISDR. **Economic losses, poverty & disasters: 1998-2017**. Author(s) WALLEMACQ, P.; ROWENA, H. 2018.

UNDRR. **Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction**. Geneva, Switzerland. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). 2019. eISBN: 978-92-1-004180-5

# Mudanças climáticas e desastres: análise das desigualdades regionais no Brasil

*Climate Change and Disasters: analysis of the Brazilian regional inequality*

Letícia Palazzi Perez<sup>a</sup>

Saulo Rodrigues-Filho<sup>b</sup>

José Antônio Marengo<sup>c</sup>

Diogo Victor Santos<sup>d</sup>

Lucas Mikosz<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Professora visitante na Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, João Pessoa, PB, Brasil  
End. Eletrônico: leticia.palazzi@gmail.com

<sup>b</sup> Professor da Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, DF, Brasil  
End. Eletrônico: srodrigues@unb.br

<sup>c</sup> Pesquisador titular e Coordenador-Geral de Pesquisa e Desenvolvimento no Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, Cemaden, São José dos Campos, SP, Brasil  
End. Eletrônico: jose.marengo@cemaden.gov.br

<sup>d</sup> Supervisor de Vulnerabilidade e Adaptação no âmbito da Comunicação Nacional do Brasil à Convenção do Clima Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, MCTI, Brasília, DF, Brasil  
End. Eletrônico: diogo.santos@mctic.gov.br

<sup>e</sup> Analista de Infraestrutura no Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres, Cenad, Ministério do Desenvolvimento Regional, Brasília, DF, Brasil  
End. Eletrônico: lucas.mikosz@gmail.com

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33813

Received: 30/08/2020  
Accepted: 10/11/2020

ARTICLE – DOSSIER

Os dados e os resultados apresentados nesta publicação foram desenvolvidos no âmbito do projeto “Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, por meio dos recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente, aos quais oferecemos nossos agradecimentos.

## RESUMO

Uma das principais consequências das mudanças climáticas no Brasil é o aumento dos extremos de chuva, que causa desastres hidrometeorológicos. A dimensão continental brasileira, as características regionais dos biomas e a desigualdade socioeconômica são fatores condicionantes dos impactos dos eventos extremos no País. Este trabalho analisa a vulnerabilidade socioeconômica e de infraestrutura urbana brasileira, aliada à exposição da população, de maneira regional, a partir de desastres já observados e dos cenários futuros para a ocorrência de extremos chuvosos. Como resultados, aponta que as mudanças climáticas impactam diferentemente as grandes regiões brasileiras, em função da densidade populacional e da baixa qualidade dos serviços de infraestrutura urbana.

**Palavras-chave:** Desastres. Mudanças Climáticas. Desigualdade Social. Infraestrutura Urbana.

## ABSTRACT

*One of the main consequences of climate change in Brazil is the increase in the occurrence of extreme rainfall, which in turn trigger Hydrometeorological disasters; the Brazilian continental dimension, the regional characteristics of biomes and socioeconomic inequality are conditioning factors for the impacts of extreme events in the country. This work analyzes Brazil's socioeconomic and urban infrastructure vulnerability, combined with the regional exposure of the population, based on disasters observed and future scenarios for the occurrence of rainfall extremes. As a result, it points out that climate change impact differently on large Brazilian regions, due to population density and the poor quality of urban infrastructure services.*

*Keywords: Disasters Climate. Change Social. Inequality. Urban Infrastructure.*

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das consequências das mudanças climáticas é a alteração no regime de chuvas e aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de clima (IPCC, 2014; MARENGO, 2010; PBMC, 2014). Eventos climáticos extremos, como chuvas, secas ou ondas de calor, caracterizam-se por ocorrerem em intensidade, duração ou temporalidade anormais ao estado climático médio (MARENGO, 2009), e são fenômenos naturais, que desencadeiam desastres quando trazem impactos à sociedade (TOMINAGA et al., 2009).

As chuvas extremas de alta intensidade e curta duração causam alagamentos, enxurradas e inundações; as chuvas extremas de média intensidade e longa duração encharcam o solo; e a subsequente ocorrência de chuvas de curta duração e alta intensidade, com o solo já encharcado, causa os deslizamentos (TOMINAGA et al., 2009), afetando também a saúde da população, pois causam óbitos, deixam pessoas feridas, desabrigadas, e aumentam o risco de contaminação por doenças de veiculação hídrica (HACON et al., 2018).

As ondas de calor estão, por exemplo, associadas ao aumento das taxas de estresse e insolação, e exacerbação das doenças cardiovasculares (HACON et al., 2018; PBMC, 2014). Já a escassez de chuvas determina os períodos normais de estiagem, mas o prolongamento desses períodos, intensificados pelo aumento da temperatura, caracterizam as secas (MARENGO et al., 2019, 2020; TOMINAGA et al., 2009).

Especificamente em relação aos desastres hidrometeorológicos, desencadeados pelos eventos extremos de chuva, segundo a EM-DAT, base de dados do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (Cred), entre 1980 e 2000 foram registradas 1.828 ocorrências mundiais do tipo *flood* ou *landslide*, e entre 2001 e 2019, 3.550 ocorrências mundiais. O impacto dos extremos chuvosos não afeta todos da mesma maneira. Dados da EM-DAT, apresentados no relatório das Nações Unidas sobre pobreza e perdas causadas por desastres (UNISDR, 2018), mostram que, entre 1998 e 2017, em países

pobres, uma média de 130 pessoas por milhão morreram afetadas por desastres, enquanto essa média cai para 18 em países ricos.

Outro dado importante é que, segundo o relatório da *United Nations Disaster Risk Reduction* (UNDRR, 2019), mais de 50% da população mundial vive em áreas urbanas, até 2050 esse percentual deve aumentar para 75%, e é exatamente nas cidades que se concentram as populações mais afetadas por eventos extremos de clima.

Nas cidades, sistemas de drenagem de águas pluviais são utilizados há séculos para diferentes propósitos, entre os quais a contenção de alagamentos é um deles (BURIAN; EDWARDS, 2002). Kita (2017) e Tucci (2008) apontam o saneamento ambiental como elemento essencial da infraestrutura urbana. Tucci (2008) coloca que a ocupação de áreas de várzeas e encostas e a impermeabilização do solo sem infraestruturas de drenagem suficiente para captar a água das chuvas desencadeiam os processos de alagamentos, inundações, enxurradas e enchentes, além de deslizamentos de terra e movimentos de massa.

O Brasil tem presença histórica de assentamentos informais, sem infraestrutura urbana (MARICATO, 2009), com cidades segregadas socioespacialmente, e é justamente nas áreas de baixa ou nenhuma infraestrutura urbana que reside a população mais pobre e vulnerável economicamente (MARICATO, 2003a, 2003b, 2009), o que torna as cidades brasileiras ainda mais vulneráveis às mudanças climáticas.

A redução de risco de desastres no Brasil inclui monitoramento e emissão de alertas, atribuição do Cemaden; e o gerenciamento do risco de desastres, atribuição do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (Cenad), da Defesa Civil nacional, estadual e municipal, do Serviço Geológico do Brasil e do IBGE. Inclui ainda a política de provisão habitacional<sup>1</sup> e a elaboração de instrumentos de planejamento do desenvolvimento urbano e gestão das áreas de risco.

Entende-se que, para além das vulnerabilidades socioeconômicas da população, a política urbana é fator determinante na adaptação climática. Assim, este artigo apresenta uma discussão sobre a temática de desastres naturais no Brasil, no contexto de mudanças climáticas e desigualdade social e da infraestrutura urbana. Neste trabalho, se avalia a relação entre desastres naturais e infraestrutura urbana, além das condições socioeconômicas regionais brasileiras, considerando também os cenários futuros de ocorrência de extremos chuvosos. O objetivo é compreender quais as regiões brasileiras e as condições socioeconômicas e ambientais são mais vulneráveis aos desastres de origem hidrometeorológica.

## 1.1 DESASTRES HIDROMETEOROLÓGICOS NO BRASIL

Desastres hidrometeorológicos têm sido identificados em várias regiões metropolitanas, incluindo a Região Metropolitana de São Paulo (MARENGO et al., 2020a, 2020b), e a precariedade urbana das cidades brasileiras agrava o impacto desses extremos (HUMMELL, 2016; MARICATO, 2009; RASCH, 2016; TRAVASSOS et al., 2020). A alteração no regime de chuvas e o aumento da ocorrência de chuvas extremas, que já tem sido identificado no Sul e Sudeste do Brasil nos últimos 50 anos (DUNN et al., 2020; MARENGO, 2007), nas as pequenas e médias cidades do interior, também concentram áreas de risco e estão sujeitas a desastres (SAITO et al., 2019, 2020).

De fato, os desastres que fizeram mais vítimas fatais no Brasil são movimentos de massa e deslizamentos de terra, seguidos de inundações, enxurradas e alagamentos. Segundo o Atlas Digital do Ceped (2020), entre 2000 e 2019, somando apenas 27% do total de ocorrências e afetando 20% do total de atingidos, os desastres hidrometeorológicos foram responsáveis por 84% dos desabrigados e desalojados no País e 79,6% dos óbitos: 3.040 das 3.816 mortes registradas nesse período.

1 | Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, ODS 13, Indicador 13.1.1. Disponível em: <<https://odsbrasil.gov.br/objetivo13/indicador1312>>.

As dimensões continentais do Brasil implicam diferentes níveis de exposição e impactos aos extremos da variabilidade do clima e da mudança do clima no território. No Norte do País, representado pelo bioma Amazônia, há indicativos de alterações no regime de chuvas, que podem causar desde inundações bruscas até secas, que podem vir a se tornar sazonais (MARENGO; ESPINOZA, 2016; MARENGO et al., 2018; PBMC, 2014).

No Centro-Oeste brasileiro, composto basicamente pelo Cerrado e pelo Pantanal, e no Nordeste, coberto pela Caatinga, os dados analisados pelo Primeiro Relatório de Avaliação Nacional – PBMC (2014) apontam aumento de temperatura entre 5% a 20% até 2040, agravado ainda mais no futuro, principalmente na Caatinga, onde além da tendência de secas severas mais recorrentes, espera-se também aumento nos alagamentos e inundações por chuvas intensas e de curta duração.

No Sudeste, o PBMC (2014) indica que devem aumentar as temperaturas mínimas, apesar do aumento gradual das temperaturas no geral, e aumento de extremos de chuva de 5% a 10% em 2040 e até 30% até 2100 (CHOU et al., 2014a, 2014b; IPCC, 2014).

No Sul do País, os modelos do PBMC (2014) indicam situação semelhante ao Sudeste, com aumento gradual de temperatura, de 15% a 20% de aumento de precipitação até 2040, chegando a 40% de aumento em 2100. Esse aumento seria na forma de eventos extremos de chuvas intensas com períodos secos e quentes entre eventos chuvosos.

Como aumento de extremos chuvosos, deve se intensificar a ocorrência de desastres hidrometeorológicos, principalmente nas áreas urbanas expostas (AVALA et al., 2019; DEBORTOLI et al., 2016; MARENGO, 2007). O aumento da temperatura, aliado ao crescimento populacional e espraiamento urbano sobre a Mata Atlântica, pode intensificar a escassez hídrica. Nas áreas costeiras, poderá haver aumento do risco de elevação no nível do mar (PBMC, 2016, 2017).

Em 2011, ocorreu o pior desastre natural do Brasil, na região serrana do Rio de Janeiro, com o registro de 947 mortes, mais de 300 pessoas desaparecidas e milhares de desalojados e desabrigados, além de severas perdas econômicas, destruição de moradias e infraestrutura, em decorrência de enxurradas e deslizamentos (GRAEFF et al., 2012; MARENGO; ALVES, 2012).

Em janeiro de 2020, a cidade de Belo Horizonte (MG) e outras 195 cidades mineiras foram atingidas por um extremo chuvoso de período de retorno de 110 anos. As cidades decretaram *situação de emergência*, foram registrados 60 óbitos e quase 30 mil desalojados (UFMG, 2020). No dia 03 de fevereiro de 2020, na Região da Baixada Santista (SP), um único extremo chuvoso causou 45 óbitos e deixou quase 200 famílias desabrigadas (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020). As inundações que ocorreram no Amazonas, em 2009 e 2012 (MARENGO et al., 2013), afetaram aproximadamente 20.000 famílias que viviam em assentamentos precários.

Importante ressaltar o foco nas áreas urbanas brasileiras, onde tem sido registrado aumento significativo no número de desastres, conforme a Figura 1, que mostra a população atingida por desastres por tipo de domicílio: rural x urbano.



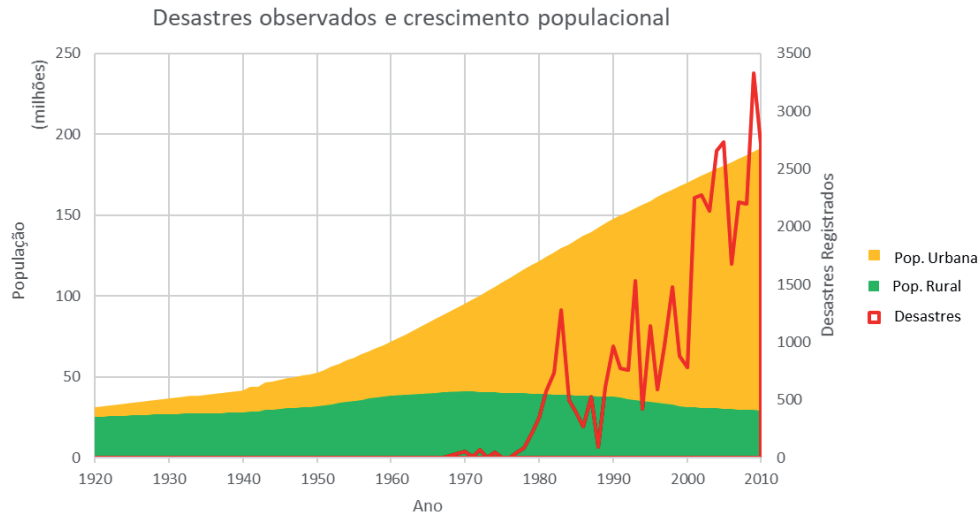


Figura 1 | Desastres no Brasil Urbano x Rural.

Fonte: Mikozs (2017).

Dada a precariedade urbana brasileira, o aumento de extremos chuvosos deve trazer desastres cada vez mais intensos (MARENGO, 2007; RASCH, 2016; TRAVASSOS et al., 2020).

## 1.2 DESIGUALDADE SOCIOESPACIAL E DESASTRES HIDROMETEOROLÓGICOS NO BRASIL

Os impactos das mudanças climáticas na vida humana são complexos e podem ser potencializados ou minimizados em função de determinantes individuais e coletivos inerentes a uma determinada organização social e de suas inter-relações, incluindo aspectos, como idade, capacidade do sistema de saúde e condicionantes sociais (HUMMELL, 2016; KOKS et al., 2015; RASCH, 2016; RUFAT et al., 2015).

Em relação às condições sociais, a situação de moradia, saneamento, higiene pessoal e acesso aos serviços de saúde são fatores que influenciam a vulnerabilidade de populações expostas a elementos de estresse climático, que somados a outras exposições ambientais poderão atuar sinergicamente gerando ainda mais risco para as populações (HACON et al., 2018; HUMMELL, 2016; RUFAT et al., 2015).

O Brasil é um país desigual e vulnerável socioeconomicamente. A urgência do tema sobre os desastres naturais no Brasil revela-se ainda mais evidente quando se observam os efeitos da profunda desigualdade social brasileira (IPEA, 2017; OXFAM, 2019) que implicam em desigualdade também na capacidade de enfrentamento dos impactos, sejam sanitários ou climáticos (IPCC, 2014), por parte de uma vasta parcela da população sem acesso a condições dignas de moradia e saneamento, por exemplo.

No Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) é apontado, conforme Figura 2, que as populações mais vulneráveis socioeconomicamente são também as mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas. Os aspectos identitários e dimensões da desigualdade expressas pela classe social, gênero, etnia, cor da pele, idade e necessidades especiais são fatores condicionantes da vulnerabilidade multidimensional e exposição ao risco.

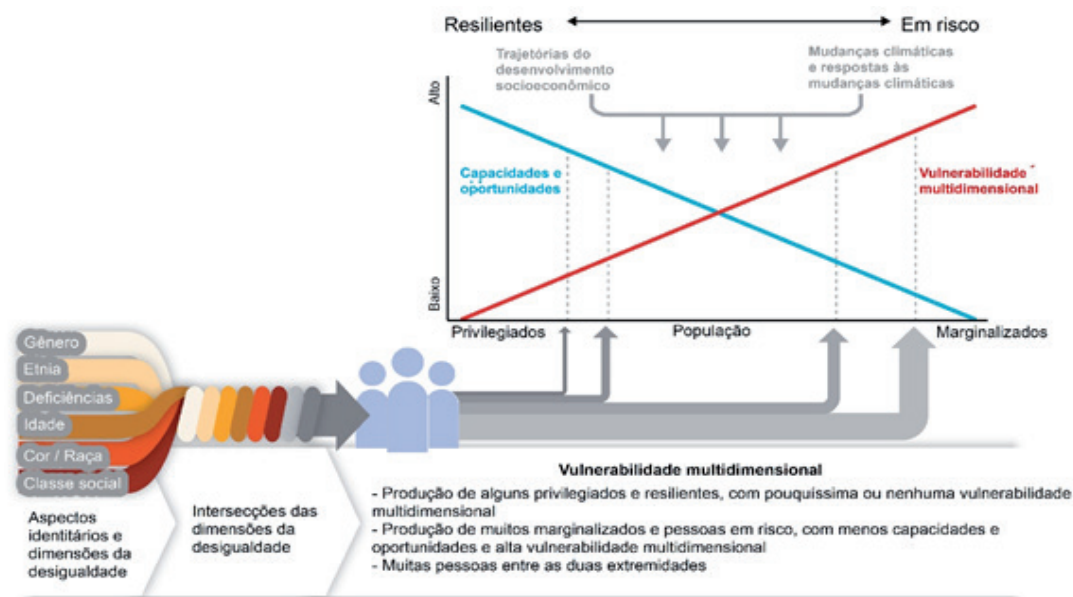


Figura 2 | Multidimensões da vulnerabilidade.

Fonte: AR5 (IPCC, 2014) WGII, Cap. 13, Fig. 13.5 (traduzido pelos autores).

Dias et al. (2018) explicitam a relação entre socioeconomia, condições da infraestrutura urbana e a ocupação de áreas de risco, a partir do cruzamento de informações censitárias, incluindo a localização de aglomerados subnormais<sup>2</sup> (AGSN) e a qualidade da infraestrutura urbana, mostrando que não só os AGSN têm baixas taxas de infraestrutura urbana, como acesso à água encanada e esgotamento sanitário, mas essa é uma condição que ocorre também nos assentamentos brasileiros formalmente regularizados.

Com cerca de 85% da população brasileira vivendo em cidades, e quase 25% nas principais regiões metropolitanas do País, grande parte das cidades brasileiras tem escassez de serviços básicos de saneamento e drenagem urbana (IBGE, 2010, 2017). Para o Ministério das Cidades (2007) e a Fundação João Pinheiro (MARICATO, 2009), existem no Brasil aproximadamente 12 milhões de domicílios informais e precários, mas para o IBGE (2010), apenas 3 milhões de domicílios são considerados AGSN, onde habitam quase 13 milhões de pessoas.

Dos 5.570 municípios brasileiros, 75% têm menos de 20 mil habitantes e são isentos de elaborar Plano Diretor Urbanístico, e a urbanização sem planejamento corrobora a implantação de assentamentos informais, sem licenciamento ambiental, sem a devida regulação do parcelamento do solo. Embora 70% dos aglomerados subnormais encontrem-se em capitais e no entorno destas (IBGE, 2010), a informalidade e a precariedade vêm aumentando em pequenas e médias cidades (PEREZ et al., 2017).

O processo de urbanização brasileiro, segundo Maricato (2000), “é uma máquina de produção de favelas” e, 20 anos após essa afirmação, mesmo com a aprovação do Estatuto da Cidade (LF 10.257/2001), as cidades brasileiras ainda são marcadas por grande desigualdade socioeconômica e ambiental, com enclaves de pobreza e favelização (CALDEIRA, 2010; MARICATO, 2017, 2009, 2003a, 2003b).

A propriedade privada da terra, derivada de tempos coloniais, associada à produção habitacional formal direcionada, por décadas, às classes mais altas da população, acentua a segregação socioespacial, e parte da população de baixa renda passa a ocupar beiras de córregos, várzeas, terrenos de alta declividade, principalmente nas grandes cidades. A informalidade e a precariedade são o que resta às classes de baixo poder aquisitivo (MARICATO, 2009), que, para além da condição financeira, passam a ter na moradia mais um fator de vulnerabilidade aos desastres hidrometeorológicos (HARDOY; PANDIELLA,

2 | Aglomerados Subnormais são uma forma de ocupação irregular de terrenos públicos ou privados para fins de habitação, em áreas urbanas e precários urbanisticamente.

2009). E isso se reflete na constatação de que 42% dos aglomerados subnormais encontram-se em áreas de risco mapeadas pelo IBGE-BATER (IBGE, 2017).

Saito et al. (2020) fizeram uma extensa análise das áreas de risco do IBGE-BATER com dados censitários, mostrando que mais de 8 milhões de brasileiros estão vivendo em áreas de risco, concentrados em 825 municípios, sendo 47.7% cidades pequenas, de até 100 mil habitantes, 29.6% em cidades de até 500 mil habitantes e 22.7% em grandes centros urbanos. Em números absolutos, a população vivendo em áreas de risco segue a ordem contrária, 48% nas grandes cidades, 28% em cidades de até 500 mil habitantes e 24% nas pequenas cidades de até 100 mil habitantes, mas os autores ponderam que, em números relativos, os residentes em pequenas cidades brasileiras estão mais expostos ao risco, contra 8% dos habitantes em grandes cidades (SAITO et al., 2020).

Ainda segundo Saito et al. (2019), 67% dos domicílios em áreas de risco na Região Norte, 54% no Centro-Oeste, 33% no Nordeste, 18% na Região Sul e 16% no Sudeste não têm esgotamento sanitário adequado. Se por um lado a precariedade urbana não é exclusividade dos AGSN ou de grandes cidades, por outro lado, áreas mais densamente ocupadas, como o Sudeste, concentram mais pessoas expostas aos desastres hidrometeorológicos (CEMADEN, 2017).

Os modelos climáticos e os modelos físicos do território não são suficientes para avaliar a vulnerabilidade da população aos desastres. São necessárias informações que apresentam, especialmente, a heterogeneidade da vulnerabilidade socioeconômica da população (HUMMELL et al., 2016; KOKS et al., 2015).

Diversos índices medem e espacializam a desigualdade dos municípios brasileiros, como o Índice de Vulnerabilidade Social (IPEA, 2015) ou o IDHM (PNUD, 2013), sendo todos baseados em dados censitários, com base em renda, escolaridade, serviços de infraestrutura urbana e saneamento, expectativa de vida, entre outras variáveis socioeconômicas.

Entendendo que, conforme Burian e Edwards (2012), Kita (2017), Maricato (2009) e Tucci (2008), a infraestrutura de saneamento e as redes de água e esgoto são elementos essenciais da resiliência urbana aos desastres hidrometeorológicos, optou-se aqui por não utilizar um índice pronto, mas, sim, construir um novo índice, utilizando dados censitários brutos de saneamento, renda e inadequabilidade<sup>3</sup> domiciliar para espacializar essas variáveis no território nacional. A esses dados, foram adicionados o *ranking* de acesso aos serviços de saúde e da educação pública básica e, posteriormente, a densidade populacional. O resultado foi analisado em conjunto com desastres observados e discutidos também em relação aos cenários futuros de clima.

## 2 METODOLOGIA

Os dados alfanuméricos (IBGE, 2010; IDEB, 2011; IDSUS, 2010) foram espacializados a partir dos limites municipais; os dados de desastres observados entre 2005 e 2015<sup>4</sup> foram plotados no centroide do município em que ocorreram; os cenários climáticos futuros foram produzidos por Chou et al. (2014) e Debortoli et al. (2017) e plotados pelos autores deste trabalho.

O Índice de Vulnerabilidade Urbana (IVU) foi elaborado com base em Burian e Edwards (2012), Kita (2017), Maricato (2009) e Tucci (2008), e as variáveis que compõem o IVU foram eleitas inspiradas na “Dimensão da Infraestrutura Urbana” do IVS (IPEA, 2015), com o objetivo de caracterizar não somente a

3 | Inadequados são os domicílios sem acesso aos serviços de saneamento ambiental e mais de dois moradores por dormitório; semi-inadequados são os domicílios que apresentam déficit de apenas um dos indicadores dos inadequados.

4 | Dentro da extensa base de dados do Cenad, existem inconsistências que podem induzir análises a erros. **Este recorte temporal** teve essas inconsistências corrigidas, a exemplo de “enxurradas”. Nas regiões Sul e Sudeste do País, desastres de fluxo de detritos como o da região serrana no Rio de Janeiro em 2011 foram originalmente classificados como enxurradas, enquanto que na Região Norte esse termo frequentemente é utilizado para inundações rápidas.

precariedade da infraestrutura urbana, mas também as condições sociais que mostram a desigualdade socioeconômica no Brasil. Ainda, os dados censitários, além de cobrirem todo o território nacional (diferentemente da Pnad, que é amostral) são compatíveis com os dados de desastres observados, ocorridos no máximo 5 anos antes ou depois da coleta do Censo 2010.

Para a composição do IVU, foram selecionados os seguintes dados: IBGE (2010) – pessoas por domicílios particulares permanentes no município, número de domicílios particulares permanentes no município, renda média no município, domicílios particulares permanentes conectados à rede de água, esgoto e com coleta de lixo no município e número de domicílios inadequados ou semi-inadequados no município –; Índice de qualidade dos serviços de saúde no município (Idsus, 2010); e Índice de qualidade da educação pública no município (Ideb, elaborado em anos ímpares, de 2011).

Esses dados foram espacializados pelo limite dos municípios brasileiros (IBGE, 2010) e normalizados em função dos máximos e mínimos de toda a base dos 5.570 municípios do País. Adotou-se a fórmula abaixo para cálculo do IVU:

$$\text{IVU} = \frac{\text{densidade no domicílio} + \text{água} + \text{esgoto} + \text{lixo} + \text{renda} + \text{adequação} + \text{Ideb} + \text{Idsus}}{8}$$

Para compor a análise com o Índice de Vulnerabilidade Urbana, foi calculada a exposição em função da densidade populacional da seguinte maneira:

$$\text{Exp} = \frac{\ln_{10}(\text{valor}(dp)) - \ln_{10}(\text{dp mínima})}{\ln_{10}(\text{dp máxima}) - \ln_{10}(\text{dp mínima})}$$

onde dp = população dividida por área

Após o cálculo da exposição, o fator foi aplicado ao IVU, criando o Índice de Vulnerabilidade Urbana com a exposição da população (IVUexp):

$$\text{IVUexp} = \text{IVU} * \text{densidade populacional}$$

Os dados de desastres observados, provenientes do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (Cenad) da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, tratados por Mikosz (2017), foram agrupados em duas tipologias: (i) deslizamentos de terra e movimentos de massa e (ii) inundações, enchentes, alagamentos e enxurradas.

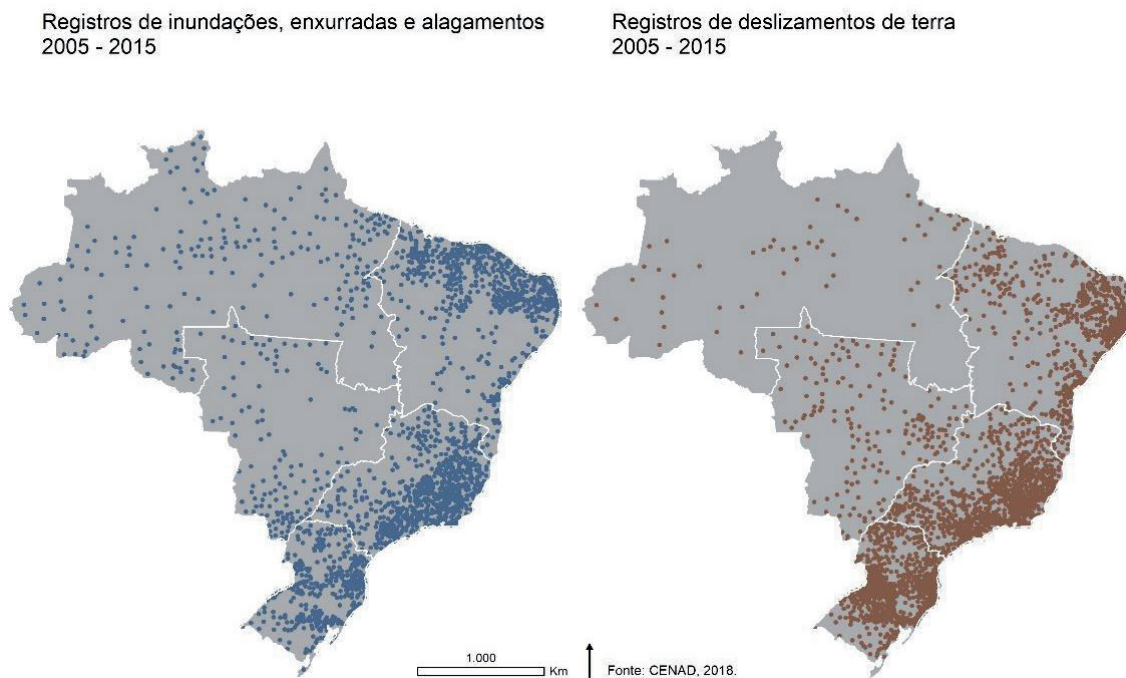
Os índices de extremos climáticos foram utilizados pelo IPCC (2014) e incluem: RX1day – máxima precipitação em um dia; Rx5day – máximo de precipitação acumulada em cinco dias; R95p – precipitação acumulada maior que 95% nos dias muito chuvosos; e CWD – máximo de dias consecutivos com chuva (qualquer precipitação maior que 1 mm). Esses índices foram utilizados nos estudos de vulnerabilidade aos desastres naturais no presente e futuro por Debortoli et al. (2017)<sup>5</sup>. Os índices foram gerados a partir das saídas dos modelos globais HadGEM2-ES e MIROC5 regionalizados pelo modelo regional Eta (CHOU et al., 2014), para o período *baseline* 1961-1990 e para os cenários futuros de RCP 8.5 para 2010/2040, 2041/2070 e 2017/2099 – que correspondem, aproximadamente, aos níveis de aquecimento médio global de 1,5°C, 2°C e 4°C.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 é possível observar os desastres da tipologia inundações, enxurrada ou alagamento, na esquerda, e da tipologia deslizamentos de terra, na direita. Entre 2005 e 2015 foram registradas 10.225

5 | Para descrição detalhada de cada indicador composto: Debortoli et al. (2017) | DOI 10.1007/s11069-016-2705-2.

ocorrências de inundações, enxurradas, alagamentos ou deslizamentos de terra e movimentos de massa, que afetaram mais de 5 milhões de brasileiros e provocaram a morte de 2.609 pessoas.



**Figura 3 |** Espacialização das ocorrências de desastres.

Fonte: Cenad (2018). Elaborado por Perez (2020) para a QNC Brasil UNFCCC.

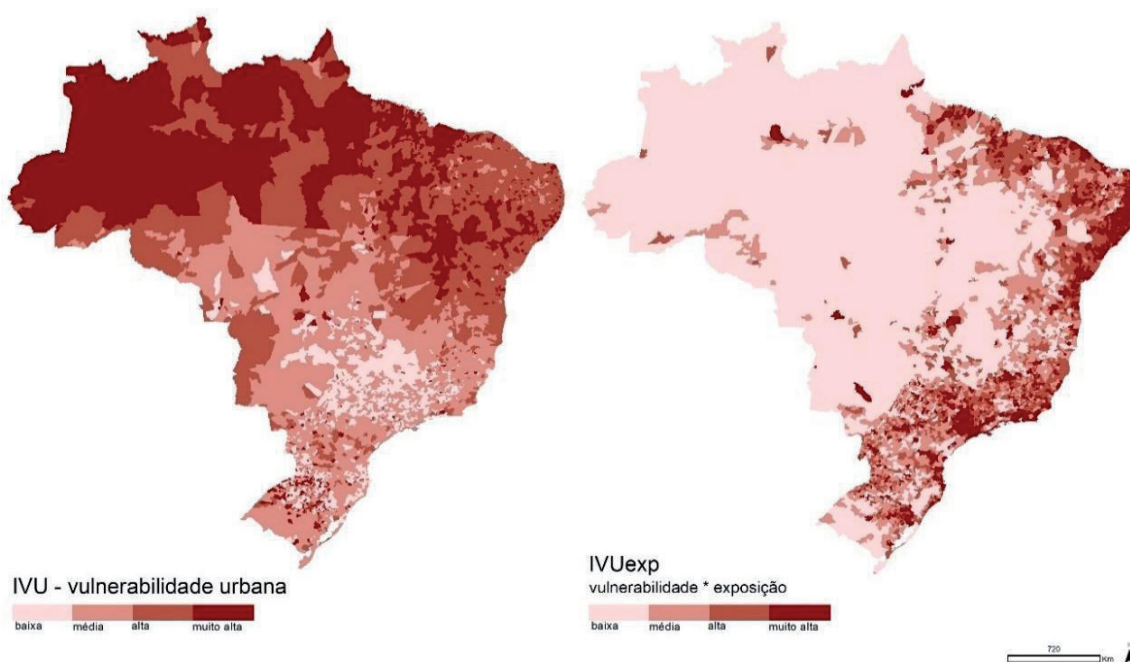
Para discutir os desastres observados, foram elaborados (Figura 4) o IVU (esquerda) e o IVUexp (direita). O IVU é composto pelos dados de saneamento (rede de água, rede de esgoto e coleta de lixo), inadequabilidade<sup>6</sup> dos domicílios, renda em salários mínimos, acesso aos serviços de saúde e da qualidade da educação pública. O IVUexp é o IVU multiplicado pela densidade demográfica, representando a exposição e a vulnerabilidade da população.

Conhecendo as distintas realidades regionais brasileiras, já era esperado que o IVU apontasse maior vulnerabilidade urbana nos municípios das regiões Norte e Nordeste, em especial os mais distantes das capitais estaduais, e menor vulnerabilidade no Sul e Sudeste.

Os dados mais recentes sobre os domicílios brasileiros ainda mostram essa desigualdade regional no País. Na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2017), os resultados de acesso a esgotamento sanitário e à rede de água são, respectivamente: 20% e 59% no Norte, 45% e 80% no Nordeste, 53% e 87% no Centro-Oeste, 66% e 88% no Sul e 89% e 92% no Sudeste. Em relação à renda (PNAD, 2018), nas regiões Sul e Sudeste, a média, em torno de R\$ 1.000,00 ou Centro-Oeste, R\$ 990,00, é ao menos 40% maior que no Norte, R\$ 650,00, ou Nordeste, R\$ 560,00.

6 | *Hotspots* de vulnerabilidade a desastres naturais: são as áreas de grande concentração populacional e onde já ocorrem os desastres naturais e que irão continuar a sofrer os impactos das mudanças climáticas que desencadeiam os desastres.





**Figura 4 |** IVU (esquerda) e IVUexp (direita).

*Fonte: IBGE e Idsus (2010) e Ideb (2011). Elaborado por Perez (2020), para a QNC Brasil UNFCCC.*

Se fosse comparado com o IVS (IPEA, 2015) ou com IDHM (PNUD, 2013), o IVU (Figura 4, esquerda) apresentaria distribuição espacial da vulnerabilidade muito semelhante ao IVS ou ao IDHM. Outros autores, como Debortoli et al. (2017) e Hummell et al. (2016), apresentam a vulnerabilidade socioeconômica com a mesma distribuição espacial, baseada em renda, educação, acesso a emprego, cor da pele, entre outras variáveis. Esses resultados regionais similares se dão pelo fato de que as regiões Norte e Nordeste são mais pobres, em termos de renda, infraestrutura e acesso a serviços básicos, o Norte é menos densamente ocupado que o Centro-Oeste e que o Sudeste e o Sul do País (HUMMELL et al., 2016).

Os municípios do Norte e Nordeste são mais vulneráveis em diversos aspectos socioeconômicos e ambientais, o que afeta principalmente a capacidade de resposta dessas populações e diminui sua resiliência, mas desastres nas proporções do ocorrido na região serrana do Rio de Janeiro, em 2011 (GRAEFF et al., 2012; MARENGO; ALVES, 2012), teve impacto de tamanha proporção justamente por ter se dado em uma região densamente ocupada.

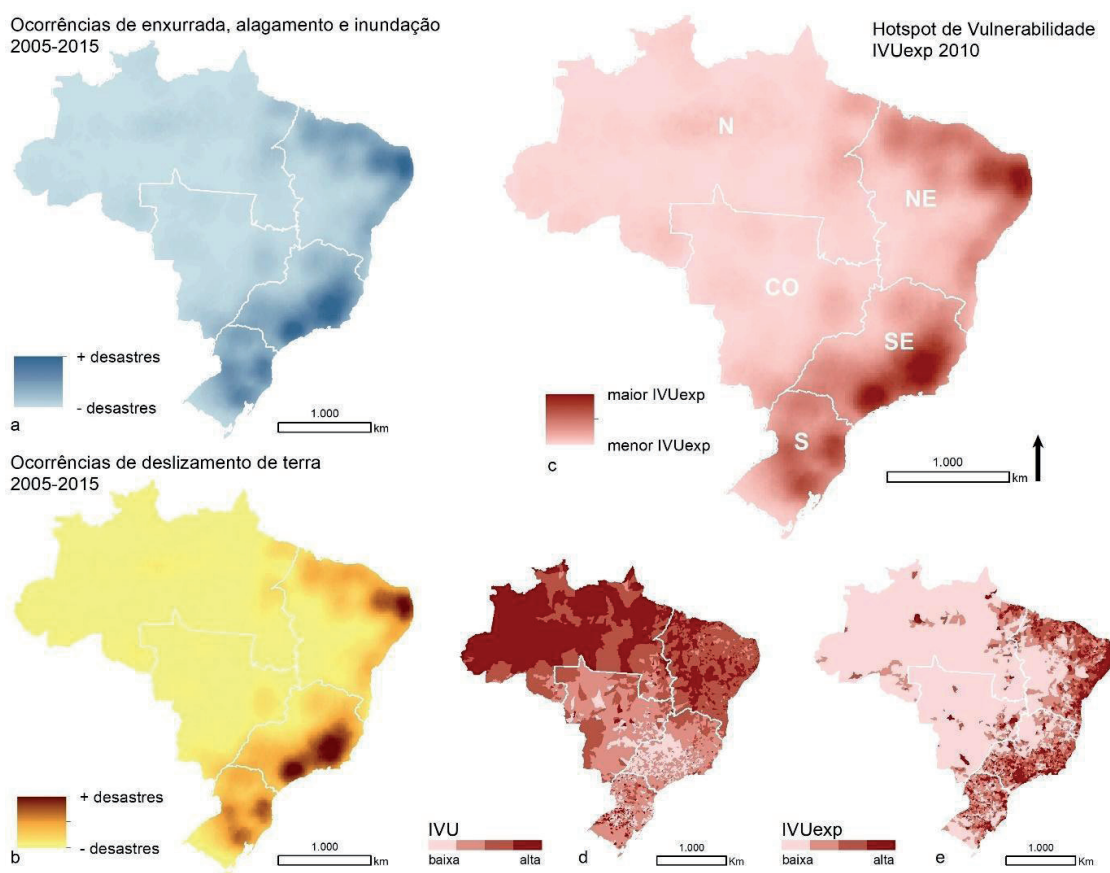
É importante ressaltar que 45% dos municípios com mais de 250 mil habitantes encontram-se na zona costeira – 13 das 27 capitais estaduais fazem limite com o Oceano Atlântico. Na Região Sudeste, vive 40% da população brasileira e, por outro lado, em toda a Região Norte residem menos habitantes que apenas na Região Metropolitana de São Paulo (IBGE, 2010) que, apesar de apresentar renda média mais alta que demais localidades, apresenta também alta concentração de assentamentos precários.

O IVUexp (Figura 4, direita) mostra a vulnerabilidade urbana brasileira considerando a densidade populacional, possibilitando que, visualmente, seja possível observar que ainda que as cidades brasileiras apresentem similar distribuição regional da vulnerabilidade econômica, educacional e ambiental no IVU, de resultados similares aos de Hummell (2016) ou Debortoli (2017), é possível ler essa vulnerabilidade associada à quantidade de pessoas expostas ao risco, no IVUexp. Ainda, assim como o Índice de Vulnerabilidade, (HUMMELL et al., 2016), o IVUexp (Figura 4, direita) não deixa de destacar altas vulnerabilidades das capitais; na Região Norte, além das capitais, os grandes centros urbanos, como Santarém (PA), Parintins e Tabatinga (AM) ou Cruzeiro do Sul (AC); no Centro-Oeste as

regiões metropolitanas; no Nordeste, além das capitais e centros regionais interioranos, como Patos (PB) ou Petrolina (PE), os municípios extremamente pobres do sertão nordestino.

Quando o IVUexp é espacializado de modo a demonstrar a concentração da vulnerabilidade e da exposição, e comparado aos desastres hidrometeorológicos observados entre 2005 e 2015, percebe-se visualmente a alta correlação dos *hotspots*<sup>7</sup> de vulnerabilidade (Figura 5c) e a concentração de desastres (Figuras 5a e 5b).

Na Figura 5 observam-se as manchas de alto IVUexp e alta concentração de ocorrências de desastres na faixa próxima ao Atlântico. A análise tabular desses dados mostra que tratam-se de 399 municípios localizados na Zona Costeira brasileira (IBGE, 2010), entre eles, 13 das 27 capitais estaduais, e com a concentração de aproximadamente 50 milhões de pessoas. Embora esses municípios concentrem apenas 10% do total de ocorrências de desastres no período analisado, ali vivem 25% da população brasileira, onde foram registradas 23 mortes e 260.000 afetados (desabrigados, desalojados ou feridos) por inundações, enxurradas ou alagamentos, e 529 mortos e 580.000 afetados por deslizamentos de terra, entre 2005 e 2015.



**Figura 5 |** Densidade de ocorrências de (a) alagamentos, inundações, enchentes e enxurradas e (b) deslizamentos de terra e movimentos de massa; (c) *hotspots* de vulnerabilidade; (d) IVU e (e) IVUexp.

Fontes: Cenad (2018), IBGE e Idsus (2010) e Ideb (2011). Elaborado por Perez (2020) para a QNC Brasil UNFCCC.

Nas regiões Sul e Sudeste (Figura 5), que concentram respectivamente 27 milhões e 80 milhões de habitantes, é possível observar que a exposição é um fator importante para analisar o impacto dos desastres na escala do País, principalmente quando grandes manchas de inundações, enxurradas ou alagamentos, e deslizamentos de terra, estão concentradas também nessas duas regiões. No Sudeste

foram registrados os maiores números de óbitos por deslizamentos de terra (1.724 mortos e 192 desaparecidos), e o segundo maior número de óbitos por inundações, enxurradas ou alagamentos (116 mortos e 30 desaparecidos). No Sul foram registrados 177 óbitos e 36 desaparecimentos em consequência de deslizamentos de terra, e 93 mortos e 10 desaparecidos por causa de inundações, enxurradas ou alagamentos. No total de afetados, as regiões Sudeste e Sul, somadas, concentraram aproximadamente 65% dos afetados por deslizamentos de terra e 37% dos afetados por inundações, enxurradas ou alagamentos (Tabela 1).

**Tabela 1 | Percentual regional de afetados por desastres hidrometeorológicos entre 2005 e 2015.**

Deslizamentos de Terra					Inundações, enxurradas, alagamentos				
Região	Mortos e Desaparecidos	Feridos e Enfermos	Desalojados e Desabrigados	Afetados Total	Região	Mortos e Desaparecidos	Feridos e Enfermos	Desalojados e Desabrigados	Afetados Total
N	0,2%	1,5%	0,5%	0,5%	CO	1,6%	0,7%	0,9%	0,9%
CO	0,6%	0,3%	1,0%	1,0%	S	20,4%	3,0%	17,4%	16,2%
S	9,0%	13,1%	26,8%	26,1%	SE	28,9%	7,1%	22,4%	21,1%
NE	8,9%	62,4%	31,2%	32,7%	NE	20,0%	28,1%	22,1%	22,6%
SE	81,2%	22,7%	40,5%	39,7%	N	29,2%	61,1%	37,1%	39,2%

Fonte: Elaboração própria.

A Região Nordeste, também em destaque tanto nos *hotspots* de vulnerabilidade quanto na ocorrência de desastres (Figura 5 a, b e c), possui a segunda maior concentração de afetados por ambas as tipologias de desastres, com valores muito próximos aos ocorridos no Sudeste, em ambos os casos. Foram registrados 76 mortes e 25 desaparecimentos por inundações, enxurradas ou alagamentos; 123 mortes e 88 desaparecimentos por deslizamentos de terra e 525.000 pessoas ficaram desabrigadas ou desalojadas por deslizamentos, e mais de 300.000 por inundações, enxurradas ou alagamentos no período analisado.

Esses resultados para as regiões Sudeste e Nordeste são corroborados pelos resultados de vulnerabilidade à *floods* e *landslides* apresentados por Debortoli et al. (2017), que mostram alta vulnerabilidade a ambas as tipologias de desastres nessas duas regiões, e por Saito (2019) que, ao apresentar a quantidade de pessoas e domicílios em áreas de risco, destaca essas mesmas três regiões, com maior concentração de pessoas expostas no Sudeste e no Nordeste.

A Região Norte apresenta o menor número de afetados por deslizamentos de terra, como apontado nos resultados apresentados por Debortoli et al. (2017), por tratar-se de uma região de pouca declividade e baixa vulnerabilidade a essa tipologia de desastre. Porém, a região apresenta o maior número de afetados totais por inundações, enxurradas ou alagamentos, quando comparada a outras regiões com mais de 1 milhão de afetados no recorte temporal estudado, explicado em grande parte pelos resultados de Bartiko et al. (2019) que mostram a grande magnitude das cheias amazônicas, que coincidem com as cheias abruptas justamente no período aqui analisado, 2005 a 2015, e na área destacada, de alto IVUexp, mais visível na Figura 5e na região central da Amazônia. Por fim, o Centro-Oeste apresenta poucos afetados em ambas as tipologias de desastres, mas ainda assim são números na casa de dezenas de milhares, além de oito óbitos por inundações, enxurradas ou alagamentos e 14 óbitos por deslizamentos de terra.

Em relação às classes de Vulnerabilidade Urbana e Exposição, a Figura 6 apresenta os números absolutos de afetados, por tipo de desastre e por classe do IVUexp, a partir das ocorrências de desastres.

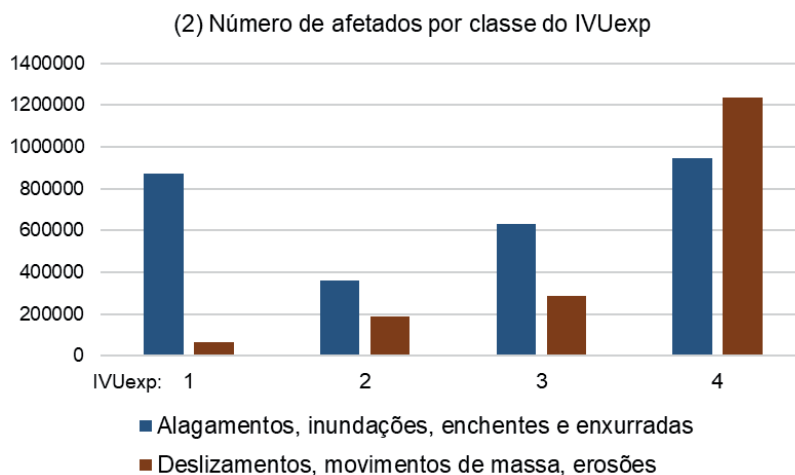
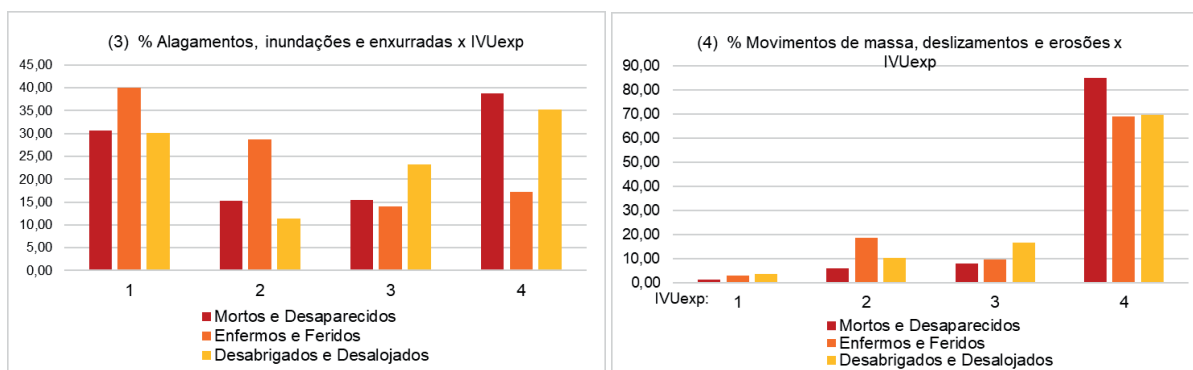


Figura 6 | Afetados, por classe de IVUexp.

Fonte: Elaboração própria.

O número de afetados cresce à medida que aumenta a vulnerabilidade e exposição, representada pelas classes de 1 a 4 do IVUexp, com exceção de afetados por alagamentos, inundações e enxurradas na Classe 1, de menor vulnerabilidade e exposição. Analisando os dados na microescala, esse resultado se explica pelo grande registro de alagamentos em municípios pequenos, 63% deles com menos de 20.000 habitantes, confirmando as análises de Saito et al. (2020) de que nem sempre as áreas mais densas são as mais expostas, e que é necessária atenção especial aos municípios pequenos.

Os percentuais de afetados por desastres, segundo a classificação do Cenad: mortos e desaparecidos; enfermos e feridos; desabrigados e desalojados, são apresentados nas figuras 7 e 8, divididos por classe de IVUexp.



Figuras 7 e 8 | Percentual de afetados, por categoria de desastre e classe IVUexp

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 7 mostra que as maiores concentrações de mortos ou desaparecidos em decorrência de alagamentos, inundações ou enxurradas ocorrem nas classes 1 e 4 do IVUexp. A Classe 1 de IVUexp está relacionada aos pequenos municípios. Já a Classe 4 de IVUexp são os assentamentos informais presentes nas grandes cidades (MARICATO, 2009), e alta taxa de impermeabilização das cidades brasileiras (RASCH, 2016). Na Figura 8 é clara a relação entre vulnerabilidade urbana, exposição e percentual de afetados por desastres.

As maiores concentrações de afetados ocorrem majoritariamente nos municípios mais vulneráveis, de maior exposição, que também são as capitais e regiões metropolitanas, como nos resultados expostos por Hummell et al. (2016). O resultado também se alinha ao trabalho da análise das áreas de risco de Saito et al. (2019, 2020), com exceção do Norte, principalmente pela baixa densidade populacional. O



resultado corrobora também as projeções do IPCC (2019) que, no relatório especial *Climate Change and Land*, aponta para maior ocorrência de desastres do tipo *landslides* em cidades com “planejamento pobre”, ou seja, com alta concentração de assentamentos informais, favelas e núcleos habitacionais (MARICATO, 2009).

Por fim, constata-se que um índice onde quatro de oito variáveis referem-se à infraestrutura urbana mostra aderência aos desastres já observados, e que são diretamente relacionados aos serviços de saneamento ambiental.

### 3.1 CENÁRIOS FUTUROS DE CLIMA

Quando plotadas as vulnerabilidades a enchentes, enxurradas e deslizamentos de terra usando os índices de Debortoli et al. (2017), as áreas de alto risco (Figura 9 – *Baseline* em azul e amarelo) são o Sudeste, Sul, norte do Nordeste, Amazônia do leste e na foz do Rio Amazonas (que é uma área de inundação permanente), assim como a zona costeira do leste do Nordeste. Essas regiões são similares àquelas mapeadas por Debortoli et al. (2017) que no *Baseline*, para enchentes e inundações repentinas, as regiões mais sensíveis são as regiões Sul e Sudeste do Brasil, bem como as seções leste dos estados do Nordeste do Brasil. A Amazônia apresenta áreas com risco de enxurradas, mas os municípios onde esse risco se apresenta têm baixa densidade populacional e assim a vulnerabilidade e exposição não são altas. Essas regiões são qualitativamente similares às áreas afetadas por esses desastres hidrológicos apontadas pelo Ceped (2013).

Para escorregamentos e deslizamentos de terra (Figura 9, em amarelo), os locais mais vulneráveis no *Baseline*, segundo Debortoli et al (2017) e o Atlas Ceped (2013), coincidem com municípios que costumam estar vinculados às áreas afetadas por extremos de chuva intensa, como as regiões metropolitanas de São Paulo e Santos; o litoral norte de São Paulo; a fronteira entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro (Cunha, São José do Barreiro e Angra dos Reis); a região da Serra da Mantiqueira, sul e sudeste de Minas Gerais; a região serrana do Rio de Janeiro e próximo à serra do Caparaão. Quando associados os registros de ocorrência de inundação, enxurrada e alagamento com os indicadores climáticos de extremos de chuva atuais sugerem um aumento na vulnerabilidade das áreas urbanas no Sul, Sudeste, partes do Nordeste, e particularmente na Mata Atlântica, o bioma mais povoado.

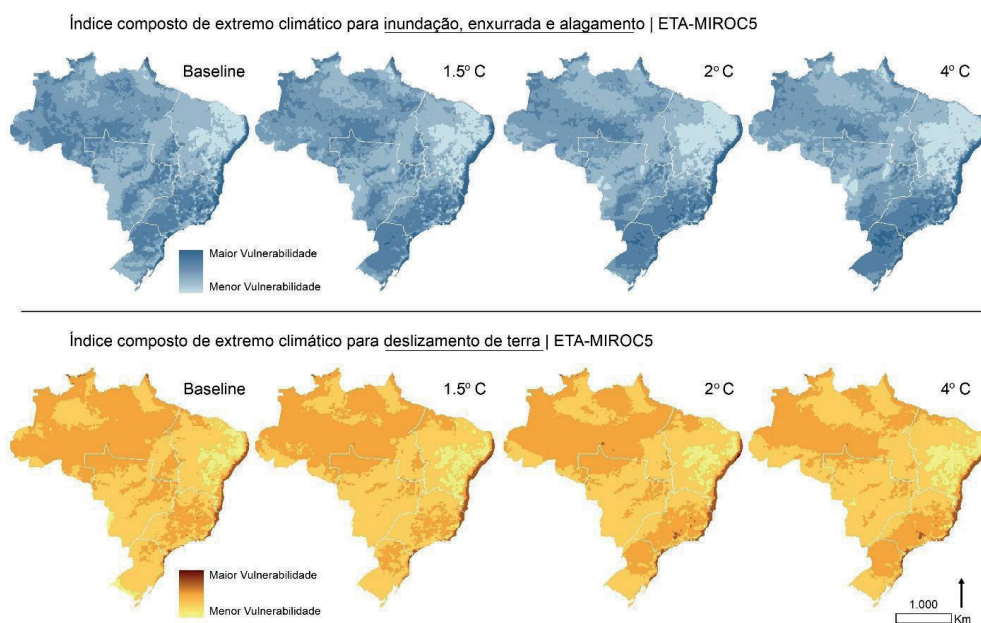


Figura 9 | Índices compostos de extremos climáticos.

Fonte: Debortoli et al. (2017). Elaborado por Perez (2020) para a QCN Brasil UNFCCC.



As projeções para vários níveis de aquecimento (Figura 9, em azul) mostram que, devido ao aumento nas chuvas intensas no Sudeste e Sul projetadas pelos modelos, no futuro esse risco de enxurradas, inundações e alagamentos pode aumentar, além da zona costeira dos estados do Nordeste e em algumas áreas da Amazônia. O risco de apresentar aumento na ocorrência desse tipo de desastre é maior quando o aquecimento global supera os 2°C.

No semiárido o risco de desastres hidrológicos é menor devido às projeções que mostram redução de chuvas total e intensas, com o aquecimento superando 2°C. No cenário RCP 4.5, a região central do Brasil, o Pantanal, e o semiárido do Nordeste apresentaram diminuição da vulnerabilidade. Por outro lado, todo o Sul e Sudeste do País, assim como a zona costeira do leste do Nordeste do Brasil, sofre um aumento considerável do risco de desastres hidrológicos.

A mesma associação para os deslizamentos de terra (Figura 9, em amarelo) mostra que principalmente para os cenários SWL 2°C e 4°C, para o RCP 4.5, as chuvas extremas que causam os deslizamentos devem aumentar ainda mais no Sul e Sudeste do País e em áreas do litoral do Nordeste. Isso aumenta o risco de deslizamentos de terra nos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, leste do Paraná, costa nordeste de São Paulo e na região da Serra da Mantiqueira, especialmente próxima à divisa com Minas Gerais. Esses lugares foram caracterizados como locais prováveis para recorrentes cenários de desastres de deslizamento de terra no presente e mostram fortes evidências de intensificação ocorrendo no futuro. Por outro lado, o índice de vulnerabilidade diminui na região central do País devido à tendência declinante de eventos extremos de chuvas, especificamente nos estados do Centro-Oeste e no semiárido do Nordeste.

De acordo com a análise do índice para o presente, algumas áreas já sofrem com desastres. Assim, a vulnerabilidade nessas áreas pode se tornar mais frequente e severa no futuro devido a fortes evidências de que eventos extremos de chuva de magnitude aumentarão em frequência. Nossos resultados e os de Debortoli et al. (2017) corroboram os resultados do AR5 (IPCC, 2014), de que os eventos extremos de chuva que causam desastres devem aumentar nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, mas principalmente na Zona Costeira, onde se concentram grande parte das capitais estaduais brasileiras e grande parte da população do País.

Ressalta-se que, no litoral, os riscos de desastres podem ser potencializados por eventos associados a sobre-elevações do nível do mar, como as marés de tempestade, fenômenos que podem ser da mesma forma influenciados pelas mudanças climáticas, principalmente na área da foz do Rio Amazonas até o litoral maranhense, em toda a costa sul e sudeste e nas capitais nordestinas, conforme Almeida et al. (2016), que ao medirem também as capacidades de resposta e de adaptação dos municípios a esse impacto, mostram que o Norte e Nordeste concentram os municípios menos preparados.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande concentração de desastres observados e dos *hotspots* de vulnerabilidade e exposição no Nordeste preocupa pela baixa qualidade da infraestrutura urbana regional e as projeções de aumento de chuvas extremas que causam inundações e enxurradas. No Sul e Sudeste, mesmo com uma melhor infraestrutura urbana, a alta densidade populacional e o grande número de assentamentos precários, aliados à mesma previsão de aumento das chuvas extremas no futuro, também acendem um alerta para o aumento na ocorrência de desastres hidrometeorológicos. O Centro-Oeste, apesar de apresentar os menores números de ocorrências, o número de afetados é da casa de dezenas de milhares. No Norte do País, o IVUexp falhou e não mostrou correlação espacial com os alagamentos ou inundações que afetaram um milhão de pessoas nos dez anos de dados analisados.

Entre as metas de redução de risco de desastres do governo federal brasileiro, a criação do Cemaden, a articulação do CPRM e IBGE para mapeamento e classificação das áreas de risco, e toda a cadeia de

defesa civil proposta já foram efetuadas. Mas a chave para a redução do risco de desastres no País passa também pelo desenvolvimento urbano (NOGUEIRA et al., 2014).

O principal instrumento de regulação, gestão, planejamento e melhoria das condições urbanas brasileiras é o Estatuto da Cidade (LF 10.257/2001), que regula o planejamento. Cabia ao agora extinto Ministério das Cidades (2003 - 2019) integrar as políticas urbanas entre os três entes federativos, além de dar suporte à regularização fundiária, provisão habitacional, saneamento e mobilidade, sendo a integração intergovernamental de extrema importância para os pequenos municípios que dependem de apoio técnico da União (PEREZ et al., 2017).

A descontinuidade de programas – como o de Redução e Erradicação de Riscos dentro do Programa Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários (ou simplesmente Urbanização de Favelas), que previa a destinação de recursos federais para obras de urbanização e redução de risco de desastres, criação de áreas verdes permeáveis, ou do programa Papel Passado, que disponibilizava capacitação técnica para implementação de regularização fundiária – fragilizam a adaptação urbana às mudanças climáticas.

A aplicação de instrumentos da Reurb (LF 13.465/2017), que possibilita executar e adequar as moradias à legislação, necessária para garantir a segurança socioambiental das famílias em risco, também fica enfraquecida sem o Ministério das Cidades. O Plano Diretor é o principal instrumento **municipal** da política urbana, e fundamental para a adaptação climática, mas, além de 75% das cidades brasileiras estarem dispensadas da obrigatoriedade de produzir esse planejamento, muitas das cidades possuem lei aprovada sem espacialização do ordenamento territorial (ALMEIDA et al., 2017).

A provisão habitacional, para que famílias de AGSN em risco sejam realocadas, caracterizada nos últimos anos pelo programa Minha Casa Minha Vida, não só deixou de existir como, quando em funcionamento, ampliou a periferização das comunidades de baixa renda (ROLNIK, 2015).

Por fim, o novo marco do saneamento (LF 14.026/2020) trata de competências sobre a gestão de serviços de água e esgoto, sem considerar as mudanças climáticas ou o aumento de extremos chuvosos que causam os desastres hidrometeorológicos, portanto, não especifica regras para redimensionamento dos sistemas de manejo das águas pluviais ou a utilização de infraestruturas verdes ou azuis para aumento da resiliência urbana e mitigação de emissões.

As articulações interinstitucionais e entre esferas da Federação são condição essencial para a redução do risco de desastres, e sem uma política urbana que atinja a urbanização de assentamentos precários, saneamento ambiental universalizado e sustentável implantação de infraestruturas verdes e azuis, o papel dos entes de monitoramento de risco e de defesa civil continuará falho na prevenção.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. Q.; WELLE, T.; BIRKMAN, J. Disaster risk indicators in Brazil: a proposal based on the world risk index. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, n. 17, p. 251-272, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.04.007>

ALMEIDA, G. M. et al. **A política nacional de regularização fundiária**: capacidades institucionais dos municípios na implementação do Programa Federal Papel Passado e suas implicações na gestão do território. In: XVII ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL – ENANPUR, XVII, 2017. São Paulo, 2017.

ALVALÁ, R. et al. Mapping characteristics of at-risk population to disasters in the context of Brazilian early warning system. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 41, 2019. 101326.

BARCELLOS, C.; HACON, S. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para

- o Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 18, n. 3, p. 285-304, Brasília, 2009.
- BARTIKO, D. et al. Spatial and seasonal patterns of flood change across Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 64, n. 9, p. 1071-1079, 2019. DOI: 10.1080/02626667.2019.1619081
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Regularização fundiária sustentável: conceitos e diretrizes**. Brasília, 2007.
- BURIAN, S.; EDWARDS, F. Historical Perspectives of Urban Drainage. **Ninth International Conference on Urban Drainage**. 2012. [https://doi.org/10.1061/40644\(2002\)284](https://doi.org/10.1061/40644(2002)284)
- CALDERIA, T. **Cidades de muros: crime e segregação na metrópole**. EdUSP: São Paulo, 2000.
- CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C. Drought and water policies in Northeast Brazil: backgrounds and rationale. **Water policy**, v.10, p. 425-38, 2008.
- CENAD. **Registro de ocorrência de desastres naturais 2005-2015**. Dados gentilmente cedidos pela Coordenação de Análise de Risco do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres, 2018.
- CEPED. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais On-line**. 2020.
- CHOU, S. et al. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-527, 2014.
- DEBORTOLI, N. et al. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disaster in the context of climate change. **Natural hazard**, v. 8, n. 2, 2017.
- DIAS, M. C. A. et al. Estimation of exposed population to landslides and floods risk areas in Brazil, on an intra-urban scale. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 31, Oct. 2018.
- DUNN, R. J. H. et al. Development of an updated global land in situ-based data set of temperature and precipitation extremes: HadEX3. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 125, 2020 e2019JD032263. <https://doi.org/10.1029/2019JD032263>
- FONSECA, P. A. M. **Influência de variáveis hidroclimáticas na ocorrência de diarreias em menores de 5 anos na Amazônia ocidental**. Manaus: [s.n.], 2018.
- FREITAS, C. M. et al. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 9, p. 3645-3656, 2014.
- HACON, S. S.; OLIVEIRA, B. F. A.; SILVEIRA, I. Climate Change Risks in Brazil: a review of the health sector impacts of 4°C or more temperature rise. NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. (Org.). **Impacts of 4°C or more Temperature Risk**. UK: Springer, 2018.
- HARDOY, J.; PANDIELLA, G. Urban poverty and vulnerability to climate change in Latin America. **Environment and Urbanization**, v. 21, n. 1, p. 203-224, 2009.
- HUMMELL, B.; CUTTER, S.; EMRICH, C. Social vulnerability to natural hazards in Brazil. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 7, n. 2, 2016. doi: 10.1007/s13753-016-0090-9.
- IBGE. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: ago. 2020.
- IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: ago. 2020.
- IBGE. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais: Munic 2013**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/10586-pesquisa-de-informacoes-basicas-municipais.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: ago. 2020.
- IDEB. **Índice de Desenvolvimento da Educação Básica**. 2011. Disponível em: <<http://ideb.inep.gov.br/resultado/>>. Acesso em: ago. 2020.

IDSUS. **Índice de Desempenho do Sistema Único de Saúde**. 2010. Disponível em: <<http://idsus.saude.gov.br/>>. Acesso em: ago. 2020.

IPCC. **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. BARROS, V. R. et al. (Ed.). Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014.

IPCC. **Special Report: climate change and land**. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2019.

IPEA. **Índice de Vulnerabilidade Social**. 2015. Disponível em: <<http://ivs.ipea.gov.br>>.

KITA, S. M. Urban vulnerability, disaster risk reduction and resettlement in Mzuzu city, Malawi. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 22, 2017.

KOKS, E. E. et al. Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. **Environmental Science & Policy**, n. 47, p. 45-52, 2015.

LITRE, G.; BURSZTYN, M. Percepções e adaptação aos riscos climáticos e socioeconômicos na pecuária familiar do bioma Pampa. **Ambiente & Sociedade**, v. XVIII, n. 3, p. 55-80, 2015.

MARENGO, J. O futuro do clima no Brasil. **Revista USP**, n. 103, p. 25-32. São Paulo, 2014.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **Int. J. Climatol.** v. 36, p. 1033-1050, 2016. doi: 10.1002/joc.4420

MARENGO, J. A. et al. **Changes in climate and land use over the amazon region: current and future variability and trends**. *Front. Earth Sci.* v. 6, p. 228, 2018. doi: 10.3389/feart.2018.00228

MARENGO, J. A. et al. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. **Ann. N.Y. Acad. Sci.** p. 1-16, 2020a. doi: 10.1111/nyas.14307

MARENGO, J. A. et al. Changing Trends in Rainfall Extremes in the Metropolitan Area of São Paulo: causes and impacts. **Front. Clim.** v. 2, n. 3, 2020b. doi: 10.3389/fclim.2020.00003

MARENGO, J. A. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**. São Paulo, n. 106, p. 31-44 julho/agosto/setembro 2015.

MARENGO, J.; ALVES, L. M. The 2011 intense rainfall and floods in Rio de Janeiro. In: State of the Climate in 2011. **Bulletin of American Meteorological Society**, 93, p. S175-S177, 2012.

MARENGO, J. et al. Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: vulnerabilities and human adaptation. **American Journal of Climate Change**, v. 02, n. 02, p. 87-96, 2013a.

MARICATO, E. Conhecer para resolver a cidade ilegal. CASTROLA, L. (Org.) **Urbanização Brasileira**. Ed. C/Arte: São Paulo, 2003.

\_\_\_\_\_. MetrÓpole, legislação e desigualdade. **Estudos Avançados**, v. 17, n. 48, p. 151, 2003b.

\_\_\_\_\_. Informalidade Urbana no Brasil: a lógica da cidade fraturada. In: **A cidade de São Paulo, relações internacionais e gestão pública**. WANDERLEY, L. E.; RAICHELIS, R. (Org). Ed Educ, 2009.

\_\_\_\_\_. The future of global peripheries cities. **Latin America Perspective**, v. 44, n. 2, p. 18-37, 2017. doi:10.1177/0094582X16685174

MIKOSZ, L. **Sendai Framework Indicators for Disaster Risk Reduction in Brazil: initial conditions, feasibility analysis, and understanding the risk**. National Graduate Institute for Policy Studies (GRIPS): Tokyo, Japan, 2017.

NOGUEIRA, F.; OLIVEIRA, V.; CANIL, K. Políticas Públicas Regionais para Gestão de Riscos: o processo de implementação no ABC, SP. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. XVII, n. 4, p. 177-194, out.-dez. 2014.

OJIMA, R. Urbanização, dinâmica migratória e sustentabilidade no semiárido nordestino: o papel das cidades no processo de adaptação ambiental. **Caderno Metrópoles**, v. 15, n. 29, p. 35-54. São Paulo, 2013.

PBMC. **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional**: impactos, vulnerabilidade e adaptação. v. 2. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Governo Federal, Brasília, 2016.

PEREZ, L. P. et al. Spatial data in the Global South: a case study of alternative land management tools for cities with limited resources. In: **2017 IEEE - GHTC**: California, 2017.

PNUD. **Atlas Brasileiro do Desenvolvimento Humano nos Municípios Brasileiros**. Disponível em: <<http://atlasbrasil.org.br/2013/>>. Acesso em: ago. 19.

RASCH, R. Income Inequity and Urban Vulnerability to Flood Hazard in Brazil. **Social Science Quarterly**, v. 98, n. 1, p. 299-325, 2017.

ROLNIK, R. O Programa Minha Casa Minha Vida nas regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas: aspectos socioespaciais e segregação. **Cad. Metrop.** São Paulo, v. 17, n. 33, p. 127-154, May 2015.

RUFAT, S. et al. Social vulnerability to floods: review of case studies and implications for measurement. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 14, p. 4, 2015.

SAITO, S. M. et al. Disaster risk areas in Brazil: outcomes from an intra-urban scale analysis. **International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment**. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-01-2020-0008>

SAITO, S. M. et al. População urbana exposta aos riscos de deslizamentos, inundações e enxurradas no Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 31, 29 nov. 2019.

SÃO PAULO (Estado). **Relatório de Defesa Civil**. 2019. Disponível em: <<https://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/defesa-civil-do-estado-atualiza-situacao-na-baixada-santista/>>. Acesso em: ago. 2020.

SILVA, D. X.; BARCELLOS, C.; BACURI, R. **Vulnerabilidade e efeitos das mudanças climáticas na saúde pública em Manaus**. Project report on Guidance for Conducting Assessments of Health Vulnerability and Public Health and Health Care Interventions to Address Climate Change, funded by the Pan-American Health Organisation, 2010.

TOMINAGA, L.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais**: conhecer para prevenir. Instituto Geológico: São Paulo, 2009.

TRAVASSOS, L.; TORRES, P.; GIULIO, G. et al. Why do extreme events still kill in the São Paulo Macro Metropolis Region? Chronicle of a death foretold in the global south. **International Journal of Urban Sustainable Development**. 2020. DOI:10.1080/19463138.2020.1762197

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Revista Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, São Paulo, 2008.

UFMG. **Podcast da UFMG**: as chuvas de BH, 2020. Disponível em: <<https://ufmg.br/comunicacao/noticias/planejamento-equivocado-transforma-chuva-em-inimiga>>. Acesso em: ago. 2020.

UNISDR. **Economic losses, poverty & disasters**: 1998-2017. Author(s) WALLEMACQ, P.; ROWENA, H. 2018.

UNDRR. **Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction**. Geneva, Switzerland. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). 2019. eISBN: 978-92-1-004180-5



# Impacts of heat stress conditions on mortality from respiratory and cardiovascular diseases in Brazil

*Impactos das condições de estresse térmico na mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares no Brasil*

Beatriz Fátima Alves de Oliveira<sup>a</sup>

Ludmilla da Silva Viana Jacobson<sup>b</sup>

Letícia Palazzi Perez<sup>c</sup>

Ismael Henrique Silveira<sup>d</sup>

Washington Leite Junger<sup>e</sup>

Sandra de Souza Hacon<sup>f</sup>

<sup>a</sup> Doctor in Sciences by the Sérgio Arouca National Public Health School (ENSP/FIOCRUZ), Oswaldo Cruz Foundation Regional Office in the state of Piauí, Teresina, PI, Brazil  
E-mail: beatrizenf@gmail.com

<sup>b</sup> Doctor in Collective Health by the Social Medicine Institute, (IMS/UERJ), Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, Brazil  
E-mail: ludmillaviana@yahoo.com.br

<sup>c</sup> Doctor in Physical Geography, Federal University of Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB, Brazil  
E-mail: leticia.palazzi@gmail.com

<sup>d</sup> Doutor in Collective Health by the Social Medicine Institute, (IMS/UER), Federal University of Bahia (UFBA), Salvador, BA, Brazil  
E-mail: ismaelhsilveira@gmail.com

<sup>e</sup> Doctor in Collective Health by the Social Medicine Institute, (IMS/UER), State University of Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: wjunger@ims.uerj.com

<sup>f</sup> Doctor in Biosciences by the Federal Fluminense University (UFF), National School on Public Health (ENSP/FIOCRUZ), Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: shacon@ensp.fiocruz.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33970

Received: 08/09/2020  
Accepted: 27/10/2020

ARTICLE – DOSSIER

Data and results presented in this article were developed under the project of the “Fourth National Communication and Biennial Update Reports of Brazil to the Climate Convention”, coordinated by the Ministry of Science, Technology and Innovations, with the support of the United Nations Development Programme and resources of the Global Environment Facility, to which we offer our thanks.

## ABSTRACT

This study assesses the risk of exposure to heat stress conditions and their potential impact on mortality from cardiovascular and respiratory diseases in Brazilian capital cities for warming levels of 1.5 °C, 2.0 °C and 4.0 °C in the RCP8.5 scenario. The risk of exposure and the impact of heat stress conditions on mortality were measured by the Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) index. The impact on health was estimated by applying exposure-response curves between WBGT and health outcomes in the projections. The potential impact on mortality was measured by attributable fraction of mortality due to heat stress. The results showed an increase in heat stress conditions for Brazil, especially in the Northern and Center-Western regions. The estimated curves showed an association between the WBGT and mortality by cardiovascular and respiratory diseases in Brazil, with an upward impact trend, according to the levels of warming and heterogeneous results among the capitals.

**Keywords:** Climate Change. Heat Stress. Wet Bulb Globe Temperature (WBGT). Cardiovascular Diseases. Respiratory Diseases.

## RESUMO

O presente estudo avaliou o risco da exposição às condições de estresse térmico e seu potencial impacto na mortalidade por doenças cardiovascular e respiratória nas capitais brasileiras, de acordo com os níveis de aquecimento 1.5°C, 2.0°C e 4.0°C, no cenário RCP 8.5. O risco da exposição e o impacto das condições de estresse térmico sobre a mortalidade foram avaliados por meio do indicador Wet Bulb Globe Temperature (WBGT). Para o impacto na saúde, estimaram-se as curvas exposição-resposta entre WBGT e os desfechos em saúde e, em seguida, essa curva foi aplicada nas projeções para quantificar a fração atribuível da mortalidade devido ao estresse térmico. Os resultados mostraram um aumento das condições de estresse térmico para o Brasil, sobretudo nas regiões Norte e Centro-Oeste. As curvas estimadas mostraram associação entre WBGT e mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias, com tendência de aumento dos impactos conforme os níveis de aquecimento e resultados heterogêneos entre as capitais.

**Palavras-chave:** Mudanças Climáticas. Estresse Térmico. Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT). Doenças Cardiovasculares. Doenças Respiratórias.

## 1 INTRODUCTION

Climate change is among the current major environmental problems and among the ten worst threats for global health listed by the World Health Organization in 2019 (WHO, 2019). Implications on health will become ever more urgent as climate change affects the quantity and quality of water and food, air pollution increases, vector distribution and dynamics change, and extreme events intensify (IPCC, 2014). It is estimated that between 2030 and 2050, climate change might cause an additional 250,000 deaths per year from malnutrition, malaria, diarrhea and heat stress (WHO, 2015). (WHO, 2015).

Future projections show that mortality associated to temperature increase will be one of the most likely impacts on the health sector (IPCC, 2014; GASPARRINI et al., 2017). All in all, human beings have an ideal internal temperature range to maintain systemic homeostasis, but environmental exposure to extreme temperature conditions may exceed the human body's ability to maintain thermoregulation leading to heat stress (HAVENITH; FIALA, 2015). This events account for direct and indirect impacts on human health, causing symptoms that may vary from headaches, mental and physical exhaustion to death, especially in vulnerable groups (COFFEL; HORTON; SHERBINI, 2018).

The indexes used to assess heat stress on the human body are based on establishing an absolute limit on combined metabolic heat transfer, in addition to air temperature, different variables such as relative air humidity, wind speed and solar radiation (HAVENITH; FIALA, 2015). Even though many countries have presented some indicators combining temperature and humidity, there is no universal method used to quantify thermal comfort. Over 160 different heat stress indexes have been developed, including the *Wet-Bulb Globe Temperature* (WBGT), the most popular and more broadly used in military training, sports medicine and work environment (BUDD, 2008; HAVENITH; FIALA, 2015).

The WBGT is an empirical index derived from the weighted average of the globe temperature, the natural wet bulb temperature and the dry bulb temperature and can be calculated using these variables: temperature, air humidity, wind speed and solar radiation (LILJEGREN et al., 2008). This index' safety limits are based on studies of physiological responses considering different combinations of acclimatization and metabolic expenditure, for example, WBGT values above 32°C are highly stressful for outdoor exercises and are generally used in sports, military and occupational safety training (ISO7243,1989; KJELLSTROM, 2016).

With the global temperature increase, projections indicate heat stress intensification by the end of the century, with values of wet bulb temperatures – a more sensitive metric to variations in air humidity compared to the WBGT – exceeding the theoretical limits established for human tolerance, especially in tropical regions (COFFEL; HORTON; SHERBININ, 2017).

In these regions, extreme wet bulb temperature events may be twice the projected change for temperature alone, and by the end of the century approximately 4% of the population in South Asia may experience a maximum wet bulb temperature exceeding 35°C under scenario RCP8.5 (Representative Concentration Pathways), which corresponds to the scenario with a radiative forcing of 8.5 W/m<sup>2</sup> across the planet, with an increase of more than 4°C in the global average temperature by 2100 (COFFEL; HORTON; SHERBININ, 2017; IM; PAL; ELTHAIR, 2017).

In Brazil, not many studies have been conducted on heat stress impacts on morbidity and mortality, taking into consideration the different climate change scenarios. From this perspective, this study aimed at assessing the risk of exposure to heat stress conditions, their association and potential impact on mortality from cardiovascular and respiratory diseases in Brazilian capitals for warming levels of 1.5°C, 2.0°C and 4.0°C using the Eta-HadGEM2-ES downscaled climate model in RCP8.5.

## 2 METHODOLOGY

### 2.1 APPROACHES

The assessment of impacts related to heat stress on human health, according to future warming scenarios, was developed under two approaches:

1. **Assessment of exposure risk** to heat stress for human health by comparing exposure to WBGT estimated from simulations of the Eta-HadGEM2-ES downscaled climate model according to the RCP8.5 scenario at warming levels of 1.5°C, 2.0°C and 4.0°C;
2. **Assessment of impacts** related to heat stress on mortality from cardiovascular (for people aged ≥ 45 years) and respiratory (for people aged ≥ 60 years) diseases, at warming levels of 1.5°C, 2.0° and 4.0°C of Eta-HadGEM2-ES downscaled climate model for the RCP8.5 scenario.

## 2.2 STUDY AREAS

Exposure risk was assessed for the entire Brazilian territory and its impacts on human health due to heat stress were studied for all Brazilian capitals. In spite of being focused on capital cities, results were presented per Brazilian regions.

## 2.3 CLIMATE SCENARIO

Exposure risk was assessed for the entire Brazilian territory and capital cities using RCPs that are climate scenarios based on CO<sub>2</sub> emissions, according to four different levels of radiative forcing in W/m<sup>2</sup> by 2100. Even though RCPs encompass four emission scenarios, this work used RCP 8.5, which corresponds to a high emission scenario, due to a large population growth and a low technological mitigation level, and with radiative forcing of 8.5 W/m<sup>2</sup>, with average global warming temperature above 4°C by 2100, in other words, the worst case scenario with total absence of CO<sub>2</sub> control measures (IPCC, 2013).

## 2.4 ENVIRONMENTAL DATA

In order to estimate the exposure-response curve, mean WBGT during the afternoon was used, calculated by data from the *Era-Interim do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)* model (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim>) for the period 2000 to 2010. In order to assess future impact, temperature, relative air humidity, wind speed and short-wave solar radiation were used, projected by the Eta-Hadgem2-ES downscaled model, developed by the Brazilian Institute for Space Research (INPE, in the Portuguese acronym) (CHOU et al., 2014). Each variable of the model was calibrated separately, using the models described by Hempel et al. (2013) and Casanueva et al. (2019) with the WBGT index being calculated later.

## 2.5 WET-BULB GLOBE TEMPERATURE (WBGT)

This study used the WBGT indicator to measure heat stress. This indicator measures heat exposure that leads to tension in the human body, and consequently, represents a potential risk to human health. It is used to assess heat overload in work activities both in indoor and outdoor environments. Maximum WBGT for outdoor environments was calculated by the following equation:

$$WBGT = 0,7T_w + 0,2T_g + 0,1T_a$$

Where:  $T_w$  represents wet bulb natural temperature,  $T_g$  represents the black globe temperature and  $T_a$  represents dry bulb or atmospheric temperature.  $T_w$  and  $T_g$  values were estimated from maximum temperature data, relative air humidity, wind speed and radiation, by the method developed by Liljegren et al. (2008), and recommended by Lemke e Kjellstrom (2012).

In order to assess human health exposure to heat stress, risk classification thresholds were established according to the recommended ranges for physical exercise for children, a group considered vulnerable, and for intense work activities without acclimatization (AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS, 2000; ISO7243, 1989) (Table 1).

**Table1 | Heat stress risks for human health.**

Thresholds of the WBGT	Risk categories
< 24°C	<b>Low risk</b> – All activities allowed
24°C a 25.9°C	<b>Moderate risk</b> – Longer rest periods in the shade; enforce drinking every 15 minutes
26°C a 29°C	<b>High risk</b> – Stop activity of unacclimatized persons and other persons with high risk; limit activities of all others (disallow long-distance races, cut down further duration of other activities)
> 29°C	<b>Extreme risk</b> – Cancel all athletic activities; high risk for human health.

Source: Committee on Sports Medicine and Fitness, American Academy of Pediatrics. (2000) and ISO7243 (1989).

For the risk of exposure to heat stress conditions, the projection of the 90th percentile and the percentage of days in which the values of maximum daily WBGT exceeded the 90th percentile in the reference period was used. This percentage was calculated using the Eta-HadGEM2-ES Downscaled Climate Model standard calendar, with 360 days, that is, the percentage of days within a 360-day year on which the maximum WBGT values exceeded the 90th percentile from 1961–2005.

## 2.6 HEALTH OUTCOMES

Impacts of heat stress conditions on human health were measured considering the following outcomes: mortality from cardiovascular diseases (CAD) (for people aged  $\geq 45$  years) (ICD 10: I00 to I99); and mortality from respiratory diseases (RAD) (for people aged  $\geq 60$  years) (ICD 10: J99 to J99).

## 2.7 ANALYSIS OF HEAT STRESS IMPACTS ON HUMAN HEALTH

Impact of exposure to heat stress in mortality outcomes was conducted according to the method used by Gasparrini et al. (2017) which includes the estimate of the exposure-response curve between the mean afternoon WBGT and health outcomes, and the assessment of future impacts of exposure to heat stress on health outcomes, according to climate scenarios.

The estimate of the exposure-response curve between mean afternoon WBGT and outcomes was conducted in two phases. The first phase estimated the effects of exposure to the mean afternoon WBGT using the generalized linear model, with *quasi-poisson* distribution combining the distributed lag non-linear models (DLNMs). Exposure-response curve estimates were based on the accumulated effects of 21 days for deaths from respiratory diseases and 07 days for deaths from cardiovascular diseases. Because the WBGT is an indicator composed of humidity, wind speed and radiation, only weekdays were included in the model adjustment. Trend and seasonality adjustments were made by a cubic time spline, with 7 degrees of freedom per year. The nonlinear and lag effect was modeled using a cross base defined by a natural cubic spline for WBGT, with three nodes allocated at the 10th, 75th and 90th percentiles. Lag effect adjustment was 21 days, with 3 nodes for deaths from respiratory diseases, and 7 days with 2 nodes for mortality from cardiovascular diseases.

In the second phase, assessment and adjustment of heterogeneity among capital cities was carried out through a meta-regression, with the temperature range and the Social Vulnerability Index (SVI) provided by the Institute for Applied Economic Research (IPEA, in the Portuguese acronym). Then, the effects for WBGT were recentralized, thus estimating Relative Risks for values above 28°C (WBGT  $\geq 28^\circ\text{C}$ ), with these curves being used to assess future impact. The heat stress condition was defined according to values established for physical exercise for children and intense work activities without acclimatization (AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS, 2000; ISO7243, 1989). For the association studied, the estimated curves have a J, V or U shape that describe an excessive death risk above or below a range or a specific



value of the studied exposure, defined as minimum mortality temperature or WBGT. Hence, deaths tend to decrease as exposure increases up to a certain threshold or interval, above which they increase again. For WBGT, with minimum mortality risk defined at 28°C, most capital cities present a J-shaped curve, especially capitals in the Center-Western, Southeastern and Southern regions.

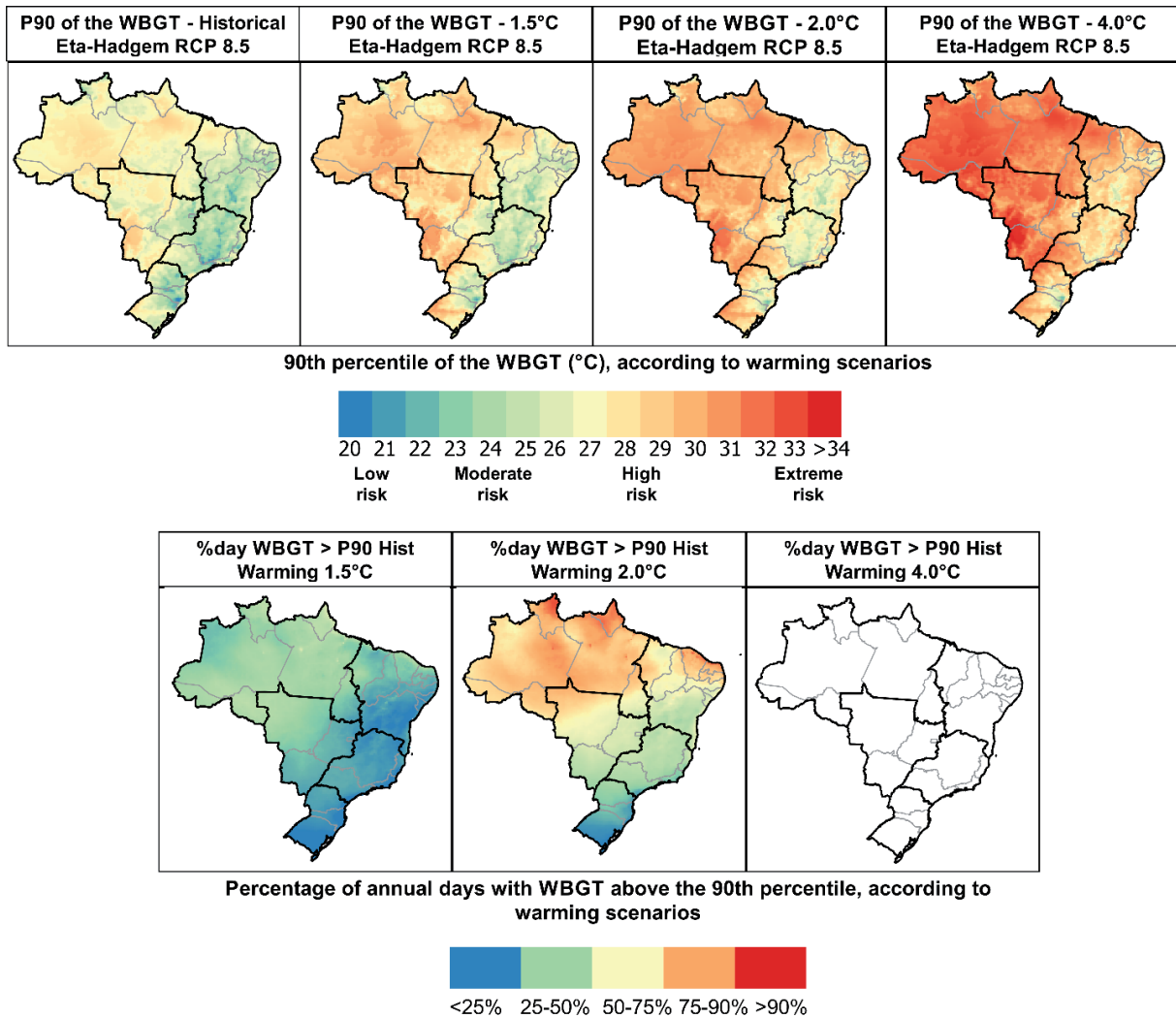
Projections and quantification of future impacts for global warming levels (SWL) of 1.5°C (2011-2040), 2.0°C (2041-2070) and 4.0°C (2071-2099) were conducted by the calculation of attributable fractions. Attributable fractions are measures of effect based on the **Relative Risk** (RR) that quantify the excess death associated with an exposure value, in other words, the conditions of heat stress, always in comparison to a reference value, which in this case is death risk focused on WBGT equal to 28°C.

In this phase, the exposure-response curve accumulated between WBGT and deaths caused by cardiovascular and respiratory diseases, estimated by BLUP, calculated in the second stage of the first phase, was extrapolated to the projected data. The exposure-response function is applied to a daily series of 365 days of future health outcomes, constructed using daily averages from 2000 to 2010. Hence, it is assumed that the future estimated exposure-response curve will maintain the shape, taking into account the trends observed in the models estimated by BLUP, and that the distribution of deaths will remain constant. Subsequently, the impact quantification was estimated in terms of the attributable fraction of the outcomes associated with exposure to WBGT above 28°C (WBGT > 28°C). Analyses were conducted in the R program (2017) by **dlnm** (GASPARRINI, 2011) and **mvmeta** (GASPARRINI; ARMSTROG; KENWARD, 2012) packages.

### 3 OUTCOMES AND ANALYSES

#### 3.1 RISKS OF EXPOSURE TO HEAT STRESS CONDITIONS

In relation to the risk of exposure to heat stress conditions, Figure 1 shows an expansion of areas with extreme health risk, according to warming scenarios. With a global increase of 4.0°C of temperature, the 90th percentile of WBGT indicates that all Brazilian regions will present areas of high and extreme risk to human health due to heat stress conditions, especially in the Northern and Center-Western regions. If the percentage of days above the values of the 90th percentile of the reference period (1960-2005) is considered, then the Northern and Northeastern regions may experience exposure above the P90 of the reference period in more than 90% of the days of the year for warming of 4.0°C.



**Figure 1 |** 90th percentile of the Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) heat stress indicator and Percentage of annual days with WBGT above the 90th percentile of the baseline period (1961-2005) according to warming scenarios for the Eta-Hadgem-ES climate model, RCP 8.5 scenario.

Source: Elaborated by the authors.

### 3.2 FUTURE IMPACTS OF HEAT STRESS CONDITIONS ON HUMAN HEALTH

The death toll from cardiovascular and respiratory diseases and the mean WBGT in the afternoon from 2000 to 2010 and for warming scenarios are shown in Table 2. Between 2000 and 2010, the Northern region presented the highest mean WBGT in the afternoon, especially Rio Branco, which reached a maximum value close to 34°C. Also, in the Northern region, there is an increase by approximately 5°C in the mean WBGT values in the afternoon for a global warming of 4°C.

**Table 2 |** Death toll from cardiovascular (CAD) in adults aged over 45, and respiratory diseases (RAD) in the elderly above 60, daily average values of the *Wet-bulb Globe Temperature* (WBGT) during the afternoon from 2000 to 2010 and their respective averages for the projections, according to global warming scenarios.

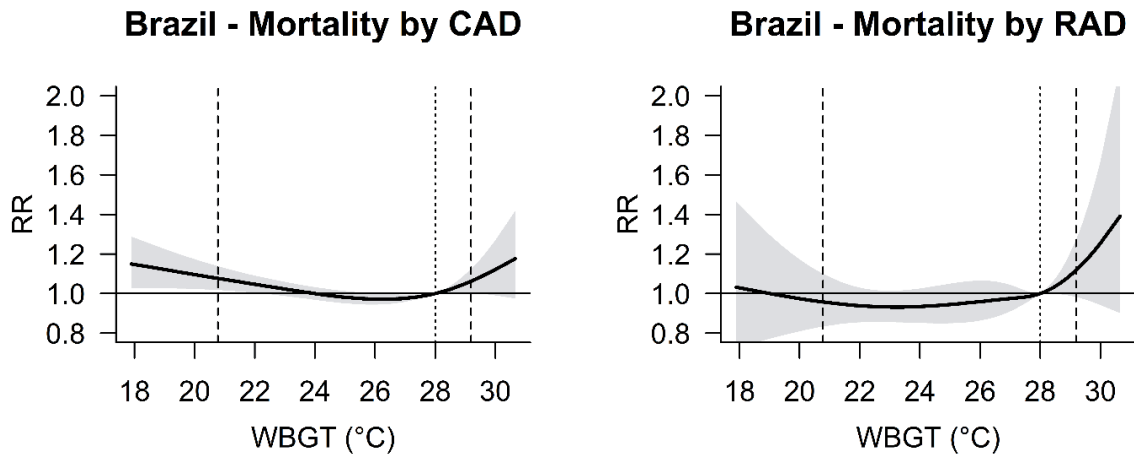
Capital / region	Death (2000 – 2010)		WBGT °C (2000-2010)		Global warming (Average WBGT)			
	RAD	CAD	Average	Min-Max	Baseline	1.5°C	2.0°C	4.0°C
<b>NORTHERN</b>								
Belém	7502	18803	28.2	23.9 - 31.5	27.7	29.1	30.4	32.3
Boa Vista	459	2146	28.0	23.2 - 31.5	27.5	28.7	30.0	31.3
Macapá	670	2323	27.7	24.1 - 30.4	27.0	28.6	30.1	31.9
Manaus	4508	13849	28.5	21.6 - 32.6	27.8	29.4	30.9	32.7
Palmas	233	1298	27.6	22.3 - 32.2	27.1	28.4	29.8	31.1
Porto Velho	1080	4113	28.5	17.6 - 32.1	27.8	29.5	31.0	32.8
Rio Branco	1239	2997	28.2	13.6 - 33.5	27.5	29.3	30.6	32.5
<b>NORTHEASTERN</b>								
Aracaju	2104	7634	25.9	22.2 - 29.7	25.6	26.7	27.9	29.3
Fortaleza	9020	29810	26.6	23.7 - 28.9	26.1	27.2	28.4	29.8
Joao Pessoa	3050	11618	25.9	22.9 - 28.7	25.5	26.7	27.9	29.2
Maceió	3808	15382	25.7	21.7 - 29.1	25.4	26.5	27.7	29.1
Natal	3144	12061	26.1	22.8 - 29.0	25.7	26.8	28.1	29.4
Recife	8843	33018	25.6	22.1 - 28.6	25.2	26.3	27.5	28.8
Salvador	11030	37751	25.6	21.2 - 30.3	25.3	26.6	27.8	29.2
São Luís	2442	12523	27.3	23.5 - 29.1	26.9	28.0	29.3	30.9
Teresina	2664	13512	28.4	23.4 - 32.7	28.0	29.2	30.5	31.9
<b>CENTER-WESTERN</b>								
Brasília	6034	28869	23.9	17.0 - 29.0	23.6	24.9	26.2	27.7
Campo Grande	3641	13156	25.2	8.10 - 30.9	24.6	26.3	27.6	29.3
Cuiabá	1964	7544	27.6	13.3 - 32.6	27.0	28.6	29.9	31.4
Goiânia	5870	19058	24.7	16.9 - 29.8	24.3	25.8	27.1	28.6
<b>SOUTHEASTERN</b>								
Belo Horizonte	11395	39896	23.2	14.6 - 30.7	22.7	24.2	25.5	27.1
Rio de Janeiro	49332	157405	24.6	14.5 - 31.3	24.2	25.6	26.5	28.1
São Paulo	66373	232329	22.2	10.1 - 29.8	21.6	23.4	24.5	26.2
Vitoria	802	4972	24.7	17.1 - 30.7	24.4	25.6	26.7	28.2
<b>SOUTHERN</b>								
Curitiba	7840	30667	21.2	4.70 - 30.6	20.6	22.4	23.5	25.1
Florianópolis	1463	5698	21.7	10.4 - 30.4	21.4	22.5	23.2	24.6
Porto Alegre	8735	34627	21.1	6.30 - 23.0	20.3	22.0	22.7	24.3

Source: Elaborated by the authors.

### EXPOSURE-RESPONSE CURVE ESTIMATE

Figure 2 shows exposure-response curves between WBGT and mortality from cardiovascular and respiratory diseases combined for Brazil, by a meta-analysis. For cardiovascular diseases, a distribution of RR in a U-shaped format is observed, with a rise at both ends of the WBGT distribution. For WBGT values at P99 (~ 29.5°C), the RR accumulated in 7 days was about 15% higher compared to the RR observed for WBGT values at 28°C. The mortality curve from respiratory diseases was J-shaped, with

an RR increase only for WBGT values above 28°C, where the accumulated RR in 21 days was 1.40 for WBGT ~31°C compared to RR for WBGT values at 28°C.



Caption: Relative risk (RR). The shaded area represents the 95% confidence interval, the dashed lines indicate the 1st and 99th percentiles of the afternoon WBGT, the dotted line represent the recentralization of the WBGT values curve above 28°C.

**Figure 2 |** Exposure-response curves between *Wet-bulb Globe Temperature (WBGT)* and cardiovascular disease mortality in adults aged over 45 and respiratory disease mortality in the elderly aged over 60 accumulated, respectively, in 7 and 21 days in Brazilian capital cities combined (2000 to 2010).

Source: Elaborated by the authors.

RR between the 99th percentile of the mean WBGT in the afternoon and mortality from cardiovascular and respiratory diseases compared to the risk of WBGT centered at 28°C for Brazilian capital cities is presented in Table 3. For some capitals, the 99th percentile of WBGT was lower or very close to the minimum RR adopted (risk in the WBGT equal to 28°C) and, therefore, the RR was close to or equal to 1 for both outcomes.

However, some capital cities stand out for presenting a death RR for the two outcomes in the 99th percentile of the WBGT in relation to the minimum RR adopted. In the Northern region, Palmas and Porto Velho presented an increment by 34% (IC95% 0.69 – 2.63) and 25% (IC95% 0.64 – 2.46), respectively, for deaths from RAD, and 19% (IC95% 0.81 – 1.76) and 23% (IC95% 0.85 – 1.79), respectively, for deaths from CAD. In the Center-Western region, Cuiabá stands out with an RR of 1.31 (IC95% 0.70 – 2.45) for RAD and 1.44 (IC95% 1.04 – 1.99) for CAD; in the Southeastern region, Rio de Janeiro stands out with an RR of 1.24 (IC95% 0.94 – 1.65) for RAD and 1.37 (IC95% 1.21 – 1.55) for CAD; in the Southern region, Porto Alegre stands out with an RR of 1.51 (IC95% 1.22 – 1.86) for RAD and 1.21 (IC95% 1.10 – 1.33) for CAD.

**Table 3 |** Relative risk between the *Wet-bulb Globe Temperature (WBGT)* in the 99th percentile in relation to WBGT at 28°C and cardiovascular disease mortality in adults aged over 45 and respiratory disease mortality in the elderly aged over 60 accumulated, respectively, in 7 and 21 days in Brazilian capital cities (2000 a 2010).

	99th percentile of the WBGT	RAD (RR to P99 of the WBGT)			CAD (RR to P99 of the WBGT)		
		CI95%			CI95%		
		RR	Lower	Upper	RR	Lower	Upper
<b>NORTHERN</b>							
Belém	29.9	1.17	0.73	1.87	1.00	0.79	1.27
Boa Vista	30.3	1.15	0.66	2.02	1.08	0.79	1.48
Macapá	29.3	0.95	0.59	1.54	1.02	0.78	1.33

	99th percentile of the WBGT	RAD (RR to P99 of the WBGT)			CAD (RR to P99 of the WBGT)		
		CI95%			CI95%		
		RR	Lower	Upper	RR	Lower	Upper
Manaus	31.2	0.99	0.50	1.94	1.03	0.75	1.41
Palmas	31.1	1.34	0.69	2.63	1.19	0.81	1.76
Porto Velho	31.1	1.25	0.64	2.46	1.23	0.85	1.79
Rio Branco	31.4	1.13	0.64	2.00	0.97	0.68	1.39
<b>NORTHEASTERN</b>							
Aracaju	28.5	0.99	0.84	1.16	1.04	0.94	1.15
Fortaleza	28.2	1.01	0.94	1.09	0.99	0.94	1.04
Joao Pessoa	27.8	1.00	0.98	1.01	1.00	0.99	1.01
Maceió	28.1	1.00	0.94	1.06	1.01	0.97	1.04
Natal	28.1	1.00	0.94	1.07	1.01	0.97	1.05
Recife	27.8	1.00	0.93	1.08	0.98	0.94	1.03
Salvador	28.4	1.01	0.92	1.12	1.00	0.95	1.04
São Luís	28.7	1.00	0.70	1.43	0.96	0.78	1.18
Teresina	31.0	1.00	0.54	1.84	0.95	0.71	1.27
<b>CENTER-WESTERN</b>							
Brasília	27.2	0.91	0.68	1.23	0.99	0.87	1.12
Campo Grande	29.8	1.23	0.81	1.87	1.01	0.77	1.33
Cuiabá	31.2	1.31	0.70	2.45	1.44	1.04	1.99
Goiânia	28.3	1.07	0.96	1.18	1.02	0.97	1.07
<b>SOUTHEASTERN</b>							
Belo Horizonte	28.7	0.98	0.94	1.02	0.99	0.97	1.00
Rio de Janeiro	29.9	1.24	0.94	1.65	1.37	1.21	1.55
São Paulo	27.9	0.99	0.97	1.00	0.99	0.99	1.00
Vitoria	28.7	1.11	0.92	1.33	1.10	0.99	1.22
<b>SOUTHERN</b>							
Curitiba	28.2	1.02	0.97	1.06	1.01	0.99	1.02
Florianópolis	28.8	1.13	0.87	1.46	1.11	0.98	1.27
Porto Alegre	29.3	1.51	1.22	1.86	1.21	1.10	1.33

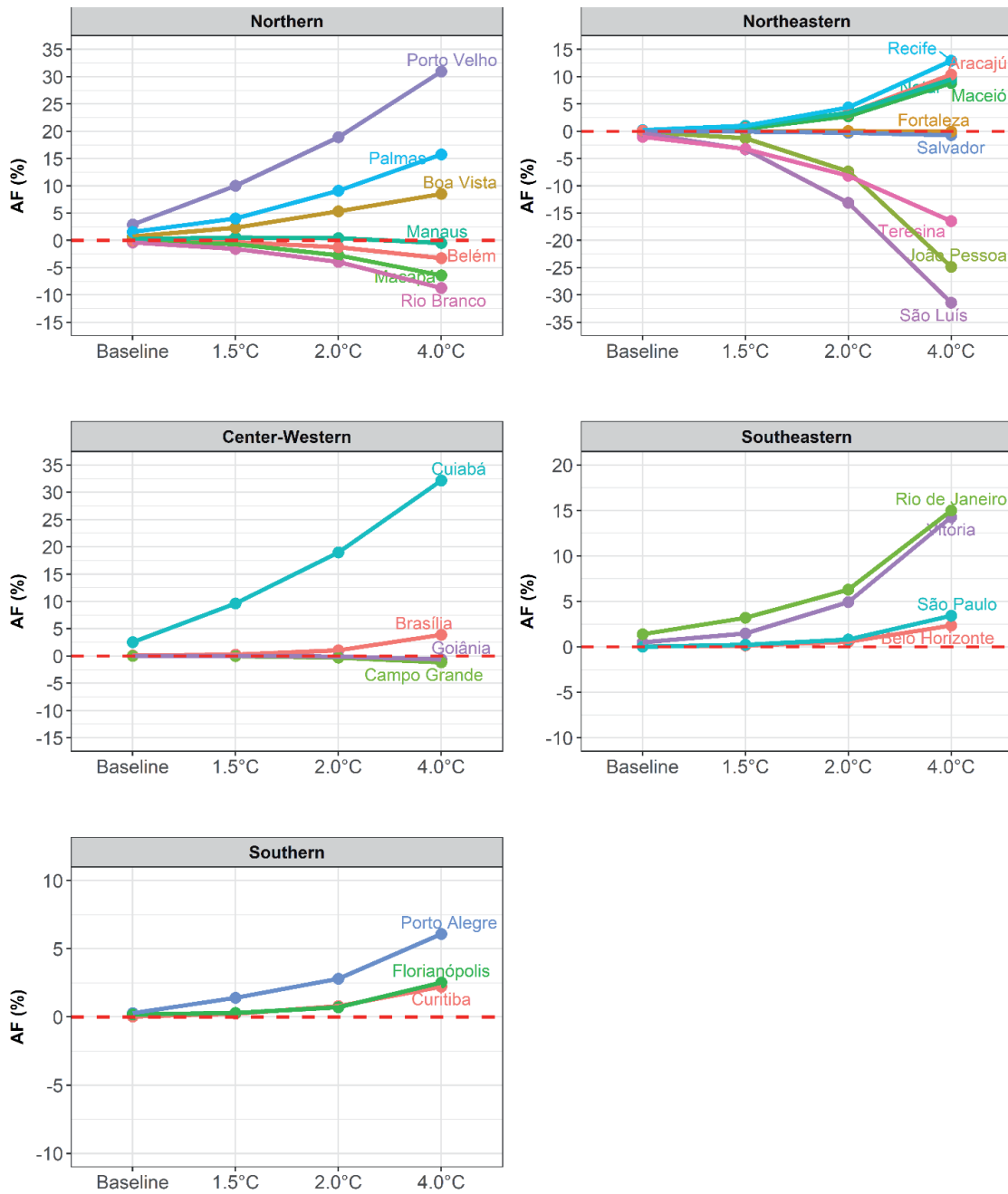
Source: Elaborated by the authors.

### FUTURE IMPACTS OF EXPOSURE TO HEAT STRESS

For all health outcomes, as the level of global warming increases, the greater the number of deaths due to heat stress conditions in most capitals. However, the impacts differ depending on the location and the assessed outcomes. Impacts were measured by the attributable fraction (%) that corresponds to the percentage of deaths linked to an increase in WBGT.

In relation to deaths from cardiovascular diseases, a global warming of 4.0°C might have a positive impact on deaths from heat stress, with an attributable fraction lower than 5% for Brasília, Belo Horizonte, Curitiba, Florianópolis and São Paulo. Among the most impacted capital cities in terms of deaths from cardiovascular diseases are Palmas, Cuiabá and Porto Velho, with attributed fraction estimated above 30%. In the last two capitals, the attributable fraction increments to the scenario of greater warming compared to the baseline period are 26% and 28%, respectively (Figure 3).





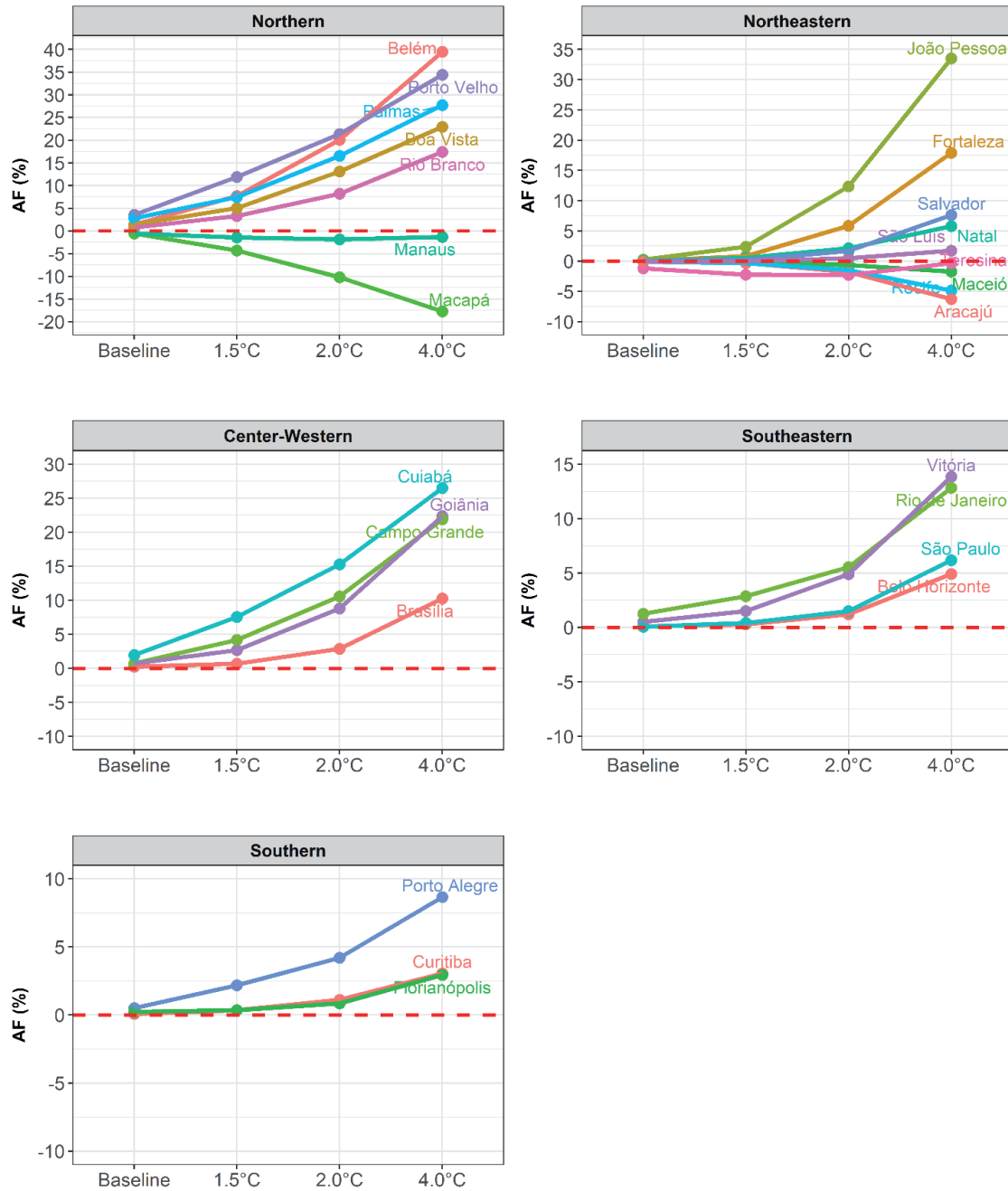
Caption: AF (%) Attributable fraction that measures how much of the outcome is attributable to exposure, that is, out of the total future deaths projected, which fraction (%) will be attributable to heat stress.

**Figure 3 |** Fraction of mortality from cardiovascular diseases (CAD) attributable to heat stress conditions (WBG<sub>T</sub>> 28°C) for the capital cities in the baseline period (1961-2005) and for warming scenarios of the Eta-Hadgem-ES (RCP 8.5) climate model.

Source: Elaborated by the authors.

In relation to deaths from cardiovascular diseases, a global warming of 4.0°C might represent an increased impact on deaths from heat stress in a number of capital cities. In the Northern region, the attributable fraction will gradually increase, according to warming levels for Belém, Porto Velho, Palmas, Boa Vista and Rio Branco, with Belém standing out with attributable fraction projections of 40% if the warming level is 4.0°C. In the Northeastern region, João Pessoa, Fortaleza, Salvador and Natal may have an increase in deaths from heat stress, especially João Pessoa with 35% of the attributable fraction of

deaths related to heat stress. In the Center-West region, projections show every capital city will be impacted, with Cuiabá standing out with the highest attributable fraction: 25% for a warming level of 4.0°C. In the Southeastern region, Rio de Janeiro and Vitória present attributable fractions above 10% for a warming level of 4.0°C, and in the Southern region, Porto Alegre stands out with 7,5% (Figure 4).



Caption: AF (%) Attributable fraction that measures how much of the outcome is attributable to exposure, that is, out of the total future deaths projected, which fraction (%) will be attributable to heat stress.

**Figure 4 |** Fraction of mortality from cardiovascular diseases (CAD) attributable to heat stress conditions (WBG<sub>T</sub> > 28°C) for the capital cities in the baseline period (1961-2005) and for warming scenarios of the Eta-Hadgem-ES (RCP 8.5) climate model.

Source: Elaborated by the authors.

## 4 DISCUSSION AND CONCLUSION

This study showed projections on the risk of exposure to heat stress conditions for Brazil. The most striking impact projections were for the Northern and Center-Western regions, which may present extreme risk exposure for human health. In addition, results show a connection between WBGT and mortality from cardiovascular and respiratory diseases in Brazilian capital cities, especially Palmas, Porto Velho, Cuiabá, Rio de Janeiro and Porto Alegre in relation to impacts, projections indicate an upward trend as warming levels increase, although with heterogeneous results among capital cities.

Considering warming levels, if the RCP8.5 scenario is confirmed, practically all Brazilian regions will present an increase in heat stress conditions indicating risks for work (KJELLSTROM; HOLMER; LEMKE, 2009) and sports activities (NASSIS et al., 2015; LEYK et al., 2019). These risks have been reported in previous studies by Leyk et al. (2019). In 2014, during the World Cup, athletes' performance was impaired with WBGT values between 28 to 30°C, while two games were interrupted due to WBGT peaks above 30°C (NASSIS et al., 2015).

This study shows that at a warming level of 4.0°C, these situations might become more frequent, especially in the Northern and Center-Western regions. It is likely that warming and cooling intervals can be established and extended for various sports, as it has been done for tennis tournaments (TENNIS AUSTRALIA LIMITED, 2019) and during the 2014 World Cup (LUCENA et al., 2017).

Regarding workers' health, work regimes that require body cooling are already regulated, for example, in the steel, glass and ceramics industries (ISO 7243, 1989). However, in some industries where exposure and prevention measures are not formally regulated yet, such as in agriculture, high rates of heat-related diseases have been reported (LUCAS; EPSTEIN; KJELLSTROM, 2014). The high risk of heat stress was observed among sugarcane cutters, who showed significant physiological changes, including changes in heart rate, body temperature and systolic blood pressure (BOONRUKSA et al., 2020). In Brazil, thermal overload, caused by intense work and exposure to high temperatures and humidity, was suggested as a triggering factor for the death of 14 sugarcane cutters between 2004 and 2008, in the state of São Paulo (BITENCOURT; RUAS; MAIA, 2012). In addition, heat stress risk has also been reported in civil construction activities (AL-BOUWARTHAN et al., 2019) and outside Brazil, for migrant workers from Nepal in Qatar (PRADHAN et al., 2019).

In more critical situations, occupational exposure beyond the established limits, associated with strenuous work, may be fatal. From 2000 to 2016, the Center for Disease Control and Prevention (CDC) retrospectively reviewed 25 occupational illnesses related to heat stress, with assessment of individual risk factors, exposure to WBGT, workload and acclimatization. Out of the 25 occupational hazards reviewed, exposure limits based on WBGT were exceeded for 14 fatal occupational diseases and 8 out of 11 non-fatal diseases. These results, associated with the results presented herein, reinforce the need for acclimatization programs, training and recognition of signs and symptoms needing first aid (TUSTIN et al. 2019).

Before the SARS-CoV-2 pandemic, estimates by the International Labor Organization (ILO) pointed that the effects of heat and heat stress could be responsible for the loss of 2.2% of global working hours, which would be equivalent to 80 million full-time jobs. In Brazil, estimates for 2030, with a warming level of 1.5°C, would be around 850 thousand jobs lost due to heat stress (ILO, 2019). This work's results show that a drop in work performance may be more pronounced for categories with high metabolic expenditure and rural communities and, therefore, new occupational health initiatives and strategies should be designed and implemented (KJELLSTROM; HOLMER; LEMKE, 2009; TUSTIN et al., 2019).

Results presented herein show that heat stress risk increases according to warming level and confirm other projections (IM; PAL; ELTHAIR, 2017; ANDREWS et al., 2019). In relation to the global population exposed, with a warming level of 1.5°C, the impact will be about 350 million people with compromised thresholds for work activities; whereas with a warming level of approximately 2.5°C, this exposure

could reach more than 1 billion people (ANDREWS et al., 2019). Adaptation to extreme heat conditions will require options for active cooling, such as increased demand for air conditioning and changes to the work regime and sports activities and, in the absence of resources for adaptation, may generate waves of migration (MUELLER; GRAY; KOSEC, 2014).

Impact projections of heat stress conditions on mortality are notably sensitive to a number of behavioral and cultural factors that influence long-term physiological adaptation capacity (COLLIER et al., 2019). Perhaps this is one of the main bottlenecks in studies on the potential effects of heat on mortality: to predict or incorporate in the models the conditions and determinants of the health-disease process. When it comes to resilience, the globally economically active population is more sedentary, aging and with high rates of chronic diseases. These factors may reduce this group's thermal resilience and increase their susceptibility to heat-related illness (LOZANO et al., 2010).

In addition to working age adults, the elderly and children are considered to be at high risk for heat stress due to the limited ability to maintain body temperature and greater risk of dehydration (KENNY et al., 2010; GOMES; CARNEIRO-JÚNIOR; MARINS, 2013). Among children, the higher production of metabolic heat per unit of body mass and less sweating explain part of this vulnerability (BAR-OR, 1989; KENNY et al., 2010). Among the elderly, besides previous illnesses, thermal regulation is altered by reduced cellular metabolism and skin changes (KENNEY et al., 1997; INBAR et al., 2004).

Some capital cities analyzed in the present study showed an exposure-response curve for decreasing mortality, especially in places that experienced high WBGT values, such as the capitals in the Northern and Northeastern regions. These results suggest that a protective behavior might be adopted in response to extreme heat stress conditions or that these locations experience lesser effects. This lower sensitivity to the effects of heat in warmer regions has already been suggested by some authors (BASU, 2009; ZHAO et al., 2017; 2019). In any case, in some capital cities such as Palmas, Cuiabá and Porto Velho, which are known in the country for their high temperature records, there has been an increase in mortality from cardiovascular diseases attributable to heat stress, reaching a fraction attributed above 30% with a warming level of 4.0°C.

In Brazil, due to their cultural, socioeconomic, ecological and climate heterogeneity, impacts are likely to be associated with socioeconomic, individual and collective vulnerability issues, such as age, access to health services, physiological resilience and other social determinants, such as income and housing conditions (MARANDOLA; HOGAN, 2009). In densely populated regions, like the Southeast and South, some capitals may have a mortality rate that is attributable to heat stress above 10%, representing a significant impact on the absolute number of deaths. While in the Northern and Center-Western regions, despite the high attributable fraction, impact on absolute numbers might be lower. In any case, the Northern region presents high socioeconomic vulnerability and poor access to health services, with precarious conditions to face the impacts resulting from climate change (HACON et al., 2015).

Health service challenges are likely to be more extensive and complex than projections made. Projections point at an increment of climate-related disease burden, with chronic and infectious diseases overlapping. Hence, the increase in mortality from cardiovascular and respiratory diseases due to climate change will occur in a scenario in which other infectious disease increase, such as vector or water-borne diseases. Another aggravating factor will be the exacerbation of diseases associated with the effects of air pollution, especially in areas with advanced deforestation, which are associated with the spread of old and new pathogens. (FLOSS; BARROS, 2019). This is not a distant reality, as in 2020 Brazil experienced heat waves, increased fires and deforestation simultaneously, which are all environmental exposures associated with morbidity and mortality from chronic diseases combined with cardiovascular and respiratory diseases, and with the influence on the spread of old and new diseases, such as vector-borne ones.

Studies on future impacts of increased temperatures and heat stress are endowed with limitations and uncertainties. The 28°C threshold for WBGT, although pre-established by regulatory frameworks,

may be underestimating the impacts of heat stress events due to socioeconomic and demographic conditions, access and quality of health services and the ability to adapt individuals (PARSONS, 2003, CUI et al., 2005).

Moreover, projections were made assuming a static baseline scenario for countless factors that could influence mortality, such as population growth, medical technologies, life expectancy and geographic distribution. Future climate conditions may have an influence on the adoption of new behaviors, due to the direct or indirect need of populations to adapt to new climate conditions. Therefore, new lifestyles, daily practices and eating habits may be modified, resulting in new nosological profiles and, consequently, influencing mortality from cardiovascular and respiratory diseases.

Despite all limitations and uncertainties, this study red-flags potential risks for mortality increase due to heat stress conditions should greenhouse gas emissions continue at the current pace. Projections point at important trends for Brazil, with the identification of high-risk areas for mortality from cardiovascular and respiratory diseases and implications for the country's global and occupational health.

## REFERENCES

AL-BOUWARTHAN, M. et al. Heat Stress Exposure among Construction Workers in the Hot Desert Climate of Saudi Arabia. **Annals of Work Exposures and Health**, v. 63, p. 505-520, 2019.

AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS. Committee on Sports Medicine and Fitness. Pediatrics. Climatic heat stress and the exercising child and adolescent. [Internet]. v. 106, 2000. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10878169>>.

ANDREWS, O. et al. Implications for workability and survivability in populations exposed to extreme heat under climate change: a modelling study. **The Lancet Planetary Health**, v. 2, p. E540-E547, 2019.

BAR-OR, O. Temperature regulation during exercise in children and adolescent. In: LAMB, D. R.; GISOLFI, C. V. **Perspectives in exercise science and sports medicine: youth, exercise, and sport**. Indianapolis: Benchmark Press. p. 335-68, 1989.

BASU, R. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. **Environmental Health**, v. 8, 2009.

BITENCOURT, D. P.; RUAS, A. C.; MAIA, P. A. Análise da contribuição das variáveis meteorológicas no estresse térmico associada à morte de cortadores de cana-de-açúcar. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 28, p. 65-74, 2012.

BOONRUKSA, P. et al. Heat Stress, Physiological Response, and Heat-Related Symptoms among Thai Sugarcane Workers. **International Journal Environmental Research and Public Health**, v. 17, p. 6363, 2020.

BUDD, G. M. Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) – its history and its limitations. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.11, p. 20-32, 2008.

CASANUEVA, A. et al. Climate projections of a multivariate heat stress index: the role of downscaling and bias correction. **Geoscientific Model Development**, v. 12, p. 3419-3438, 2019.

CHOU, S. C. et al. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 438-54, 2014.

COFFEL, E. D.; HORTON, R. M.; SHERBININ, A. Temperature and humidity-based projections of a rapid rise in global heat stress exposure during the 21st century. **Environmental Research Letters**, v. 13, p. 14001, 2018.

COLLIER, R. J. et al. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. **Animal Frontiers**, v. 9, p. 12-19, 2019.

CUI, J. et al. Effects of heat stress on thermoregulatory responses in congestive heart failure patients. **Circulation**, v. 112, p. 2286-92, 2005.



FLOSS, M.; BARROS, E. Lancet Countdown: briefing para políticas de saúde no Brasil. **Revista Brasileira de Medicina de Família e Comunidade**, v. 14, p. 2286, 2019.

GASPARRINI, A. Distributed Lag Linear and Non-Linear Models in R: the package dlnm. **Journal of Statistical Software**, v. 43, p. 1-20, 2011.

GASPARRINI, A. et al. Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. **The Lancet Planetary Health**, v. 1, p. e360-e367, 2017.

GASPARRINI, A.; ARMSTRONG, B.; KENWARD, M. G. Multivariate meta-analysis for non-linear and other multi-parameter associations. **Statistics in Medicine**, v. 31, p. 3821-39, 2012.

GOMES, L. H. L. S.; CARNEIRO JÚNIOR, M. A.; MARINS, J. C. B. Respostas termorregulatórias de crianças no exercício em ambiente de calor. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 31, p. 104-110, 2013.

HACON, S. et al. Vulnerabilidade, riscos e impactos das mudanças climáticas sobre a saúde no Brasil. In: **Terceira Comunicação Nacional sobre Mudanças Climáticas à UNFCC (TCN-UNFCC)**, 2015.

HAVENITH, G.; FIALA, D. Thermal Indices and Thermophysiological Modeling for Heat Stress. In: **Comprehensive Physiology**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. p. 255-302, 2015.

HEMPEL, S. et al. A trend-preserving bias correction – The ISI-MIP approach. **Earth System Dynamics**, v. 4, p.219-236, 2013.

IM, E-S.; PAL, J. S.; ELTAHIR, E. A. B. Deadly heat waves projected in the densely populated agricultural regions of South Asia. **Science Advances**, v. 3, p. e1603322, 2017.

INBAR, O. et al. Comparison of thermoregulatory responses to exercise in dry heat among prepubertal boys, young adults and older males. **Experimental Physiology**, v. 89, p. 691-700, 2004.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: mitigation of climate change**. New York, NY: Cambridge University Press, 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change: 2013: the physical science basis. Summary for Policymakers**. Geneva, Switzerland, 2013.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). **Working on a warmer planet: the impact of heat stress on labour productivity and decent work**. International Labour Office – Geneva, ILO, 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO Standard 7243: ergonomics of the thermal environment – assessment of heat stress using the WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) index**. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/67188.html>>. Acesso em: 01 set. 2020.

KENNEY, W. L. et al. Decreased active vasodilator sensitivity in aged skin. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory**, v. 272, p. H1609-14, 1997.

KENNY, G. P. et al. Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. **Canadian Medical Association Journal**, v. 182, p. 1053-60, 2010.

KJELLSTROM, T. Impact of climate conditions on occupational health and related economic losses: a new feature of global and urban health in the context of climate change. **Asia Pacific J Public Health**, v. 28, p. 28S-37S, 2016.

KJELLSTROM, T. et al. The direct impact of climate change on regional labor productivity. **Archives of Environmental & Occupational Health**, v. 64, p. 217-227, 2009.

LEMKE, B.; KJELLSTROM, T. Calculating workplace WBGT from meteorological data: a tool for climate change assessment. **Industrial Health**, v. 50, p. 2012.

LEYK, D. et al. Health Risks and Interventions in Exertional Heat Stress. **Deutsches Arzteblatt International**, v. 116, p. 31-32, 2019.

- LILJEGREN, J. C. et al. Modeling the Wet Bulb Globe Temperature Using Standard Meteorological Measurements. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 5, p. 645-55, 2008.
- LOZANO, R. et al. Global and regional mortality from 235 causes of death for 20 age groups in 1990 and 2010: a systematic analysis for the global burden of disease study 2010. **Lancet**, v. 380, p. 2095-2128, 2013.
- LUCAS, R. A. I.; EPSTEIN, Y.; KJELLSTROM, T. Excessive occupational heat exposure: a significant ergonomic challenge and health risk for current and future workers. **Extreme Physiology & Medicine**, v. 3, p. 1-8, 2014.
- LUCENA, R. L. et al. The Brazilian World Cup: too hot for soccer? **International Journal of Biometeorology**, v. 61, p. 2195-2203, 2017.
- MARANDOLA, J. R.; HOGAN, D. J. Vulnerabilidade do lugar vs. vulnerabilidade sociodemográfica: implicações metodológicas de uma velha questão. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 26, p. 161-81, 2009.
- MULLER, V.; GRAY, C.; KOSEC, K. Heat stress increases long-term human migration in rural Pakistan. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 182-185, 2014.
- NASSIS, G. P. et al. The association of environmental heat stress with performance: analysis of the 2014 FIFA World Cup Brazil. **British Journal of Sports Medicine**, v. 49, p. 609-13, 2015.
- PARSONS, K. **Human Thermal Environments: the effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance**. London and New York: Taylor & Francis, 2003.
- PRADHAN, B. et al. Heat stress impacts on cardiac mortality in Nepali Migrant workers in Qatar. **Cardiology**, v. 143, p. 37-48.
- TENNIS AUSTRALIA LIMITED. **AO Heat Stress Scale a Grand Slam first**. Disponível em: <[www.ausopen.com/articles/news/ao-heat-stress-scale-grand-slam-first](http://www.ausopen.com/articles/news/ao-heat-stress-scale-grand-slam-first)>. Acesso em: 01 set. 2020.
- TUSTIN, A. W. et al. Evaluation of Occupational Exposure Limits for Heat Stress in Outdoor Workers – United States, 2011-2016. **MMWR Morb Mortal Wkly Rep**, v. 67, p. 733-737, 2019.
- WORLD ORGANIZATION HEALTH (WHO). **Climate and Health Country Profiles – Brazil – 2015**. United Nations: Framework Convention on Climate Change, 2015.
- WORLD ORGANIZATION HEALTH (WHO). **Ten threats to global health 2019**. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health-in-2019>>. Acesso em: 01 set. 2020.
- ZHANG, Y. Diurnal Temperature Range in Relation to Daily Mortality and Years of Life Lost in Wuhan, China. **International Journal Environment Research and Public Health**, v. 14, p. E891, 2017.
- ZHANG, Y. et al. The burden of ambient temperature on years of life lost: a multi-community analysis in Hubei, China. **Science Total Environment**, v. 621, p. 1491-1498, 2018.

# Impactos das condições de estresse térmico na mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares no Brasil

*Impacts of heat stress conditions on mortality by respiratory and cardiovascular diseases in Brazil*

Beatriz Fátima Alves de Oliveira<sup>a</sup>

Ludmilla da Silva Viana Jacobson<sup>b</sup>

Letícia Palazzi Perez<sup>c</sup>

Ismael Henrique Silveira<sup>d</sup>

Washington Leite Junger<sup>e</sup>

Sandra de Souza Hacon<sup>f</sup>

<sup>a</sup> *Doutora em Ciências pela Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca (ENSP/Fiocruz), Escritório Regional da Fundação Oswaldo Cruz no Piauí, Teresina, PI, Brasil  
End. Eletrônico: beatrizenf@gmail.com*

<sup>b</sup> *Doutora em Saúde Coletiva pelo Instituto de Medicina Social (IMS/Uerj), Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: ludmillaviana@yahoo.com.br*

<sup>c</sup> *Doutora em Geografia Física, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB, Brasil  
End. Eletrônico: leticia.palazzi@gmail.com*

<sup>d</sup> *Doutor em Saúde Coletiva pelo Instituto de Medicina Social (IMS/Uerj), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, BA, Brasil  
End. Eletrônico: ismaelhsilveira@gmail.com*

<sup>e</sup> *Doutor em Saúde Coletiva pelo Instituto de Medicina Social (IMS/Uerj), Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: wjunger@ims.uerj.com*

<sup>f</sup> *Doutora em Geociências pela Universidade Federal Fluminense (UFF), Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP/Fiocruz), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: shacon@ensp.fiocruz.br*

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33970

Received: 08/09/2020  
Accepted: 27/10/2020

ARTICLE – DOSSIER

Os dados e os resultados apresentados nesta publicação foram desenvolvidos no âmbito do projeto “Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, por meio dos recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente, aos quais oferecemos nossos agradecimentos.

## RESUMO

O presente estudo avaliou o risco da exposição às condições de estresse térmico e seu potencial impacto na mortalidade por doenças cardiovascular e respiratória nas capitais brasileiras, de acordo com os níveis de aquecimento 1.5°C, 2.0°C e 4.0°C, no cenário RCP 8.5. O risco da exposição e o impacto das condições de estresse térmico sobre a mortalidade foram avaliados por meio do indicador *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT). Para o impacto na saúde, estimaram-se as curvas exposição-resposta entre WBGT e os desfechos em saúde e, em seguida, essa curva foi aplicada nas projeções para quantificar a fração atribuível da mortalidade devido ao estresse térmico. Os resultados mostraram um aumento das condições de estresse térmico para o Brasil, sobretudo nas regiões Norte e Centro-Oeste. As curvas estimadas mostraram associação entre WBGT e mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias, com tendência de aumento dos impactos conforme os níveis de aquecimento e resultados heterogêneos entre as capitais.

**Palavras-chave:** Mudanças Climáticas. Estresse Térmico. *Wet-Bulb Globe Temperature* (WBGT). Doenças Cardiovasculares. Doenças Respiratórias.

## ABSTRACT

*In this study, we evaluated the risk of exposure to heat stress conditions and their potential impact on mortality from cardiovascular and respiratory diseases in Brazilian capitals for the levels of warming of 1.5°C, 2.0°C and 4.0°C, according to RCP 8.5 scenario. The risk of exposure and the impact of heat stress conditions on mortality were measured by Wet Bulb Globe Temperature (WBGT). The impact on health was estimated applying the exposure-response curves between WBGT and health outcomes in the projections. The potential impact on mortality was measured by attributable fraction of mortality due to heat stress. The results showed an increase in heat stress conditions for Brazil, especially in the North and Midwest regions. The estimated curves showed an association between the WBGT and mortality by cardiovascular and respiratory diseases for Brazil, with a positive trend of impacts, according to the levels of warming and heterogeneous results between the capitals.*

**Keywords:** Climate Change. Heat Stress. *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT). Cardiovascular Diseases. Respiratory Diseases.

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas estão entre os maiores problemas ambientais da atualidade e entre as dez principais ameaças para a saúde global listadas pela Organização Mundial de Saúde no ano de 2019 (WHO, 2019). As implicações na saúde se tornarão cada vez mais urgentes à medida que as mudanças no clima afetarem a quantidade e a qualidade da água e dos alimentos, aumentarem a poluição do ar, alterarem a distribuição e a dinâmica de vetores e intensificarem os eventos extremos (IPCC, 2014). Entre 2030 e 2050, estima-se que as mudanças no clima poderão causar 250 mil mortes adicionais por ano por desnutrição, malária, diarreia e estresse térmico (WHO, 2015).

As futuras projeções mostram que a mortalidade associada ao aumento da temperatura será um dos impactos mais prováveis no setor de saúde (GASPARRINI et al., 2017; IPCC, 2014). Em geral, os seres humanos possuem uma faixa de temperatura interna ideal para manutenção da homeostase sistêmica, mas a exposição ambiental às condições extremas de temperatura pode exceder a capacidade do corpo humano em manter a termorregulação provocando estresse térmico (HAVENITH; FIALA, 2015).

Esses eventos são responsáveis por impactos diretos e indiretos sobre a saúde humana, ocasionando sintomas que variam de dores de cabeça, exaustão física mental e até a morte, especialmente em grupos vulneráveis (COFFEL; HORTON; SHERBINI, 2018).

Os índices usados para avaliar a tensão de calor sobre o corpo humano são baseados no estabelecimento de um limite absoluto sobre a transferência de calor metabólico combinando, além da temperatura do ar, diferentes variáveis, como umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar (HAVENITH; FIALA, 2015). Embora muitos países tenham apresentado alguns indicadores combinando temperatura e umidade, não há nenhum método universal usado para quantificar o conforto térmico. Mais de 160 diferentes índices de estresse térmico foram desenvolvidos e, entre estes, o *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) é o mais popular e o mais amplamente usado em treinamentos militares, medicina esportiva e ambiente de trabalho (BUDD, 2008; HAVENITH; FIALA, 2015).

O WBGT é um índice empírico derivado da média ponderada da temperatura de globo, da temperatura natural do bulbo úmido e da temperatura de bulbo seco e pode ser calculado por meio das variáveis temperatura, umidade do ar, velocidade do vento e radiação solar (LILJEGREN et al., 2008). Os limites de segurança estabelecidos para esse índice são baseados em estudos de respostas fisiológicas considerando diferentes combinações de aclimação e gasto metabólico, por exemplo, valores de WBGT superiores a 32°C são altamente estressantes para exercícios ao ar livre e, geralmente, são usados no treinamento esportivo, militar e na segurança do trabalho (ISO 7243,1989; KJELLSTROM, 2016).

Com o aumento global da temperatura, as projeções indicam uma intensificação de condições de estresse térmico até o final do século, com valores de temperaturas de bulbo úmido – uma métrica mais sensível às variações de umidade do ar comparado ao WBGT – excedendo os limites teóricos postulados para a tolerância humana, especialmente nas regiões tropicais (COFFEL; HORTON; SHERBININ, 2017).

Nessas regiões, os eventos extremos de temperatura de bulbo úmido podem ser o dobro da mudança projetada apenas para temperatura e aproximadamente 4% da população no Sul da Ásia poderá experimentar no final do século temperatura de bulbo úmido máxima excedendo valores de 35°C, sob o cenário RCP 8.5 (*Representative Concentration Pathways* ou Trajetórias Representativas de Concentrações) que corresponde ao cenário com um forçamento radiativo de 8.5 W/m<sup>2</sup> em todo o planeta, com incremento de mais de 4°C na temperatura média global até 2100 (COFFEL; HORTON; SHERBININ, 2017; IM; PAL; ELTHAIR, 2017).

No Brasil, poucos foram os estudos realizados com projeções futuras sobre os impactos do estresse térmico na morbimortalidade, considerando os diferentes cenários de mudanças climáticas. Nessa perspectiva, este estudo teve como objetivo avaliar o risco da exposição às condições de estresse térmico, sua associação e seu potencial impacto na mortalidade por doenças cardiovascular e respiratória nas capitais brasileiras para os níveis de aquecimento 1.5°C, 2.0°C e 4.0°C do modelo regional climático Eta-HadGEM2-ES no RCP 8.5.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 ABORDAGENS

A avaliação dos impactos relacionados às condições de estresse térmico na saúde humana, de acordo com cenários futuros de aquecimento, foi desenvolvida sob duas abordagens:

1. **Avaliação do risco de exposição** ao estresse térmico para a saúde humana comparando a exposição ao indicador de estresse térmico *WBGT* estimado a partir das simulações do modelo regional climático Eta-HadGEM2-ES segundo o cenário RCP 8.5 nos níveis de aquecimento 1.5°C, 2.0°C e 4.0°C;



2. **Avaliação dos impactos** relacionados às condições de estresse térmico sobre a mortalidade por doenças cardiovasculares (para pessoas com idade  $\geq 45$  anos) e respiratória (para pessoas com idade  $\geq 60$  anos), considerando os cenários de aquecimento 1.5°C, 2.0°C e 4.0°C do modelo regional climático Eta-HadGEM2-ES para o cenário RCP 8.5.

## 2.2 ÁREA DE ESTUDO

O risco de exposição foi avaliado para todo o território brasileiro, e os impactos na saúde humana, devido às condições de estresse térmico, foram estudados para todas as capitais brasileiras. Apesar de o estudo concentrar-se nas capitais, os resultados deste foram apresentados de acordo com as regiões brasileiras.

## 2.3 CENÁRIO CLIMÁTICO

O risco da exposição ao estresse térmico foi realizado para todo o Brasil e nas capitais usando as RCPs, que são cenários climáticos baseados nas emissões de CO<sub>2</sub>, conforme quatro níveis diferentes de forçamento radiativo em W/m<sup>2</sup> até o ano de 2100. Apesar de os RCPs englobarem quatro cenários de emissões, neste trabalho foi utilizado o RCP 8.5, que corresponde ao cenário de alta emissão, devido a um grande crescimento populacional e a um baixo nível tecnológico de mitigação, e com forçamento radiativo de 8.5 W/m<sup>2</sup>, com aquecimento médio global superior a 4°C até 2100, ou seja, o pior cenário possível com a total ausência de medidas de controle de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2013).

## 2.4 DADOS AMBIENTAIS

Para estimar a curva de exposição-resposta, utilizou-se o WBGT médio do período vespertino, calculado por meio dos dados provenientes do *Modelo Era-Interim do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim>) para o período de 2000 a 2010. Para avaliar o impacto futuro, foram usadas a temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e a radiação solar de onda curta projetadas pelo modelo regionalizado Eta-Hadgem2-ES desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) (CHOU et al., 2014). Cada variável do modelo foi calibrada separadamente usando os métodos descritos por Casanueva et al. (2019) e Hempel et al. (2013) e, posteriormente, o indicador de WBGT foi calculado.

## 2.5 WET-BULB GLOBE TEMPERATURE (WBGT)

Neste estudo, o risco de estresse térmico foi mensurado por meio do indicador de estresse térmico WBGT. Este mensura a exposição ao calor que implique tensão sobre o corpo humano e, conseqüentemente, risco potencial à saúde humana. É usado para avaliar risco de sobrecarga térmica em atividades laborais em ambientes internos e externos. O WBGT máximo para ambientes externos foi calculado por meio da seguinte equação:

$$\text{WBGT} = 0,7T_w + 0,2T_g + 0,1T_a$$

Onde: Tw representa a temperatura natural do bulbo úmido, Tg a temperatura do globo negro e Ta a temperatura do bulbo seco ou atmosférica. Os valores de Tw e Tg foram estimados por meio dos dados de temperatura máxima, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação, por meio do método desenvolvido por Liljegren et al. (2008) e recomendado por Lemke e Kjellstrom (2012).

Para avaliar a exposição da saúde humana ao estresse térmico, os limites para classificação de risco foram estabelecidos de acordo com as faixas recomendadas para prática de exercícios físicos

em crianças, grupo considerado vulnerável e para atividades laborais intensas e sem aclimação (ACADEMIA AMERICANA DE PEDIATRIA, 2000; ISO 7243, 1989) (Tabela 1).

**Tabela 1 |** Risco de estresse térmico para a saúde humana.

Valores de WBGT	Classificação de risco
< 24°C	<b>Baixo risco</b> – todas as atividades físicas são permitidas
24°C a 25,9°C	<b>Moderado risco</b> – indicações de prática de exercícios físicos acompanhada de descanso e ingestão de água a cada 15 minutos
26°C a 29°C	<b>Alto risco</b> – indicações de interrupção de atividades físicas de pessoas não aclimatadas ou de pessoas com condições de saúde pré-existent
> 29°C	<b>Extremo risco</b> – interrupção de todas as atividades físicas, com risco à saúde humana.

Fonte: Comitê de Medicina Esportiva e de Aptidão Física da Academia Americana de Pediatria (2000) e ISO 7243 (1989).

Para o risco de exposição às condições de estresse térmico, foi utilizada a projeção do percentil 90 e do percentual de dias em que os valores de WBGT máximos diários excederam o percentil 90 do período de referência. Esse percentual foi calculado usando o calendário padrão do Modelo Climático Regionalizado Eta-HadGEM2-ES que é de 360 dias, ou seja, dentro de 360 dias/ano qual o percentual de dias em que os valores de WBGT máximo superaram o percentil 90 do período de 1961 – 2005?

## 2.6 DESFECHOS NA SAÚDE

Os impactos das condições de estresse térmico na saúde humana foram mensurados considerando os seguintes desfechos: mortalidade por doenças cardiovasculares (DAC) (para pessoas com idade ≥ 45 anos) (CID10: I00 a I99); e mortalidade por doenças respiratórias (DAR) (para pessoas com idade ≥ 60 anos) (CID10: J00 a J99).

## 2.7 ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS CONDIÇÕES DE ESTRESSE TÉRMICO NA SAÚDE HUMANA

O impacto da exposição ao estresse térmico nos desfechos de mortalidade foi realizado de acordo com o método utilizado por Gasparrini et al. (2017) que incluem a estimativa da curva de exposição-resposta entre WBGT médio do período vespertino e os desfechos em saúde e a avaliação dos impactos futuros da exposição ao estresse térmico nos desfechos em saúde, de acordo com os cenários climáticos.

A estimativa da curva de exposição-resposta entre WBGT médio do período vespertino e os desfechos foi conduzida em dois estágios. No primeiro estágio, foram estimados os efeitos da exposição ao WBGT médio vespertino utilizando o modelo linear generalizado, com distribuição *quasi-poisson* combinando os Modelos Não lineares de defasagem distribuída (*Distributed lag non-linear models – DLNMs*).

As estimativas da curva de exposição-resposta foram baseadas nos efeitos acumulados de 21 dias para óbitos por doenças respiratórias e 07 dias para óbitos por doenças cardiovasculares. Como o WBGT é um indicador composto entre umidade, velocidade do vento e radiação, somente o dia da semana foi incluído no ajuste do modelo. O ajuste da tendência e sazonalidade foi feito por uma *spline* cúbica do tempo, com 7 graus de liberdade por ano. O efeito não linear e defasado foi modelado utilizando uma base cruzada definida por uma *spline* cúbica natural para WBGT, com três nós alocados nos percentis 10, 75 e 90. O ajuste da defasagem foi de 21 dias, com três nós para óbitos por doenças respiratórias, e sete dias com dois nós para mortalidade por doenças cardiovasculares.

No segundo estágio, a avaliação e o ajuste da heterogeneidade entre as capitais foram realizados por meio de uma meta-regressão, tendo como variáveis de ajuste a amplitude da temperatura e o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) disponibilizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Após essa etapa, realizou-se a recentralização dos efeitos para o WBGT estimando os Riscos Relativos para valores acima de 28°C ( $WBGT \geq 28^\circ C$ ), sendo essas curvas usadas para avaliar o impacto futuro. Essa condição de estresse térmico foi definida de acordo com os valores estabelecidos para a prática de exercícios físicos em crianças e para atividades laborais intensas e sem aclimação (ACADEMIA AMERICANA DE PEDIATRIA, 2000; ISO 7243, 1989). Para a associação estudada, as curvas estimadas apresentam formato em J, V ou U que descrevem excesso de risco de morte acima ou abaixo de um intervalo, ou um valor específico da exposição estudada, definida como temperatura ou WBGT de mortalidade mínima. Assim, os óbitos tendem a reduzir conforme a exposição aumenta até um determinado limiar ou intervalo, acima do qual voltam a aumentar. Para o WBGT, com risco de mortalidade mínima definido em 28°C, a maioria das capitais apresentou curvas com formato J, especialmente as capitais das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

A projeção e a quantificação dos impactos futuros para os níveis de aquecimento global (SWL) de 1.5°C (2011-2040), 2.0°C (2041-2070) e 4.0°C (2071-2099) foram realizadas por meio do cálculo das frações atribuíveis. Frações atribuíveis são medidas de efeito baseadas no Risco Relativo (RR) que quantificam o excesso de óbito associado a um valor da exposição, ou seja, das condições de estresse térmico, sempre em comparação com um valor de referência, neste caso, o risco de morte centrado no WBGT igual a 28°C.

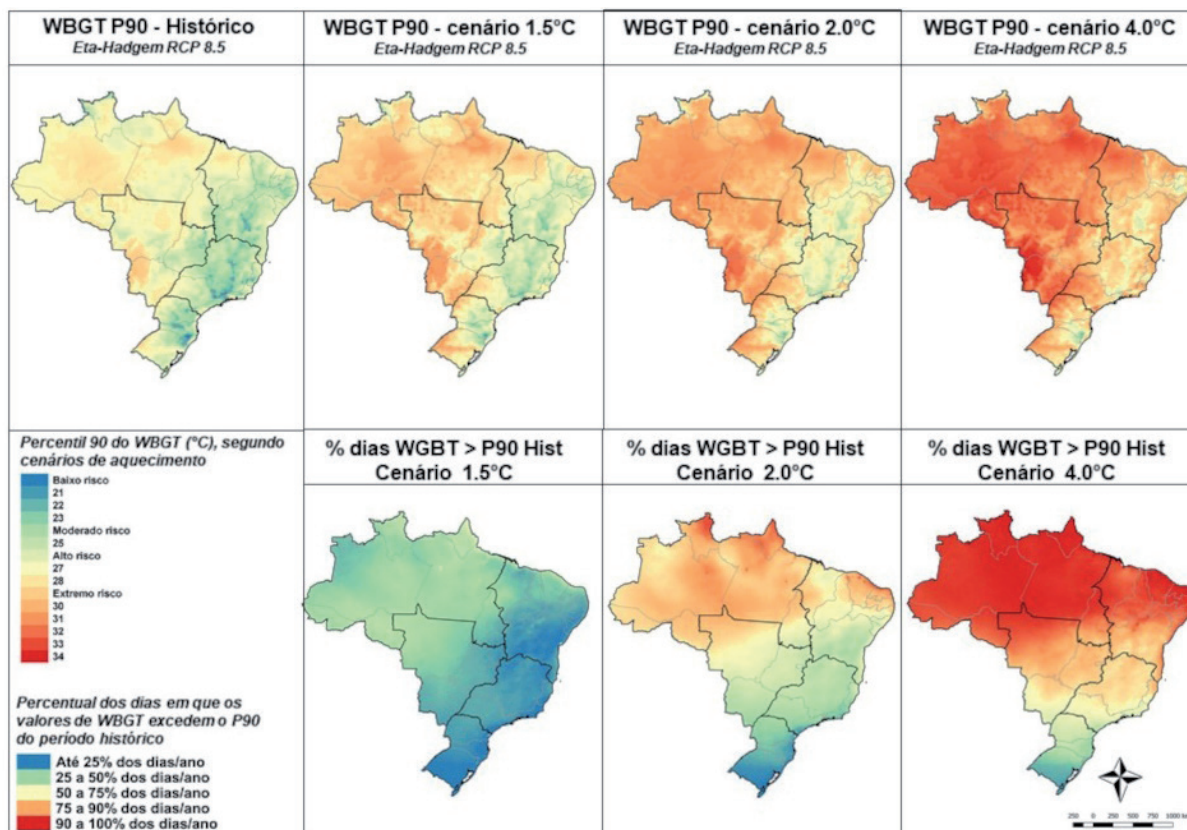
Nesta etapa, a curva de exposição-resposta acumulada entre WBGT e os óbitos por doenças cardiovasculares e respiratórias, estimada pelo Blup, calculada no segundo estágio da primeira etapa, foi extrapolada para os dados projetados. A função exposição-resposta é aplicada a uma série diária de 365 dias dos desfechos de saúde para o futuro construída por meio de médias diárias do período de 2000 a 2010. Com isso, assume-se que a curva de exposição-resposta estimada para o futuro manterá a forma, levando em consideração as tendências observadas nos modelos estimados pelo Blup e que a distribuição dos óbitos se manterá constante. Posteriormente, a quantificação do impacto foi estimada em termos da fração atribuível dos desfechos associados à exposição de WBGT acima de 28°C ( $WBGT > 28^\circ C$ ).

As análises foram conduzidas no programa R (2017) por meio dos pacotes *dlnm* (GASPARRINI, 2011) e *mvmeta* (GASPARRINI; ARMSTRONG; KENWARD, 2012).

### 3 RESULTADOS E ANÁLISES

#### 3.1 RISCO DA EXPOSIÇÃO ÀS CONDIÇÕES DE ESTRESSE TÉRMICO

Em relação ao risco da exposição às condições de estresse térmico, a Figura 1 mostra uma expansão das áreas com risco extremo para a saúde, segundo os cenários de aquecimento. Com aumento global de 4.0°C da temperatura, o percentil 90 do WBGT indica que todas as regiões brasileiras apresentarão áreas de alto e extremo risco para a saúde humana em razão das condições de estresse térmico, especialmente nas regiões Norte e Centro-Oeste. Se considerarmos o percentual de dias acima dos valores do percentil 90 do período de referência (1960-2005), as regiões Norte e Nordeste poderão experimentar exposição acima do P90 do período de referência em mais de 90% dos dias do ano para o aquecimento de 4.0°C.



**Figura 1 |** Percentil 90 do indicador de estresse térmico *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) e percentual de dias anuais com valores de WBGT acima do percentil 90 do período *baseline* (1961-2005) segundo cenários de aquecimento para o modelo climático *Eta-Hadgem-ES*, cenário RCP 8.5.

Fonte: Elaborada pelos autores.

### 3.2 IMPACTOS FUTUROS DAS CONDIÇÕES DE ESTRESSE TÉRMICO NA SAÚDE HUMANA

O número total de óbitos por doenças cardiovasculares e respiratórias e a média do WBGT no período vespertino para 2000 a 2010 e para os cenários de aquecimento estão apresentados na Tabela 2. Entre 2000 e 2010, a Região Norte apresentou as maiores médias de WBGT no período vespertino, com destaque para Rio Branco que atingiu valor máximo próximo a 34°C. Ainda na Região Norte, observa-se um incremento de aproximadamente 5° nos valores médios do WBGT do período vespertino para o aquecimento global de 4°C.

**Tabela 2 |** Número total de óbitos por doenças cardiovasculares (DAC) em adultos acima de 45 anos e respiratórias (DAR) em idosos acima de 60 anos, os valores médios diários do *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) durante o período vespertino para 2000 a 2010 e suas respectivas médias para as projeções, segundo os cenários de aquecimento global.

Capitais	Óbitos (2000 – 2010)		WBGT °C (2000-2010)		WBGT para o aquecimento global da temperatura (valores médios)			
	DAR	DAC	Média	Min-Max	Baseline	1.5°C	2.0°C	4.0°C
<b>NORTE</b>								
Belém	7502	18803	28,2	23,9 - 31,5	27,7	29,1	30,4	32,3
Boa Vista	459	2146	28,0	23,2 - 31,5	27,5	28,7	30,0	31,3

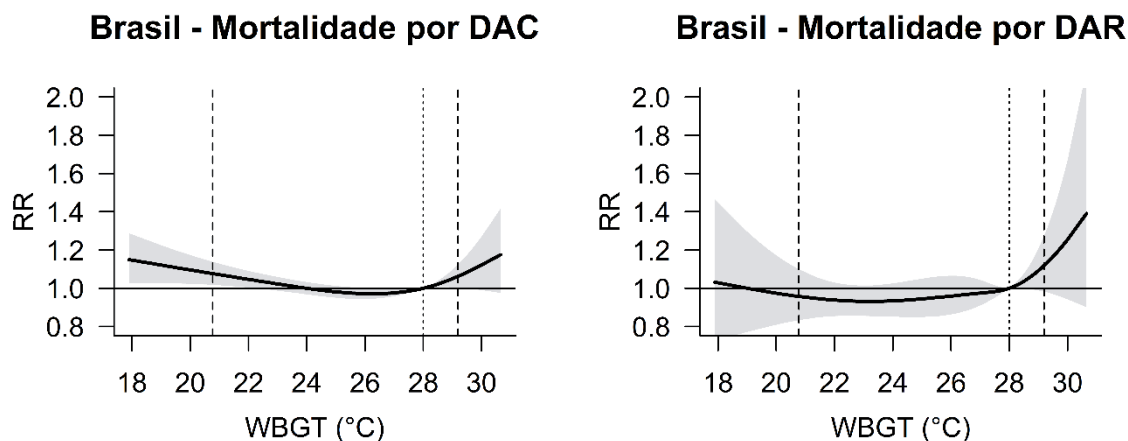
Capitais	Óbitos (2000 - 2010)		WBGT °C (2000-2010)		WBGT para o aquecimento global da temperatura (valores médios)			
	DAR	DAC	Média	Min-Max	Baseline	1.5°C	2.0°C	4.0°C
Macapá	670	2323	27,7	24,1 - 30,4	27,0	28,6	30,1	31,9
Manaus	4508	13849	28,5	21,6 - 32,6	27,8	29,4	30,9	32,7
Palmas	233	1298	27,6	22,3 - 32,2	27,1	28,4	29,8	31,1
Porto Velho	1080	4113	28,5	17,6 - 32,1	27,8	29,5	31,0	32,8
Rio Branco	1239	2997	28,2	13,6 - 33,5	27,5	29,3	30,6	32,5
<b>NORDESTE</b>								
Aracaju	2104	7634	25,9	22,2 - 29,7	25,6	26,7	27,9	29,3
Fortaleza	9020	29810	26,6	23,7 - 28,9	26,1	27,2	28,4	29,8
Joao Pessoa	3050	11618	25,9	22,9 - 28,7	25,5	26,7	27,9	29,2
Maceió	3808	15382	25,7	21,7 - 29,1	25,4	26,5	27,7	29,1
Natal	3144	12061	26,1	22,8 - 29,0	25,7	26,8	28,1	29,4
Recife	8843	33018	25,6	22,1 - 28,6	25,2	26,3	27,5	28,8
Salvador	11030	37751	25,6	21,2 - 30,3	25,3	26,6	27,8	29,2
São Luís	2442	12523	27,3	23,5 - 29,1	26,9	28,0	29,3	30,9
Teresina	2664	13512	28,4	23,4 - 32,7	28,0	29,2	30,5	31,9
<b>CENTRO-OESTE</b>								
Brasília	6034	28869	23,9	17,0 - 29,0	23,6	24,9	26,2	27,7
Campo Grande	3641	13156	25,2	8,10 - 30,9	24,6	26,3	27,6	29,3
Cuiabá	1964	7544	27,6	13,3 - 32,6	27,0	28,6	29,9	31,4
Goiânia	5870	19058	24,7	16,9 - 29,8	24,3	25,8	27,1	28,6
<b>SUDESTE</b>								
Belo Horizonte	11395	39896	23,2	14,6 - 30,7	22,7	24,2	25,5	27,1
Rio de Janeiro	49332	157405	24,6	14,5 - 31,3	24,2	25,6	26,5	28,1
São Paulo	66373	232329	22,2	10,1 - 29,8	21,6	23,4	24,5	26,2
Vitoria	802	4972	24,7	17,1 - 30,7	24,4	25,6	26,7	28,2
<b>SUL</b>								
Curitiba	7840	30667	21,2	4,70 - 30,6	20,6	22,4	23,5	25,1
Florianópolis	1463	5698	21,7	10,4 - 30,4	21,4	22,5	23,2	24,6
Porto Alegre	8735	34627	21,1	6,30 - 23,0	20,3	22,0	22,7	24,3

Fonte: Elaborado pelos autores.

### ESTIMATIVA DA CURVA DE EXPOSIÇÃO-RESPOSTA

A Figura 2 mostra as curvas de exposição-resposta entre WBGT e mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias combinadas para todo o Brasil, por meio de uma metanálise. Para doenças cardiovasculares, observa-se uma distribuição dos Riscos Relativos (RR) em formato de U, com elevação nos dois extremos da distribuição do WBGT. Para valores de WBGT no P99 (~29,5°C), o RR acumulado em 7 dias foi cerca de 15% maior comparado ao RR observado para valores de WBGT igual a 28°C. A curva para a mortalidade por doenças respiratórias apresentou formato de J, com elevação do RR somente para valores de WBGT acima de 28°C, onde o RR acumulado de 21 dias foi de 1,40 para valores de WBGT ~31°C comparado ao RR para valores de WBGT igual a 28°C.





Legenda: Risco relativo (RR). A área sombreada representa o intervalo de 95% de confiança, as linhas tracejadas indicam os percentis 1° e 99° do WBGT do período vespertino e a linha pontilhada a recentralização da curva dos valores de WBGT acima de 28°C.

**Figura 2 |** Curvas de exposição-resposta entre *Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)* e mortalidade por doenças cardiovasculares em adultos com mais de 45 anos e respiratórias em idosos acima de 60 anos acumuladas, respectivamente, em 7 e 21 dias nas capitais combinadas para o Brasil (2000 a 2010).

Fonte: Elaborado pelos autores.

O RR entre o percentil 99 do WBGT médio no período vespertino e mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias comparado ao risco do WBGT centrado em 28°C para as capitais do Brasil é apresentado na Tabela 3. Observa-se que, para algumas capitais, o percentil 99 de WBGT foi menor ou muito próximo ao RR mínimo adotado (risco no WBGT igual a 28°C) e, portanto, o RR foi próximo ou igual a 1 para ambos os desfechos.

No entanto, algumas capitais destacam-se por apresentar RR de morte para os dois desfechos no percentil 99 do WBGT em relação ao RR mínimo adotado. Na Região Norte, Palmas e Porto Velho apresentaram, respectivamente, um incremento de 34% (IC95% 0,69 – 2,63) e 25% (IC95% 0,64 – 2,46) para mortes por DAR e 19% (IC95% 0,81 – 1,76) e de 23% (IC95% 0,85 – 1,79) para mortes por DAC. Na Região Centro-Oeste, destaque para Cuiabá com RR de 1,31 (IC95% 0,70 – 2,45) para DAR e 1,44 (IC95% 1,04 – 1,99) para DAC, no Sudeste para o Rio de Janeiro com RR de 1,24 (IC95% 0,94 – 1,65) para DAR e 1,37 (IC95% 1,21 – 1,55) para DAC e no Sul para Porto Alegre com RR de 1,51 (IC95% 1,22 – 1,86) para DAR e 1,21 (IC95% 1,10 – 1,33) para DAC.

**Tabela 3 |** Risco relativo entre *Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)* no percentil 99 em relação ao WBGT igual a 28°C e mortalidade por doenças cardiovasculares em adultos com mais de 45 anos e respiratórias em idosos acima de 60 anos acumulados, respectivamente, em 7 e 21 dias para as capitais (2000 a 2010).

	WBGT Percentil 99	DAR (RR para P99 do WBGT)			DAC (RR para P99 do WBGT)		
		IC95%			IC95%		
		RR	Inferior	Superior	RR	Inferior	Superior
<b>NORTE</b>							
Belém	29,9	1,17	0,73	1,87	1,00	0,79	1,27
Boa Vista	30,3	1,15	0,66	2,02	1,08	0,79	1,48
Macapá	29,3	0,95	0,59	1,54	1,02	0,78	1,33
Manaus	31,2	0,99	0,50	1,94	1,03	0,75	1,41
Palmas	31,1	1,34	0,69	2,63	1,19	0,81	1,76

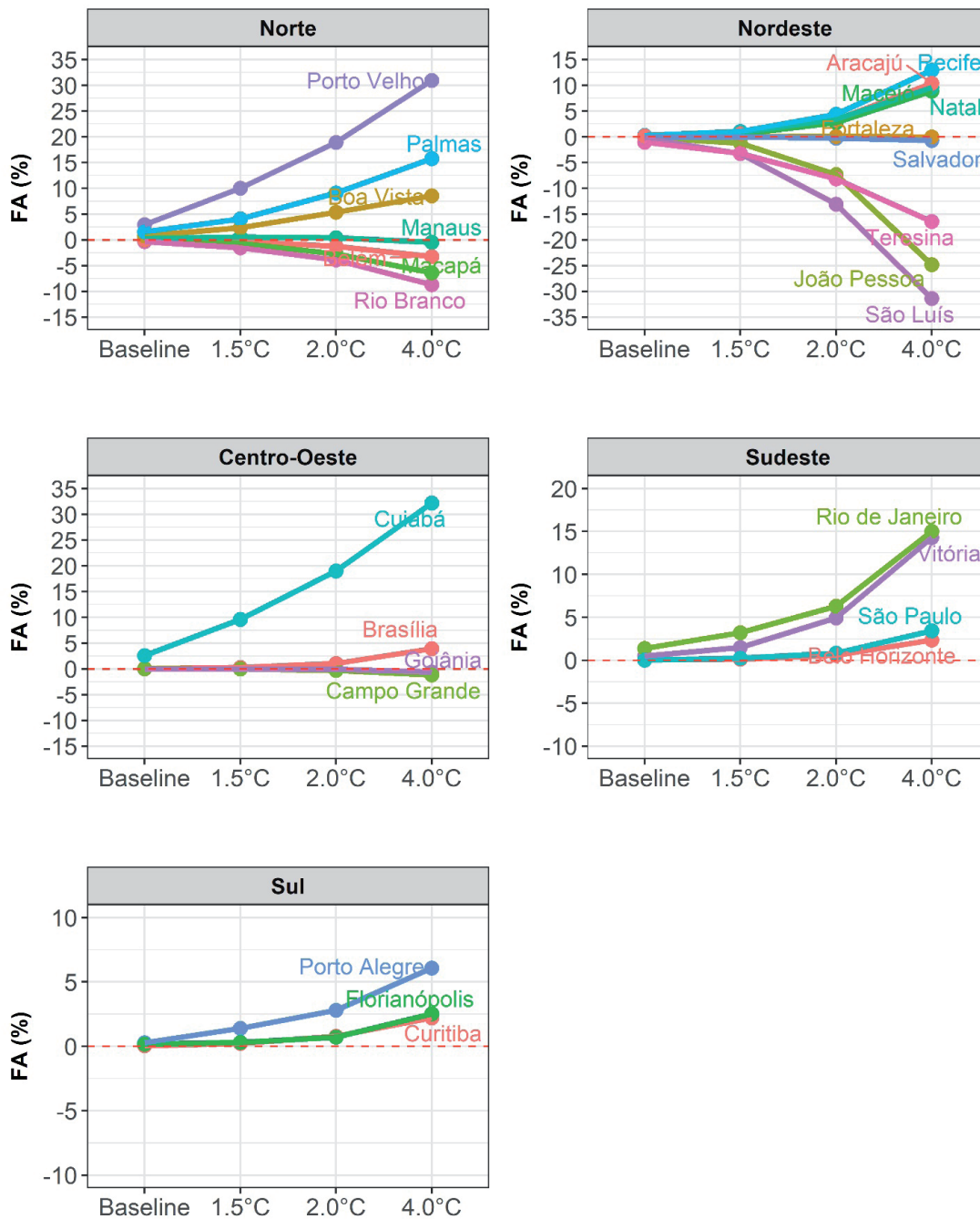
	WBGT Percentil 99	DAR (RR para P99 do WBGT)			DAC (RR para P99 do WBGT)		
		IC95%			IC95%		
		RR	Inferior	Superior	RR	Inferior	Superior
Porto Velho	31,1	1,25	0,64	2,46	1,23	0,85	1,79
Rio Branco	31,4	1,13	0,64	2,00	0,97	0,68	1,39
<b>NORDESTE</b>							
Aracaju	28,5	0,99	0,84	1,16	1,04	0,94	1,15
Fortaleza	28,2	1,01	0,94	1,09	0,99	0,94	1,04
Joao Pessoa	27,8	1,00	0,98	1,01	1,00	0,99	1,01
Maceió	28,1	1,00	0,94	1,06	1,01	0,97	1,04
Natal	28,1	1,00	0,94	1,07	1,01	0,97	1,05
Recife	27,8	1,00	0,93	1,08	0,98	0,94	1,03
Salvador	28,4	1,01	0,92	1,12	1,00	0,95	1,04
São Luís	28,7	1,00	0,70	1,43	0,96	0,78	1,18
Teresina	31,0	1,00	0,54	1,84	0,95	0,71	1,27
<b>CENTRO-OESTE</b>							
Brasília	27,2	0,91	0,68	1,23	0,99	0,87	1,12
Campo Grande	29,8	1,23	0,81	1,87	1,01	0,77	1,33
Cuiabá	31,2	1,31	0,70	2,45	1,44	1,04	1,99
Goiânia	28,3	1,07	0,96	1,18	1,02	0,97	1,07
<b>SUDESTE</b>							
Belo Horizonte	28,7	0,98	0,94	1,02	0,99	0,97	1,00
Rio de Janeiro	29,9	1,24	0,94	1,65	1,37	1,21	1,55
São Paulo	27,9	0,99	0,97	1,00	0,99	0,99	1,00
Vitoria	28,7	1,11	0,92	1,33	1,10	0,99	1,22
<b>SUL</b>							
Curitiba	28,2	1,02	0,97	1,06	1,01	0,99	1,02
Florianópolis	28,8	1,13	0,87	1,46	1,11	0,98	1,27
Porto Alegre	29,3	1,51	1,22	1,86	1,21	1,10	1,33

Fonte: Elaborado pelos autores.

### IMPACTOS FUTUROS DA EXPOSIÇÃO AO ESTRESSE TÉRMICO

Para todos os desfechos de saúde, na maioria das capitais, conforme aumenta o nível de aquecimento global, maior o número de óbitos em condições de estresse térmico. No entanto, os impactos diferem entre si de acordo com a localidade e os desfechos avaliados. O impacto foi medido pela fração atribuível (%) que corresponde ao percentual de mortes relacionadas ao aumento de WBGT.

Em relação aos óbitos por doenças cardiovasculares, o aquecimento global de 4.0°C poderá representar um impacto positivo nas mortes por estresse térmico, com fração atribuível menor que 5% para as capitais de Brasília, Belo Horizonte, Curitiba, Florianópolis e São Paulo. Entre as capitais mais impactadas para óbitos cardiovasculares destacam-se Palmas, Cuiabá e Porto Velho, com fração atribuída estimada acima de 30%. Nas duas **últimas** capitais, os incrementos da fração atribuível para o cenário de maior aquecimento em relação ao período de referência são de 26% e 28%, respectivamente (Figura 3).



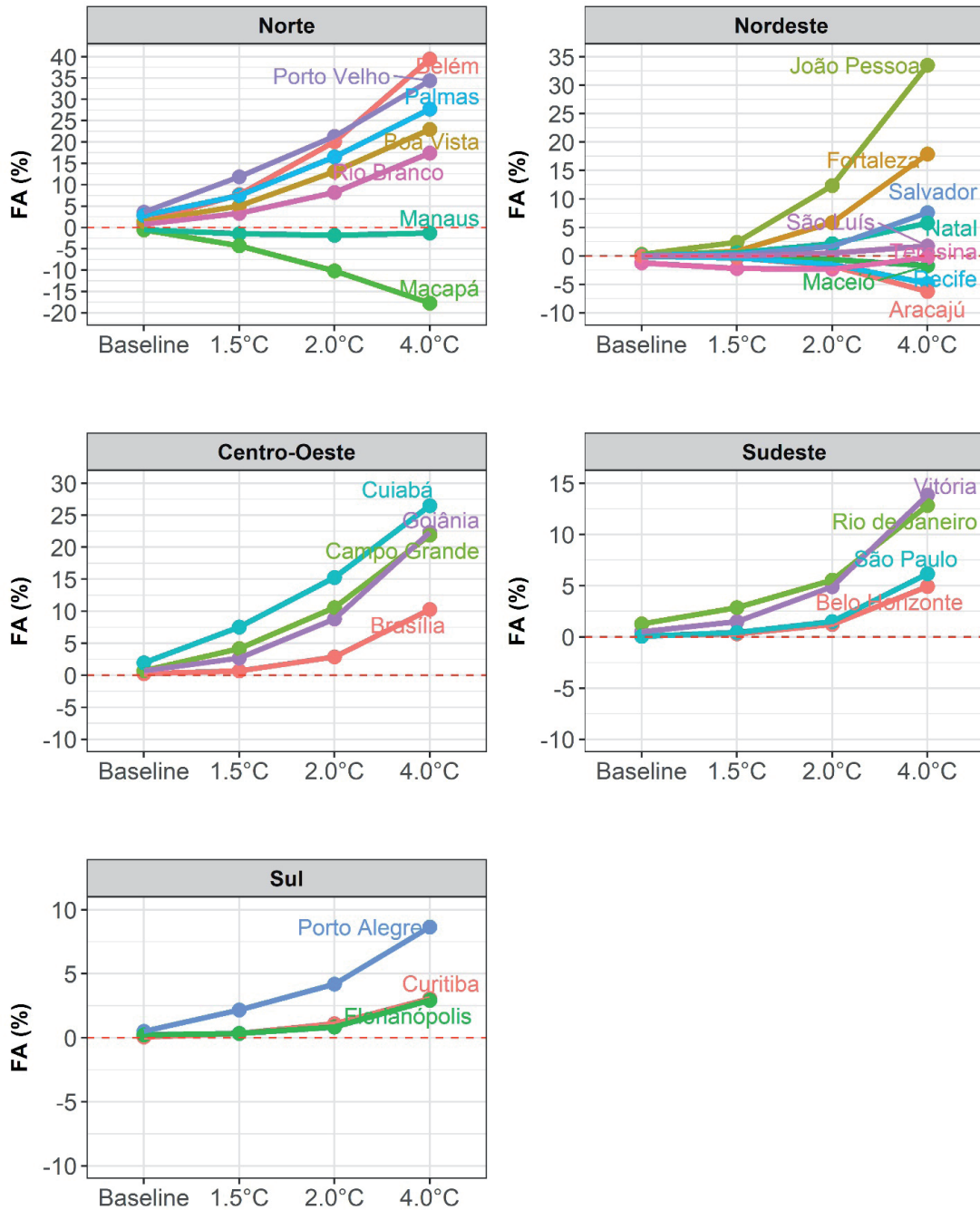
Legenda: FA (%) Fração atribuível que mede o quanto da ocorrência do desfecho é atribuível à exposição, ou seja, do total de mortes projetadas para o futuro, qual a fração (%) será atribuível ao estresse por calor.

**Figura 3 |** Fração da mortalidade por doenças cardiovasculares (DAC) atribuíveis à condição de estresse por calor (WBGT > 28°C) para as capitais no período baseline (1961-2005) e para os cenários de aquecimento do modelo climático Eta-Hadgem-ES (RCP 8.5).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação aos óbitos por doenças respiratórias, o aquecimento global de 4.0°C poderá representar impacto de aumento nas mortes por estresse térmico em diversas capitais. Na Região Norte, a fração atribuível aumentará progressivamente, de acordo com os níveis de aquecimento para Belém, Porto Velho, Palmas, Boa Vista e Rio Branco, com destaque para Belém com projeções de fração atribuível de 40% no aquecimento de 4.0°C. No Nordeste, João Pessoa, Fortaleza, Salvador e Natal poderão ter incremento das mortes por estresse térmico, com destaque para João Pessoa alcançando valores de

35% da fração atribuível das mortes relacionadas ao estresse térmico. No Centro-Oeste, as projeções indicam impactos para todas as capitais, onde Cuiabá apresentou a maior fração atribuível, com 25% para o aquecimento de 4.0°C. No Sudeste, Rio de Janeiro e Vitória apresentam valores de fração atribuível superiores a 10% para aquecimento de 4.0°C, e, no Sul, Porto Alegre destacou-se com 7,5% (Figura 4).



Legenda: FA (%) Fração atribuível que mede o quanto da ocorrência do desfecho é atribuível à exposição, ou seja, do total de mortes projetadas para o futuro, qual a fração (%) será atribuível ao estresse por calor.

**Figura 4 |** Fração da mortalidade por doenças respiratórias (DAR) atribuíveis à condição de estresse por calor (WBGT > 28°C) para as capitais no período *baseline* (1961-2005) e para os cenários de aquecimento do modelo climático Eta-Hadgem-ES (RCP 8.5).

Fonte: Elaborado pelos autores.

## 4 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Este estudo mostrou projeções sobre o risco da exposição às condições de estresse térmico para o Brasil. As projeções de impacto mais acentuado se deram para as regiões Norte e Centro-Oeste, que poderão apresentar exposição de extremo risco para a saúde humana. Além disso, os resultados mostraram associação entre WBGT e mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias para o Brasil, com destaque para as capitais Palmas, Porto Velho, Cuiabá, Rio de Janeiro e Porto Alegre. Em relação aos impactos, as projeções indicam uma tendência de aumento dos impactos conforme os níveis de aquecimento, ainda que com resultados heterogêneos entre as capitais.

Considerando os níveis de aquecimento, caso o cenário RCP 8.5 se confirme, praticamente todas as regiões brasileiras apresentarão aumento das condições de estresse térmico indicando riscos para as atividades laborais (KJELLSTROM; HOLMER; LEMKE, 2009) e esportivas (LEYK et al., 2019; NASSIS et al., 2015). Esses riscos já foram reportados em alguns estudos, como revisado por Leyk et al. (2019). Em 2014, durante a Copa do Mundo, observou-se redução do rendimento de alguns atletas com valores de WBGT entre 28°C e 30°C, enquanto dois jogos foram interrompidos por apresentarem picos de WBGT acima de 30°C (NASSIS et al., 2015).

Em nosso estudo, com o aquecimento de 4.0°C no final do século, essas situações poderão ser ainda mais comuns, especialmente nas regiões Norte e Centro-Oeste. É bem provável que intervalos de aquecimento e resfriamento possam ser estabelecidos e ampliados para diversos esportes, como já é feito para os torneios de tênis (TENNIS AUSTRALIA LIMITED, 2019) e como foi realizado durante a Copa do Mundo de 2014 (LUCENA et al., 2017).

Em relação à saúde do trabalhador, os regimes de trabalho que exigem resfriamento corporal já são regulados, por exemplo, em trabalhos industriais na produção de aço, vidro e cerâmica (ISO 7243, 1989). No entanto, em alguns setores onde a exposição e as medidas de prevenção ainda não são formalmente reguladas, como na agricultura, foram reportadas altas taxas de doenças associadas ao calor (LUCAS; EPSTEIN; KJELLSTROM, 2014). O alto risco de estresse por calor foi observado entre cortadores de cana-de-açúcar que apresentaram mudanças fisiológicas significativas, incluindo alteração na frequência cardíaca, na temperatura corporal e na pressão arterial sistólica (BOONRUKSA et al., 2020).

No Brasil, a sobrecarga térmica, originada pelo intenso trabalho e pela exposição às temperaturas e umidades elevadas, foi sugerida como fator desencadeador para a morte de 14 trabalhadores cortadores de cana, entre 2004 e 2008, no estado de São Paulo (BITENCOURT; RUAS; MAIA, 2012). Além disso, o risco de estresse térmico também foi reportado em atividades da construção civil (AL-BOUWARTHAN et al., 2019) e, para além do Brasil, em trabalhadores imigrantes do Nepal no Qatar (PRADHAN et al., 2019).

Em situações mais graves, a exposição ocupacional além dos limites estabelecidos, associada ao trabalho extenuante, pode ser fatal. Entre 2000 e 2016, o *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) revisou retrospectivamente 25 doenças ocupacionais relacionadas ao estresse térmico, com avaliação dos fatores de riscos individuais, exposição a WBGT, carga de trabalho e aclimação. Das 25 doenças ocupacionais revisadas, os limites de exposição baseados nos valores de WBGT excederam para 14 doenças ocupacionais fatais e em 8 das 11 doenças não fatais. Esses resultados, associados aos nossos resultados aqui apresentados, reforçam a necessidade de programas de aclimação, treinamento e reconhecimento de sinais e sintomas de primeiros socorros (TUSTIN et al., 2019).

Antes da pandemia por SARS-CoV-2, as estimativas realizadas pela Organização Internacional do Trabalho (OIT) apontavam que os efeitos do calor e do estresse térmico poderiam ser responsáveis pela perda de 2,2% das horas de trabalho global, o que equivaleria a 80 milhões de empregos em tempo integral. No Brasil, as estimativas para 2030, com aquecimento de 1.5°C, estariam em torno de 850 mil empregos devido ao estresse térmico (ILO, 2019). De acordo com os resultados deste trabalho, essa



redução no rendimento laboral poderá ser mais pronunciada nas categorias com alto gasto metabólico e nas comunidades rurais e, portanto, novas iniciativas e estratégias para a saúde ocupacional deverão ser pensadas e implantadas (KJELLSTROM; HOLMER; LEMKE, 2009; TUSTIN et al., 2019).

Em nossos resultados, o risco de estresse térmico aumenta conforme o nível de aquecimento e confirma outras projeções já realizadas (ANDREWS et al., 2019; IM; PAL; ELTHAIR, 2017). Em relação à população global exposta, com o aquecimento de 1.5°C, o impacto será cerca de 350 milhões de pessoas com comprometimento dos limites para atividades laborais, e com o aquecimento de aproximadamente 2.5°C, essa exposição poderá atingir mais de 1 bilhão de pessoas (ANDREWS et al., 2019). A adaptação às condições térmicas extremas exigirá opções para resfriamento ativo, como aumento da demanda por ar-condicionado e alteração de regime de trabalho e atividades esportivas e, na falta de recursos para adaptação, poderá gerar ondas de migração (MUELLER; GRAY; KOSEC, 2014).

As projeções dos impactos das condições de estresse térmico sobre a mortalidade são, notoriamente, sensíveis a uma série de fatores comportamentais e culturais que influenciam a capacidade de adaptação fisiológica no longo prazo (COLLIER et al., 2019). Talvez esse seja um dos principais gargalos em estudos sobre os potenciais efeitos do calor na mortalidade, que é prever ou incorporar nos modelos os condicionantes e determinantes do processo saúde-doença. Em se tratando da capacidade de resiliência, a população global economicamente ativa está mais sedentária, envelhecendo e com taxas altas de doenças não transmissíveis. Esses fatores podem reduzir a capacidade de resiliência térmica desse grupo e aumentar sua suscetibilidade às doenças relacionadas ao calor (LOZANO et al., 2010).

Além dos adultos em idade ativa, os idosos e crianças são considerados de alto risco para estresse térmico devido à capacidade limitada em manter a temperatura corporal e maior risco à desidratação (GOMES; CARNEIRO JÚNIOR; MARINS, 2013; KENNY et al., 2010). Entre as crianças, a maior produção de calor metabólico por unidade de massa corporal e menor transpiração explicam parte dessa vulnerabilidade (BAR-OR, 1989; KENNY et al., 2010). Entre os idosos, além das doenças pregressas, a termorregulação é alterada pela redução do metabolismo celular e pelas alterações cutâneas (INBAR et al., 2004; KENNEY et al., 1997).

Algumas capitais analisadas no presente trabalho apresentaram curva de exposição-resposta para mortalidade decrescente, sobretudo em locais que experimentaram valores elevados de WBGT, como, por exemplo, as capitais do Norte e Nordeste. Esses resultados sugerem que um comportamento protetor pode estar sendo adotado em resposta às condições extremas de estresse por calor ou que esses locais apresentam menores efeitos dessas condições. Essa menor sensibilidade aos efeitos do calor em regiões mais quentes já foi sugerida por alguns autores (BASU, 2009; ZHAO et al., 2017, 2019). De qualquer forma, em algumas capitais, como Palmas, Cuiabá e Porto Velho, conhecidas no País por recordes de temperatura, observou-se um aumento da mortalidade por doenças cardiovasculares atribuíveis ao estresse térmico, atingindo fração atribuída acima de 30% com aquecimento de 4.0°C.

No Brasil, em razão da sua heterogeneidade cultural, socioeconômica, ecológica e climática, os impactos estarão, provavelmente, associados às questões de vulnerabilidade socioeconômica, individual e coletiva, tais como a idade, acesso aos serviços de saúde, resiliência fisiológica e demais determinantes sociais, como renda e condições habitacionais (MARANDOLA; HOGAN, 2009). Em regiões densamente povoadas, como as regiões Sudeste e Sul, algumas capitais poderão apresentar mortalidade atribuível ao estresse por calor superior a 10%, representando um impacto expressivo no número absoluto de óbitos. Enquanto nas regiões Norte e Centro-Oeste, apesar da alta fração atribuível, o impacto em números absolutos poderá ser menor. De qualquer maneira, a Região Norte apresenta alta vulnerabilidade socioeconômica e de acesso aos serviços de saúde, com precárias condições para enfrentamento dos impactos decorrentes das mudanças no clima (HACON et al., 2015).

Os desafios dos serviços de saúde, provavelmente, serão mais extensos e complexos do que as projeções realizadas. Estas apontam incremento da carga de doenças associadas ao clima, com

sobreposição de doenças não transmissíveis e infecciosas. Assim, o aumento da mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias em decorrência das mudanças no clima ocorrerá em um cenário de aumento de outras doenças infecciosas, tais como aquelas transmitidas por vetores ou por veiculação hídrica. Outro agravante será a exacerbação de doenças associadas aos efeitos da poluição atmosférica, especialmente em áreas com avanço do desmatamento, que estão associadas à disseminação de velhos e novos patógenos (FLOSS; BARROS, 2019).

Essa não é uma realidade distante, no ano de 2020 ocorreram simultaneamente no Brasil ondas de calor, aumento das queimadas e do desmatamento que são exposições ambientais associadas à morbimortalidade por doenças não transmissíveis com doença cardiovascular e respiratória, e pela influência na disseminação de velhos e novos, como as doenças transmitidas por vetores.

Estudos sobre os futuros impactos do aumento da temperatura e do estresse térmico são dotados de limitações e incertezas. O limiar de 28°C para o WBGT, apesar de preestabelecido por marcos regulatórios, pode estar subestimando os impactos de eventos de estresse térmico devido às condições socioeconômicas e demográficas, ao acesso e à qualidade dos serviços de saúde e à capacidade de adaptação dos indivíduos (CUI et al., 2005; PARSONS, 2003).

Além disso, as projeções foram realizadas assumindo um cenário *baseline* estático para inúmeros fatores que poderiam influenciar na mortalidade, como o crescimento populacional, as tecnologias médicas, a expectativa de vida e sua distribuição geográfica. As próprias condições climáticas futuras poderão ter influência na adoção de novos comportamentos, devido à necessidade direta ou indireta das populações de se adaptarem às novas condições climáticas. Com isso, os estilos de vida, as práticas cotidianas e os hábitos alimentares poderão ser modificados, resultando em novos perfis nosológicos e, conseqüentemente, influenciando a mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias.

Apesar de todas as limitações e incertezas, este estudo acende um estado de alerta quanto aos potenciais riscos para o aumento da mortalidade devido às condições de estresse por calor caso as emissões dos gases de efeito estufa mantenham-se no ritmo atual. As projeções indicaram tendências importantes para o Brasil, com a identificação de áreas de alto risco para mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias e implicações para a saúde global e ocupacional do País.

## REFERÊNCIAS

AL-BOUWARTHAN, M. et al. Heat Stress Exposure among Construction Workers in the Hot Desert Climate of Saudi Arabia. **Annals of Work Exposures and Health**, v. 63, p. 505-520, 2019.

AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS. Committee on Sports Medicine and Fitness. Pediatrics. Climatic heat stress and the exercising child and adolescent. [Internet]. v. 106, 2000. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10878169>>.

ANDREWS, O. et al. Implications for workability and survivability in populations exposed to extreme heat under climate change: a modelling study. **The Lancet Planetary Health**, v. 2, p. E540-E547, 2019.

BAR-OR, O. Temperature regulation during exercise in children and adolescent. In: LAMB, D. R.; GISOLFI, C. V. **Perspectives in exercise science and sports medicine: youth, exercise, and sport**. Indianapolis: Benchmark Press. p. 335-68, 1989.

BASU, R. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. **Environmental Health**, v. 8, 2009.

BITENCOURT, D. P.; RUAS, A. C.; MAIA, P. A. Análise da contribuição das variáveis meteorológicas no estresse térmico associada à morte de cortadores de cana-de-açúcar. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 28, p. 65-74, 2012.

BOONRUKSA, P. et al. Heat Stress, Physiological Response, and Heat-Related Symptoms among Thai Sugarcane

- Workers. **International Journal Environmental Research and Public Health**, v. 17, p. 6363, 2020.
- BUDD, G. M. Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) – its history and its limitations. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.11, p. 20-32, 2008.
- CASANUEVA, A. et al. Climate projections of a multivariate heat stress index: the role of downscaling and bias correction. **Geoscientific Model Development**, v. 12, p. 3419-3438, 2019.
- CHOU, S. C. et al. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 438-54, 2014.
- COFFEL, E. D.; HORTON, R. M.; SHERBININ, A. Temperature and humidity-based projections of a rapid rise in global heat stress exposure during the 21st century. **Environmental Research Letters**, v. 13, p. 14001, 2018.
- COLLIER, R. J. et al. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. **Animal Frontiers**, v. 9, p. 12-19, 2019.
- CUI, J. et al. Effects of heat stress on thermoregulatory responses in congestive heart failure patients. **Circulation**, v. 112, p. 2286-92, 2005.
- FLOSS, M.; BARROS, E. Lancet Countdown: briefing para políticas de saúde no Brasil. **Revista Brasileira de Medicina de Família e Comunidade**, v. 14, p. 2286, 2019.
- GASPARRINI, A. Distributed Lag Linear and Non-Linear Models in R: the package dlnm. **Journal of Statistical Software**, v. 43, p. 1-20, 2011.
- GASPARRINI, A. et al. Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. **The Lancet Planetary Health**, v. 1, p. e360-e367, 2017.
- GASPARRINI, A.; ARMSTRONG, B.; KENWARD, M. G. Multivariate meta-analysis for non-linear and other multi-parameter associations. **Statistics in Medicine**, v. 31, p. 3821-39, 2012.
- GOMES, L. H. L. S.; CARNEIRO JÚNIOR, M. A.; MARINS, J. C. B. Respostas termorregulatórias de crianças no exercício em ambiente de calor. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 31, p. 104-10, 2013.
- HACON, S. et al. Vulnerabilidade, riscos e impactos das mudanças climáticas sobre a saúde no Brasil. In: **Terceira Comunicação Nacional sobre Mudanças Climáticas à UNFCC (TCN-UNFCC)**, 2015.
- HAVENITH, G.; FIALA, D. Thermal Indices and Thermophysiological Modeling for Heat Stress. In: **Comprehensive Physiology**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. p. 255-302, 2015.
- HEMPEL, S. et al. A trend-preserving bias correction – The ISI-MIP approach. **Earth System Dynamics**, v. 4, p.219-236, 2013.
- IM, E-S.; PAL, J. S.; ELTAHIR, E. A. B. Deadly heat waves projected in the densely populated agricultural regions of South Asia. **Science Advances**, v. 3, p. e1603322, 2017.
- INBAR, O. et al. Comparison of thermoregulatory responses to exercise in dry heat among prepubertal boys, young adults and older males. **Experimental Physiology**, v. 89, p. 691-700, 2004.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: mitigation of climate change**. New York, NY: Cambridge University Press, 2014.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change: 2013: the physical science basis**. Summary for Policymakers. Geneva, Switzerland, 2013.
- INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). **Working on a warmer planet: the impact of heat stress on labour productivity and decent work**. International Labour Office – Geneva, ILO, 2019.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO Standard 7243: ergonomics of the thermal environment – assessment of heat stress using the WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) index**. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/67188.html>>. Acesso em: 01 set. 2020.

- KENNEY, W. L. et al. Decreased active vasodilator sensitivity in aged skin. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory**, v. 272, p. H1609-14, 1997.
- KENNY, G. P. et al. Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. **Canadian Medical Association Journal**, v. 182, p. 1053-60, 2010.
- KJELLSTROM, T. Impact of climate conditions on occupational health and related economic losses: a new feature of global and urban health in the context of climate change. **Asia Pacific J Public Health**, v. 28, p. 285-375, 2016.
- KJELLSTROM, T. et al. The direct impact of climate change on regional labor productivity. **Archives of Environmental & Occupational Health**, v. 64, p. 217-227, 2009.
- LEMKE, B.; KJELLSTROM, T. Calculating workplace WBGT from meteorological data: a tool for climate change assessment. **Industrial Health**, v. 50, p. 2012.
- LEYK, D. et al. Health Risks and Interventions in Exertional Heat Stress. **Deutsches Arzteblatt International**, v. 116, p. 31-32, 2019.
- LILJEGREN, J. C. et al. Modeling the Wet Bulb Globe Temperature Using Standard Meteorological Measurements. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 5, p. 645-55, 2008.
- LOZANO, R. et al. Global and regional mortality from 235 causes of death for 20 age groups in 1990 and 2010: a systematic analysis for the global burden of disease study 2010. **Lancet**, v. 380, p. 2095-2128, 2013.
- LUCAS, R. A. I.; EPSTEIN, Y.; KJELLSTROM, T. Excessive occupational heat exposure: a significant ergonomic challenge and health risk for current and future workers. **Extreme Physiology & Medicine**, v. 3, p. 1-8, 2014.
- LUCENA, R. L. et al. The Brazilian World Cup: too hot for soccer? **International Journal of Biometeorology**, v. 61, p. 2195-2203, 2017.
- MARANDOLA, J. R.; HOGAN, D. J. Vulnerabilidade do lugar vs. vulnerabilidade sociodemográfica: implicações metodológicas de uma velha questão. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 26, p. 161-81, 2009.
- MULLER, V.; GRAY, C.; KOSEC, K. Heat stress increases long-term human migration in rural Pakistan. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 182-185, 2014.
- NASSIS, G. P. et al. The association of environmental heat stress with performance: analysis of the 2014 FIFA World Cup Brazil. **British Journal of Sports Medicine**, v. 49, p. 609-13, 2015.
- PARSONS, K. **Human Thermal Environments: the effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance**. London and New York: Taylor & Francis, 2003.
- PRADHAN, B. et al. Heat stress impacts on cardiac mortality in Nepali Migrant workers in Qatar. **Cardiology**, v. 143, p. 37-48.
- TENNIS AUSTRALIA LIMITED. **AO Heat Stress Scale a Grand Slam first**. Disponível em: <[www.ausopen.com/articles/news/ao-heat-stress-scale-grand-slam-first](http://www.ausopen.com/articles/news/ao-heat-stress-scale-grand-slam-first)>. Acesso em: 01 set. 2020.
- TUSTIN, A. W. et al. Evaluation of Occupational Exposure Limits for Heat Stress in Outdoor Workers – United States, 2011-2016. **MMWR Morb Mortal Wkly Rep**, v. 67, p. 733-737, 2019.
- WORLD ORGANIZATION HEALTH (WHO). **Climate and Health Country Profiles – Brazil – 2015**. United Nations: Framework Convention on Climate Change, 2015.
- WORLD ORGANIZATION HEALTH (WHO). **Ten threats to global health 2019**. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health-in-2019>>. Acesso em: 01 set. 2020.
- ZHANG, Y. Diurnal Temperature Range in Relation to Daily Mortality and Years of Life Lost in Wuhan, China. **International Journal Environment Research and Public Health**, v. 14, p. E891, 2017.
- ZHANG, Y. et al. The burden of ambient temperature on years of life lost: a multi-community analysis in Hubei, China. **Science Total Environment**, v. 621, p. 1491-1498, 2018.

# Impact of global warming on Potential Years of Life Lost by cardiopulmonary diseases in Brazilian capital cities

*Impacto do aquecimento global nos anos potenciais de vida perdidos por doenças cardiorrespiratórias em capitais brasileiras*

Ludmilla da Silva Viana Jacobson<sup>a</sup>

Beatriz Fátima Alves de Oliveira<sup>b</sup>

Letícia Palazzi Perez<sup>c</sup>

Sandra de Souza Hacon<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Doctor in Collective Health by the Social Medicine Institute, (IMS/UERJ), Federal Fluminense University (UFF), Niterói, RJ, Brazil  
E-mail: ludmillaviana@yahoo.com.br

<sup>b</sup> Doctor in Sciences by the Sérgio Arouca National School of Public Health (ENSP/FIOCRUZ), Oswaldo Cruz Foundation Regional Office in the state of Piauí, Teresina, PI, Brazil  
E-mail: beatrizenf@gmail.com

<sup>c</sup> Doctor in Physical Geography, Federal University of Paraíba (UFPB) João Pessoa, PB, Brazil  
E-mail: leticia.palazzi@gmail.com

<sup>d</sup> Doctor in Geosciences by the Federal Fluminense University (UFF), National School on Public Health (ENSP/FIOCRUZ), Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: sandrahacon@gmail.com

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33989

Received: 08/09/2020  
Accepted: 11/11/2020

ARTICLE – DOSSIER

*Data and results presented in this article were developed under the project of the “Fourth National Communication and Biennial Update Reports of Brazil to the Climate Convention”, coordinated by the Ministry of Science, Technology and Innovations, with the support of the United Nations Program for the Development, through the resources of the Global Environment Facility, to which we offer our thanks.*

## ABSTRACT

This study aims at assessing the future impact of global warming in the Potential Years of Life Lost (YLL) for cardiovascular diseases in adults ( $\geq 45$  years) and respiratory diseases in the elderly ( $\geq 60$  years). This is an ecological study, which includes all the capitals of Brazil. Future projections used temperature data sourced from the Eta-HadGEM2S Regional Model for the RCP8.5 scenario. YLL fractions attributable



to temperature were estimated for global warming scenarios of 1.5°C, 2.0°C, and 4.0°C. The results showed that, in absolute numbers, Rio de Janeiro and São Paulo have presented the largest YLL contribution attributable to global warming among the capital cities. Campo Grande and Cuiabá were the most impacted capitals by a global warming of 1.5°C compared to the baseline period (1961-2005), both for respiratory diseases in the elderly and for cardiovascular diseases in adults. Results of this research suggest that the impact of exposure to temperature on YLL tends to increase as the level of global warming increases.

**Keywords:** Climate Change. Temperature. Potential of Life Lost (YLL). Cardiovascular Diseases. Respiratory Diseases.

## RESUMO

*Este estudo tem o objetivo de avaliar o impacto futuro do aquecimento global nos Anos Potenciais de Vidas Perdidos (YLL) para as doenças cardiovasculares em adultos ( $\geq 45$  anos) e respiratória em idosos ( $\geq 60$  anos). Trata-se de um estudo ecológico, que inclui todas as capitais do Brasil. Nas projeções futuras, foram usados os dados de temperatura do Modelo Regional Eta-HadGEM2S para o cenário RCP 8.5. Foram estimadas as frações de YLL atribuíveis à temperatura para os níveis de aquecimento 1,5°C, 2,0°C e 4,0°C. Em números absolutos, Rio de Janeiro e São Paulo apresentaram a maior contribuição de YLL atribuível ao aquecimento global. Campo Grande e Cuiabá foram as capitais mais impactadas pelo aquecimento global de 1,5°C comparado ao período baseline (1961-2005) para os dois desfechos avaliados. Os resultados desta pesquisa sugerem que o impacto da exposição à temperatura sobre o YLL tende a crescer conforme aumenta o nível de aquecimento global.*

*Palavras-chave:* Mudanças climáticas. Temperatura. Anos potenciais de vida perdidos. YLL. Doenças cardiovasculares. Doenças respiratórias.

## 1 INTRODUCTION

In the past few decades, interest in climate change effects has increased due to the evidence of extreme events, such as the increase in heat waves, as well as projections of global temperature increase by the end of the century, which indicate a higher frequency of temperature extremes, increased rainfall and disasters (BARRETT; CHARLES; TEMTE, 2015; ROSSATI, 2017).

Under the Paris Agreement, governments have committed to implementing measures to hold the increase in global average temperature below 2°C above pre-industrial levels and to limit this temperature increase to 1.5°C. Under the Agreement, the Brazilian Government committed to cutting 37% of its greenhouse gas emissions by 2025. Temperature projections based on the Eta-HadGEM2S Regional Model show the warming of 1.5°C has been occurring in Brazil since 2010 (CHOU et al., 2014). Since the passing of the National Policy on Climate Change, establishing the first goal of reducing greenhouse gas emissions, the country had increased emissions of these gases by 28.2% (ALBUQUERQUE et al., 2020).

Land-use changes, aggravated by deforestation, are still the main cause of emissions. The Brazilian scenario contributes directly to the increased risk of mortality from cardiopulmonary diseases, as well as from comorbidities, especially in more vulnerable groups, such as the elderly, pregnant women, and those with previous diseases.

Studies suggest direct and indirect climate change effects on health. The direct association relates to the occurrence of non-communicable diseases, including, but not limited to cardiovascular and respiratory diseases; while the indirect association is related to transmittable diseases, such as vector and waterborne diseases caused by changes in ecosystems and biogeochemical cycles (SOUSA et al., 2018). There is evidence of negative impacts of climate variations on mortality (GUO et al., 2016), as well as future projections of increased deaths attributable to heat waves mainly in tropical and

subtropical regions (GUO et al., 2018). Some studies point at temperature as a crucial determining factor for health.

Socioeconomic factors and access to health services were identified as important issues and modifiers of climate change effects on health (ZANOBETTI and O'NEIL, 2018), and some population groups, such as children, the elderly, and people with disabilities, are pointed out as more vulnerable to climatic variations (BUNKER et al., 2016; LI et al., 2016; WANG et al., 2017; HARTWIG and IGNOTTI, 2019; HARTWIG et al., 2019).

The Years of Life Lost (YLL) indicator was recommended as the most appropriate measurement tool in the construction of a ranking with the main causes of death at a given location (PEIXOTO E SOUZA, 1999). According to Werneck and Reichenheim (1992), the YLL indicator "qualifies deaths", as it incorporates the vulnerability criterion through sex and age variables, used in the construction of the index. Compared to mortality rates, YLL has been widely used as a more informative indicator to quantify premature death (ZHANG et al., 2018).

Thus, YLL is an often-used indicator to assess the impact of general mortality or mortality due to a specific problem for society and health services. This indicator considers life expectancy at the time of death (SEWE et al., 2018) and contributes to the establishment of health priorities for a given location.

In the context of climate changes, this indicator has been underused (HUANG et al., 2018, LI et al. 2018, ZHANG et al., 2018), however, a study suggests an increase in YLL for cardiovascular diseases in the elderly, even considering a future scenario with adaptation (HUANG et al., 2018). Li et al. (2018) concluded that YLL attributable to temperature may increase if global warming exceeds 2°C.

There are still no studies in Brazil that use YLL to measure the health impacts of temperature exposure. Estimating future health impacts associated with exposure to temperature has the potential to contribute to the definition of priorities for risk management. Hence, this study aims at assessing the future impact of global warming on the disease burden, using the YLL indicator for cardiovascular diseases in adults and respiratory diseases in the elderly.

## 2 MATERIAL AND METHODS

This is an ecological study, which includes all the capitals of Brazil and the Federal District.

The burden of disease was measured by the Years of Life Lost (YLL) indicator. In calculating the indicator, a Mortality Table or Life Table was made available on the World Health Organization website (WHO, 2020: <https://apps.who.int/gho/data/view.main.60220?lang=en>, last accessed on 16 Aug 2020). The table estimates Life Expectancy in Brazil according to age, sex, and year. For this article's assessment, the daily total of YLL for the period from 2000 to 2010 was considered for all the country's capitals.

Mortality data were sourced from the Mortality Information System (SIM, in the Portuguese acronym). The health outcomes assessed were deaths from cardiovascular diseases (ICD10: I00 to I99) for people aged 45 or more; and mortality from respiratory diseases (ICD 10: J00 to J99) for people aged 60 or more.

Future projections used temperature data sourced from the Eta-HadGEM2S Regional Model for the scenario of high greenhouse gas emissions (RCP8.5), calibrated according to the method presented by Hempel et al. (2013). Quantification of future impacts for global warming of 1.5°C (2010-2039), 2.0°C (2040-2069), and 4.0°C (2070-2099) were conducted by the calculation of YLL fractions attributable to temperature.

Future impacts were quantified by attributable fractions calculated by the method used by Gasparrini et al. (2017). At first, concentration-response curves were estimated using Distributed Lag Non-linear

Models (DLNM), in which the average daily temperatures from the *Era-Interim do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)* model were considered for exposure and daily deaths, from 2000 to 2010. The health outcomes assessed were the same ones proposed in the present study. Details of these assessments will be presented in the Fourth National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Next, the estimated concentration-response curves for each capital city were projected for the future, using the temperature data of the Eta-HadGEM2S Regional Model.

In order to calculate the attributable fractions (which are the percentages that can be attributed to climate change), initially a 365-day YLL daily time-series was constructed for each capital city and health outcome investigated (type of occurrence/disease), through daily averages, from 2000 to 2010 (Figure 1). For example, day 1 of the time series represents January 1st. Then, daily contributions of the YLL attributable to temperature were calculated, assuming population distribution and constant deaths, and using the concentration-response curves projected for the future.

Finally, YLL attributable to temperature exposure were aggregated, according to specific periods of global warming scenarios. The fractions attributable to heat, cold and total impact (heat + cold) were calculated. Heat is associated with temperatures above minimum risk temperatures (MRT), while cold is associated with temperatures below MRT. As for uncertainties, 95% empirical confidence intervals were calculated for attributable fractions based on the Monte Carlo simulation method (GASPARRINI et al., 2017).

Analyses were conducted in the R program (2017), and the main packages were *dlnm* (GASPARRINI, 2011) and *mvmeta* (GASPARRINI; ARMSTROG; KENWARD, 2012).

### 3 RESULTS

Table 1 presents estimates of average annual total YLL calculated through the daily time-series (Figure 1). In terms of absolute numbers, Rio de Janeiro and São Paulo presented the highest YLL contribution among capital cities. Minimum risk temperatures (MRT) estimated by concentration-response curves were higher for deaths from cardiovascular diseases in adults than for deaths from respiratory diseases in the elderly.

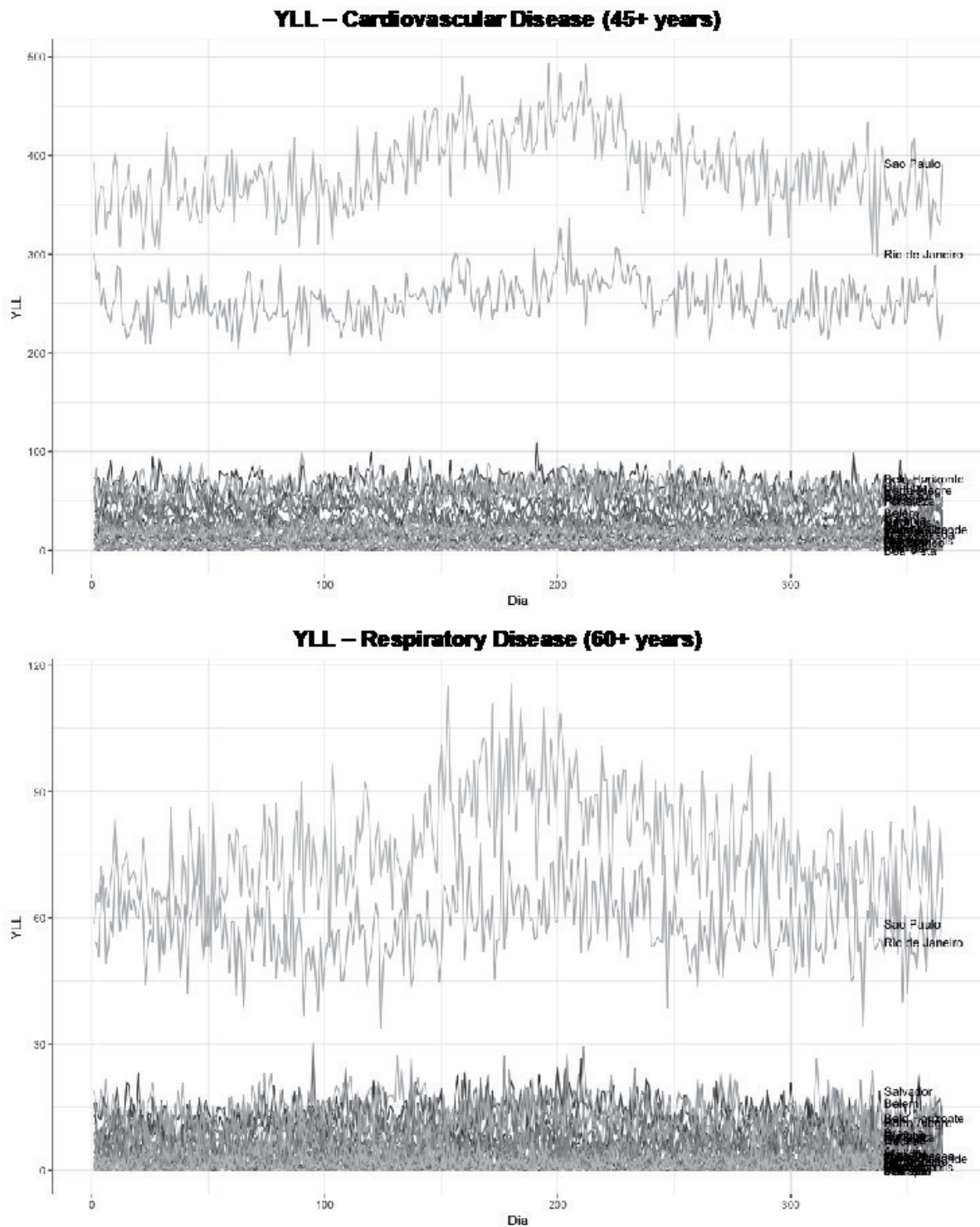
**Table 1 |** Total annual estimates of Potential Years of Life Lost (YLL), minimum risk temperatures and average temperature projections.

Capital /Region	YLL		Minimum risk temperatures (°C)*		Global Warming Average Temperature*			
	DR**	DC	DR	DC	Baseline	1.5°C	2.0°C	4.0°C
<b>NORTHERN</b>								
Belém	3398	10877	24.6	25.6	26.3	27.9	29.3	31.5
Boa Vista	175	1173	24.1	25.8	26.8	28.8	30.7	33.1
Macapá	273	1380	24.5	28.7	25.7	27.5	29.2	31.3
Manaus	1850	7559	24.2	29.9	25.8	27.8	29.7	33.4
Palmas	97	749	24.0	31.2	25.9	28.5	30.2	32.7
Porto Velho	507	2347	23.4	25.5	24.8	27.1	28.9	31.7
Rio Branco	477	1425	26.4	26.4	24.3	26.8	28.5	31.4
<b>NORTHEASTERN</b>								
Aracaju	851	4310	23.5	28.4	25.8	27.0	28.2	29.7
Fortaleza	3588	14032	25.3	28.5	26.6	27.7	29.0	30.4
Joao Pessoa	1136	5881	23.9	28.2	25.8	27.0	28.3	29.8

Capital /Region	YLL		Minimum risk temperatures (°C)*		Global Warming Average Temperature*			
	DR**	DC	DR	DC	Baseline	1.5°C	2.0°C	4.0°C
Maceió	1683	9540	26.4	28.1	25.2	26.5	27.7	29.2
Natal	1127	6940	24.0	28.4	25.9	27.2	28.4	29.8
Recife	3560	20711	22.9	27.8	25.0	26.2	27.5	28.9
Salvador	5005	23946	27.0	28.2	25.3	26.6	27.9	29.4
São Luís	1027	6535	26.7	29.0	26.8	28.0	29.4	31.1
Teresina	1119	7422	24.8	25.8	27.9	29.4	31.0	32.9
<b>CENTER-WEST</b>								
Brasília	2341	17591	24.0	27.9	22.2	25.0	26.7	29.0
Campo Grande	1451	7927	25.6	26.8	23.2	26.6	28.0	30.9
Cuiabá	842	4588	25.4	26.6	25.1	28.4	29.8	32.8
Goiânia	2243	11503	24.6	25.7	22.9	26.1	27.8	30.4
<b>SOUTHEASTERN</b>								
Belo Horizonte	4939	24958	22.5	25.6	20.5	23.0	24.4	26.7
Rio de Janeiro	21219	92695	24.4	26.0	23.1	24.8	25.7	27.5
São Paulo	28265	140890	25.6	26.3	19.9	22.2	23.3	25.5
Vitoria	351	3118	19.5	27.8	23.7	25.0	26.0	27.6
<b>SOUTHERN</b>								
Curitiba	3837	19108	23.5	25.4	18.2	20.4	21.3	23.4
Florianópolis	639	3153	23.6	25.8	21.0	22.1	22.8	24.3
Porto Alegre	4217	19784	25.9	26.3	18.7	20.4	21.1	22.8

Note: \*baseline = 1961 to 2005, 1.5°C = 2010 to 2039, 2.0°C = 2040 to 2069; 4.0°C = 2070 to 2099; MRT = Minimum Risk Temperature, estimated in the 4NC project for the period from 2000 to 2010 (ERA-Interim). \*\*DR – Respiratory Disease in the elderly, DC – Cardiovascular disease in adults.

Source: Elaborated by the authors

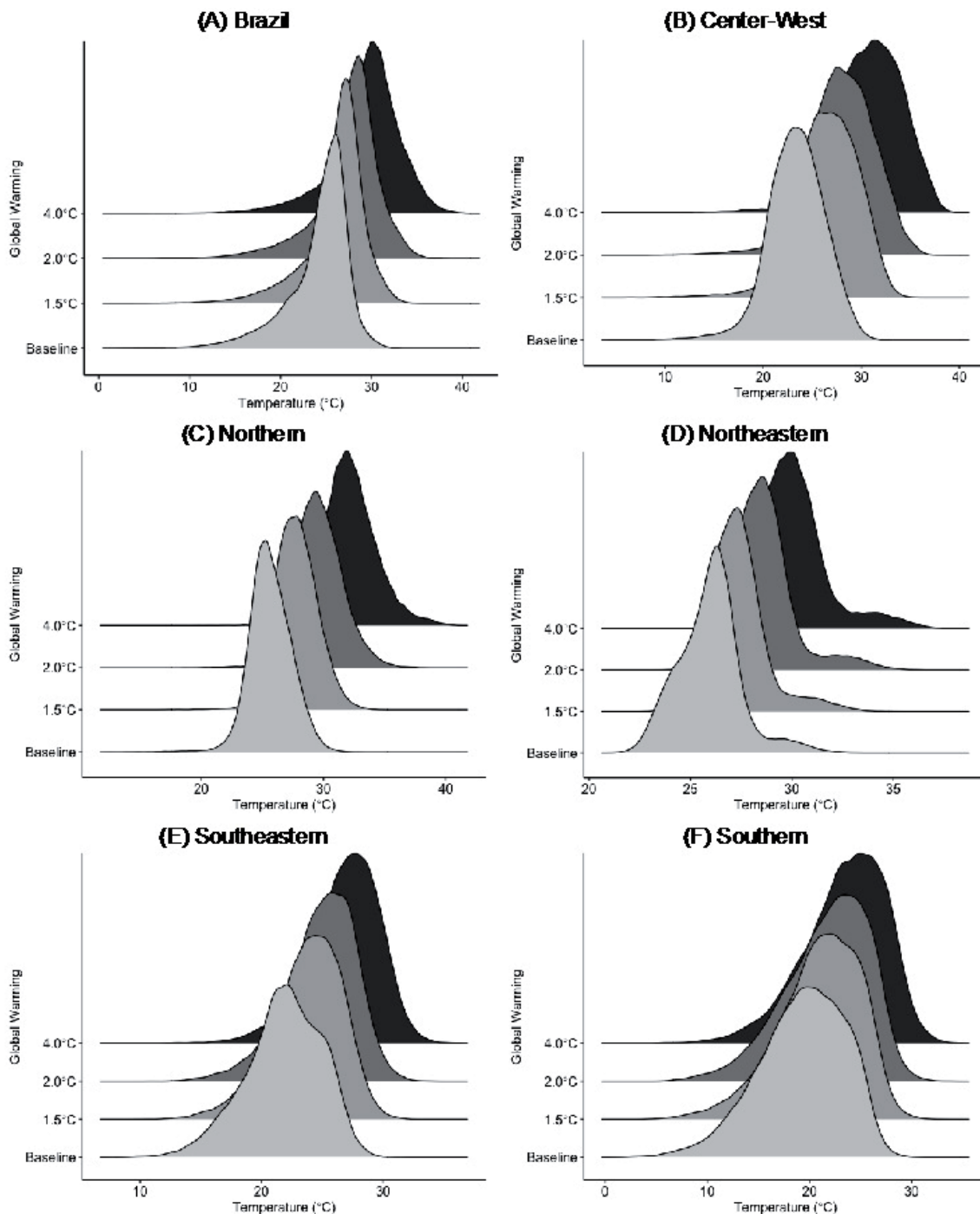


**Figure 1 |** Daily time-series of average Years of Life Lost (YLL) according to the Brazilian capital.

*Source: Elaborated by the authors.*

Figure 2 presents temperature distribution in capital cities, aggregated by region and for Brazil, according to global warming scenarios. The same trend for temperature distribution is observed in all regions, with density shifting to high temperatures. An increase in the frequency of days with close temperatures is observed, for example, at 30°C in global warming scenarios of 2.0°C and 4.0°C.





**Figure 2** | Distribution of temperature projections for capital cities, aggregated by region and, according to global warming scenarios. Brazil 1961 to 2099.

*Source: Elaborated by the authors.*

Global temperature impact in YLL according to global warming scenarios was presented in Figure 3. In terms of respiratory diseases in the elderly, an upward trend is observed in YLL as the level of warming increases. Of note, Brasília and other capital cities (Cuiabá, Campo Grande, Goiânia, Porto Velho, Rio Branco, Rio de Janeiro, São Paulo, Belo Horizonte, Recife, Teresina, Curitiba, and Porto Alegre).

As for cardiovascular diseases in adults, the same trend occurs only in Cuiabá, Campo Grande, Goiânia, Rio de Janeiro, and Teresina. In other capital cities, results suggest stationarity or a downward trend.

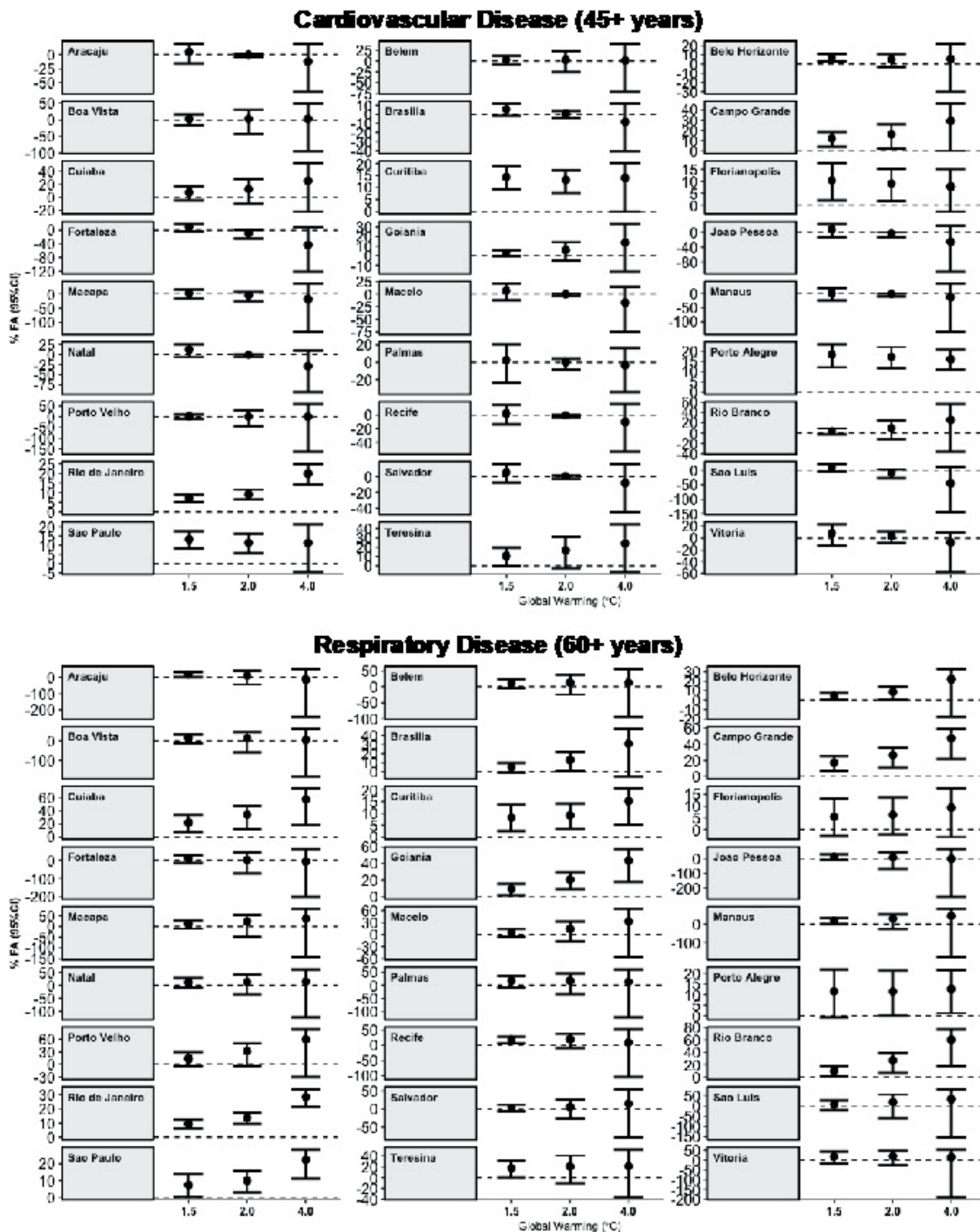


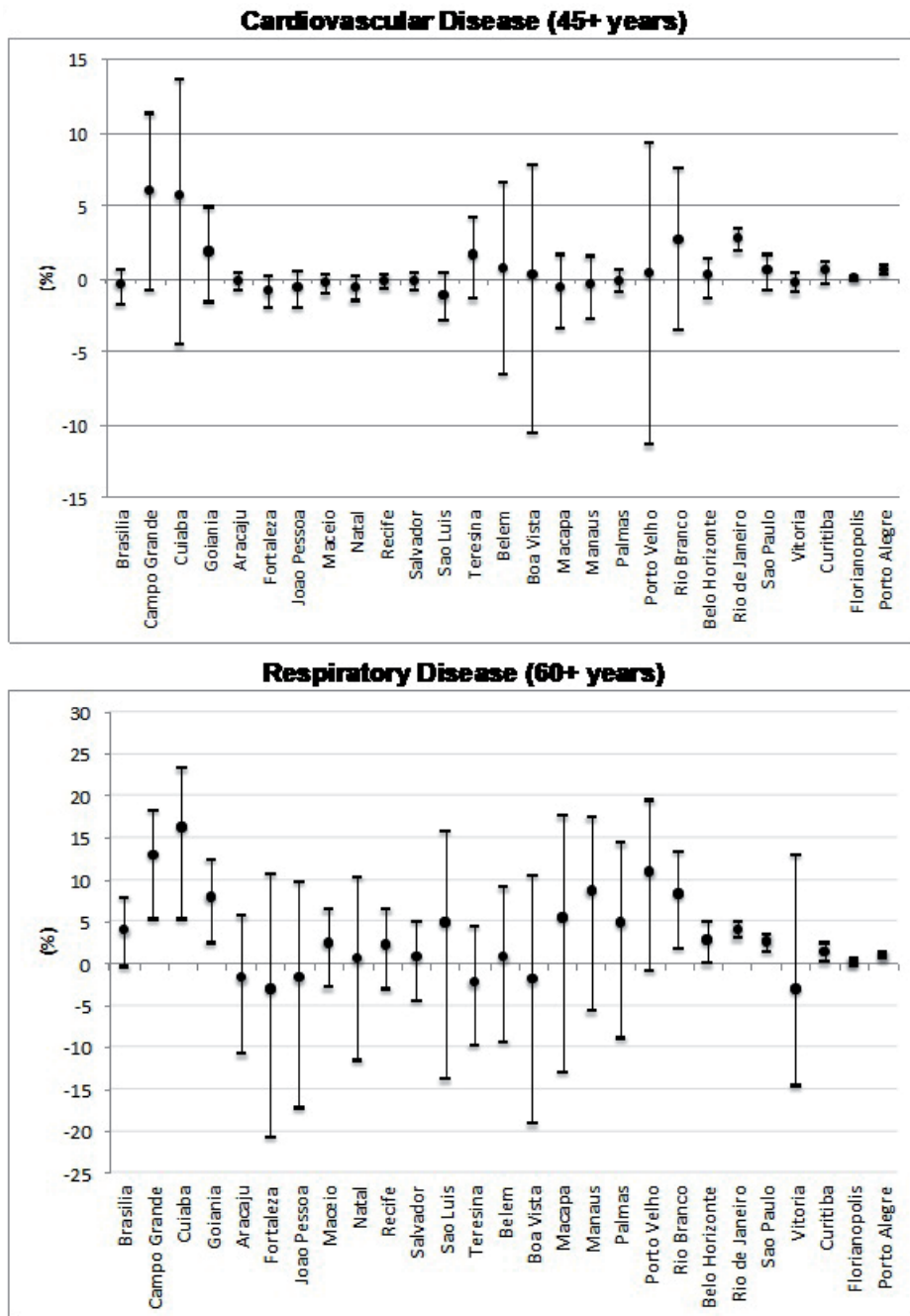
Figure 3 | Fraction of the YLL attributable (Total=Cold+Heat) to global warming. Brazil, capital cities.

Source: Elaborated by the authors.

As for impact percentage increase in the warming of 1.5°C in relation to the baseline period (1961 to 2005), Campo Grande, and Cuiabá are the most impacted capital cities for both respiratory and cardiovascular diseases (Figure 4).

Regarding the statistical significance measured by the 95% confidence intervals, significant relative impacts were observed for respiratory diseases in Campo Grande, Cuiabá, Goiânia, Rio Branco, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba, Florianópolis, and Porto Alegre. As for cardiovascular diseases, relative impacts were more significant in Rio de Janeiro and Porto Alegre. Rio de Janeiro, São

Paulo, and the capital cities in the Southern region were the cities with less uncertainties, as assessed by the 95% empirical confidence intervals for respiratory diseases in the elderly. As for cardiovascular diseases in adults, smaller uncertainty measurements were found in Brasília and capital cities in the Northeastern, Southeastern, and Southern regions.



**Figure 4 |** Relative percentage difference in YLL attributable to global warming of 1.5°C compared to the baseline period (1961 - 2005), according to the capital cities of Brazil.

Source: Elaborated by the authors.

When assessing YLL impacts for heat-related respiratory diseases, the results suggest that over 90% of the global impact on YLL is due to exposure to temperatures above MRT for capital cities in the Northern, Northeastern, and Center-West regions. A linear upward trend was observed in the share of the global impact attributable to heat for capital cities of the Southern and Southeastern regions. However, in terms of absolute numbers, the Southeastern region may have the highest YLL attributable

to heat (Table 2). As for cardiovascular diseases, the share of the global impact attributable to heat will be higher in capital cities in the Center-West and Southeastern regions. On the other hand, the impact on heat-related YLL reduction will be stronger in the capital cities in the Northeastern region, except for Teresina.

**Table 2 |** Years of Life Lost (YLL) attributable to heat, aggregated by regions, according to global warming scenarios. Brazil, capital cities.

Region	Global Warming	Respiratory Diseases ( $\geq 60$ )	Cardiovascular Diseases ( $\geq 45$ )
Center-West	Baseline	3555.1	4091.0
	1.5°	21408.7	30588.7
	2.0°	42410.0	53635.7
	4.0°	85582.7	98890.1
Northeastern	Baseline	52927.2	17549.2
	1.5°	54361.6	9609.8
	2.0°	63095.0	-109840.7
	4.0°	59426.6	-523286.5
Northern	Baseline	18455.8	8038.1
	1.5°	27434.2	10914.4
	2.0°	40930.9	7511.4
	4.0°	58954.7	-18805.3
Southeastern	Baseline	28058.1	40653.7
	1.5°	80507.9	143342.0
	2.0°	149961.0	276379.2
	4.0°	387051.0	816321.9
Southern	Baseline	1134.0	1724.1
	1.5°	4168.0	8872.1
	2.0°	8309.1	19868.4
	4.0°	23923.2	68185.6

Source: Elaborated by the authors.

## 4 DISCUSSION

Results of this research suggest that the impact of exposure to temperature on YLL tends to increase as the level of global warming increases, mainly in terms of respiratory diseases in the elderly. Of note, Brasilia and other capital cities (Cuiabá, Campo Grande, Goiânia, Porto Velho, Rio Branco, Rio de Janeiro, São Paulo, Belo Horizonte, Recife, Teresina, Curitiba, and Porto Alegre) are the most impacted by respiratory diseases. As for cardiovascular diseases in adults, the most affected capital cities are Cuiabá, Campo Grande, Goiânia, Rio de Janeiro, and Teresina.

In order to assess the impact on health, the indicator used was the YLL, which measures how many years the individual lost, indicating premature death. Deaths at a younger age have a greater weight and, in theory, would be easier to prevent. Results showed that global warming has the potential to increase premature deaths from respiratory and cardiovascular diseases, mainly in the capital cities in the Center-West and Southeastern regions.

In terms of cardiovascular diseases in adults, results suggest a reduction in YLL attributable to cold in all regions of Brazil, as global warming increases. On the other hand, for most capital cities, YLL attributable to heat may increase. The results were consistent with studies on mortality, with a reduction in cold-

related mortality and an increase in heat-related mortality, proportionally to the degree of heating and, therefore, more intense according to higher emission scenarios (GASPARRINI et al., 2017; LI et al., 2018; ZHANG et al., 2018).

However, in terms of absolute numbers, an increase in YLL attributable to heat does not seem to exceed the reduction in YLL attributable to cold. This association interfered with total impact projections since the total attributable YLL is the sum of the YLL attributable to cold and the YLL attributable to heat. Thus, for some capitals, the results suggest stationarity or a downward trend in total impact on YLL associated with global warming.

In addition, other factors may have influenced the global impact of temperature exposure on cardiovascular diseases, such as the estimated MRT, which have shown to be high for most capitals, the low frequency of days with temperatures above MRT and the reduction of days with low temperatures. In some capital cities, increased heat impact may not outweigh that of reduced cold, but as the RCP8.5 scenario expects continuous GHG emissions after 2100, the trend is that the impact at higher temperatures will stand out at some point.

Results suggest a lower global warming impact on the YLL in the capitals of the Northeast region. The Northern and Northeastern regions are the ones with high temperatures all year round and lower thermal amplitude than other regions of Brazil, which favors an adaptive response of their population. This lower sensitivity to the effects of heat in warmer regions has already been suggested by some studies (BASU, 2009; YE et al., 2012; ZHAO et al., 2017; ZHAO et al., 2019). On the other hand, Hacon et al. (2016) pointed out a precarious condition of human development in the municipalities in the Northern and Northeastern regions with limited capacity to tackle climate change.

Studies in China assessed the future impacts of exposure to heat stress in YLL. Huang et al. (2018) found in a Chinese city that the YLL due to cardiovascular diseases in the elderly, attributable to heat, may increase between 3.1 and 11.5 times in the 2050s and 2070s in relation to the baseline period, even considering 30% adaptation. Li et al. (2018) conducted a study in Tianjin, China, and the results showed a fall in the YLL due to cerebrovascular accident with percentage reductions by approximately 1% in the 2050s and 2070s in three greenhouse gas emissions scenarios. Another study in Tianjin showed that the effects of cold on YLL in women were greater than in men, with an opposite trend to heat (LI et al., 2018).

In some capital cities, it appears that YLL impacts stabilize in the warming scenario of 2°C to 4°C for RCP 8.5. Despite more optimistic scenarios, with the stabilization of greenhouse gas (GHG) emissions, emissions continue to increase, with a 20% chance of global warming above 4.0°C with respect to pre-industrial levels (WORK BANK, 2012).

In case this scenario does occur, the risks of global climate change will be extremely catastrophic, including impacts on premature mortality, as presented herein. The warming of 4.0°C, reached only in the RCP 8.5 scenario, corresponds to a high level of radiative forcing, with the projection of a non-compliance of the goals established in the Paris Agreement. In terms of health, the most pessimistic scenario is often used as a precautionary principle as a guarantee against potential risks that, according to future uncertainties, cannot be exactly estimated or calculated.

This study presents some limitations, one of them is the YLL series used, which corresponds to a daily average of YLL in years prior to the global warming period of 1.5°C. Projections of this series for the future implies that population distribution and deaths will be constant by 2099. However, population projections indicate that the Brazilian population age pyramid will change (IBGE, 2020). The population distribution trend, by age groups, shows an increase in the proportion of elderly people and a decrease in the proportion of people under 30. An increase in life expectancy and an aging population are expected, which will certainly overburden the health system and increase the number of deaths, especially for individuals with comorbidities.



Therefore, in the context of climate change, preventive measures (especially for chronic diseases) are relevant for the control and management of health risks. Future climate conditions may have an influence on the adoption of new human and institutional behaviors, due to the direct or indirect need of populations to adapt to new climate conditions and new life styles. Daily practices, eating habits, difficulty in accessing drinking water may be modified, resulting in new nosological profiles.

Another limitation refers to the exposure-response curves used in this study to estimate the impacts of global warming on YLL. The curves were estimated using a modeled exposure data from the European Center for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) ERA-Interim reanalysis. The use of data from global atmospheric models in time series studies is a good strategy when there are flaws in the historical series measured by weather stations, but on the other hand, they add another source of uncertainty on the inferences based on these data. In Brazil, the ERA-Interim model has shown good accuracy (DEE et al., 2011; SANTOS et al., 2017; APARECIDO et al., 2019).

## 5 FINAL CONSIDERATIONS

This study expanded knowledge on climate change impacts on health, and the outcomes suggest an increase in YLL attributable to global warming of 1.5°C compared to the baseline period (1961 to 2005), with an upward trend for warming scenarios of 2°C and 4°C. It also brings an analysis of the potential use of YLL in climate change studies.

Knowing climate change risks and impacts on human health is pivotal in order to plan specific public policies. Brazil is a country of great territorial dimension, with different characteristics of vegetation, climate, socioeconomic conditions and vulnerabilities, and projections indicating rising global temperatures make it urgent to plan strategic actions for climate adaptation and emissions mitigation.

To be able to respond to these trends, it is necessary to invest in several adaptation measures that are generally associated with the reduction of vulnerabilities and access to policies and tools that minimize exposure to heat, such as the use of air conditioning, behavioral changes, and investment in infrastructure and urban planning.

For example, in urban areas, some actions such as incorporating green spaces into the urban landscape to create comfortable environments, encouraging comfortable buildings according to the climate in which they are inserted, and the improvement of precarious housing are some measures that can help in the process of climate adaptation. For instance, green spaces have helped ecosystem resilience and human benefits through ecosystem services (DERKZEN et al., 2017), reducing local heating (RAGULA & CHANDRA, 2020), and increasing permeable areas, thus improving the cities' ecological conditions (VAROL et. al, 2019).

For Romero (2006), in cities, building design should be thought in line with energy balance, so that thermal comfort is inherent to the building; and at the neighborhood and the city levels, natural elements, such as open spaces and trees, as well as protected areas, are essential in order to reduce the effects of heating for urban inhabitants.

The more effective the adaptation policies, the lower the impact on years of life lost due to climate change. These measures and policies will be required as warming scenarios progress. According to a study carried out in Brisbane, if the increase in global average temperature is 2.0°C, a 10% reduction in the population's vulnerability to hot temperatures will be necessary. An increase of 4°C ensures a reduction of approximately 40% (HUANG et al., 2012).

In addition to adaptation policies and measures, it will be necessary to strengthen mitigation measures in Brazil in order to reduce greenhouse gas emissions and limit global warming to 1.5°C and reduce

health impacts, with the use of the legal instruments of the National Policy on Climate Change, compliance with international agreements to mitigate greenhouse gas emissions, compliance with emission reduction targets and the application of the National Adaptation Plan on Climate Change.

For the health sector, according to climate and impact projections on health indicators, investments will be necessary to expand the health services response capacity, with the development of alert and surveillance systems and specific outpatient services to meet patients with signs and symptoms resulting from increased temperature. In order to do so, it will be necessary to improve the capacity-building of health-care workers and health services management.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the National Council of Technological and Scientific Development (CNPq, Brazil, Process 381160/2018-1) and by the Brazilian Network on Global Climate Change Research funded by CNPq (Nº 550022/2014-7), FINEP (Nº 01.13.0353.00) and the Pos-Graduate Program of Public Health and Environment at National School of Public Health/ FIOCRUZ.

## REFERENCES

- ALBUQUERQUE, I. et al., 2020. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do clima do Brasil 1970-2019. Disponível em: <[http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp-content/uploads/2020/11/OC\\_RelatorioSEEG2020\\_final.pdf](http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp-content/uploads/2020/11/OC_RelatorioSEEG2020_final.pdf)>. Acesso em: 08 nov. 2020.
- APARECIDO, L. E. O. et al. Acurácia da Reanálise ERA-Interim do ECMWF e sua Aplicação na Estimativa da Deficiência Hídrica no Estado do Paraná, *Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 34, n. 4, 515-528, 2019.
- BARRETT, B.; CHARLES, J. W.; TEMTE, J. L. Climate change, human health, and epidemiological transition. *Prev. Med.*, v. 70, p. 69-75, 2015.
- BASU, R. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environmental Health*, v. 8, 2009.
- BUNKER, A. et al. Effects of air temperature on climate-sensitive mortality and morbidity outcomes in the elderly: a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *EBioMedicine*, v. 6, p. 258-268, 2016.
- CHOU, S. C. et al. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. *American Journal of Climate Change*, v. 3, p. 512-527, 2014.
- DEE, D. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 137, p. 553-597, 2011.
- DERKZEN, M. L.; VAN TEE\_ELEN, A. J. A.; VERBURG, P. H. Green infrastructure for urban climate adaptation: how do residents' views on climate impacts and green infrastructure shape adaptation preferences? *Landsc. Urban Plan*, v. 157, p. 106-130, 2017.
- GASPARRINI, A. Distributed Lag Linear and Non-Linear Models in R: the package dlnm. *Journal of Statistical Software*, v. 43, p. 1-20, 2011.
- GASPARRINI, A. et al. Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *The Lancet Planetary Health*, v. 1, p. e360-e367, 2017.
- GASPARRINI, A.; ARMSTRONG, B.; KENWARD, M. G. Multivariate meta-analysis for non-linear and other multi-parameter associations. *Statistics in Medicine*, v. 31, p. 3821-39, 2012.
- GUO, Y. et al. Temperature Variability and Mortality: a multi-country study. *Environ Health Perspect.*, v. 124, p. 1554-1559, 2016.

- GUO, Y. et al. Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: a multicountry time series modelling study. **PLoS Med.**, v. 15, p. e1002629, 2018.
- HACON, S. et al. Capítulo 5: Saúde. **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**. NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. (Org.). São José dos Campos, SP: INCT, 2016.
- HARTWIG, S. V.; IGNOTTI, E. Variações meteorológicas e as alterações de pressão arterial dos pacientes em hemodiálise: revisão sistemática. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 15, v. 25, JUL/DEZ 2019 ISSN: 2237-8642 (Eletrônica).
- HARTWIG, S. V. et al. Seasonal variation of biochemical parameters of hemodialysis patients in a tropical climate area. **O Mundo da Saúde**, v. 43, p. 566-585, 2019.
- HEMPEL, S. et al. A trend-preserving bias correction. The ISI-MIP approach. **Earth System Dynamics**, v. 4, p. 219-236, 2013.
- HUANG, J. et al. Projections for temperature-related years of life lost from cardiovascular diseases in the elderly in a Chinese city with typical subtropical climate. **Environ Res.**, v. 167, p. 61-621, 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Projeção da população do Brasil e Unidades da Federação, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 21 ago. 2020.
- LI, G. et al. Projected Temperature-Related Years of Life Lost From Stroke Due to Global Warming in a Temperate Climate City, Asia: disease burden caused by future climate change. **Stroke**, v. 49, p. 828-834, 2018.
- LI, Q. et al. Does local ambient temperature impact children's blood pressure? A Chinese National Survey. **Environ Health**, v. 16, p. 15-21, 2016.
- LI, Y. et al. Projecting temperature-related years of life lost under different climate change scenarios in one temperate megacity, China. **Environmental Pollution**, v. 233, p. 1068-1075, 2018.
- PEIXOTO, H. C. G.; SOUZA, M. L. O Indicador Anos Potenciais de Vida Perdidos e a Ordenação das Causas de Morte em Santa Catarina, 1995. **Informe Epidemiológico do SUS**, v. 8, p. 17-25, 1999.
- RAGULA, A.; CHANDRA, K. K. Tree species suitable for roadside afforestation and carbon sequestration in Bilaspur, India. **Carbon Management**, p. 1-12, 2020.
- ROMERO, M. B. Desenho da Cidade e Conforto Ambiental. **RUA: Revista de Urbanismo e Arquitetura da UNB**, v. 7, n. 1, 2006.
- ROSSATI, A. Global Warming and Its Health Impact. **Int J Occup Environ Med.**, v. 8, p. 7-20, 2017.
- SANTOS, S. R. Q. et al. Variabilidade sazonal da precipitação na Amazônia: validação da série de precipitação mensal do GPCC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, p. 1721-1729, 2017.
- SEWE, M. O. et al. Estimated Effect of Temperature on Years of Life Lost: a retrospective time-series study of low, middle, and high-income regions. **Environmental Health Perspectives**, v. 126, p. 017004, 2018.
- SOUSA, T. C. M. et al. Doenças sensíveis ao clima no Brasil e no mundo: revisão sistemática. **Rev. Panam. Salud Publica**, v. 42, p. e85, 2018.
- VAROL, T. et al. Determining potential planting areas in urban regions. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 3, p. 1-14, 2019.
- WANG, Q. et al. Environmental ambient temperature and BLOOD pressure in adults: a systematic review and meta-analysis. **Sci Total Environ**, v. 575, p. 276-286, 2017.
- WERNECK, G. L.; REICHENHEIMM, E. **Anos potenciais de vida perdidos no Rio de Janeiro, 1985**. As mortes violentas em questão. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. (Série: Estudos em Saúde Coletiva), v. 4, p. 1-20, 1992.

WORLD BANK. **4°C: turn down the heat**. A Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics, November 2012, Washington DC 20433.

YE, X. F. et al. Ambient temperature and morbidity: a review of epidemiological evidence. **Environ Health Perspect.**, v. 120, p. 19-28, 2012.

ZANOBETTI, A.; O'NEILL, M. S. Longer-Term Outdoor Temperatures and Health Effects: a review. **Curr. Epidemiol. Rep.**, v. 5, p. 125-139, 2018.

ZHANG, Y. et al. The burden of ambient temperature on years of life lost: a multi-community analysis in Hubei, China. **Science Total Environment**, v. 621, p. 1491-1498, 2018.

ZHAO, O. et al. Assessment of Intraseasonal Variation in Hospitalization Associated with Heat Exposure in Brazil. **JAMA Network Open**, v. 2, p. e187901, 2019.

ZHAO, Q. et al. Impact of ambient temperature on clinical visits for cardio-respiratory diseases in rural villages in northwest China. **Sci Total Environ.**, v. 612, p. 379-385, 2018.

# Impacto do aquecimento global nos anos potenciais de vida perdidos por doenças cardiorrespiratórias em capitais brasileiras

*Impact of global warming on Potential Years of Life Lost by cardiorespiratory diseases in Brazilian capitals cities*

Ludmilla da Silva Viana Jacobson<sup>a</sup>

Beatriz Fátima Alves de Oliveira<sup>b</sup>

Letícia Palazzi Perez<sup>c</sup>

Sandra de Souza Hacon<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Doutora em Saúde Coletiva pelo Instituto de Medicina Social (IMS/Uerj), Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: ludmillaviana@yahoo.com.br

<sup>b</sup> Doutora em Ciências pela Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca (ENSP/Fiocruz), Escritório Regional da Fundação Oswaldo Cruz no Piauí, Teresina, PI, Brasil  
End. Eletrônico: beatrizenf@gmail.com

<sup>c</sup> Doutora em Geografia Física, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB, Brasil  
End. Eletrônico: leticia.palazzi@gmail.com

<sup>d</sup> Doutora em Geociências pela Universidade Federal Fluminense (UFF), Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP/Fiocruz), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: sandrahacon@gmail.com

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33989

Received: 08/09/2020  
Accepted: 11/11/2020}

ARTICLE – DOSSIER

Os dados e os resultados apresentados nesta publicação foram desenvolvidos no âmbito do projeto “Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, por meio dos recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente, aos quais oferecemos nossos agradecimentos.

## RESUMO

Este estudo tem o objetivo de avaliar o impacto futuro do aquecimento global nos Anos Potenciais de Vidas Perdidos (YLL) para as doenças cardiovasculares em adultos ( $\geq 45$  anos) e respiratória em idosos ( $\geq 60$  anos). Trata-se de um estudo ecológico, que inclui todas as capitais do Brasil. Nas projeções futuras, foram usados os dados de temperatura do Modelo Regional Eta-HadGEM2S para o cenário RCP



8.5. Foram estimadas as frações de YLL atribuíveis à temperatura para os níveis de aquecimento 1,5°C, 2,0°C e 4,0°C. Em números absolutos, Rio de Janeiro e São Paulo apresentaram a maior contribuição de YLL atribuível ao aquecimento global. Campo Grande e Cuiabá foram as capitais mais impactadas pelo aquecimento global de 1,5°C comparado ao período *baseline* (1961-2005) para os dois desfechos avaliados. Os resultados desta pesquisa sugerem que o impacto da exposição à temperatura sobre o YLL tende a crescer conforme aumenta o nível de aquecimento global.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas. Temperatura. Anos potenciais de vida perdidos. YLL. Doenças cardiovasculares. Doenças respiratórias.

## ABSTRACT

*This study aims at assessing the future impact of global warming in the Potential Years of Life Lost (YLL) for cardiovascular diseases in adults (≥45 years) and respiratory diseases in the elderly (≥60 years). This is an ecological study, which includes all the capitals of Brazil. Future projections used temperature data sourced from the Eta-HadGEM2S Regional Model for the RCP8.5 scenario. YLL fractions attributable to temperature were estimated for global warming scenarios of 1.5°C, 2.0°C, and 4.0°C. The results showed that, in absolute numbers, Rio de Janeiro and São Paulo have presented the largest YLL contribution attributable to global warming among the capital cities. Campo Grande and Cuiabá were the most impacted capitals by a global warming of 1.5°C compared to the baseline period (1961-2005), both for respiratory diseases in the elderly and for cardiovascular diseases in adults. Results of this research suggest that the impact of exposure to temperature on YLL tends to increase as the level of global warming increases.*

*Keywords: Climate Change. Temperature. Potential of Life Lost (YLL). Cardiovascular Diseases. Respiratory Diseases.*

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o interesse pelos efeitos das mudanças climáticas tem aumentado devido às evidências de eventos extremos, como o aumento das ondas de calor, assim como as projeções de aumento da temperatura global até o final do século, que já indicam maior frequência de extremos de temperatura, aumento da precipitação e desastres (BARRETT; CHARLES; TEMTE, 2015; ROSSATI, 2017).

Por meio do Acordo de Paris, os governos se comprometeram em aplicar medidas para manter o aumento da temperatura média global abaixo dos 2°C em relação aos níveis pré-industriais e limitar esse aumento da temperatura a 1,5°C. No acordo, o governo brasileiro se comprometeu a reduzir a emissão de gases de efeito estufa em 37% até 2025. As projeções de temperatura baseadas no modelo regional Eta-HadGEM2S mostraram que o aquecimento de 1,5°C já está ocorrendo no Brasil desde 2010 (CHOU et al., 2014). Desde o ano em que foi regulamentada a Política Nacional da Mudança do Clima, que estabeleceu a primeira meta de redução de emissões de gases de efeito estufa, o País elevou em 28,2% a quantidade desses gases liberados para a atmosfera (ALBUQUERQUE et al., 2020).

As mudanças de uso da terra, agravadas pelo desmatamento, continuam como as principais causas das emissões. Esse cenário brasileiro contribui diretamente para o aumento do risco da mortalidade por doenças cardiorrespiratórias, assim como das comorbidades, principalmente em grupos mais vulneráveis, como idosos, gestantes e aqueles com doenças pregressas.

Estudos sugerem efeitos diretos e indiretos na saúde, associados às mudanças climáticas.

A associação direta está relacionada à ocorrência de doenças não transmissíveis, como as doenças cardiovasculares, respiratórias e outras, enquanto a associação indireta está relacionada às doenças transmissíveis, como as doenças zoonóticas e de veiculação hídrica devido às alterações nos ecossistemas

e ciclos biogeoquímicos (SOUSA et al., 2018). Em diversos países, há evidências de impactos negativos das variações do clima sobre a mortalidade (GUO et al., 2016), assim como projeções futuras de aumento das mortes atribuíveis às ondas de calor, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais (GUO et al., 2018). Alguns estudos já apontam a temperatura como um determinante importante para a saúde.

Fatores socioeconômicos e o acesso aos serviços de saúde foram apontados como questões importantes e modificadoras dos efeitos das mudanças climáticas na saúde (ZANOBETTI; O'NEIL, 2018), assim como alguns grupos populacionais, como as crianças, os idosos e as pessoas com alguma doença crônica, são indicados como mais vulneráveis às variações climáticas (BUNKER et al., 2016; HARTWIG et al., 2019; HARTWIG; IGNOTTI, 2019; LI et al., 2016; WANG et al., 2017).

O Indicador de Anos Potenciais de Vida Perdidos (do inglês *Years of Life Lost* – YLL) foi recomendado como instrumento de mensuração mais apropriado na construção do *ranking* das principais causas de morte de determinada localidade (PEIXOTO; SOUZA, 1999). Segundo Werneck e Reichenheim (1992), o indicador YLL “qualifica as mortes”, uma vez que incorpora o critério de vulnerabilidade por meio das variáveis sexo e idade, utilizadas na construção do índice. Comparado com as taxas de mortalidade, o YLL tem sido amplamente utilizado como um indicador mais informativo para quantificar a carga de morte prematura (ZHANG et al., 2018).

Dessa maneira, o YLL é um indicador frequentemente utilizado para avaliar o impacto da mortalidade geral ou devido a algum agravo específico para a sociedade e para os serviços de saúde. Esse indicador considera a expectativa de vida no momento da morte (SEWE, et al., 2018) e contribui para o estabelecimento de prioridades de saúde para uma determinada localidade.

No contexto das mudanças, esse indicador foi pouco utilizado (HUANG et al., 2018, LI et al., 2018; ZHANG et al., 2018), no entanto um estudo sugere aumento do YLL para as doenças cardiovasculares em idosos, mesmo considerando um cenário futuro com adaptação (HUANG et al., 2018). Li et al. (2018) concluíram que o YLL atribuível à temperatura pode aumentar se o aquecimento global ultrapassar 2°C.

No Brasil ainda não existem estudos que utilizam o YLL para medir os impactos da exposição à temperatura na saúde. Estimar os impactos futuros na saúde associados à exposição à temperatura tem o potencial de contribuir para a definição de prioridades para a gestão de riscos. Assim, este estudo tem o objetivo de avaliar o impacto futuro do aquecimento global na carga de doença, por meio do indicador YLL para as doenças cardiovasculares em adultos e para as doenças respiratórias em idosos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de um estudo ecológico, que inclui todas as capitais do Brasil e o Distrito Federal.

A carga de doença foi medida pelo indicador de Anos Potenciais de Vida Perdidos (YLL). No cálculo do indicador foi usada a Tábua de Mortalidade ou Tábua de Vida disponibilizada no site da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2020). A tabela estima a expectativa de vida para o Brasil de acordo com idade, sexo e ano. Para as análises deste artigo, foi considerado o total diário de YLL para o período de 2000 a 2010 para todas as capitais do País.

Os dados de mortalidade foram aqueles disponibilizados pelo Sistema de Informação sobre Mortalidade (SIM). Os desfechos de saúde avaliados foram os óbitos por doenças cardiovasculares (CID10: I00 a I99) em indivíduos com 45 anos ou mais de idade, e os óbitos por doenças respiratórias (CID10: J00 a J99) em idosos com 60 anos ou mais de idade.

Para as projeções futuras, foram usados os dados de temperatura do Modelo Regional Eta-HadGEM2S para o cenário de altas emissões de gases de efeito estufa (RCP 8.5), calibrados segundo o método

apresentado por Hempel et al. (2013). A quantificação dos impactos futuros para os cenários de aquecimento global de 1,5°C (2010-2039), 2,0°C (2040-2069) e 4,0°C (2070-2099) foi realizada por meio do cálculo das frações de YLL atribuíveis à temperatura.

Os impactos futuros foram quantificados por meio de frações atribuíveis calculadas pelo método proposto em Gasparrini et al. (2017). No primeiro momento, curvas concentração-resposta foram estimadas por meio de modelos não lineares de defasagem distribuída (DLNM), nos quais foram consideradas as temperaturas diárias médias provenientes do Modelo Era-Interim do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), como exposição e os óbitos diários no período de 2000 a 2010. Os desfechos de saúde avaliados foram os mesmos propostos no presente estudo. Detalhes dessas análises encontram-se no relatório da 4ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Em seguida, as curvas concentração-resposta estimadas para cada capital foram projetadas para o futuro, usando os dados de temperatura do modelo regional Eta-HadGEM2S.

No cálculo das frações atribuíveis (que são os percentuais que podem ser atribuídos às mudanças climáticas), inicialmente construiu-se uma série temporal diária de 365 dias do YLL para cada capital e desfecho (tipo de ocorrência/doença) de saúde investigado, por meio de médias diárias do período de 2000 a 2010 (Figura 1). Por exemplo, o dia 1 da série temporal representa 1º de Janeiro. Em seguida, foram calculadas as contribuições diárias do YLL atribuível à temperatura, assumindo a distribuição da população e dos óbitos constantes, e utilizando as curvas concentração-resposta projetadas para o futuro.

Por fim, os YLL atribuíveis à exposição à temperatura foram agregados segundo os períodos específicos dos cenários de aquecimento global. Foram calculadas as frações atribuíveis ao calor, ao frio e o impacto total (frio + calor). O calor está associado às temperaturas acima das temperaturas de risco mínimo (TRM), enquanto o frio está associado às temperaturas abaixo das TRM. Quanto às incertezas, foram calculados intervalos de confiança empíricos de 95% para as frações atribuíveis baseados no método de Simulação de Monte Carlo (GASPARRINI et al., 2017).

Todas as análises foram realizadas no programa R (2017) e os principais pacotes utilizados foram *dlnm* (GASPARRINI, 2011) e *mvmeta* (GASPARRINI; ARMSTRONG; KENWARD, 2012).

### 3 RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta as estimativas de totais anuais médios de YLL calculadas por meio das séries temporais diárias (Figura 1). Verifica-se que, em números absolutos, Rio de Janeiro e São Paulo têm a maior contribuição de YLL entre as capitais. As temperaturas de risco mínimo (TRM) estimadas pelas curvas concentração-resposta foram mais altas para os óbitos por doenças cardiovasculares em adultos do que para os óbitos por doenças respiratórias nos idosos.

**Tabela 1** | Estimativas de total anual dos Anos Potenciais de Vidas Perdidos (YLL), temperaturas de risco mínimo e médias das projeções de temperatura.

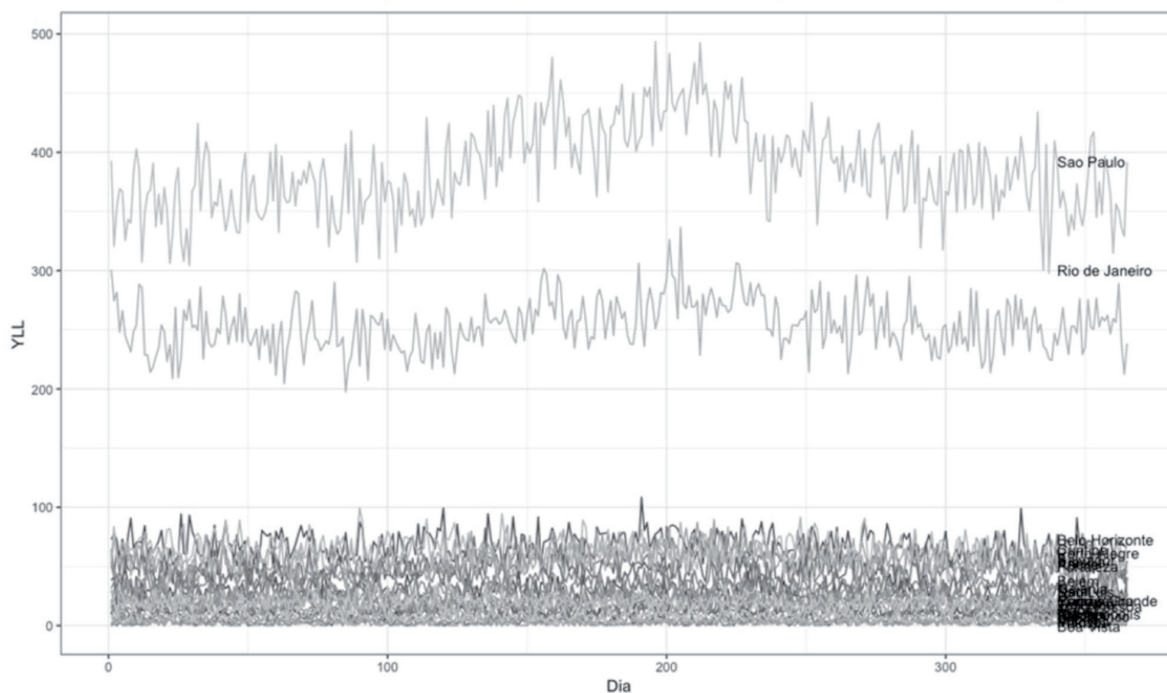
Capital/Região	YLL		Temperatura (°C) de Risco Mínimo*		Aquecimento Global Temperatura média			
	DR**	DC	DR	DC	Baseline	1.5°C	2.0°C	4.0°C
<b>NORTE</b>								
Belém	3398	10877	24,6	25,6	26,3	27,9	29,3	31,5
Boa Vista	175	1173	24,1	25,8	26,8	28,8	30,7	33,1
Macapá	273	1380	24,5	28,7	25,7	27,5	29,2	31,3
Manaus	1850	7559	24,2	29,9	25,8	27,8	29,7	33,4

Capital/Região	YLL		Temperatura (°C) de Risco Mínimo*		Aquecimento Global Temperatura média			
	DR**	DC	DR	DC	Baseline	1.5°C	2.0°C	4.0°C
Palmas	97	749	24,0	31,2	25,9	28,5	30,2	32,7
Porto Velho	507	2347	23,4	25,5	24,8	27,1	28,9	31,7
Rio Branco	477	1425	26,4	26,4	24,3	26,8	28,5	31,4
<b>NORDESTE</b>								
Aracaju	851	4310	23,5	28,4	25,8	27,0	28,2	29,7
Fortaleza	3588	14032	25,3	28,5	26,6	27,7	29,0	30,4
João Pessoa	1136	5881	23,9	28,2	25,8	27,0	28,3	29,8
Maceió	1683	9540	26,4	28,1	25,2	26,5	27,7	29,2
Natal	1127	6940	24,0	28,4	25,9	27,2	28,4	29,8
Recife	3560	20711	22,9	27,8	25,0	26,2	27,5	28,9
Salvador	5005	23946	27,0	28,2	25,3	26,6	27,9	29,4
São Luís	1027	6535	26,7	29,0	26,8	28,0	29,4	31,1
Teresina	1119	7422	24,8	25,8	27,9	29,4	31,0	32,9
<b>CENTRO-OESTE</b>								
Brasília	2341	17591	24,0	27,9	22,2	25,0	26,7	29,0
Campo Grande	1451	7927	25,6	26,8	23,2	26,6	28,0	30,9
Cuiabá	842	4588	25,4	26,6	25,1	28,4	29,8	32,8
Goiânia	2243	11503	24,6	25,7	22,9	26,1	27,8	30,4
<b>SUDESTE</b>								
Belo Horizonte	4939	24958	22,5	25,6	20,5	23,0	24,4	26,7
Rio de Janeiro	21219	92695	24,4	26,0	23,1	24,8	25,7	27,5
São Paulo	28265	140890	25,6	26,3	19,9	22,2	23,3	25,5
Vitória	351	3118	19,5	27,8	23,7	25,0	26,0	27,6
<b>SUL</b>								
Curitiba	3837	19108	23,5	25,4	18,2	20,4	21,3	23,4
Florianópolis	639	3153	23,6	25,8	21,0	22,1	22,8	24,3
Porto Alegre	4217	19784	25,9	26,3	18,7	20,4	21,1	22,8

Nota: \*baseline = 1961 to 2005, 1.5°C = 2010 to 2039, 2.0°C = 2040 to 2069; 4.0°C = 2070 to 2099; TRM = Temperatura de Risco Mínimo estimada no projeto 4QN para o período de 2000 to 2010 (ERA-Interim). \*\*DR – Doença Respiratória em Idoso, DC – Doença Cardiovascular em adultos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

### YLL – Doenças Cardiovasculares (45 anos e mais)



### YLL – Doenças Respiratórias (60 anos e mais)

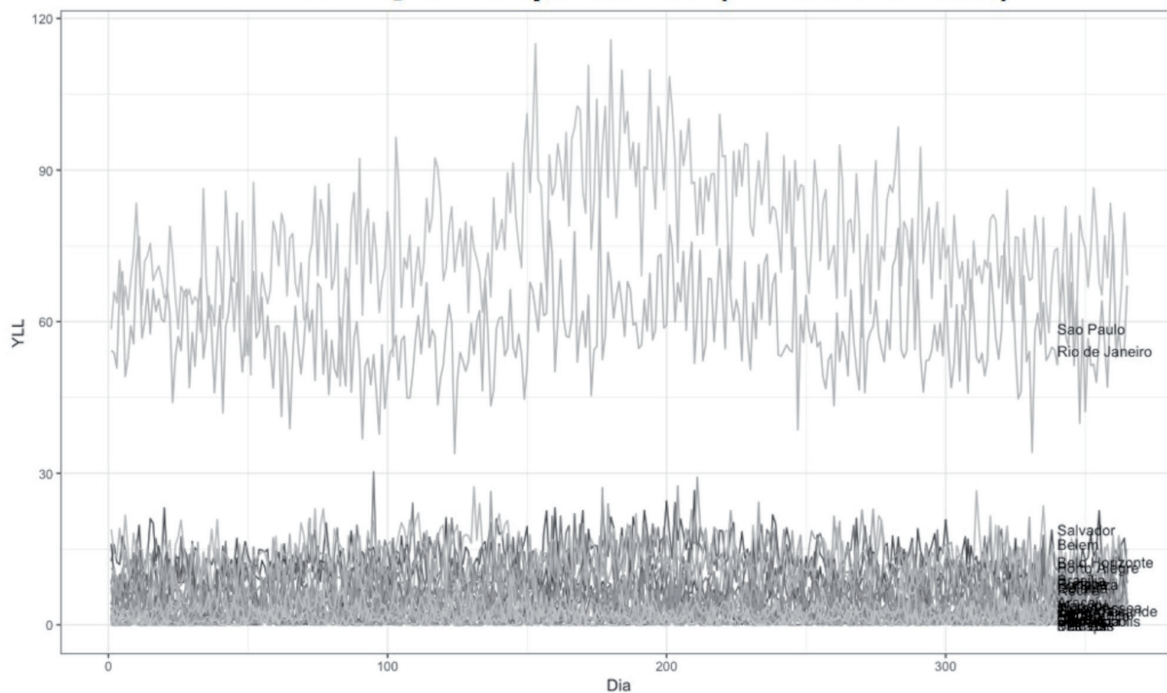
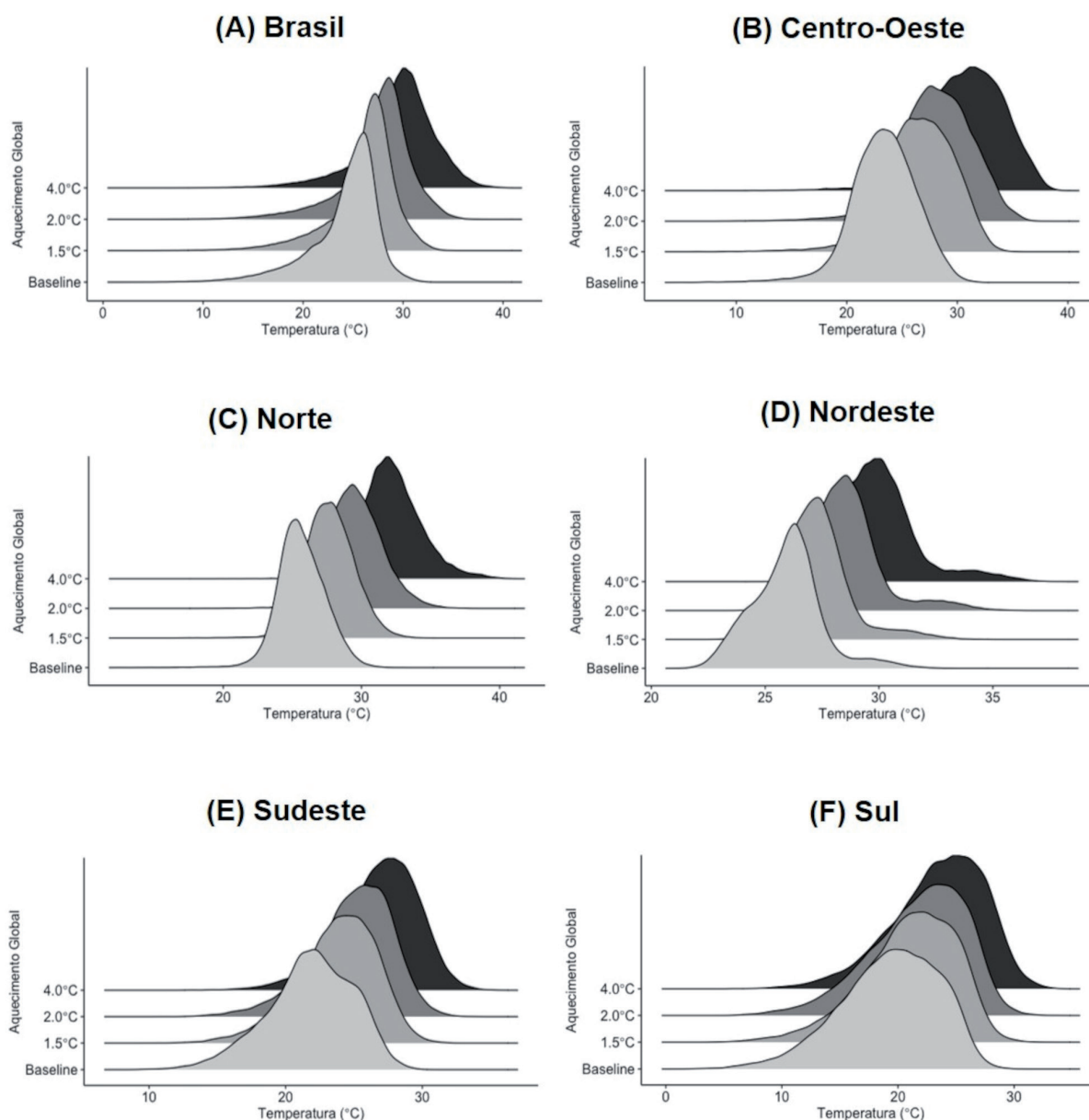


Figura 1 | Série temporal diária das médias dos Anos de Vida Perdidos (YLL) segundo a capital brasileira.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 2 apresenta a distribuição das temperaturas das capitais, agregadas por região, e para o Brasil, segundo os cenários de aquecimento global. Em todas as regiões observa-se a mesma tendência para a distribuição da temperatura, com deslocamento da densidade para temperaturas altas. Observa-se aumento da frequência de dias com temperaturas próximas, por exemplo, a 30°C nos cenários de aquecimento global de 2.0°C e de 4.0°C.





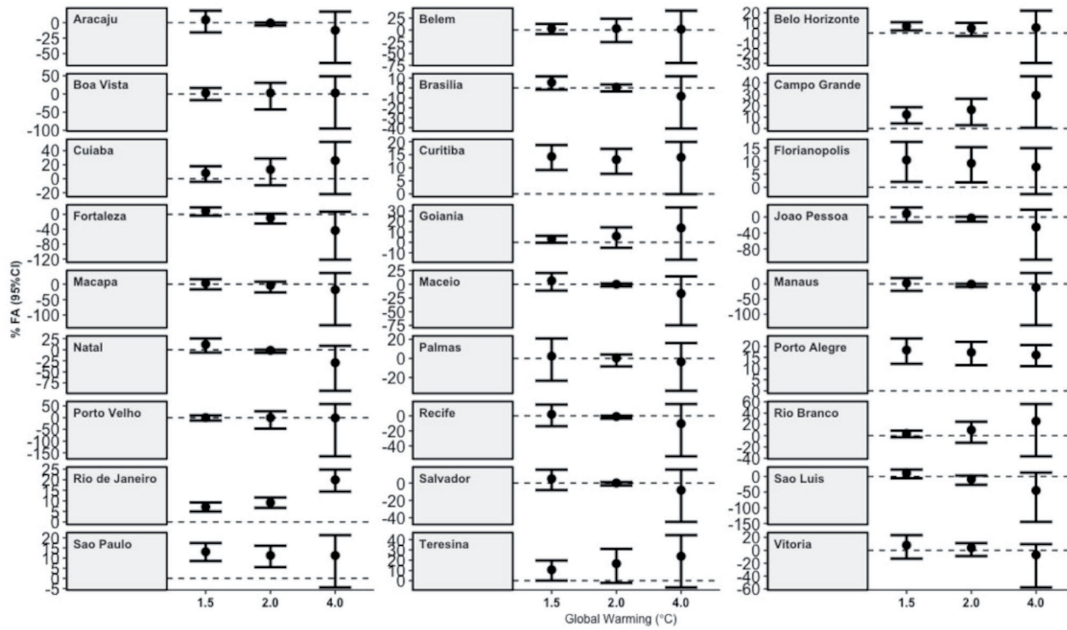
**Figura 2 |** Distribuição das projeções de temperaturas para as capitais agregadas por região, segundo cenários de aquecimento global. Brasil 1961 a 2099.

*Fonte: Elaborado pelos autores.*

O impacto global da temperatura nos YLL, segundo os cenários de aquecimento global, foi apresentado na Figura 3. Para as doenças respiratórias nos idosos, observa-se uma tendência de aumento dos Anos de Vida Perdidos conforme aumenta o nível de aquecimento. Destacam-se Brasília e as capitais Cuiabá, Campo Grande, Goiânia, Porto Velho, Rio Branco, Rio de Janeiro, São Paulo, Belo Horizonte, Recife, Teresina, Curitiba e Porto Alegre.

Quanto às doenças cardiovasculares nos adultos, essa tendência ocorre somente nas capitais Cuiabá, Campo Grande, Goiânia, Rio de Janeiro e Teresina. Em outras capitais, os resultados sugerem estacionariedade ou tendência decrescente do YLL.

### YLL – Doenças Cardiovasculares (45 anos e mais)



### YLL – Doenças Respiratórias (60 anos e mais)

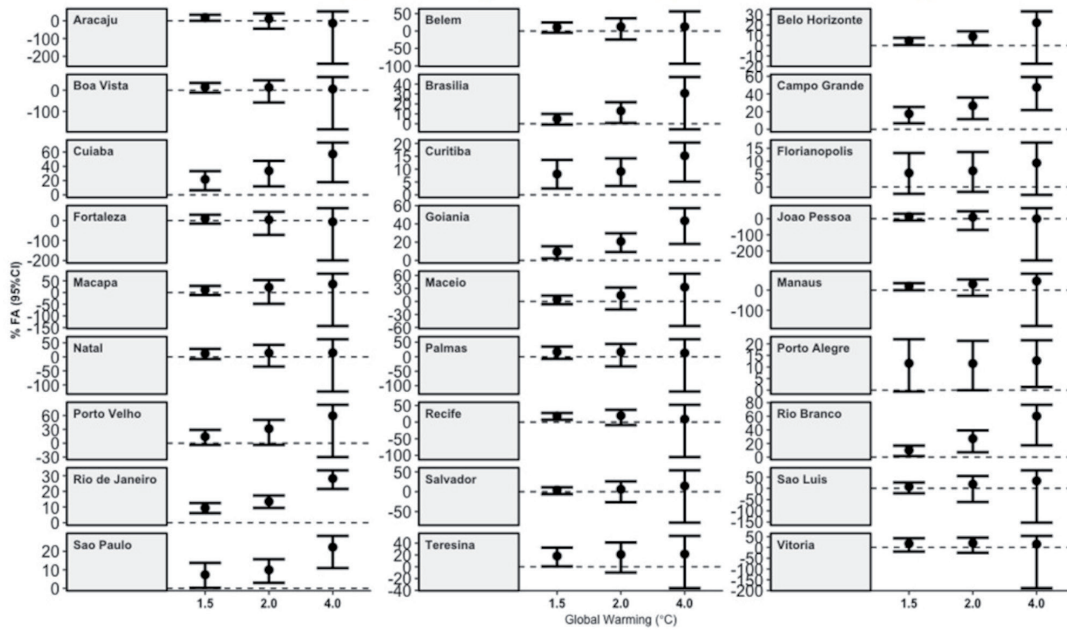


Figura 3 | Fração do YLL atribuível (Total = Frio + Calor) ao aquecimento global. Brasil, capitais.

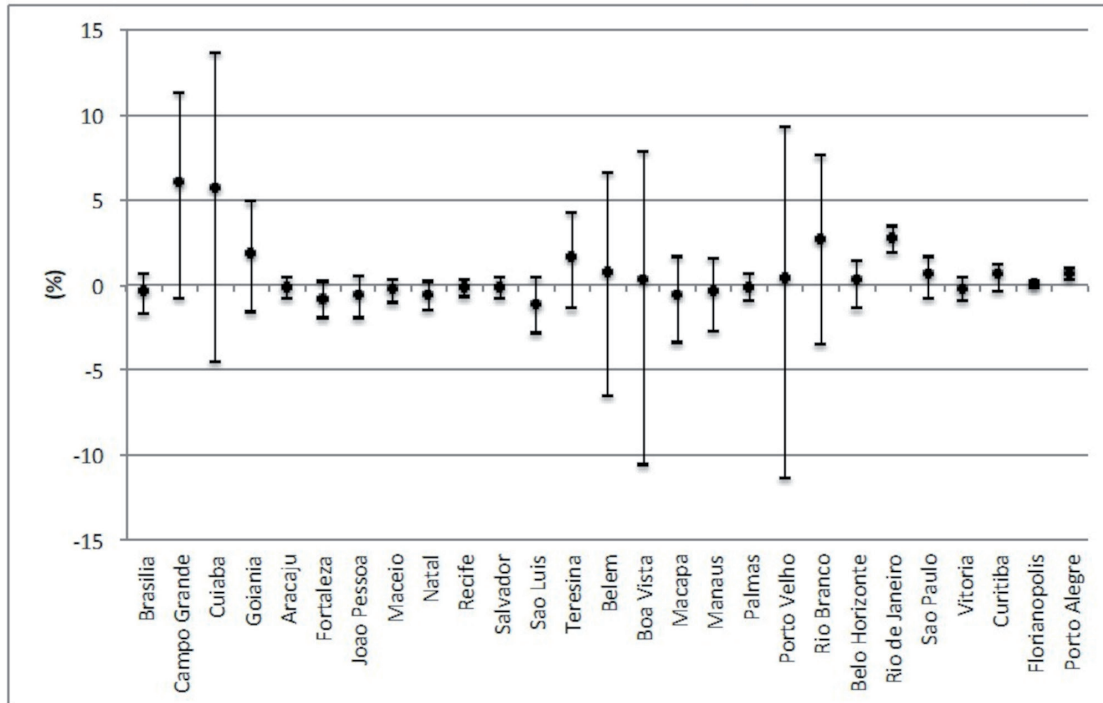
Fonte: Elaborado pelos autores.

Quanto ao incremento percentual do impacto do aquecimento de 1,5°C em relação ao período *baseline* (1961 a 2005), verificou-se que Campo Grande e Cuiabá são as capitais mais impactadas tanto em relação às doenças respiratórias quanto às doenças cardiovasculares (Figura 4).

Em relação à significância estatística medida pelos intervalos de confiança de 95%, observaram-se impactos relativos significativos para as doenças respiratórias nas capitais Campo Grande, Cuiabá, Goiânia, Rio Branco, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre. Nas doenças cardiovasculares, os impactos relativos foram significativos nas capitais Rio de Janeiro e Porto Alegre. Quanto às incertezas avaliadas pelos intervalos de confiança de 95%, para as doenças

respiratórias em idosos, Rio de Janeiro, São Paulo e as da Região Sul foram as capitais com menores incertezas. Em relação às doenças cardiovasculares nos adultos, as incertezas foram menores em Brasília e entre as capitais das regiões Nordeste, Sudeste e Sul.

### YLL – Doenças Cardiovasculares (45 anos e mais)



### YLL – Doenças Respiratórias (60 anos e mais)

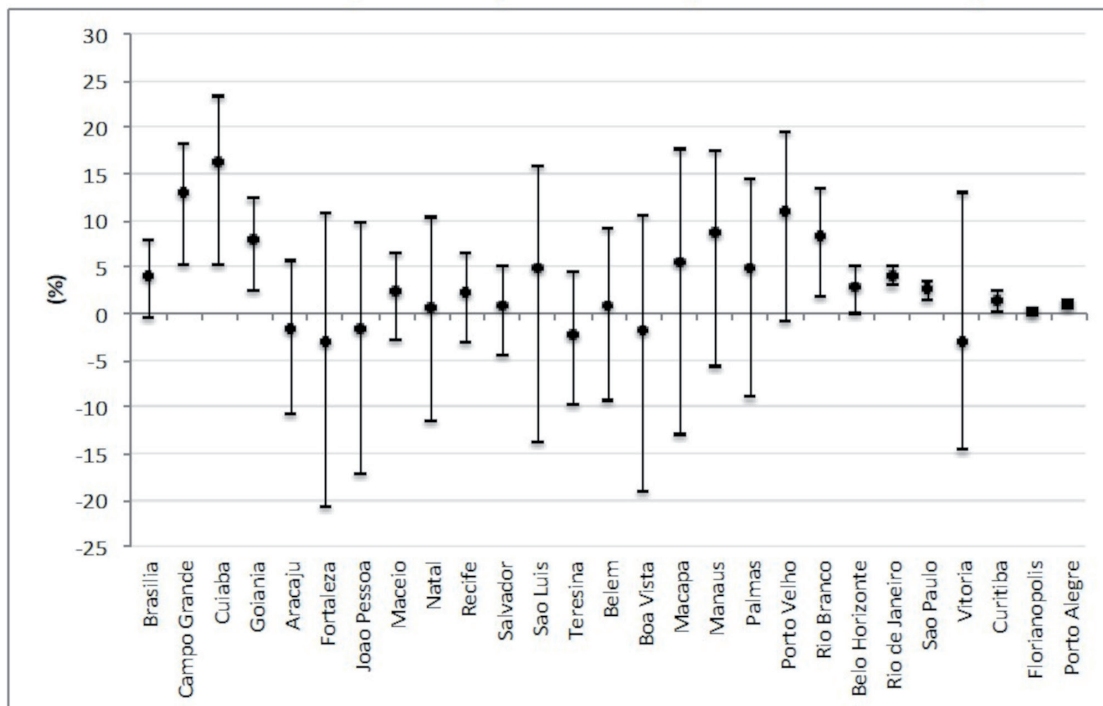


Figura 4 | Diferença relativa percentual do YLL atribuível ao aquecimento global de 1,5°C comparado ao período *baseline* (1961 – 2005), segundo as capitais do Brasil.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao avaliar o impacto nos YLL para as doenças respiratórias devido ao calor, os resultados sugerem que mais de 90% do impacto global sobre o YLL é devido à exposição a temperaturas acima das TRM para as capitais das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Nas capitais do Sul e Sudeste, observou-se uma tendência de crescimento linear da parcela do impacto global atribuível ao calor. No entanto, em números absolutos, a Região Sudeste poderá ter o maior número de YLL atribuível ao calor (Tabela 2). Para as doenças cardiovasculares, a parcela do impacto global devido ao calor será maior nas capitais das regiões Centro-Oeste e Sudeste. Por outro lado, o impacto na redução dos YLL devido ao calor será maior nas capitais da Região Nordeste, com exceção de Teresina.

**Tabela 2 |** Anos de Vidas Perdidos (YLL) atribuíveis ao calor agregado por regiões, segundo cenários de aquecimento global. Brasil, capitais.

<i>Região</i>	<i>Cenário de Aquecimento</i>	<i>Doenças Respiratórias (≥60)</i>	<i>Doenças Cardiovasculares (≥ 45)</i>
Centro-Oeste	Baseline	3555,1	4091,0
	1,5º	21408,7	30588,7
	2,0º	42410,0	53635,7
	4,0º	85582,7	98890,1
Nordeste	Baseline	52927,2	17549,2
	1,5º	54361,6	9609,8
	2,0º	63095,0	-109840,7
	4,0º	59426,6	-523286,5
Norte	Baseline	18455,8	8038,1
	1,5º	27434,2	10914,4
	2,0º	40930,9	7511,4
	4,0º	58954,7	-18805,3
Sudeste	Baseline	28058,1	40653,7
	1,5º	80507,9	143342,0
	2,0º	149961,0	276379,2
	4,0º	387051,0	816321,9
Sul	Baseline	1134,0	1724,1
	1,5º	4168,0	8872,1
	2,0º	8309,1	19868,4
	4,0º	23923,2	68185,6

Fonte: Elaborado pelos autores.

## 4 DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa sugerem que o impacto da exposição à temperatura sobre o YLL tende a crescer conforme aumenta o nível de aquecimento global, principalmente sobre as doenças respiratórias nos idosos. Em relação às doenças respiratórias, as capitais mais impactadas serão Cuiabá, Campo Grande, Goiânia, Porto Velho, Rio Branco, Rio de Janeiro, São Paulo, Belo Horizonte, Recife, Teresina, Curitiba e Porto Alegre. Quanto às doenças cardiovasculares nos adultos, as capitais mais impactadas serão Cuiabá, Campo Grande, Goiânia, Rio de Janeiro e Teresina.

Para avaliar o impacto na saúde, o indicador utilizado foi o YLL, que mede quantos anos o indivíduo deixou de viver, indicando morte prematura. Mortes em idades mais jovens têm um peso maior e, teoricamente, seriam mais fáceis de serem prevenidas. Os resultados apontaram que o aquecimento global tem um potencial de aumentar as mortes prematuras por doenças respiratórias e por doenças cardiovasculares, com destaque para as capitais brasileiras das regiões Centro-Oeste e Sudeste.

Quanto às doenças cardiovasculares em adultos, os resultados sugerem redução do YLL atribuível ao frio em todas as regiões do Brasil, conforme aumenta o aquecimento global. Por outro lado, para a maioria das capitais, poderá aumentar o YLL atribuível ao calor. Esses resultados foram consistentes com estudos sobre mortalidade, com redução da mortalidade relacionada ao frio e aumento desta relacionada ao calor, proporcional ao grau de aquecimento e, portanto, mais intensa de acordo com cenários de maior emissão (GASPARRINI et al., 2017; LI et al., 2018; ZHANG et al., 2018).

No entanto, em números absolutos, o aumento do YLL atribuível ao calor parece que não vai superar a redução do YLL atribuível ao frio. Essa relação interferiu nas projeções de impacto total, já que o YLL atribuível total é a soma entre o número de YLL atribuível ao frio e o número de YLL atribuível ao calor. Dessa forma, para algumas capitais, os resultados sugerem estacionariedade ou tendência decrescente do impacto total no YLL associado ao aquecimento global.

Além disso, outros fatores podem ter influenciado o impacto global da exposição à temperatura nas doenças cardiovasculares, como as TRM estimadas que foram altas para a maioria das capitais, a baixa frequência de dias com temperaturas acima das TRM e redução de dias com temperaturas baixas. Em algumas capitais, o impacto do aumento do calor poderá não superar o impacto da redução do frio, mas como o cenário RCP 8.5 prevê emissão de GEE contínua após 2100, a tendência é que o impacto das temperaturas mais altas se sobressaia em algum momento.

Os resultados sugerem menor impacto do aquecimento global sobre o YLL nas capitais da Região Nordeste. As regiões Norte e Nordeste possuem altas temperaturas o ano todo e com amplitude térmica menor do que outras regiões do Brasil, favorecendo uma resposta adaptativa dessa população. A menor susceptibilidade à exposição ao calor em populações que vivem em regiões quentes já foi sugerida por alguns estudos (BASU, 2009; YE et al., 2012; ZHAO et al., 2017; ZHAO et al., 2019). Por outro lado, Hacon et al. (2016) apontaram uma condição precária de desenvolvimento humano nos municípios das regiões Norte e Nordeste e com capacidade limitada para enfrentar as mudanças climáticas.

Estudos da China avaliaram os impactos futuros da exposição à temperatura no YLL. Huang et al. (2018) verificaram em uma cidade chinesa que o YLL, por doenças cardiovasculares em idosos, atribuível ao calor poderá aumentar entre 3,1 a 11,5 vezes nas décadas de 2050 e 2070 em relação ao período *baseline*, mesmo considerando 30% de adaptação. Li et al. (2018) realizaram um estudo em Tianjin, China, e os resultados mostraram uma queda no YLL por acidente vascular cerebral com reduções percentuais de aproximadamente 1% nos anos 2050 e 2070 em três cenários de emissão de gases de efeito estufa. Outro estudo em Tianjin mostrou que os efeitos do frio sobre o YLL nas mulheres foram maiores do que nos homens, com tendência oposta para o calor (LI et al., 2018).

Em algumas capitais, parece que os impactos no YLL se estabilizam no cenário de aquecimento de 2°C para o de 4°C para o cenário RCP 8.5. Apesar de cenários mais otimistas, com estabilização das emissões de gases de efeito estufa (GEE), as emissões continuam aumentando, com uma chance de 20% de aquecimento global superior a 4.0°C em relação ao período pré-industrial (WORK BANK, 2012).

Caso esse cenário se concretize, os riscos das mudanças climáticas globais serão extremamente catastróficos, incluindo os impactos na mortalidade prematura, como apresentado neste estudo. O aquecimento de 4.0°C, atingido somente com o RCP 8.5, corresponde a um patamar elevado de forçamento radiativo, com projeção de um cenário de não cumprimento das metas estabelecidas no Acordo de Paris. Em saúde, o cenário mais pessimista é, frequentemente, usado como princípio de precaução como garantia contra os riscos potenciais que, de acordo com as incertezas futuras, ainda não podem ser exatamente estimados ou calculados.

Este estudo apresenta algumas limitações, uma delas diz respeito à série de YLL utilizada, que corresponde a uma média diária dos YLL em anos anteriores ao período de aquecimento global de 1,5°C. A projeção dessa série para o futuro implica que a distribuição da população e dos óbitos permanece



constante até o ano de 2099. No entanto, as projeções de população indicam que a pirâmide etária da população do Brasil vai modificar (IBGE, 2020). A tendência para a distribuição da população por grupos etários é de aumento da proporção de idosos e queda da proporção de pessoas com menos de 30 anos. É esperado um aumento da expectativa de vida e o envelhecimento populacional, o que certamente irá sobrecarregar o sistema de saúde e aumentar o número de óbitos, principalmente dos indivíduos com presença de comorbidades.

Dessa forma, no contexto das mudanças climáticas, medidas preventivas, especialmente para as doenças crônicas, são relevantes para o controle e o gerenciamento dos riscos à saúde. As próprias condições climáticas futuras poderão influenciar a adoção de novos comportamentos humanos e institucionais devido à necessidade direta ou indireta das populações de se adaptarem às novas condições climáticas. Novos estilos de vida, práticas cotidianas, hábitos alimentares e dificuldade no acesso à água potável poderão ser modificados, resultando em novos perfis nosológicos.

Outra limitação se refere às curvas exposição-resposta usadas neste estudo para estimar os impactos do aquecimento global no YLL. As curvas foram estimadas considerando um dado de exposição modelado, proveniente da reanálise ERA-Interim do *European Center for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF). O uso de dados oriundos de modelos atmosféricos globais em estudos de séries temporais é uma boa estratégia quando existem falhas nas séries históricas de dados medidos por estações meteorológicas, mas, por outro lado, insere mais uma fonte de incertezas sobre as inferências baseadas nesses dados. No Brasil, o ERA-Interim tem mostrado boa acurácia (APARECIDO et al., 2019; DEE et al., 2011; SANTOS et al., 2017).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo ampliou o conhecimento sobre os impactos na saúde decorrentes das mudanças do clima, e os resultados sugerem aumento do YLL atribuível ao aquecimento global de 1,5°C comparado ao período *baseline* (1961 a 2005), com tendência crescente para os cenários de aquecimento de 2°C e 4°C. E traz também uma análise do potencial de uso do YLL em estudos relacionados à mudança do clima.

Conhecer os riscos e impactos das mudanças do clima na saúde humana é importante para o planejamento de políticas públicas direcionadas. O Brasil é um país de grande extensão territorial, com diferentes características de vegetação, clima, condições socioeconômicas e vulnerabilidades, e as previsões de aumento das temperaturas globais tornam urgente o planejamento de ações estratégicas de adaptação climática e mitigação de emissões.

Em resposta a essas tendências, é necessário investimento em diversas medidas de adaptação que, em geral, estão associadas à redução de vulnerabilidades e ao acesso às políticas e ferramentas que minimizem a exposição ao calor, como, por exemplo, o uso de ar-condicionado, as mudanças de comportamento e o investimento em infraestrutura e planejamento urbano.

Como exemplos, em áreas urbanas, algumas ações como incorporar espaços verdes no projeto da paisagem para criar ambientes confortáveis, favorecer construções confortáveis para o clima em que estão inseridas, e a melhoria da qualidade habitacional precária são algumas medidas que podem ajudar no processo de adaptação climática. Como exemplo, os espaços verdes têm auxiliado na resiliência do ecossistema e proporcionados benefícios humanos por meio dos serviços do ecossistema (DERKZEN et al., 2017), com isso diminuem o aquecimento local (RAGULA; CHANDRA, 2020) e aumentam as áreas permeáveis, melhorando as condições ecológicas das cidades (VAROL et al., 2019).

Para Romero (2006), nas cidades, a concepção das edificações deve ser pensada em consonância com o equilíbrio energético para que o conforto térmico seja inerente à edificação, e na escala do bairro e

da cidade, elementos naturais, como espaços livres e arborização, assim como áreas protegidas, são essenciais para a redução dos efeitos do aquecimento nos habitantes urbanos.

Quanto mais efetivas forem as políticas de adaptação, menor será o impacto sobre os anos de vida perdidos devido às mudanças no clima. Essas medidas e políticas serão requeridas conforme os cenários de aquecimento avançam. Em um estudo realizado em Brisbane, se o aumento da temperatura média global atingir 2.0°C, será necessária a redução de 10% na vulnerabilidade da população a temperaturas quentes, e, com o aumento de 4°C, essa redução deverá ser de aproximadamente 40% (HUANG et al., 2012).

Além das políticas e medidas de adaptação, será necessário fortalecer no Brasil as medidas de mitigação para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e limitar o aquecimento global em 1,5°C, para reduzir os impactos à saúde, mediante a aplicação dos instrumentos legais da Política Nacional de Mudança do Clima, o cumprimento dos acordos internacionais de mitigação da emissão de gases de efeito estufa, o cumprimento das metas de redução de emissões e a aplicação do Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas.

Para o setor de saúde, de acordo com as projeções climáticas e dos impactos nos indicadores de saúde, serão necessários investimentos para ampliar a capacidade de resposta dos serviços do setor, com o desenvolvimento de sistemas de alerta e vigilância e serviços ambulatoriais específicos para atender pacientes com sinais e sintomas decorrentes do aumento da temperatura. Para isso, será necessário aprimorar a formação dos profissionais de saúde e a gestão dos serviços do setor.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil, Processo 381160 / 2018-1) e da Rede Brasileira de Pesquisa em Mudanças Climáticas Global financiada pelo CNPq (Nº 550022 / 2014-7), FINEP (Nº 01.13.0353.00) e do Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca / FIOCRUZ.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, I. et al., 2020. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do clima do Brasil 1970-2019. Disponível em: <[http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp-content/uploads/2020/11/OC\\_RelatorioSEEG2020\\_final.pdf](http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp-content/uploads/2020/11/OC_RelatorioSEEG2020_final.pdf)>. Acesso em: 08 nov. 2020.

APARECIDO, L. E. O. et al. Acurácia da Reanálise ERA-Interim do ECMWF e sua Aplicação na Estimativa da Deficiência Hídrica no Estado do Paraná, *Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 34, n. 4, 515-528, 2019.

BARRETT, B.; CHARLES, J. W.; TEMTE, J. L. Climate change, human health, and epidemiological transition. *Prev. Med.*, v. 70, p. 69-75, 2015.

BASU, R. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environmental Health*, v. 8, 2009.

BUNKER, A. et al. Effects of air temperature on climate-sensitive mortality and morbidity outcomes in the elderly: a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *EBioMedicine*, v. 6, p. 258-268, 2016.

CHOU, S. C. et al. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. *American Journal of Climate Change*, v. 3, p. 512-527, 2014.

DEE, D. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 137, p. 553-597, 2011.

- DERKZEN, M. L.; VAN TEE\_ELEN, A. J. A.; VERBURG, P. H. Green infrastructure for urban climate adaptation: how do residents' views on climate impacts and green infrastructure shape adaptation preferences? **Landsc. Urban Plan**, v. 157, p. 106-130, 2017.
- GASPARRINI, A. Distributed Lag Linear and Non-Linear Models in R: the package dlnm. **Journal of Statistical Software**, v. 43, p. 1-20, 2011.
- GASPARRINI, A. et al. Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. **The Lancet Planetary Health**, v. 1, p. e360-e367, 2017.
- GASPARRINI, A.; ARMSTRONG, B.; KENWARD, M. G. Multivariate meta-analysis for non-linear and other multi-parameter associations. **Statistics in Medicine**, v. 31, p. 3821-39, 2012.
- GUO, Y. et al. Temperature Variability and Mortality: a multi-country study. **Environ Health Perspect.**, v. 124, p. 1554-1559, 2016.
- GUO, Y. et al. Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: a multicountry time series modelling study. **PLoS Med.**, v. 15, p. e1002629, 2018.
- HACON, S. et al. Capítulo 5: Saúde. **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**. NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. (Org.). São José dos Campos, SP: INCT, 2016.
- HARTWIG, S. V.; IGNOTTI, E. Variações meteorológicas e as alterações de pressão arterial dos pacientes em hemodiálise: revisão sistemática. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 15, v. 25, JUL/DEZ 2019 ISSN: 2237-8642 (Eletrônica).
- HARTWIG, S. V. et al. Seasonal variation of biochemical parameters of hemodialysis patients in a tropical climate area. **O Mundo da Saúde**, v. 43, p. 566-585, 2019.
- HEMPEL, S. et al. A trend-preserving bias correction. The ISI-MIP approach. **Earth System Dynamics**, v. 4, p. 219-236, 2013.
- HUANG, J. et al. Projections for temperature-related years of life lost from cardiovascular diseases in the elderly in a Chinese city with typical subtropical climate. **Environ Res.**, v. 167, p. 61-621, 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Projeção da população do Brasil e Unidades da Federação, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 21 ago. 2020.
- LI, G. et al. Projected Temperature-Related Years of Life Lost From Stroke Due to Global Warming in a Temperate Climate City, Asia: disease burden caused by future climate change. **Stroke**, v. 49, p. 828-834, 2018.
- LI, Q. et al. Does local ambient temperature impact children's blood pressure? A Chinese National Survey. **Environ Health**, v. 16, p. 15-21, 2016.
- LI, Y. et al. Projecting temperature-related years of life lost under different climate change scenarios in one temperate megacity, China. **Environmental Pollution**, v. 233, p. 1068-1075, 2018.
- PEIXOTO, H. C. G.; SOUZA, M. L. O Indicador Anos Potenciais de Vida Perdidos e a Ordenação das Causas de Morte em Santa Catarina, 1995. **Informe Epidemiológico do SUS**, v. 8, p. 17-25, 1999.
- RAGULA, A.; CHANDRA, K. K. Tree species suitable for roadside afforestation and carbon sequestration in Bilaspur, India. **Carbon Management**, p. 1-12, 2020.
- ROMERO, M. B. Desenho da Cidade e Conforto Ambiental. **RUA: Revista de Urbanismo e Arquitetura da UNB**, v. 7, n. 1, 2006.
- ROSSATI, A. Global Warming and Its Health Impact. **Int J Occup Environ Med.**, v. 8, p. 7-20, 2017.
- SANTOS, S. R. Q. et al. Variabilidade sazonal da precipitação na Amazônia: validação da série de precipitação mensal do GPCC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, p. 1721-1729, 2017.

- SEWE, M. O. et al. Estimated Effect of Temperature on Years of Life Lost: a retrospective time-series study of low, middle, and high-income regions. **Environmental Health Perspectives**, v. 126, p. 017004, 2018.
- SOUSA, T. C. M. et al. Doenças sensíveis ao clima no Brasil e no mundo: revisão sistemática. **Rev. Panam. Salud Publica**, v. 42, p. e85, 2018.
- VAROL, T. et al. Determining potential planting areas in urban regions. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 3, p. 1-14, 2019.
- WANG, Q. et al. Environmental ambient temperature and blood pressure in adults: a systematic review and meta-analysis. **Sci Total Environ**, v. 575, p. 276-286, 2017.
- WERNECK, G. L.; REICHENHEIMM, E. **Anos potenciais de vida perdidos no Rio de Janeiro, 1985**. As mortes violentas em questão. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. (Série: Estudos em Saúde Coletiva), v. 4, p. 1-20, 1992.
- WORLD BANK. **4°C: turn down the heat**. A Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics, November 2012, Washington DC 20433.
- YE, X. F. et al. Ambient temperature and morbidity: a review of epidemiological evidence. **Environ Health Perspect.**, v. 120, p. 19-28, 2012.
- ZANOBETTI, A.; O'NEILL, M. S. Longer-Term Outdoor Temperatures and Health Effects: a review. **Curr. Epidemiol. Rep.**, v. 5, p. 125-139, 2018.
- ZHANG, Y. et al. The burden of ambient temperature on years of life lost: a multi-community analysis in Hubei, China. **Science Total Environment**, v. 621, p. 1491-1498, 2018.
- ZHAO, O. et al. Assessment of Intraseasonal Variation in Hospitalization Associated with Heat Exposure in Brazil. **JAMA Network Open**, v. 2, p. e187901, 2019.
- ZHAO, Q. et al. Impact of ambient temperature on clinical visits for cardio-respiratory diseases in rural villages in northwest China. **Sci Total Environ.**, v. 612, p. 379-385, 2018.

# Vector-borne diseases in Brazil: climate change and future global warming scenarios

*Doenças transmitidas por vetores no Brasil: mudanças climáticas e cenários futuros de aquecimento global*

Bruno Moreira de Carvalho<sup>a</sup>

Letícia Palazzi Perez<sup>b</sup>

Beatriz Fátima Alves de Oliveira<sup>c</sup>

Ludmila da Silva Viana Jacobson<sup>d</sup>

Marco Aurélio Horta<sup>e</sup>

Andréa Sobral<sup>f</sup>

Sandra de Souza Hacon<sup>g</sup>

<sup>a</sup> Postdoctoral fellow at the Barcelona Institute for Global Health, Barcelona, Spain  
brunomc.eco@gmail.com

<sup>b</sup> Visiting professor at the Federal University of Paraíba (UFPB), Department of Architecture and Urbanism, João Pessoa, PB, Brasil  
Leticia.palazzi@gmail.com

<sup>c</sup> Doctor in Sciences by the Sérgio Arouca National Public Health School (ENSP/FIOCRUZ), Oswaldo Cruz Foundation Regional Office in the state of Piauí, Teresina, PI, Brazil  
E-mail: beatrizenf@gmail.com

<sup>d</sup> Doctor in Collective Health by the Social Medicine Institute, (IMS/UERJ), Universidade do Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, Brazil  
E-mail: ludmillaviana@yahoo.com.br

<sup>e</sup> Doctor in National Public Health and Environment by the National Public Health School (ENSP/FIOCRUZ), Oswaldo Cruz Foundation, and researcher in public health at the Oswaldo Cruz Institute, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
E-mail: marcohorta@yahoo.com

<sup>f</sup> Samuel Pessoa Department of Endemics of the National School of Public Health ENSP Oswaldo Cruz Foundation – FIOCRUZ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
E-mail: asasobral@gmail.com

<sup>g</sup> Doctor in Biosciences by the Federal Fluminense University (UFF), National School on Public Health (ENSP/FIOCRUZ), Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: shacon@ensp.fiocruz.br



Received: 08/09/2020  
Accepted: 17/11/2020

## ARTICLE – DOSSIER

*Data and results presented in this article were developed under the project of the “Fourth National Communication and Biennial Update Reports of Brazil to the Climate Convention”, coordinated by the Ministry of Science, Technology and Innovations, with the support of the United Nations Development Programme and resources of the Global Environment Facility, to which we offer our thanks.*

### ABSTRACT

Climate change affects human health either directly or indirectly, and related impacts are complex, non-linear, and depend on several variables. The various climate change impacts on health include a change in the spatial distribution of vector-borne diseases. In this regard, this study presents and discusses changes in the spatial distribution of climate suitability for visceral leishmaniasis, yellow fever and malaria in Brazil, in different global warming scenarios. Maximum entropy (MaxEnt) was used to construct climate suitability models in warming scenarios. Models were based in climate variables generated by the Eta-HadGEM2 ES regional model, in the baseline period 1965-2005 and RCP8.5 scenario, representing global warming levels of 1,5°C (2011-2040), 2,0°C (2041-2070) and 4,0°C (2071-2099). The three diseases studied are largely influenced by climate and showed different distribution patterns within the country. In global warming scenarios, visceral leishmaniasis found more favorable climate conditions in the Southeastern and Southern regions of Brazil, while climate in the Northern and Center-West regions gradually became more favorable to yellow fever. In malaria scenarios, an increase in favorable climate conditions to its high incidence was observed in the Atlantic Forest, where currently extra-Amazonian cases occur. The scenarios presented herein represent different possible consequences for the health sector in terms of adopting (or not) different measures to mitigate climate change in Brazil, such as reducing the emission of greenhouse gases.

**Keywords:** Global warming; Public health; Visceral leishmaniasis; Yellow fever, Malaria.

### RESUMO

*As mudanças climáticas afetam a saúde humana direta ou indiretamente, e seus impactos são complexos, não lineares e dependentes de diversas variáveis. Entre os diversos impactos das mudanças climáticas na saúde estão a alteração na distribuição espacial de doenças transmitidas por vetores. Nesse sentido, o presente estudo apresenta e discute mudanças na distribuição espacial da adequabilidade climática para leishmaniose visceral, febre amarela e malária no Brasil, em diferentes cenários de aquecimento global. Para a construção dos modelos de adequabilidade climática nos cenários de aquecimento, foi utilizado o algoritmo de máxima entropia (MaxEnt). Os modelos foram baseados em variáveis climáticas geradas pelo modelo climático regionalizado Eta-HadGEM2 ES, no período baseline (1965-2005) e no cenário RCP 8.5, representando os níveis de aquecimento global de 1,5°C (2011-2040), 2,0°C (2041-2070) e 4,0°C (2071-2099). As três doenças estudadas são amplamente influenciadas pelo clima e apresentaram diferentes padrões de distribuição no País. Em cenários de aquecimento global, a leishmaniose visceral apresentou condições climáticas mais favoráveis à sua ocorrência nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, enquanto o clima nas regiões Norte e Centro-Oeste se tornou gradativamente mais adequado para febre amarela. Nos cenários para malária foi observado aumento nas condições climáticas favoráveis à sua alta incidência na Mata Atlântica, onde atualmente ocorrem casos extra-amazônicos. Os cenários aqui apresentados representam diferentes consequências possíveis para o setor de saúde e da adoção ou não de diferentes medidas para mitigar as mudanças climáticas no Brasil, como a redução da emissão de gases de efeito estufa.*

**Palavras-chave:** Aquecimento global. Saúde Pública. Leishmaniose Visceral. Febre Amarela. Malária.

## 1 INTRODUCTION

Climate change may affect human health either directly or indirectly, and related impacts may be aggravated by socio-environmental vulnerability (BARCELLOS et al., 2009). Direct impacts are those primarily associated with the occurrence of extreme events, i.e., heat waves, extreme cold, droughts and more intense rain regimes.

Indirect impacts are mediated by ecosystem, biodiversity and hydrological/biogeochemical imbalances that influence morbidity and mortality profiles (BARCELLOS et al., 2009; IPCC, 2014). Among the effects generated socially in response to climate change are those related to economic changes, which may result in occupational impacts, malnutrition, psychosocial problems and forced migration (BENNETT et al., 2014), in addition to those related to health system capacity and socioeconomic conditions of the population (BARCELLOS et al., 2009; HACON et al., 2018). Although didactically classified, the climate change impacts on human health are complex, multi-factorial and non-linear. Thus, they may be enhanced or minimized depending on the characteristics of the individual and collective social determinants inherent to a given social organization and their interrelationships with the physical environment (HACON et al., 2018).

Among the diseases with indirect impact, vector-borne diseases are a concern in the global health sector: malaria is responsible for causing more than 400 thousand deaths annually worldwide, of which two thirds occur in children under 5 years of age (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2019); dengue fever cases have been progressively increasing in recent decades (CASTRO; WILSON; BLOOM, 2017); the global expansion of invasive mosquitoes, facilitated by the international transport of materials and products, has been linked to the emergence of new sources of arboviruses transmission (BENEDICT et al., 2007).

In the current Brazilian epidemiological scenario, malaria, Chagas disease, leishmaniasis, dengue fever, yellow fever, the Oropouche virus, Mayaro virus, filariasis (bancrofti and onchocerciasis), West Nile virus, among others, stand out. Some of these diseases are broadly distributed in the country, i.e., dengue fever, while others have regional characteristics, such as the Oropouche virus in the Amazon (BARCELLOS et al., 2009). In addition to this scenario, the recent outbreak of zika and chikungunya viruses have further aggravated the epidemiological situation of these diseases across the national territory (CAMPOS; BANDEIRA; SARDI, 2015; ZANLUCA et al., 2015), affecting mainly the Southeastern, Northeastern and Center-West regions (VASCONCELOS; PINHO, 2017).

Multiple factors can influence the dynamics of vector-borne diseases, such as environmental, sociodemographic, biological (life cycle of vectors) and health factors (population susceptibility, governance, health systems and disease control programs) (GRACIE et al., 2014). Disorderly urbanization also impacts the transmission dynamics, with informal and precarious settlements generally without access to basic sanitation services, such as water distribution networks and sewage collection (MARICATO, 2009), in addition to the unavailability of environmental sanitation services, such as rainwater galleries and adequate waste collection (FOURNET et al., 2018).

Among the environmental factors, climate variables are important components in the time and spatial distribution of vector-borne diseases, both limiting their spread and influencing transmission dynamics (HORTA et al., 2014). Climate change can lead to changes in spatial distribution, population density, seasonality, prevalence of infection, parasitic load or even in the adaptation of the vector and host species to new transmission cycles (KOVATS et al., 2001; MILLS; GAGE; KHAN, 2010) a change in climate would be expected to cause changes in the geographical range, seasonality (intra-annual variability).

Temperature is an important factor that may slow down or accelerate the development or survival of insect vectors, as well as the extrinsic incubation period (EIP) of some pathogens (ALTO; JULIANO, 2001; BESERRA et al., 2009; HLAVACOVA; VOTYPKA; VOLF, 2013; RIVAS et al., 2014). Rainfall patterns

have short and medium term effects on vector population dynamics, as they regulate the availability of breeding sites (ALTO; JULIANO, 2001; VALDEZ; SIBONA; CONDAT, 2018). Therefore, knowing the climate conditions that are favorable to vector development allows for anticipating annual generation cycles and times of major occurrence in infestation areas (KOVATS et al., 2001; MILLS; GAGE; KHAN, 2010; VALDEZ; SIBONA; CONDAT, 2018).

In the past few decades, studies and analyzes of increased global temperature impacts on human health have focused on retrospective case studies, such as the heat waves that hit Europe in 2003 and Russia in 2010, causing increases in mortality (MATSUEDA, 2011; ROBINE et al., 2008). Other studies have been conducted in several countries in order to assess the exposure-response relationship, establishing the relative risk between temperature and mortality (GASPARRINI et al., 2015; KINGSLEY et al., 2016).

In Brazil, some studies have delved into the relationship between the time and spatial distribution of vector-borne diseases and climate conditions (CARDOSO-LEITE et al., 2014; CARVALHO et al., 2015; DA COSTA; CORDEIRO; RANGEL, 2018; GURGEL-GONÇALVES et al., 2012; LAPORTA et al., 2011, 2015). However, few studies focused on the distribution of human cases of these diseases, aiming at generating scenarios of the impacts caused by climate change (CAMINADE et al., 2014; CARVALHO; RANGEL; VALE, 2017; LAPORTA et al., 2015; MENDES et al., 2016). In order to fill part of this gap, the present study includes analyzes of three vector-borne diseases of current relevance for Brazil, that present a well-known relationship with climate variables: visceral leishmaniasis, yellow fever and malaria.

In Brazil, visceral leishmaniasis (VL) is transmitted by the bite of female sand fly *Lutzomyia longipalpis* infected by *Leishmania infantum* (BRASIL, 2014). A large number of wild and domestic mammal species, including the domestic dog, can host this parasite. According to the Ministry of Health's Notifiable Diseases Information System (SINAN for its acronym in Portuguese), the disease currently causes about 3,000-3,500 cases per year in the country, representing the highest rates in all of America (ALVAR et al., 2012; BRASIL, 2020a). VL is currently undergoing a process of geographic expansion and urbanization, with cases reported in capitals like Campo Grande, Belo Horizonte and Rio de Janeiro (BRASIL, 2014, 2020a). This process is associated with environmental changes, human migration, socioeconomic conditions and vector adaptation to peridomestic conditions (RANGEL et al., 2018; SALOMÓN et al., 2015). Occurrence and incidence of VL are modulated by climate, through interactions with the density of vectors and their seasonality (READY, 2008).

Lab experiments conducted from the colonization of the *L. longipalpis* vector demonstrated that higher temperatures caused an increase in its locomotor activity, which suggests that the vector populations would be more abundant in warmer seasons (RIVAS et al., 2014). Higher temperatures also accelerate the development of promastigote forms of *Leishmania* in *L. longipalpis* (HLAVACOVA; VOTYPKA; VOLF, 2013). Climate suitability models for this same vector species have demonstrated the likely expansion of its geographic distribution within the country in climate change scenarios, especially in eastern Amazon (PETERSON et al., 2017).

Yellow fever (YF) is a non-contagious infection that remains endemic or enzootic in the tropical forests of America and Africa, periodically causing isolated outbreaks or epidemics of greater or lesser impact on public health. It is caused by an arbovirus of the genus *Flavivirus*, has non-human primates as hosts, and it is transmitted by mosquitos of the genera *Haemagogus* and *Sabethes* (in the wild cycle) and *Aedes aegypti* (in the urban cycle) (VASCONCELOS, 2003). Sylvatic yellow fever is an endemic disease in the Amazon region. From time to time, the virus reappears in the extra-Amazonian region, with outbreaks of varying magnitude and spatial distribution, expanding to areas of viral circulation that may affect as far as the Southern region of the country. Occurrence is seasonal, with a greater incidence from December to May, when the high temperatures and rainfall favor high vector density (BRASIL, 2020b).

Epizootics (mortality of non-human primates by YF) usually precede the disease in humans, being sentinel events for the early detection of outbreaks. The recent YF reemergence in Brazil, which started

in 2014, affected the metropolitan regions of a number of states and caused unprecedented impacts in the recent history of the disease. The major outbreaks in the history of YF in Brazil since its transmission cycle was first described in the 1930s happened in the monitoring years 2016/2017 and 2017/2018, when some 2,100 cases were recorded and more than 700 people were killed by the disease (BRASIL, 2020b). A recent study reported that climate variables contributed with some 60% for the occurrence of YF in southern Brazil (DE ALMEIDA et al., 2019).

Malaria is an infectious disease caused by protozoa of the genus *Plasmodium* and transmitted by vector mosquitoes of the *Anophelinae* subfamily, that represents a significant burden of diseases at the global and regional level, and whose occurrence and transmission are related to climate conditions (CAMINADE et al., 2014; PARHAM; MICHAEL, 2010). Changes in temperature and rainfall, combined with changes in ecosystems, may affect the spatial distribution and the intensity of malaria occurrence, which is a complex and multi-factorial disease, and an understanding of its association with climate is essential for Brazil.

Recent evidence suggests that the incidence of malaria is increasing in the world's coldest regions due to global warming (CELLA et al., 2019). Babaie et al. (2018) suggest that temperature, rainfall, relative humidity, and intensity and direction of the wind are the most important climate factors for growth and proliferation of *Anopheles*, the life cycle of *Plasmodium* and malaria prevalence. Despite the fact that its main vector in Brazil, *Anopheles darlingi*, is widely distributed, malaria is basically restricted to Amazonian municipalities (HACON et al., 2018) including the environmental impact assessment (EIA). Extra-Amazonian malaria occurs sporadically in the country, mainly in regions of the Atlantic Forest where anophelines of the *Kerteszia* group are responsible for transmission. Previous studies on climate suitability modeling for malaria in Brazil have pointed to the likely expansion of areas suitable for *Plasmodium falciparum* in climate change scenarios (LAPORTA et al., 2015).

Considering that these diseases occur under certain climate conditions, this study aimed at mapping the favorable climate space to their occurrence in global warming scenarios. This climate space was characterized by mathematical models that estimate climate suitability – a numerical representation of how suitable the climate of the study area is for the occurrence of those diseases (PETERSON, 2006; PETERSON et al., 2011). Locations where visceral leishmaniasis, yellow fever and malaria occur were associated with climate variables in the baseline period 2000–2010. Later climate suitability projections for those diseases were generated in climate change scenarios that represent global warming levels selected by the Paris Agreement in December 2015 (1.5°C, 2.0°C and 4.0°C) (IPCC, 2018).

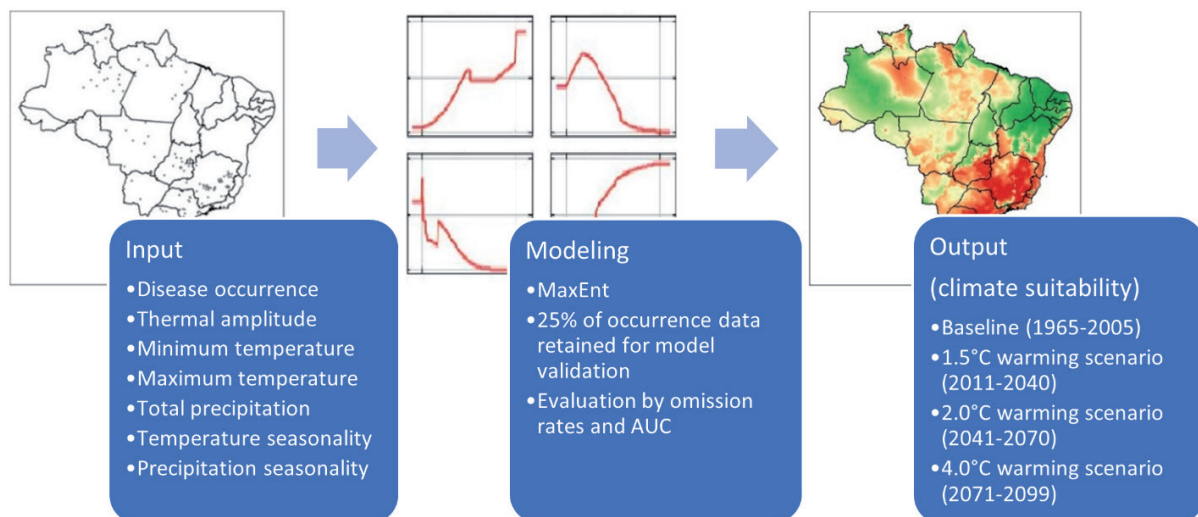
## 2 MATERIAL AND METHODS

In order to relate the occurrence of vector diseases to climate variables, ecological niche modeling was used. This methodology is used in biodiversity studies (GUISAN; ZIMMERMANN, 2000; PETERSON et al., 2011; RANDIN et al., 2020) the development of predictive habitat distribution models has rapidly increased in ecology. Such models are static and probabilistic in nature, since they statistically relate the geographical distribution of species or communities to their present environment. A wide array of models has been developed to cover aspects as diverse as biogeography, conservation biology, climate change research, and habitat or species management. In this paper, we present a review of predictive habitat distribution modeling. The variety of statistical techniques used is growing. Ordinary multiple regression and its generalized form (GLM) and has recently been applied to Epidemiology, Public Health and species distribution studies (ALKISHE et al., 2020; ARTUN, 2019; CARVALHO; RANGEL; VALE, 2017; LIPPI et al., 2019). These models, also referred to in the literature as environmental suitability or species distribution models (PETERSON; SOBERÓN, 2012), are based on the ecological niche theory to relate the abiotic factors that define the species geographic distribution (GUISAN; ZIMMERMANN, 2000; PETERSON et al., 2011).



There are two basic approaches to apply an ecological niche model to infectious diseases transmission (PETERSON, 2006; PETERSON et al., 2011). The first is to model species in the transmission cycle individually, providing the opportunity to find different reasons for the presence or absence of disease transmission in the study area. The second approach takes into consideration the entire transmission cycle and its ecological relationships as a “black box”, and analyzes the disease geographical distribution, as if it were a species (ARBOLEDA; JARAMILLO-O.; PETERSON, 2009; ARTUN, 2019; NIETO; MALONE; BAVIA, 2006; YÉ et al., 2007). This approach indirectly gathers all species that are part of the transmission cycle, as well as their environmental needs and ecological interactions.

In this study, the second approach was chosen, as the objective was to characterize the climate space occupied by the occurrence of diseases in humans, and thus be able to generate scenarios on climate change impacts on their spatial distribution. Thus, the study was based on the application of the MaxEnt machine learning algorithm (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006) together with inexpensive and powerful computers, has fueled a rapid increase in predictive modeling of species environmental requirements and geographic distributions. For some species, detailed presence/absence occurrence data are available, allowing the use of a variety of standard statistical techniques. However, absence data are not available for most species. In this paper, we introduce the use of the maximum entropy method (Maxent to associate disease occurrence points with climate variables, and then map climate suitability areas across the study area (Brazil) and in different scenarios (Figure 1).



**Figure 1 |** Synthesis of the ecological niche modeling methodology applied in this study: Input data were occurrence points of vector-borne diseases and climate variables related to temperature and rainfall. The algorithm used for modeling was MaxEnt. Models were then projected for the baseline period and different climate change scenarios.

Source: Prepared by the authors.

## 2.1 CLIMATE DATA

The study was based on the IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) projections with future Earth climate scenarios according to the levels of greenhouse gas (GHG) emissions through the *Representative Concentration Pathways* - RCP. The variables minimum temperature, maximum temperature, thermal amplitude and total precipitation were extracted from the Eta-Hadgem2 ES regional model (CHOU et al., 2014) Regional Climate Models (RCMs, for the period 1965-2005 and in three time intervals of the RCP8.5 scenario: 2011-2040, 2041-2070 and 2071-2099. These represent global warming levels of 1.5°C, 2.0°C e 4.0°C, respectively, of the Paris Agreement (IPCC, 2018).



In order to generate more biologically significant variables, the monthly temperature and precipitation values were used to calculate 19 bioclimatic variables (FICK; HIJMANS, 2017). These are often used in ecological studies, species distribution modeling, and ecological niche modeling (FICK; HIJMANS, 2017). Bioclimatic variables represent annual trends (i.e., annual average temperature, annual precipitation), seasonality (i.e., annual temperature and precipitation variation) and extreme or limiting environmental factors (i.e., coldest and warmest month temperature and precipitation of the driest quarter).

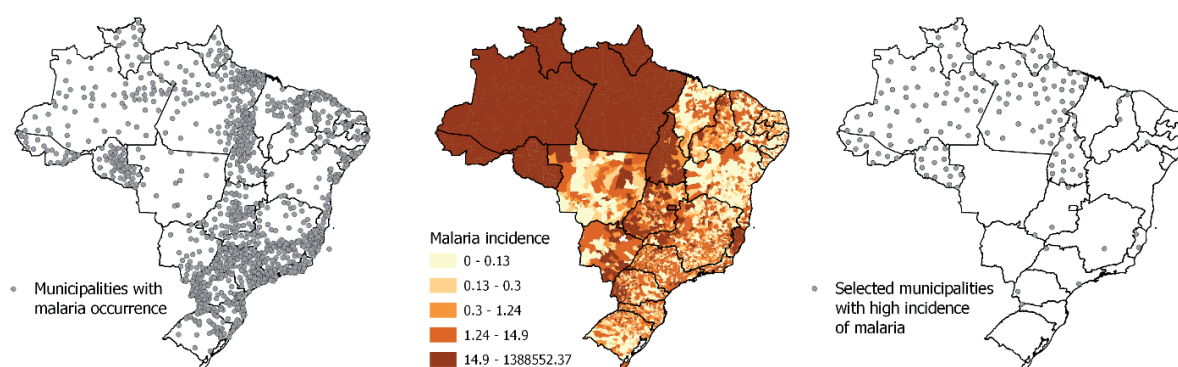
All the climate variables were obtained and spatially standardized for the Brazil extension in the native spatial resolution of the Eta-HADGEM2 ES model (approx. 20km). In order to reduce the collinearity among the variables, those with Pearson's correlation above 0.9 were excluded from the selection. Therefore, the final set of variables used in the models were composed by: thermal amplitude, minimum temperature, maximum temperature, total precipitation, temperature seasonality and precipitation seasonality.

## 2.2 EPIDEMIOLOGIC DATA

Numbers of human cases of visceral leishmaniasis, yellow fever and malaria registered in Brazil in the period 2001-2016 were obtained from Ministry of Health's SINAN (BRASIL, 2020a) and the Epidemiological Surveillance Information System, SIVEP-Malaria (BRASIL, 2020c), by year and municipality of infection/residence.

For the application of climate suitability models, it is necessary that the input data be in the form of occurrence points, with geographical coordinates associated with each record (PETERSON, 2006; PETERSON et al., 2011). To this end, geographical coordinates of the centroids of the municipalities that presented at least 1 human case of each disease in the study period were used. Therefore, it is important to clarify that, in this type of analysis, the presence or absence of transmission is considered, not the incidence of diseases (i.e., number of cases per inhabitants).

However, among the three diseases studied, malaria has a strong spatial bias in its distribution within the country, since currently it occurs almost exclusively in the Amazon region (OLIVEIRA-FERREIRA et al., 2010). For this reason, only municipalities with high malaria incidence were selected for analysis (Figure 2). Municipal incidence was calculated by the empirical Bayesian estimation, which considers data-inherent spatial autocorrelation (CARVALHO; SOUZA-SANTOS, 2005). Then, only municipalities with incidence above the 90th percentile were selected and, among these, a subset of the centroids located at a minimum distance of 100 km (NAIMI et al., 2014) (Figure 2).



**Figure 2** | Municipalities with occurrence of malaria in the baseline period (left), estimated incidence of malaria by municipality (center) and municipalities selected for models after consideration of incidence and geographical distance (right).

Source: Prepared by the authors.

## 2.3 CLIMATE SUITABILITY MODELS

For the construction of predictive models in global warming scenarios, the *MaxEnt* machine learning algorithm, based on the Maximum Entropy Model, was used (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006). The model was originally proposed to predict species distributions based on environmental covariables for each cell in a grid (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006). In this study, the climate variables were extracted for each point of presence of diseases (visceral leishmaniasis and yellow fever) or high incidence (malaria), and then compared with the distribution of the same variables extracted in 10,000 background points randomly distributed by the extension of the area of study. These represent the available environmental conditions for the occurrence of diseases and are essential definitions for the Maximum Entropy modeling process (ELITH et al., 2011; PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006).

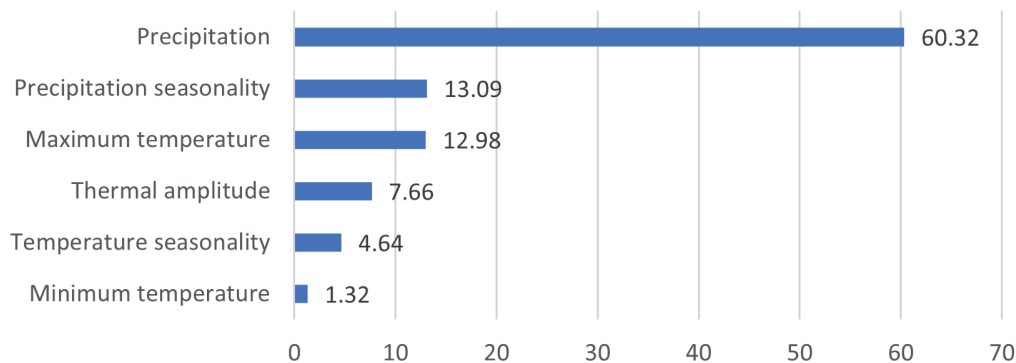
The models were run using the *dismo* library (HIJMANS; PHILLIPS; ELITH, 2017) of software R (R CORE TEAM, 2017). All models were calibrated from 75% of the occurrence points reported during the study period. The remaining 25% were used to assess errors of omission in the models (percentage of non-predictable presence). The relative contribution of each variable were determined by the Jackknife test (ELITH et al., 2011). The models were assessed through the AUC index (area below the ROC curve, ALLOUCHE; TSOAR; KADMON, 2006), where values next to 1 indicate good models, 0.5 indicates models with random projections and below that, worse than a random model (ALLOUCHE; TSOAR; KADMON, 2006). After calibration and validation, models were then reprojected in warming scenarios of 1.5°C, 2°C and 4°C.

## 3 RESULTS

Resulting maps represent climate suitability areas for disease occurrence. Colors were used to show the expected probability that climate conditions are suitable for the occurrence of diseases, with red indicating a high probability of suitable conditions for the occurrence of cases, yellow indicating conditions typical of those where the cases are found, and more greenish tones indicating low expected probability of adequate conditions. Difference maps among scenarios were also produced, from the spatial overlap between the future scenario and the baseline period. In those maps, colder colors represent areas that lose climate suitability in the future, and the warmer colors represent areas that gain climate suitability in the future.

### 3.1 VISCERAL LEISHMANIASIS

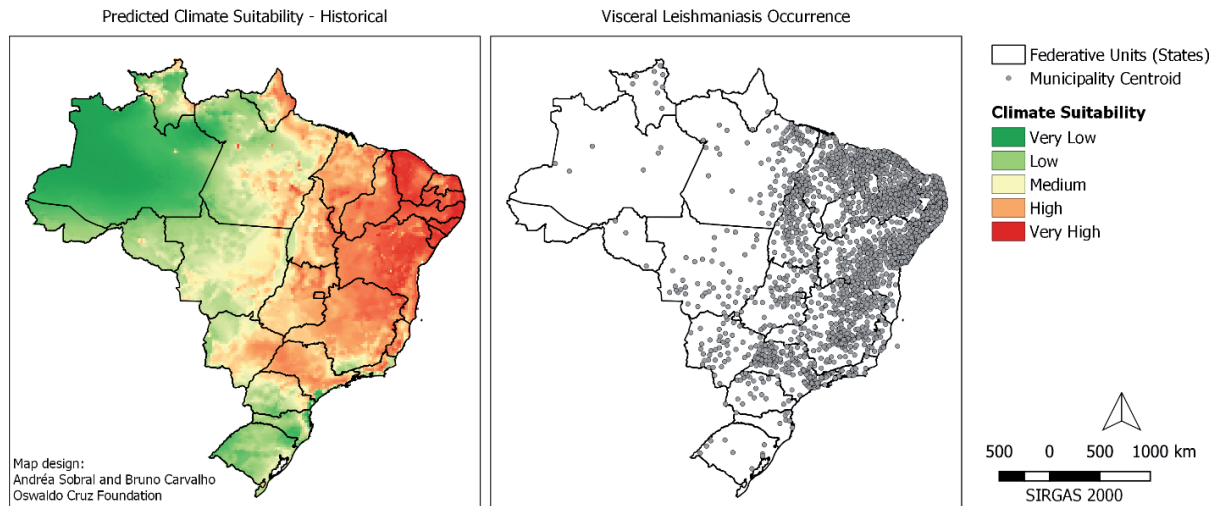
The climate suitability model for visceral leishmaniasis provided a good fit to the data (AUC = 0.816) and low omission rate (16%). Variables that contributed the most to this model were precipitation (60.3%) and precipitation seasonality (13.1%) (Figure 3).



**Figure 3 |** Relative contribution of the climate variables for the gain of the climate suitability model for visceral leishmaniasis.

Source: Prepared by the authors.

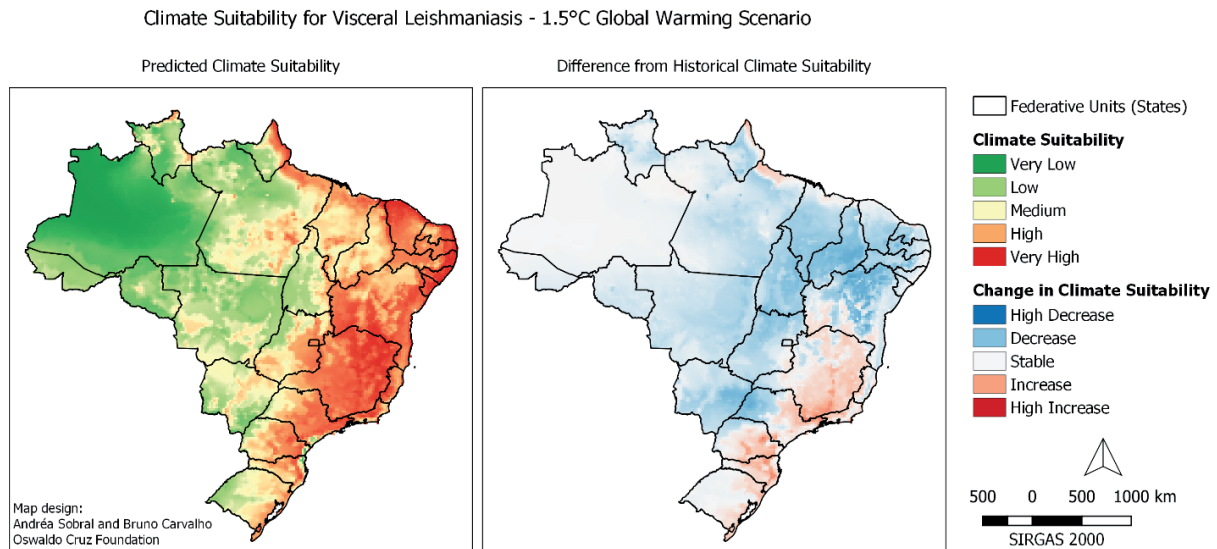
Areas of high climate suitability for visceral leishmaniasis, according to the model, well represent the known distribution of the disease, which occurs mainly in the Northeastern, Center-West and Southeastern regions (Figure 4). This suitable area will be reduced according to warming scenarios, at different intensities depending on the scenario, with suitability loss in the Northern, Northeastern and Center-West regions, and some areas of increased suitability in the Southeastern and Southern regions, in addition to a strip on the northern coast of the states of Pará, Amapá and Maranhão (Figures 5-7).



**Figure 4 |** Predicted climate suitability for visceral leishmaniasis and occurrence in Brazil. Left: historical baseline scenario Right: municipalities with disease occurrence.

Source: Prepared by the authors.

In the global warming scenario of 1.5°C, the semi-arid region in the Northeast has presented decreased climate suitability for visceral leishmaniasis, while the Southeastern and Southern regions have increased climate suitability for the disease (Figure 5).

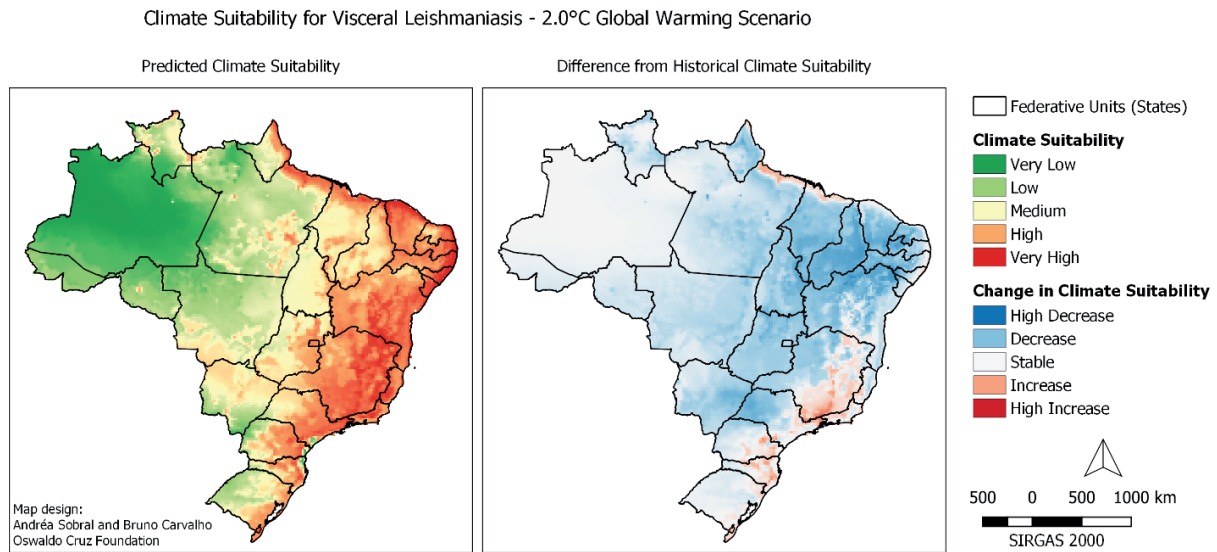


**Figure 5 |** Predicted climate suitability for visceral leishmaniasis in Brazil under the 1.5°C global warming scenario. Left: 1.5°C scenario. Right: difference when compared to the historical baseline scenario.

Source: prepared by the authors.

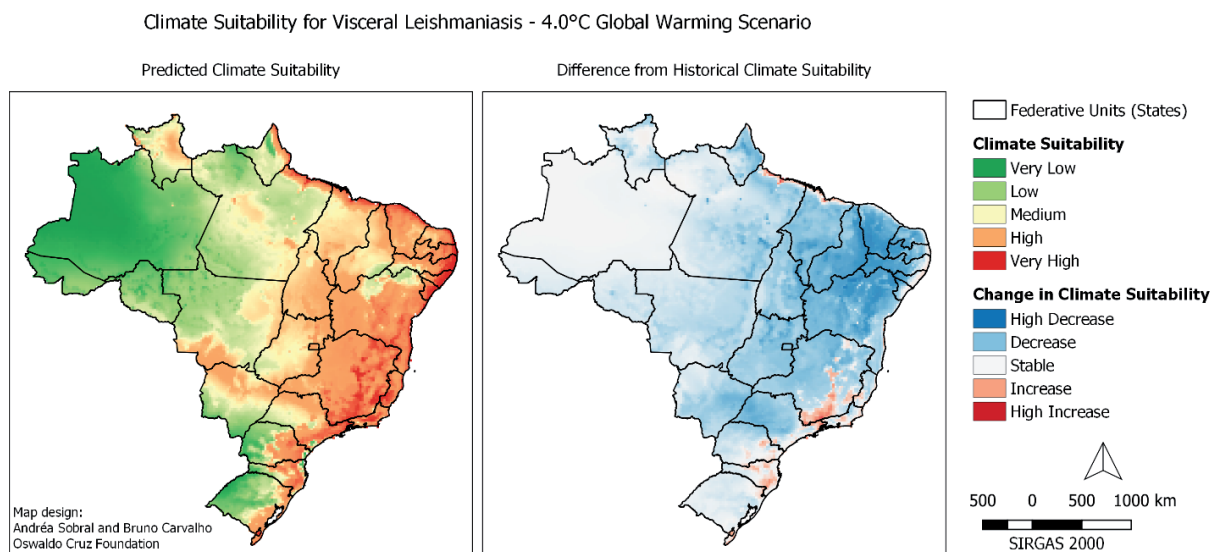
There is a downward trend of climate suitability for warming scenarios of 2°C and 4°C. Especially in the warming scenario of 4°C, decreased favorable climate conditions for the occurrence of the disease were observed in the Northeastern and Center-West regions, with an expansion of favorable climate

condition areas in the Southeastern and Southern regions and a strip on the northern coast of the states of Pará, Amapá and Maranhão (Figures 6 and 7).



**Figure 6 |** Predicted climate suitability for visceral leishmaniasis in Brazil under the 2.0°C global warming scenario. Left: 2.0°C scenario. Right: difference when compared to the historical baseline scenario.

Source: Prepared by the authors.

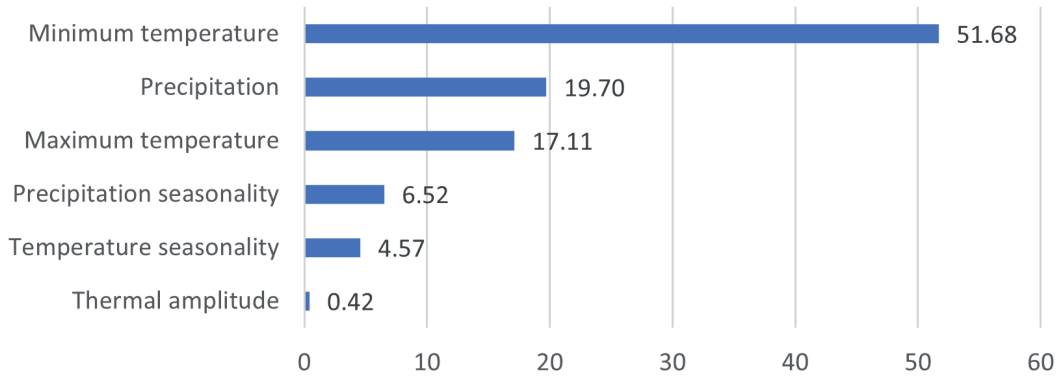


**Figure 7 |** Predicted climate suitability for visceral leishmaniasis in Brazil under the 4.0°C global warming scenario. Left: 4.0°C scenario. Right: difference when compared to the historical baseline scenario.

Source: Prepared by the authors.

### 3.2 YELLOW FEVER

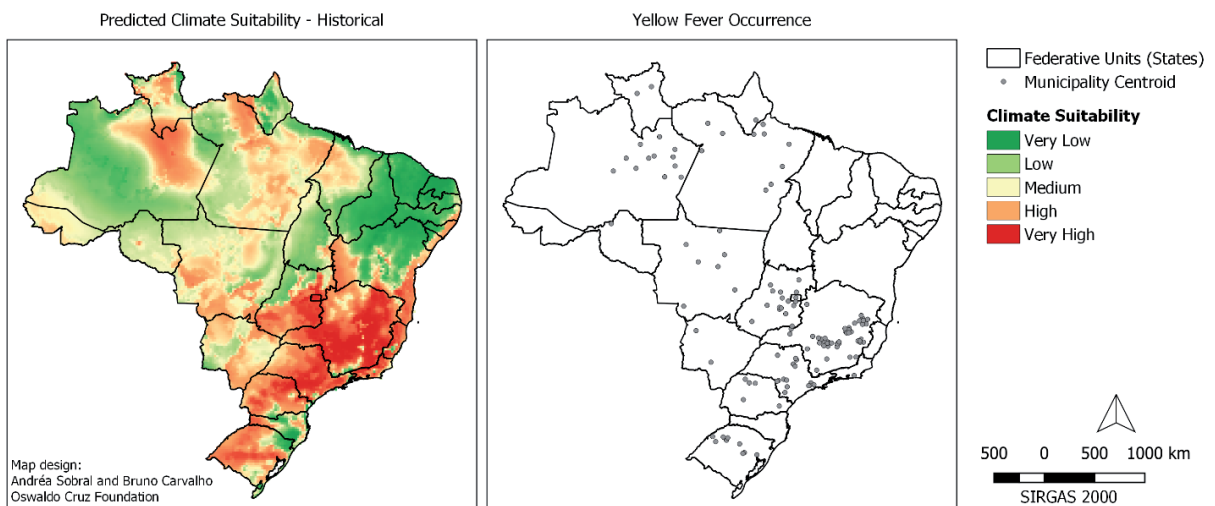
The climate suitability model for yellow fever also provided a good fit to the data (AUC = 0.865) and low omission rate (19%). Variables that contributed the most to this model were minimum temperature (51.7%) and precipitation (19.7%) (Figure 8).



**Figure 8 |** Relative contribution of the climate variables for the gain of the climate suitability model for yellow fever.

*Source: Prepared by the authors.*

Areas of high climate suitability for yellow fever, according to the model, are distributed mainly in the Southeastern, Southern, Center-West and Northern regions (Figure 9). This suitable area will be significantly increased in warming scenarios, mainly in the Northern and Center-West regions (Figures 10-12).

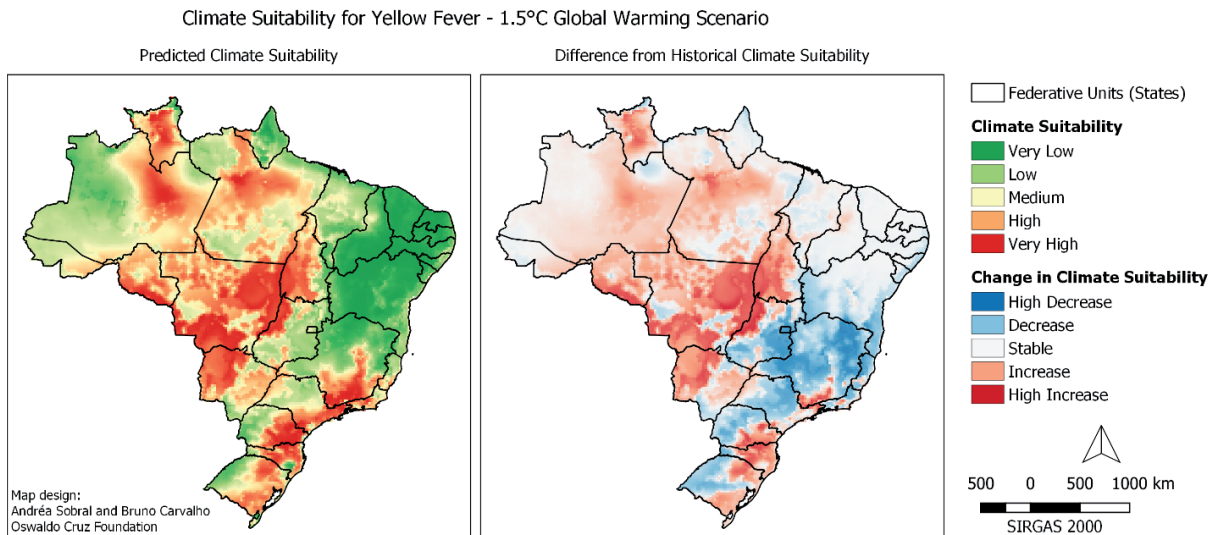


**Figure 9 |** Predicted climate suitability for yellow fever and occurrence in Brazil. Left: historical baseline scenario Right: municipalities with disease occurrence.

*Source: Prepared by the authors.*

In the global warming scenario of 1.5°C, a decrease in the ideal climate conditions for Yellow Fever is observed in the Southeastern region, and an increase in these conditions is observed in the Center-West and Northern regions, mainly in the central regions of the states of Amazonas and Pará (Figure 10).

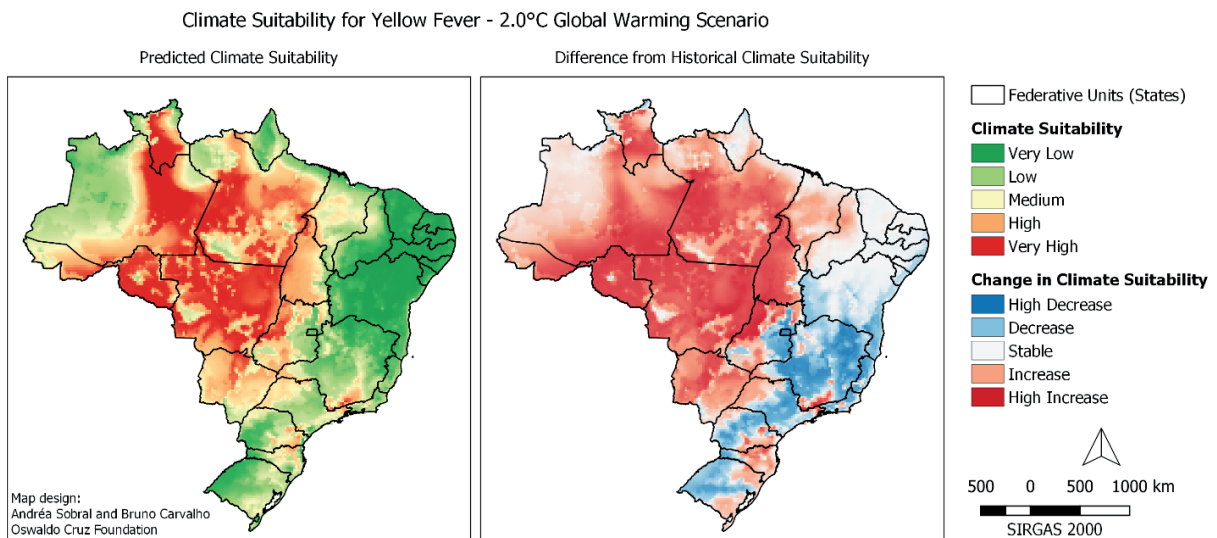




**Figure 10 |** Predicted climate suitability for yellow fever in Brazil under the 1.5°C global warming scenario. Left: 1.5°C scenario. Right: difference when compared to the historical baseline scenario.

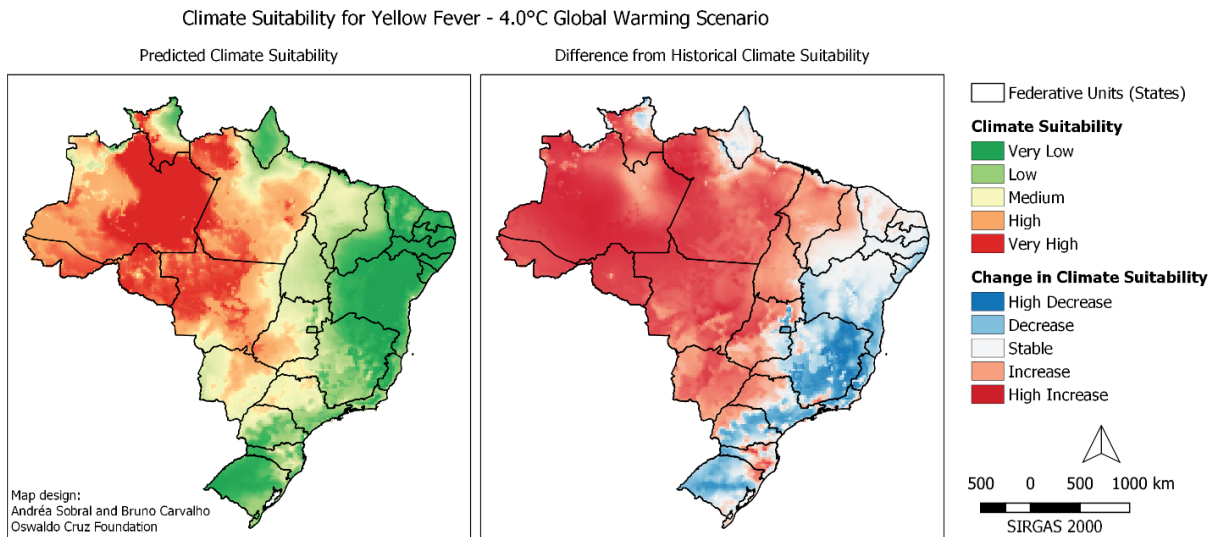
*Source: Prepared by the authors.*

In the warming scenarios of 2°C and 4°C, a change in the pattern of climate suitability general distribution for Yellow Fever is observed, which weakens in the Southeastern and Southern regions and now occupies the Amazon, including municipalities in the region of the so-called soybean arc, in the Center-West region (Figures 11 and 12).



**Figure 11 |** Predicted climate suitability for yellow fever in Brazil under the 2.0°C global warming scenario. Left: 2.0°C scenario. Right: difference when compared to the historical baseline scenario.

*Source: Prepared by the authors.*

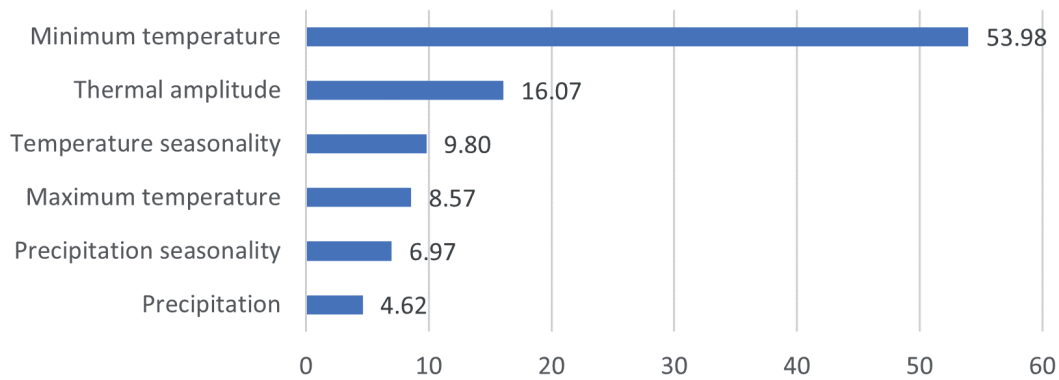


**Figure 12 |** Predicted climate suitability for yellow fever in Brazil under the 4.0°C global warming scenario. Left: 4.0°C scenario. Right: difference when compared to the historical baseline scenario.

Source: Prepared by the authors.

### 3.3 MALARIA

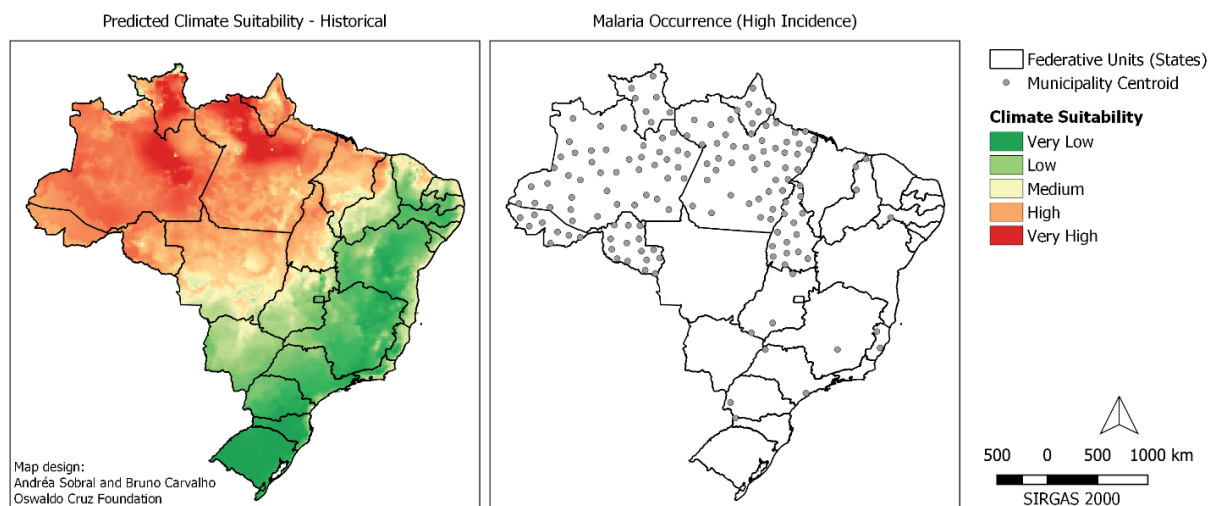
The climate suitability model for malaria provided a good fit to the data (AUC = 0.704) however lower than the visceral leishmaniasis and yellow fever models, with a very low omission rate (7.89%). The minimum temperature variable contributed with over 50% for the model’s response (Figure 13).



**Figure 13 |** Relative contribution of the climate variables for the gain of the climate suitability model for malaria.

Source: Prepared by the authors.

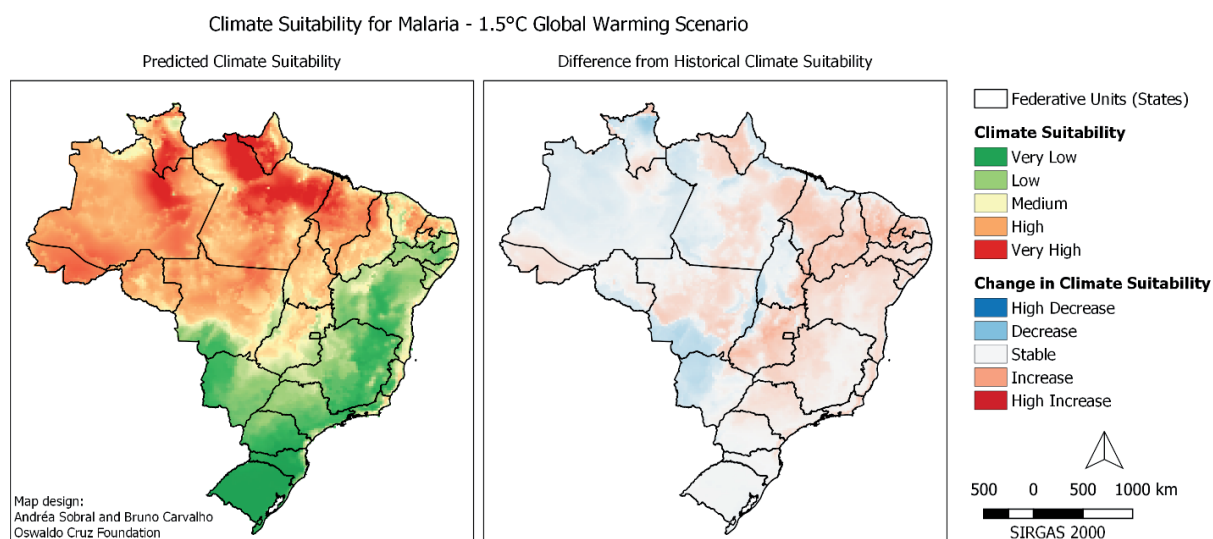
The model resulted in areas with high climate suitability for malaria mainly in the Northern region, in line with the incidence distribution presented previously (Figure 14).



**Figure 14** | Predicted climate suitability for malaria and high incidence municipalities in Brazil. Left: historical baseline scenario Right: municipalities selected for the analysis.

Source: Prepared by the authors.

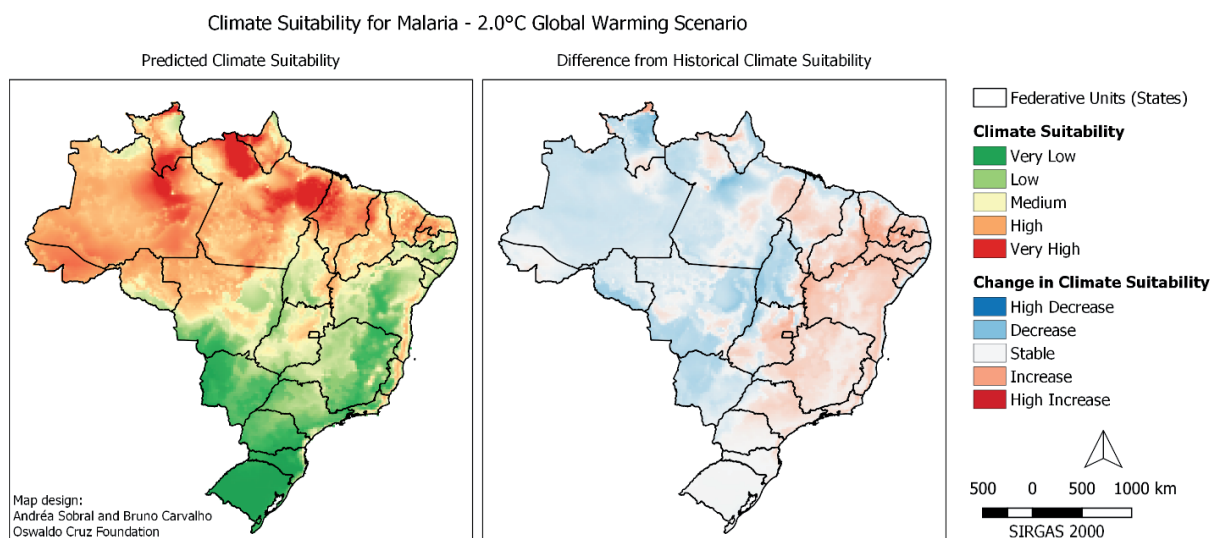
Despite little difference in the regional distribution of malaria in the 1,5°C scenario, an increase is observed in climate suitability in the central-eastern region of the Amazon (Figure 15).



**Figure 15** | Predicted climate suitability for malaria in Brazil under the 1.5°C global warming scenario. Left: 1.5°C scenario. Right: difference when compared to the historical baseline scenario.

Source: Prepared by the authors.

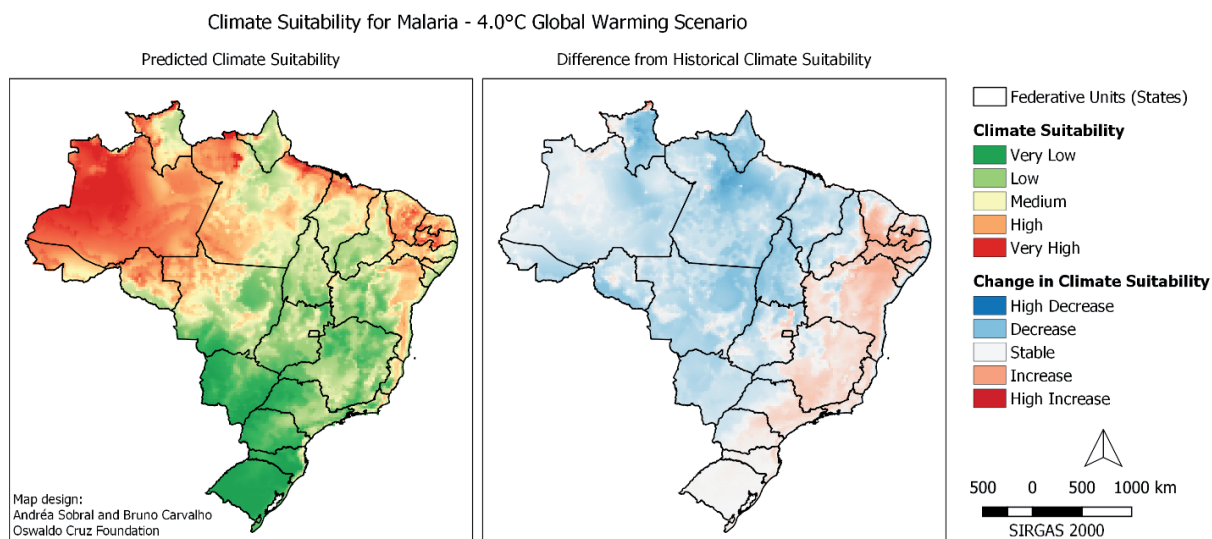
The warming scenario of 2°C reinforces increased favorable climate conditions in locations in northern Pará (Figure 16), while the 4°C scenario points to a concentration of greater climate suitability in western Amazon, the coast of the states of Pará and Maranhão, and part of the Northeastern region (Figure 17).



**Figure 16 |** Predicted climate suitability for malaria in Brazil under the 2.0°C global warming scenario. Left: 2.0°C scenario. Right: difference when compared to the historical baseline scenario.

*Source: Prepared by the authors.*

For the warming scenarios of 2°C (Figure 16) and 4°C (Figure 17) there is a gradual expansion of climate conditions that favor the occurrence of malaria to the Northeastern region, including the entire coast of the state of Bahia and, at 4°C, they go as far as the north of the state of Minas Gerais (Figure 17).



**Figure 17 |** Predicted climate suitability for malaria in Brazil under the 4.0°C global warming scenario. Left: 4.0°C scenario. Right: difference when compared to the historical baseline scenario.

*Source: Prepared by the authors.*

It is also important to emphasize the slight increase in climate suitability for malaria in the Northeastern, Southeastern and part of the Center-West (states of Goiás and Mato Grosso) regions in different scenarios, with a decrease in climate suitability in the state of Tocantins (Figures 15 to 17).

## 4 DISCUSSION

Brazil is a country with great social and cultural, ecological and climate complexity. Establishing climate thresholds for Brazil and its various regions, from which drastic and/or irreversible changes may arise in



the occurrence of some diseases, especially vector-borne diseases, is a challenge for Brazilian science (BARCELLOS et al., 2009). For some vector species occurring in Brazil, these temperature thresholds have been determined in lab experiments (LAMBRECHTS et al., 2011; RIVAS et al., 2014). From the spatial point of view, few studies have assessed these species' geographic distribution in relation to climate variables, i.e., for species of mosquito vectors of malaria (LAPORTA et al., 2011, 2015), triatomine vectors of Chagas disease (GURGEL-GONÇALVES et al., 2012) and phlebotomine sand fly vectors of leishmaniasis (CARVALHO et al., 2015; DA COSTA; CORDEIRO; RANGEL, 2018).

However, most previously published studies do not include the use of scenarios produced by climate models to predict areas of potential distribution of vector-borne diseases in Brazil, as presented herein. Among the few existing ones, scenarios in the global extent of the distribution of malaria (CAMINADE et al., 2014) and dengue fever (MESSINA et al., 2019) may be indicated, in addition to a study on leishmaniasis in the Americas (MOO-LLANES, 2016).

In the present study, climate suitability maps were produced for three important vector-borne diseases in Brazil, in different scenarios of rising global temperature. The three diseases studied herein are largely influenced by climate and these scenarios describe possible climate condition paths for their occurrence in the future. Therefore, the outcomes presented herein identify areas in the country showing greater or lesser vulnerability to the occurrence of those diseases from the climate point of view only. Those places where climate will become more favorable to the occurrence of those diseases should be the target of Health Surveillance activities, as the density of existing vectors may increase, new populations of vectors may be dispersed to those areas, and pathogens may find a more favorable environment for their survival and consequent transmission.

However, climate change impacts on health will depend on the general health status of exposed populations, which, in turn, depend on future conditions of social health determinants (IPCC, 2014), and other important factors, such as universal health coverage, socio-environmental governance, public policies and the course of the country's development model (HACON et al., 2018) including the environmental impact assessment (EIA).

There are structural socio-environmental vulnerabilities for all analyzed diseases that were not included in the models, which considerably increase the risk of vector diseases occurrence, and exposure modifying factors (BARCELLOS et al., 2009), i.e., deforestation, fires, agribusiness, mining, timber extraction or artisanal gold mining activities in the Brazilian Amazon, which directly impact the Amazon biome and its ecosystem services (LAPOLA et al., 2014, 2018; LOVEJOY; NOBRE, 2018), also resulting in impacts on human health and quality of life of affected populations, which are characterized as the most vulnerable and the poorest in the country (BARROS; GONÇALVES; HACON, 2014; MENDES et al., 2016; RUFINO et al., 2016).

Visceral leishmaniasis has two transmission patterns (BRASIL, 2014). The first is related to rural areas, the outskirts of large cities and areas with high concentration of socioeconomically vulnerable populations. The second is more recent, and reflects the disease's urbanization process, occurring in medium and large cities, mainly in the Southeastern and Center-West regions of the country (RANGEL et al., 2018; SALOMÓN et al., 2015). In the global warming scenario of 1.5°C, the semi-arid region in the Northeast has presented decreased climate suitability for visceral leishmaniasis, while the Southeastern and Southern regions have increased climate suitability for the disease (Figure 5). These regions are currently occupied by the *Lutzomyia longipalpis* vector, and in a study about its distribution in the Americas in climate change scenarios, areas of probable expansion were identified, mainly in the states of Minas Gerais and Rio de Janeiro (PETERSON et al., 2017).

The combination, in those regions, of favorable climate for transmission (as shown in the outcomes described herein), local populations of the vector that are highly adapted to the peridomestic environment (RANGEL et al., 2018) and poor housing conditions on the outskirts of cities and rural



areas (SALOMÓN et al., 2015) may result in an increased risk of transmission of visceral leishmaniasis, if climate mitigation measures are not adopted in the country and we move to the scenario of greater global warming.

In relation to yellow fever, it is important to highlight its recent reemergence, with the spread of the virus to areas with no record of circulation of the disease for decades (BRASIL, 2020b; POSSAS et al., 2018). The significant increase in epidemics in 2017/2018 preceded local outbreaks of virus transmission and led to reinforcements in local vaccination campaigns outside the area traditionally considered endemic (FERNANDES et al., 2017; POSSAS et al., 2018).

The results presented herein, considering the 1,5°C warming scenario (which is the closest to our current reality), corroborate the occurrence of these recent outbreaks in the Southeastern and Southern regions. In other scenarios, where global warming reaches higher temperatures, increased climate suitability in the Amazon is a concern, as it is known to be an endemic region for the transmission of sylvatic yellow fever, with the numbers of cases declining in the past few decades after extensive vaccination, but rising again in 2017 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019). There, traditional peoples and communities are at risk, and in addition to socioeconomic vulnerabilities, they are in greater contact with wild vector populations, who can benefit from more favorable climate conditions and thus aggravate the transmission of the disease in the region.

For malaria, the interpretation of the results is slightly different from the previous ones, as they represent favorable climate conditions to the high incidence of the disease. This means that, although malaria in Brazil occurs almost exclusively in the Amazon region (OLIVEIRA-FERREIRA et al., 2010), in areas of the country where sporadic cases of extra-Amazonian malaria already occur (mainly in the Atlantic Forest), their incidence may be increased due to better climate conditions for transmission. These outcomes corroborate recent studies showing that mosquitoes in the *Kerteszia* group in the Atlantic Forest present increased survival rates in higher temperatures, in addition to reducing the extrinsic incubation period of *Plasmodium falciparum* and *P. vivax*, increasing local transmission (DE AZEVEDO et al., 2020).

## 5 FINAL CONSIDERATIONS

This study made it possible to produce relevant information to show spatial distribution trends of vector-borne diseases in climate conditions within the RCP8.5 scenario, i.e., maintaining the current rate of GHG emissions (VAN VUUREN et al., 2011). It is important to emphasize that projections of scenarios and climate situations that the planet may reach are the result of the current world's development options. Therefore, in the coming years or decades, the world may follow different directions in terms of development options and, consequently, GHG emissions scenarios. In the face of a range of possible futures for the health sector, these scenarios have been used not to predict the future, but rather to better understand uncertainties associated with future climate change (MOSS et al., 2010). Given that the occurrence of infectious diseases is a complex and multi-factorial process, the results presented herein indicate only one of the possible consequences, within the Brazilian territory, of not adopting measures to mitigate climate change.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Authors thank the support received from CNPq/FINEP, Health and Climate sub-network (CNPq: No. 550022/2014-7; FINEP: Nº 01.13.0353.00; CNPq processes No. 312932/2017-20, 381160/2018-1, 381446/2019-0) and the Public Health and Environment Program of the Sergio Arouca National School of Public Health/FIOCRUZ. This article was written in the context of the postdoctoral fellowship by Bruno Moreira de Carvalho at the Interdisciplinary Laboratory for Entomological Surveillance in

Diptera and Hemiptera/FIOCRUZ (CAPES Program of National Institutes of Science and Technology INCT 88887.136402/2017-00).

## REFERENCES

ALKISHE, A. et al. Recognizing sources of uncertainty in disease vector ecological niche models: an example with the tick *Rhipicephalus sanguineus sensu lato*. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 18, n. 2, p. 91–102, 1 abr. 2020.

ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 6, p. 1223–1232, 2006.

ALMEIDA, M. A. B. DE. et al. Predicting Yellow Fever Through Species Distribution Modeling of Virus, Vector, and Monkeys. **EcoHealth**, v. 16, n. 1, p. 95–108, 1 mar. 2019.

ALTO, B. W.; JULIANO, S. A. Precipitation and Temperature Effects on Populations of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae): implications for range expansion. **Journal of Medical Entomology**, v. 38, n. 5, p. 646–656, 1 set. 2001.

ALVAR, J. et al. Leishmaniasis Worldwide and Global Estimates of Its Incidence. **PLOS ONE**, v. 7, n. 5, p. e35671, 31 maio 2012.

ARBOLEDA, S.; JARAMILLO-O., N.; PETERSON, A. T. Mapping Environmental Dimensions of Dengue Fever Transmission Risk in the Aburrá Valley, Colombia. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 6, n. 12, p. 3040–3055, dez. 2009.

ARTUN, O. Ecological niche modeling for the prediction of cutaneous leishmaniasis epidemiology in current and projected future in Adana, Turkey. **Journal of Vector Borne Diseases**, v. 56, n. 2, p. 127, 4 jan. 2019.

AZEVEDO, T. S. DE. et al. *Kerteszia cruzii* and extra-Amazonian malaria in Brazil: Challenges due to climate change in the Atlantic Forest. **Infection, Genetics and Evolution**, v. 85, p. 104456, 1 nov. 2020.

BABAIE, J. et al. A systematic evidence review of the effect of climate change on malaria in Iran. **Journal of Parasitic Diseases**, v. 42, n. 3, p. 331–340, 1 set. 2018.

BARCELLOS, C. et al. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 18, n. 3, p. 285–304, set. 2009.

BARROS, M. M. A.; GONÇALVES, K. DOS S.; HACON, S. DE S. Reinternações hospitalares por doenças respiratórias em menores de 12 anos e as queimadas em Porto Velho – RO, na Amazônia Ocidental. **InterfaceHS – Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 8, n. 3, 2014.

BENEDICT, M. Q. et al. Spread of the Tiger: global risk of invasion by the mosquito *Aedes albopictus*. **Vector-Borne and Zoonotic Diseases**, v. 7, n. 1, p. 76–85, 1 mar. 2007.

BENNETT, H. et al. Health and equity impacts of climate change in Aotearoa – New Zealand, and health gains from climate action. **New Zealand Medical Journal**, v. 127, n. 1406, p. 16, 2014.

BESERRA, E. B. et al. Efeitos da temperatura no ciclo de vida, exigências térmicas e estimativas do número de gerações anuais de *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae). **Iheringia. Série Zoologia**, v. 99, n. 2, p. 142–148, jun. 2009.

BRASIL. **Manual de Vigilância e Controle da Leishmaniose Visceral**. Brasília, DF: Editora MS, 2014.

BRASIL. **Sistema de Informação de Agravos de Notificação – Sinan. Epidemiológicas e Morbidade – Datasus**. Disponível em: <<http://datasus1.saude.gov.br/informacoes-de-saude/tabnet/epidemiologicas-e-morbidade>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

BRASIL. **Boletim epidemiológico da Febre Amarela no Brasil 2019/2020**. Rede Internacional de Educação de Técnicos em Saúde – Rets. Disponível em: <<http://www.rets.epsjv.fiocruz.br/biblioteca/boletim-epidemiologico-da-febre-amarela-no-brasil-20192020>>. Acesso em: 6 set. 2020.

BRASIL. **Malária, Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica – Sivep**. Disponível em: <[http://portalweb04.saude.gov.br/sivep\\_malaria/](http://portalweb04.saude.gov.br/sivep_malaria/)>. Acesso em: 10 jan. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Vigilância em saúde no Brasil 2003|2019: da criação da Secretaria de Vigilância em Saúde aos dias atuais. **Boletim Epidemiológico**. Disponível em: <<http://www.saude.gov.br/boletins-epidemiologicos>>. Acesso em: 10 nov. 2020.

CAMINADE, C. et al. Impact of climate change on global malaria distribution. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 9, p. 3286–3291, 4 mar. 2014.

CAMPOS, G. S.; BANDEIRA, A. C.; SARDI, S. I. Zika Virus Outbreak, Bahia, Brazil. **Emerging Infectious Diseases**, v. 21, n. 10, p. 1885–1886, out. 2015.

CARDOSO-LEITE, R. et al. Recent and future environmental suitability to dengue fever in Brazil using species distribution model. **Transactions of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 108, n. 2, p. 99–104, 1 fev. 2014.

CARVALHO, B. M. et al. Ecological Niche Modelling Predicts Southward Expansion of *Lutzomyia* (*Nyssomyia*) *flaviscutellata* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), Vector of *Leishmania* (*Leishmania*) *amazonensis* in South America, under Climate Change. **PLOS ONE**, v. 10, n. 11, p. e0143282, 30 nov. 2015.

CARVALHO, B. M.; RANGEL, E. F.; VALE, M. M. Evaluation of the impacts of climate change on disease vectors through ecological niche modelling. **Bulletin of Entomological Research**, v. 107, n. 4, p. 419–430, ago. 2017.

CARVALHO, M. S.; SOUZA-SANTOS, R. Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas e perspectivas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 21, p. 361–378, abr. 2005.

CASTRO, M. C.; WILSON, M. E.; BLOOM, D. E. Disease and economic burdens of dengue. **The Lancet Infectious Diseases**, v. 17, n. 3, p. e70–e78, 1 mar. 2017.

CELLA, W. et al. Do climate changes alter the distribution and transmission of malaria? Evidence assessment and recommendations for future studies. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 52, p. e20190308, 2019.

CHOU, S. C. et al. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, v. 03, n. 05, p. 438, 25 dez. 2014.

COSTA, S. M. DA; CORDEIRO, J. L. P.; RANGEL, E. F. Environmental suitability for *Lutzomyia* (*Nyssomyia*) *whitmani* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) and the occurrence of American cutaneous leishmaniasis in Brazil. **Parasites & Vectors**, v. 11, n. 1, p. 155, 7 mar. 2018.

ELITH, J. et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and Distributions**, v. 17, n. 1, p. 43–57, 2011.

FERNANDES, N. C. C. DE A. et al. Outbreak of Yellow Fever among Nonhuman Primates, Espírito Santo, Brazil, 2017. **Emerging Infectious Diseases**, v. 23, n. 12, p. 2038–2041, dez. 2017.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 2017.

FOURNET, F. et al. Effective surveillance systems for vector-borne diseases in urban settings and translation of the data into action: a scoping review. **Infectious Diseases of Poverty**, v. 7, n. 1, p. 99, 3 set. 2018.

GASPARRINI, A. et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. **The Lancet**, v. 386, n. 9991, p. 369–375, 25 jul. 2015.

GRACIE, R. et al. Geographical Scale Effects on the Analysis of Leptospirosis Determinants. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 11, n. 10, p. 10366–10383, out. 2014.

GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological Modelling**, v. 135, n. 2, p. 147–186, 5 dez. 2000.

- GURGEL-GONÇALVES, R. et al. **Geographic Distribution of Chagas Disease Vectors in Brazil Based on Ecological Niche Modeling**. Research Article. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/jtm/2012/705326/>>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- HACON, S. DE S. et al. Challenges and Prospects for Integrating the Assessment of Health Impacts in the Licensing Process of Large Capital Project in Brazil. **International Journal of Health Policy and Management**, v. 7, n. 10, p. 885–888, 30 jun. 2018.
- HIJMANS, R. J. et al. **Dismo Species Distribution Modeling**. [s.l.: s.n.]. 2015.
- HLAVACOVA, J.; VOTYPKA, J.; VOLF, P. The Effect of Temperature on Leishmania (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) Development in Sand Flies. **Journal of Medical Entomology**, v. 50, n. 5, p. 955–958, 1 set. 2013.
- HORTA, M. A. et al. Temporal relationship between environmental factors and the occurrence of dengue fever. **International Journal of Environmental Health Research**, v. 24, n. 5, p. 471–481, 3 set. 2014.
- IPCC (ED.). **Climate change 2014: mitigation of climate change**. Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, NY: Cambridge University Press, 2014.
- IPCC. **Summary for Policymakers: Global Warming of 1.5°C**. Geneva: IPCC, 2018.
- KINGSLEY, S. L. et al. Current and Projected Heat-Related Morbidity and Mortality in Rhode Island. **Environmental Health Perspectives**, v. 124, n. 4, p. 460–467, 1 abr. 2016.
- KOVATS, R. S. et al. Early effects of climate change: do they include changes in vector-borne disease? **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 356, n. 1.411, p. 1057–1068, 29 jul. 2001.
- LAMBRECHTS, L. et al. Impact of daily temperature fluctuations on dengue virus transmission by *Aedes aegypti*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 18, p. 7460–7465, 3 maio 2011.
- LAPOLA, D. M. et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 1, p. 27–35, jan. 2014.
- LAPOLA, D. M. et al. Limiting the high impacts of Amazon forest dieback with no-regrets science and policy action. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 46, p. 11671–11679, 13 nov. 2018.
- LAPORTA, G. Z. et al. Habitat suitability of *Anopheles* vector species and association with human malaria in the Atlantic Forest in south-eastern Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 106, p. 239–245, ago. 2011.
- LAPORTA, G. Z. et al. Malaria vectors in South America: current and future scenarios. **Parasites & Vectors**, v. 8, n. 1, p. 426, 19 ago. 2015.
- LIPPI, C. A. et al. Geographic shifts in *Aedes aegypti* habitat suitability in Ecuador using larval surveillance data and ecological niche modeling: implications of climate change for public health vector control. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v. 13, n. 4, p. e0007322, 17 abr. 2019.
- LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon Tipping Point. **Science Advances**, v. 4, n. 2, p. eaat2340, 1 fev. 2018.
- MARICATO, E. Informalidade Urbana no Brasil: a lógica da cidade fraturada. In: WANDERLEY, L. E.; RAICHELIS, R. (Ed.). **A cidade de São Paulo, relações internacionais e gestão pública**. São Paulo: Educ, 2009. p. 296.
- MATSUEDA, M. Predictability of Euro-Russian blocking in summer of 2010. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 6, 2011.
- MENDES, C. S. et al. Impacto das mudanças climáticas sobre a leishmaniose no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n. 1, p. 263–272, jan. 2016.
- MESSINA, J. P. et al. The current and future global distribution and population at risk of dengue. **Nature Microbiology**, v. 4, n. 9, p. 1508–1515, set. 2019.

- MILLS, J. N.; GAGE, K. L.; KHAN, A. S. Potential Influence of Climate Change on Vector-Borne and Zoonotic Diseases: a review and proposed research plan. **Environmental Health Perspectives**, v. 118, n. 11, p. 1507–1514, 1 nov. 2010.
- MOO-LLANES, D. A. Nicho ecológico actual y futuro de la Leishmaniasis (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) en la región Neotropical. **Revista de Biología Tropical**, v. 64, n. 3, 1 jul. 2016.
- MOSS, R. H. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 7.282, p. 747–756, fev. 2010.
- NAIMI, B. et al. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? **Ecography**, v. 37, n. 2, p. 191–203, 2014.
- NIETO, P.; MALONE, J. B.; BAVIA, M. E. Ecological niche modeling for visceral leishmaniasis in the state of Bahia, Brazil, using genetic algorithm for rule-set prediction and growing degree day-water budget analysis. **Geospatial health**, v. 1, n. 1, p. 115–126, nov. 2006.
- OLIVEIRA-FERREIRA, J. et al. Malaria in Brazil: an overview. **Malaria Journal**, v. 9, n. 1, p. 115, 30 abr. 2010.
- PARHAM, P. E.; MICHAEL, E. Modeling the Effects of Weather and Climate Change on Malaria Transmission. **Environmental Health Perspectives**, v. 118, n. 5, p. 620–626, 1 maio 2010.
- PETERSON, A. Ecologic Niche Modeling and Spatial Patterns of Disease Transmission. **Emerging Infectious Diseases**, v. 12, n. 12, p. 1822–1826, 2006.
- PETERSON, A. T. et al. **Ecological Niches and Geographic Distributions**. Princeton, N.J.: [s.n.].
- PETERSON, A. T. et al. Influences of climate change on the potential distribution of *Lutzomyia longipalpis* sensu lato (Psychodidae: Phlebotominae). **International Journal for Parasitology**, v. 47, n. 10, p. 667–674, 1 set. 2017.
- PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J. Species Distribution Modeling and Ecological Niche Modeling: getting the concepts right. **Natureza & Conservação**, v. 10, n. 2, p. 102–107, 2012.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, n. 3, p. 231–259, 25 jan. 2006.
- POSSAS, C. et al. Yellow fever outbreak in Brazil: the puzzle of rapid viral spread and challenges for immunisation. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 113, n. 10, 3 set. 2018.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 7 jun. 2008.
- RANDIN, C. F. et al. Monitoring biodiversity in the Anthropocene using remote sensing in species distribution models. **Remote Sensing of Environment**, v. 239, p. 111626, mar. 2020.
- RANGEL, E. F. et al. Eco-Epidemiology of American Visceral Leishmaniasis with Particular Reference to Brazil. In: RANGEL, E. F.; SHAW, J. J. (Ed.). **Brazilian Sand Flies**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 381–416.
- READY, P. D. Leishmaniasis emergence and climate change. **Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)**, v. 27, n. 2, p. 399–412, 1 ago. 2008.
- RIVAS, G. B. et al. Effects of temperature and photoperiod on daily activity rhythms of *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae). **Parasites & Vectors**, v. 7, n. 1, p. 278, 19 jun. 2014.
- ROBINE, J.-M. et al. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. **Comptes Rendus Biologies**. Dossier: nouveautés en cancérogenèse / New developments in carcinogenesis. v. 331, n. 2, p. 171–178, 1 fev. 2008.
- RUFINO, R. et al. Surtos de diarreia na Região Nordeste do Brasil em 2013, segundo a mídia e sistemas de informação de saúde – Vigilância de situações climáticas de risco e emergências em saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, p. 777–788, mar. 2016.



SALOMÓN, O. D. et al. *Lutzomyia longipalpis* urbanisation and control. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 110, n. 7, p. 831–846, nov. 2015.

VALDEZ, L. D.; SIBONA, G. J.; CONDAT, C. A. Impact of rainfall on *Aedes aegypti* populations. **Ecological Modelling**, v. 385, p. 96–105, 10 out. 2018.

VAN VUUREN, D. P. et al. The representative concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, v. 109, n. 1, p. 5, 5 ago. 2011.

VASCONCELOS, P. F. DA C. Yellow fever. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 36, n. 2, p. 275–293, abr. 2003.

VASCONCELOS, V. V.; PINHO, C. M. DE D. Multivariate Geovisualization of Dengue, Zika and Chikungunya cases in Brazil: a didactic experience. **Hygeia – Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 13, n. 25, p. 91–106, 28 set. 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World Malaria Report 2019**. [S.l.]: World Health Organization, 2019.

YÉ, Y. et al. Effect of meteorological factors on clinical malaria risk among children: an assessment using village-based meteorological stations and community-based parasitological survey. **BMC Public Health**, v. 7, n. 1, p. 101, 8 jun. 2007.

ZANLUCA, C. et al. First report of autochthonous transmission of Zika virus in Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 110, n. 4, p. 569–572, jun. 2015.

# Doenças transmitidas por vetores no Brasil: mudanças climáticas e cenários futuros de aquecimento global

*Vector-borne diseases in Brazil: climate change and future  
warming scenarios*

Bruno Moreira de Carvalho<sup>a</sup>

Letícia Palazzi Perez<sup>b</sup>

Beatriz Fátima Alves de Oliveira<sup>c</sup>

Ludmilla da Silva Viana Jacobson<sup>d</sup>

Marco Aurélio Horta<sup>e</sup>

Andréa Sobral<sup>f</sup>

Sandra de Souza Hacon<sup>g</sup>

<sup>a</sup> Bolsista de Pós-Doutorado no Instituto de Saúde Global de Barcelona, Barcelona, Espanha  
End. Eletrônico: brunomc.eco@gmail.com

<sup>b</sup> Professora visitante na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Departamento de Arquitetura e  
Urbanismo da UFPB, João Pessoa, PB, Brasil  
End. Eletrônico: leticia.palazzi@gmail.com

<sup>c</sup> Doutora em Ciências pela Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca (ENSP/Fiocruz), Escritório  
Regional da Fundação Oswaldo Cruz no Piauí, Teresina, PI, Brasil  
End. Eletrônico: beatrizenf@gmail.com

<sup>d</sup> Doutora em Saúde Coletiva pelo Instituto de Medicina Social (IMS/Uerj), Universidade Federal  
Fluminense (UFF), Niterói, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: ludmillaviana@yahoo.com.br

<sup>e</sup> Doutor em Saúde Pública e Meio Ambiente pela Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação  
Oswaldo Cruz (Fiocruz) e pesquisador em saúde pública do Instituto Oswaldo Cruz,  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: marcohorta@yahoo.com

<sup>f</sup> Departamento de Endemias Samuel Pessoa da Escola Nacional de Saúde Pública – ENSP  
Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: asasobral@gmail.com

<sup>g</sup> Doutora em Geociências pela Universidade Federal Fluminense (UFF), Escola Nacional de Saúde  
Pública (ENSP/Fiocruz), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: shacon@ensp.fiocruz.br

Received: 08/09/2020  
Accepted: 17/11/2020

ARTICLE – DOSSIER

*Os dados e os resultados apresentados nesta publicação foram desenvolvidos no âmbito do projeto “Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, por meio dos recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente, aos quais oferecemos nossos agradecimentos.*

## RESUMO

As mudanças climáticas afetam a saúde humana direta ou indiretamente, e seus impactos são complexos, não lineares e dependentes de diversas variáveis. Entre os diversos impactos das mudanças climáticas na saúde estão a alteração na distribuição espacial de doenças transmitidas por vetores. Nesse sentido, o presente estudo apresenta e discute mudanças na distribuição espacial da adequabilidade climática para leishmaniose visceral, febre amarela e malária no Brasil, em diferentes cenários de aquecimento global. Para a construção dos modelos de adequabilidade climática nos cenários de aquecimento, foi utilizado o algoritmo de máxima entropia (*MaxEnt*). Os modelos foram baseados em variáveis climáticas geradas pelo modelo climático regionalizado Eta-HadGEM2 ES, no período *baseline* (1965-2005) e no cenário RCP 8.5, representando os níveis de aquecimento global de 1,5°C (2011-2040), 2,0°C (2041-2070) e 4,0°C (2071-2099). As três doenças estudadas são amplamente influenciadas pelo clima e apresentaram diferentes padrões de distribuição no País. Em cenários de aquecimento global, a leishmaniose visceral apresentou condições climáticas mais favoráveis à sua ocorrência nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, enquanto o clima nas regiões Norte e Centro-Oeste se tornou gradativamente mais adequado para febre amarela. Nos cenários para malária foi observado aumento nas condições climáticas favoráveis à sua alta incidência na Mata Atlântica, onde atualmente ocorrem casos extra-amazônicos. Os cenários aqui apresentados representam diferentes consequências possíveis para o setor de saúde e da adoção ou não de diferentes medidas para mitigar as mudanças climáticas no Brasil, como a redução da emissão de gases de efeito estufa.

**Palavras-chave:** Aquecimento global. Saúde Pública. Leishmaniose Visceral. Febre Amarela. Malária.

## ABSTRACT

*Climate change affects human health either directly or indirectly, and related impacts are complex, non-linear, and depend on several variables. The various climate change impacts on health include a change in the spatial distribution of vector-borne diseases. In this regard, this study presents and discusses changes in the spatial distribution of climate suitability for visceral leishmaniasis, yellow fever and malaria in Brazil, in different global warming scenarios. Maximum entropy (*MaxEnt*) was used to construct climate suitability models in warming scenarios. Models were based in climate variables generated by the Eta-HadGEM2 ES regional model, in the baseline period 1965-2005 and RCP8.5 scenario, representing global warming levels of 1,5°C (2011-2040), 2,0°C (2041-2070) and 4,0°C (2071-2099). The three diseases studied are largely influenced by climate and showed different distribution patterns within the country. In global warming scenarios, visceral leishmaniasis found more favorable climate conditions in the Southeastern and Southern regions of Brazil, while climate in the Northern and Center-West regions gradually became more favorable to yellow fever. In malaria scenarios, an increase in favorable climate conditions to its high incidence was observed in the Atlantic Forest, where currently extra-Amazonian cases occur. The scenarios presented herein represent different possible consequences for the health sector in terms of adopting (or not) different measures to mitigate climate change in Brazil, such as reducing the emission of greenhouse gases.*

**Keywords:** Global warming. Public health. Visceral leishmaniasis. Yellow fever. Malaria.

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas podem produzir impactos na saúde humana direta, indiretamente, ou ainda seus impactos podem ser exacerbados por vulnerabilidade socioambiental (BARCELLOS et al., 2009). Entendem-se por impactos diretos aqueles associados, prioritariamente, à ocorrência de eventos extremos, como ondas de calor, de frio extremo, secas e regimes de chuva mais intensos.

Os impactos indiretos são mediados por desequilíbrios nos ecossistemas, na biodiversidade e ciclos hidrológicos/biogeoquímicos que influenciam os perfis de morbidade e mortalidade (BARCELLOS et al., 2009; IPCC, 2014). Entre os efeitos gerados socialmente em resposta às alterações climáticas estão aqueles relacionados às mudanças econômicas, que podem resultar em impactos ocupacionais, desnutrição, problemas psicossociais e migração forçada (BENNETT et al., 2014), além da capacidade do sistema de saúde e condições socioeconômicas da população (BARCELLOS et al., 2009; HACON et al., 2018). Apesar de didaticamente classificados, os impactos das alterações climáticas na saúde humana são complexos, multifatoriais e não lineares. Portanto, poderão ser potencializados ou minimizados em função das características dos determinantes sociais individuais e coletivos inerentes a uma determinada organização social e de suas inter-relações com o meio físico (HACON et al., 2018).

Entre as doenças impactadas indiretamente, aquelas transmitidas por vetores constituem-se em preocupação no setor de saúde global: a malária é responsável por causar mais de 400 mil mortes anualmente no mundo, das quais dois terços ocorrem em crianças de menos de 5 anos de idade (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2019); casos de dengue vêm aumentando progressivamente nas últimas décadas (CASTRO; WILSON; BLOOM, 2017); a expansão global de mosquitos invasores, facilitada pelo transporte internacional de materiais e produtos, tem sido relacionada ao surgimento de novos focos de transmissão de arbovirose (BENEDICT et al., 2007).

No atual cenário epidemiológico do Brasil, destacam-se a malária, doença de Chagas, leishmanioses, dengue, febre amarela, além do vírus *Oropouche*, *Mayaro*, filarioses (bancroftose e oncocercose), febre do Oeste do Nilo, entre outras. Algumas dessas doenças são amplamente distribuídas no território nacional como a dengue, enquanto outras apresentam características regionais, como o vírus *Oropouche* na Amazônia (BARCELLOS et al., 2009). Somada a esse cenário, a introdução recente da zika e da chikungunya tem agravado ainda mais a situação epidemiológica dessas doenças em todo o território nacional (CAMPOS; BANDEIRA; SARDI, 2015; ZANLUCA et al., 2015), mas com maior expressividade no Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste (VASCONCELOS; PINHO, 2017).

Múltiplos fatores podem influenciar a dinâmica das doenças transmitidas por vetores, como fatores ambientais, sociodemográficos, biológicos (ciclo vital dos vetores) e de saúde (suscetibilidade da população, governança, sistemas de saúde e programas de controle de doenças) (GRACIE et al., 2014). A urbanização desordenada também impacta a dinâmica de transmissão, com ocupações informais e precárias geralmente sem acesso aos serviços básicos de saneamento, como redes de distribuição de água e coleta de esgoto (MARICATO, 2009), além da indisponibilidade de serviços de saneamento ambiental, como galerias de águas pluviais e coleta adequada de resíduos (FOURNET et al., 2018).

Entre os fatores ambientais, as variáveis climáticas são componentes importantes na distribuição temporal e espacial desses vetores de doenças tanto limitando a sua propagação quanto influenciando a dinâmica da transmissão (HORTA et al., 2014). As mudanças climáticas podem causar alterações na distribuição espacial, densidade populacional, sazonalidade, prevalência da infecção, carga parasitária ou até na adaptação de espécies de vetores e hospedeiros a novos ciclos de transmissão (KOVATS et al., 2001; MILLS; GAGE; KHAN, 2010) a change in climate would be expected to cause changes in the geographical range, seasonality (intra-annual variability).

A temperatura constitui-se em um importante fator que pode retardar ou acelerar o desenvolvimento e a sobrevivência dos insetos vetores, assim como o período de incubação extrínseco de alguns patógenos

(ALTO; JULIANO, 2001; BESERRA et al., 2009; HLAVACOVA; VOTYPKA; VOLF, 2013; RIVAS et al., 2014). Os padrões de precipitação exercem efeitos a curto e médio prazos na dinâmica populacional dos vetores, à medida que regulam a disponibilidade de criadouros (ALTO; JULIANO, 2001; VALDEZ; SIBONA; CONDAT, 2018). Portanto, conhecer as condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento dos vetores permite prever ciclos de gerações anuais e épocas de maior ocorrência nas áreas de infestação (KOVATS et al., 2001; MILLS; GAGE; KHAN, 2010; VALDEZ; SIBONA; CONDAT, 2018).

Nas últimas décadas, os estudos e as análises dos impactos do aumento da temperatura global na saúde humana têm se concentrado em estudos de casos retrospectivos, como as ondas de calor que atingiram a Europa em 2003 e a Rússia em 2010, causando aumentos na mortalidade (MATSUEDA, 2011; ROBINE et al., 2008). Há também estudos realizados em diversos países com o intuito de avaliar a relação exposição-resposta, com estabelecimento do risco relativo entre temperatura e mortalidade (GASPARRINI et al., 2015; KINGSLEY et al., 2016).

No Brasil, alguns estudos exploraram a relação entre a distribuição espacial de vetores de doenças e as condições climáticas do território nacional (CARDOSO-LEITE et al., 2014; CARVALHO et al., 2015; DA COSTA; CORDEIRO; RANGEL, 2018; GURGEL-GONÇALVES et al., 2012; LAPORTA et al., 2011, 2015). No entanto, poucos estudos fizeram o mesmo para a distribuição dos casos humanos dessas doenças, com o objetivo de gerar cenários dos impactos causados pelas mudanças climáticas (CAMINADE et al., 2014; CARVALHO; RANGEL; VALE, 2017; LAPORTA et al., 2015; MENDES et al., 2016). Para suprir parte dessa lacuna, o presente estudo inclui análises sobre três doenças de transmissão vetorial de atual relevância para o Brasil, que tem conhecida relação com variáveis climáticas: leishmaniose visceral, febre amarela e malária.

A leishmaniose visceral (LV) no Brasil é transmitida pela picada de fêmeas de *Lutzomyia longipalpis* (mosquito-palha) infectadas pelo protozoário *Leishmania infantum* (BRASIL, 2014). Um grande número de espécies de mamíferos silvestres e domésticos, incluindo o cão doméstico, podem ser hospedeiros desse parasita. De acordo com o Sistema de Informação de Agravos de Notificação (Sinan), do Ministério da Saúde, a doença atualmente causa aproximadamente 3.000 a 3.500 casos por ano no País, o que representa a maior incidência em toda a América (ALVAR et al., 2012; BRASIL, 2020a). A LV atualmente se encontra em franco processo de expansão geográfica e urbanização, com registros de casos em capitais, como Campo Grande, Belo Horizonte e Rio de Janeiro (BRASIL, 2014, 2020a). Esse processo está associado a alterações ambientais, migrações humanas, condições socioeconômicas e adaptação dos vetores às condições peridomésticas (RANGEL et al., 2018; SALOMÓN et al., 2015). A ocorrência e incidência de LV são moduladas pelo clima, por meio de interações com a densidade de vetores e sua sazonalidade (READY, 2008).

Experimentos de laboratório realizados a partir da colonização do vetor *L. longipalpis* demonstraram que temperaturas mais altas causaram aumento na sua atividade locomotora, o que sugere que as populações de vetores estariam mais abundantes em estações do ano mais quentes (RIVAS et al., 2014). Temperaturas mais altas também aceleraram o desenvolvimento de formas promastigotas de *Leishmania* em *L. longipalpis* (HLAVACOVA; VOTYPKA; VOLF, 2013). Modelos de adequabilidade climática para essa mesma espécie de vetor demonstraram a provável expansão de sua distribuição geográfica no País em cenários de mudanças climáticas, especialmente na Amazônia oriental (PETERSON et al., 2017).

A febre amarela (FA) é uma doença infecciosa não contagiosa que se mantém endêmica ou enzoótica nas florestas tropicais da América e África causando periodicamente surtos isolados ou epidemias de maior ou menor impacto em saúde pública, sendo causada por um arbovírus do gênero Flavivírus, tendo como hospedeiros os primatas não humanos e como vetores os mosquitos dos gêneros *Haemagogus* e *Sabethes* (no ciclo silvestre) e *Aedes aegypti* (no ciclo urbano) (VASCONCELOS, 2003). A febre amarela silvestre é considerada endêmica na região Amazônica. De tempos em tempos, o vírus reemerge na região extra-amazônica, com surtos de magnitude e distribuição espacial variáveis com expansão de áreas de circulação viral que podem afetar até a Região Sul. A ocorrência é sazonal, com



maior incidência entre os meses de dezembro a maio, quando as altas temperaturas e precipitação favorecem a alta densidade de vetores (BRASIL, 2020b).

As epizootias (mortalidade de macacos por FA) normalmente precedem a ocorrência da doença em humanos, sendo eventos-sentinelas para a detecção precoce de surtos. A atual reemergência da FA no Brasil, iniciada em 2014, afetou regiões metropolitanas de diversos estados e causou impactos sem precedentes na história recente da doença. Os maiores surtos da história da FA no Brasil, desde que seu ciclo de transmissão foi descrito na década de 1930, ocorreram nos anos de monitoramentos 2016/2017 e 2017/2018, quando foram registrados cerca de 2,1 mil casos e mais de 700 óbitos pela doença (BRASIL, 2020b). Em estudo recente, variáveis climáticas contribuíram em cerca de 60% para a ocorrência de FA no Sul do Brasil (ALMEIDA et al., 2019).

A malária é uma doença infecciosa causada por protozoários do gênero *Plasmodium* e transmitida por mosquitos vetores da subfamília *Anophelinae*, que representa significativa carga de doenças em nível global e regional, e tem ocorrência e transmissão relacionadas às condições climáticas (CAMINADE et al., 2014; PARHAM; MICHAEL, 2010). Alterações de temperatura e no regime de chuvas, aliadas a alterações nos ecossistemas, podem afetar a distribuição espacial e a intensidade da ocorrência de malária, que é complexa e multifatorial, e o entendimento da associação com o clima é essencial para o Brasil.

Evidências recentes sugerem que a incidência da malária está aumentando em regiões mais frias do mundo devido ao aquecimento global (CELLA et al., 2019). Babaie et al. (2018) sugerem que temperatura, precipitação, umidade relativa e intensidade e direção do vento são os fatores climáticos mais importantes para o crescimento e a proliferação de *Anopheles*, o ciclo de vida do *Plasmodium* e a prevalência da malária. Apesar de seu principal vetor no Brasil, *Anopheles darlingi*, apresentar ampla distribuição, a malária é basicamente restrita aos municípios amazônicos (HACON et al., 2018) including the environmental impact assessment (EIA). A malária extra-amazônica ocorre esporadicamente no País, principalmente em regiões de Mata Atlântica onde anofelinos do grupo *Kerteszia* são responsáveis pela transmissão. Estudos prévios de modelagem de adequabilidade climática para malária no Brasil apontaram a provável expansão das áreas adequadas para *Plasmodium falciparum* em cenários de mudanças climáticas (LAPORTA et al., 2015).

Uma vez que essas doenças ocorrem sob determinadas condições climáticas, o objetivo deste estudo foi mapear o espaço climático favorável à sua ocorrência em cenários de aquecimento global. Esse espaço climático foi caracterizado por modelos matemáticos que estimam a adequabilidade climática – quão adequado é o clima da área de estudo para a ocorrência dessas doenças (PETERSON, 2006; PETERSON et al., 2011). Locais de ocorrência de leishmaniose visceral, febre amarela e malária foram associados a variáveis climáticas no período *baseline* 2000–2010 e posteriormente foram geradas projeções da adequabilidade climática para essas doenças em cenários de mudanças climáticas que representam níveis de aquecimento global selecionados pelo Acordo de Paris em dezembro de 2015 (1,5°C, 2,0°C e 4,0°C) (IPCC, 2018).

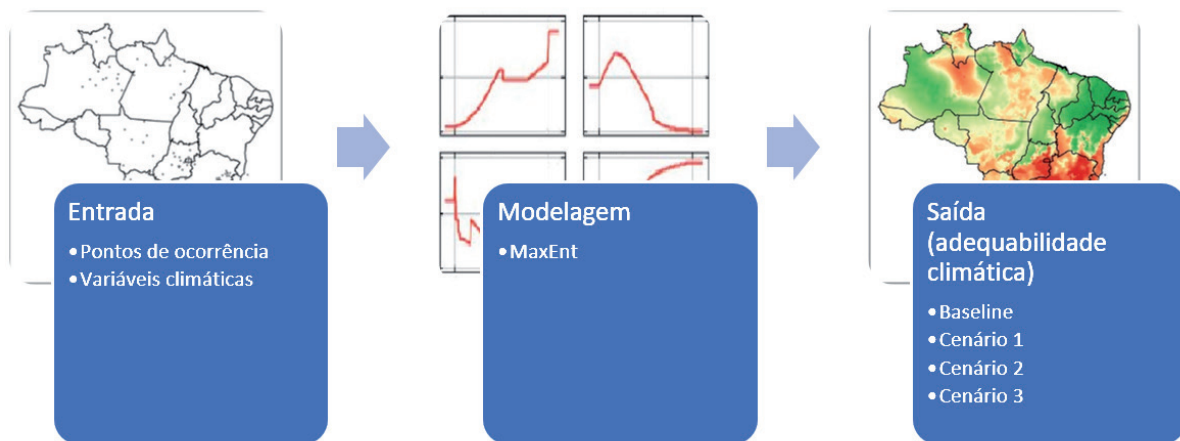
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para relacionar a ocorrência das doenças vetoriais às variáveis climáticas, foi utilizada a modelagem de nicho ecológico, metodologia utilizada em estudos de biodiversidade (GUISAN; ZIMMERMANN, 2000; PETERSON et al., 2011; RANDIN et al., 2020) the development of predictive habitat distribution models has rapidly increased in ecology. Such models are static and probabilistic in nature, since they statistically relate the geographical distribution of species or communities to their present environment. A wide array of models has been developed to cover aspects as diverse as biogeography, conservation biology, climate change research, and habitat or species management. In this paper, we present a review of predictive habitat distribution modeling. The variety of statistical techniques used is growing. Ordinary multiple regression and its generalized form (GLM e recentemente aplicada em estudos de

Epidemiologia, Saúde Pública e distribuição de espécies (ALKISHE et al., 2020; ARTUN, 2019; CARVALHO; RANGEL; VALE, 2017; LIPPI et al., 2019). Esses modelos, também referidos na literatura como modelos de adequabilidade ambiental ou modelos de distribuição de espécies (PETERSON; SOBERÓN, 2012), se baseiam na teoria de nicho ecológico para relacionar os fatores abióticos que delimitam a distribuição geográfica de uma espécie (GUISAN; ZIMMERMANN, 2000; PETERSON et al., 2011).

Existem duas abordagens básicas para aplicar um modelo de nicho ecológico à transmissão de doenças infecciosas (PETERSON, 2006; PETERSON et al., 2011). A primeira consiste em modelar as espécies participantes do ciclo de transmissão individualmente, oferecendo a oportunidade de distinguir diferentes razões para a presença ou ausência de transmissão da doença na área de estudo. A segunda abordagem considera todo o ciclo de transmissão e suas relações ecológicas como uma “caixa preta”, e analisa a distribuição geográfica da ocorrência da doença, como se esta fosse uma espécie (ARBOLEDA; JARAMILLO-O.; PETERSON, 2009; ARTUN, 2019; NIETO; MALONE; BAVIA, 2006; YÉ et al., 2007). Essa abordagem agrupa indiretamente todas as espécies componentes do ciclo de transmissão, assim como suas necessidades ambientais e interações ecológicas.

Neste estudo optamos pela segunda abordagem, pois nosso objetivo foi caracterizar o espaço climático ocupado pela ocorrência das doenças em humanos, e assim poder gerar cenários sobre o impacto das mudanças climáticas em sua distribuição espacial. Dessa forma, o estudo foi baseado na aplicação do algoritmo de aprendizado de máquina MaxEnt (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006) together with inexpensive and powerful computers, has fueled a rapid increase in predictive modeling of species environmental requirements and geographic distributions. For some species, detailed presence/absence occurrence data are available, allowing the use of a variety of standard statistical techniques. However, absence data are not available for most species. In this paper, we introduce the use of the maximum entropy method (Maxent visando associar pontos de ocorrência das doenças a variáveis climáticas, para então mapear, em toda a área de estudo (Brasil) e em diferentes cenários, as áreas de adequabilidade climática (Figura 1).



**Figura 1** | Síntese da metodologia de modelagem de nicho ecológico aplicada neste estudo: os dados de entrada foram os pontos de ocorrência das doenças vetoriais e variáveis climáticas relacionadas à temperatura e precipitação. O algoritmo utilizado para a modelagem foi o MaxEnt. Os modelos então foram projetados em diferentes cenários de aquecimento global.

*Fonte: Elaboração própria.*

## 2.1 DADOS CLIMÁTICOS

O estudo foi baseado nas projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) com os cenários futuros do clima na Terra de acordo com os níveis de emissão de gases que causam

o efeito estufa (GEE) por meio das Trajetórias de Concentração Representativa (*Representative Concentration Pathways – RCP*).

As variáveis temperatura mínima, temperatura máxima, amplitude térmica e precipitação foram extraídas do modelo regional Eta-HadGEM2 ES (CHOU et al., 2014) Regional Climate Models (RCMs, no período 1965-2005 e em três recortes temporais do cenário RCP 8.5: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099. Estes representam, respectivamente, os níveis de aquecimento global de 1,5°C, 2,0°C e 4,0°C do Acordo de Paris (IPCC, 2018).

A fim de gerar mais variáveis biologicamente significativas, os valores mensais de temperatura e precipitação foram utilizados para calcular 19 variáveis bioclimáticas (FICK; HIJMANS, 2017). Estas são frequentemente usadas em estudos ecológicos, na modelagem de distribuição de espécies e de nicho ecológico (FICK; HIJMANS, 2017). As variáveis bioclimáticas representam tendências anuais (por exemplo, temperatura média anual e precipitação anual), sazonalidade (por exemplo, variação anual de temperatura e precipitação) e fatores ambientais extremos ou limitantes (por exemplo, temperatura do mês mais frio e mais quente e precipitação do trimestre mais seco).

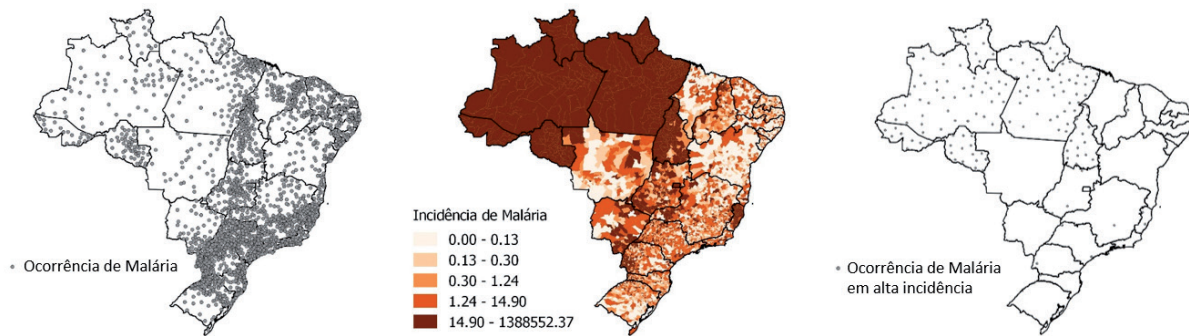
Todas as variáveis climáticas foram obtidas e padronizadas espacialmente para a extensão do Brasil na resolução espacial nativa do modelo Eta-HADGEM2 ES (aprox. 20 km). Para reduzir a colinearidade entre as variáveis, foram excluídas da seleção aquelas que apresentaram correlação de Pearson acima de 0.9. Portanto, o conjunto final de variáveis climáticas utilizado nos modelos foi composto por: amplitude térmica, temperatura mínima, temperatura máxima, precipitação, sazonalidade da temperatura e sazonalidade da precipitação.

## 2.2 DADOS EPIDEMIOLÓGICOS

Números de casos humanos de leishmaniose visceral, febre amarela e malária registrados no Brasil no período 2001-2016 foram obtidos no Sinan, Ministério da Saúde (BRASIL, 2020a), e no Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica – Sivep-Malária (BRASIL, 2020c), por ano e município de infecção/residência.

Para a aplicação dos modelos de adequabilidade climática, é necessário que os dados de entrada estejam no formato de pontos de ocorrência, com coordenadas geográficas associadas a cada registro (PETERSON, 2006; PETERSON et al., 2011). Para tal, utilizamos as coordenadas geográficas dos centroides dos municípios que apresentaram pelo menos um caso humano de cada doença no período de estudo. Portanto, é importante esclarecer que, nesse tipo de análise, a incidência das doenças (número de casos por habitantes) não é quantificada, e sim a presença ou ausência de transmissão.

No entanto, entre as três doenças estudadas, a malária apresenta um forte viés espacial em sua distribuição no País, uma vez que atualmente ocorre quase exclusivamente na região amazônica (OLIVEIRA-FERREIRA et al., 2010). Por esse motivo, foram selecionados para análise apenas os municípios com alta incidência de malária (Figura 2). A incidência municipal foi calculada pelo estimador bayesiano empírico, que considera a autocorrelação espacial inerente aos dados (CARVALHO; SOUZA-SANTOS, 2005). Em seguida foram selecionados apenas os municípios com incidência acima do 90° percentil dos dados e, entre estes, um subconjunto dos centroides situados a uma distância mínima de 100 km (NAIMI et al., 2014) (Figura 2).



**Figura 2 |** Municípios com ocorrência de malária no período *baseline* (esquerda), incidência de malária por município (centro) e municípios selecionados para os modelos após aplicação do ponto de corte (direita).

Fonte: Elaboração própria.

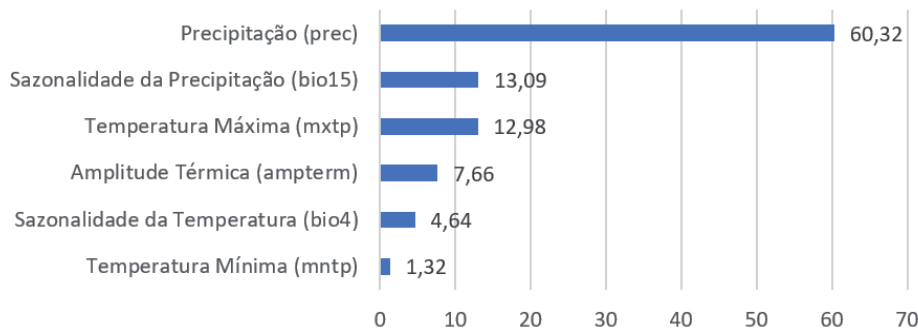
## 2.3 MODELOS DE ADEQUABILIDADE CLIMÁTICA

Para a construção dos modelos preditivos em cenários de aquecimento global, foi utilizado o algoritmo de aprendizado de máquina *MaxEnt*, que se baseia no Modelo de Máxima Entropia (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006). O modelo originalmente foi proposto para prever distribuições de espécies com base em covariáveis ambientais para cada grid em uma malha (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006). Neste estudo, para cada ponto de presença das doenças (leishmaniose visceral e febre amarela) ou de alta incidência (malária), as variáveis climáticas foram extraídas e comparadas com a distribuição das mesmas variáveis extraídas em 10.000 pontos de *background* distribuídos aleatoriamente pela extensão da área de estudo. Estes representam as condições ambientais disponíveis para a ocorrência das doenças e são definições essenciais para o processo de modelagem de Máxima Entropia (ELITH et al., 2011; PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006).

Os modelos foram rodados utilizando a biblioteca *dismo* (HIJMANS; PHILLIPS; ELITH, 2017) do *software* R (R CORE TEAM, 2017). Todos os modelos foram calibrados a partir de 75% dos pontos de ocorrência notificados no período de estudo. Os 25% restantes foram utilizados para avaliar erros de omissão dos modelos (porcentagem de presenças não previstas). As contribuições relativas de cada variável para os modelos foram determinadas pelo teste de Jackknife (ELITH et al., 2011). A avaliação dos modelos foi por meio do índice AUC, área abaixo da curva ROC (ALLOUCHE; TSOAR; KADMON, 2006), cujos valores mais próximos de 1 indicam bons modelos; 0,5 indica modelos com projeções aleatórias; e abaixo disso, piores que um modelo aleatório (ALLOUCHE; TSOAR; KADMON, 2006). Após calibrados e validados, os modelos foram então reprojados nos cenários de aquecimento 1,5°C, 2°C e 4°C.

## 3 RESULTADOS

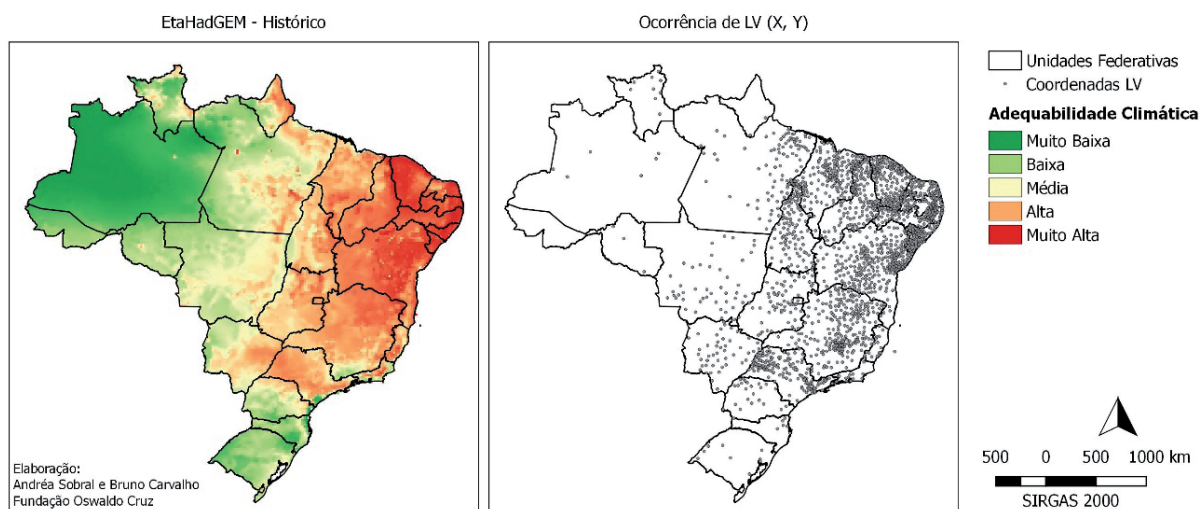
Os mapas resultantes representam as áreas de adequabilidade climática para ocorrência das doenças. Foram utilizadas cores para indicar a probabilidade prevista de que as condições climáticas sejam adequadas para a ocorrência das doenças, com o vermelho indicando alta probabilidade de condições adequadas para a ocorrência de casos, amarelo indicando condições típicas daquelas onde os casos são encontrados, e tons mais esverdeados indicando baixa probabilidade prevista de condições adequadas. Foram ainda produzidos os mapas de diferença dos cenários, a partir da sobreposição espacial entre o cenário futuro e o período *baseline*. Nestes, as cores mais frias representam áreas que perdem adequabilidade climática no futuro e as cores mais quentes representam áreas que ganham adequabilidade climática no futuro.



**Figura 3 |** Contribuição relativa das variáveis climáticas do modelo Eta-HadGEM2 para o ganho do modelo de adequabilidade climática para leishmaniose visceral.

Fonte: *Elaboração própria*

As áreas de alta adequabilidade climática para leishmaniose visceral, de acordo com o modelo, representam bem a distribuição conhecida da doença, que ocorre principalmente nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste (Figura 4). Essa área adequada será reduzida de acordo com os cenários de aquecimento, em diferentes intensidades dependendo do cenário, com perda de adequabilidade nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste e algumas áreas de aumento de adequabilidade nas regiões Sudeste e Sul e uma faixa no litoral norte dos estados do Pará, Amapá e Maranhão (Figuras 5-7).

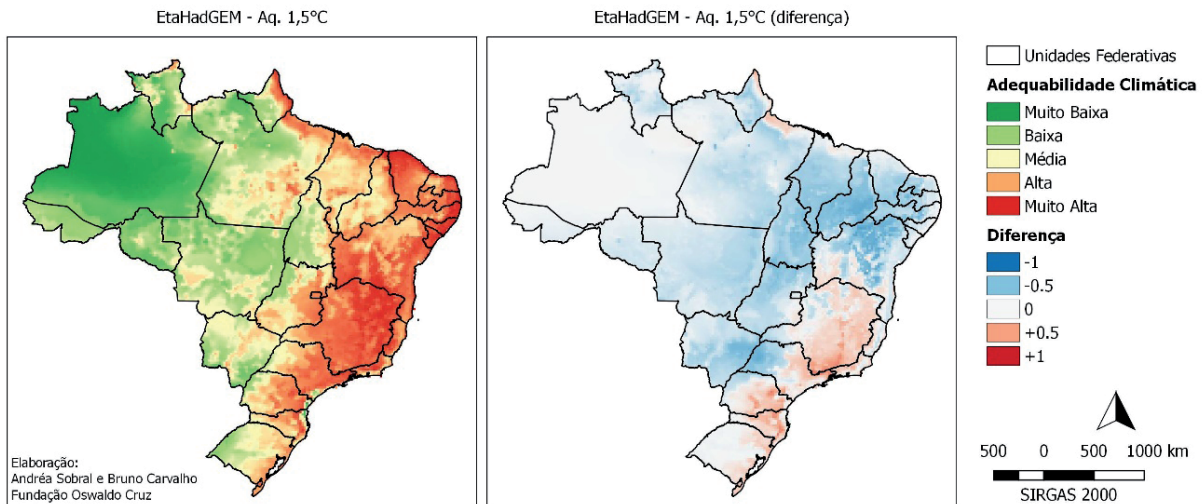


**Figura 4 |** Adequabilidade climática para leishmaniose visceral no Brasil. Esquerda: cenário histórico. Direita: Municípios com ocorrência da doença.

Fonte: *Elaboração própria*.

No cenário de aquecimento de 1,5°C, o semiárido nordestino apresenta diminuição da adequabilidade climática para leishmaniose visceral, ao passo que as regiões Sudeste e Sul aumentam sua adequabilidade climática para a doença (Figura 5).

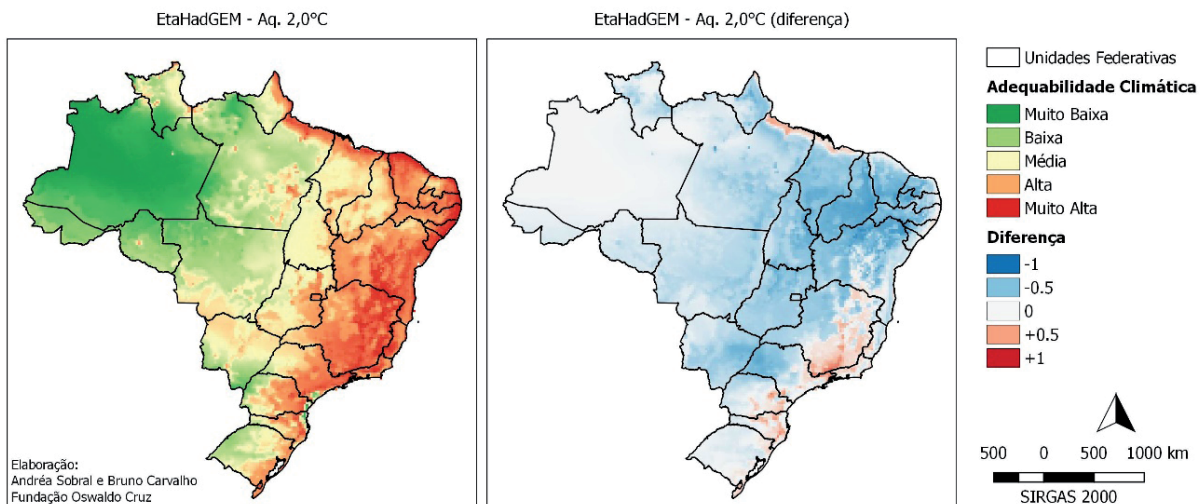




**Figura 5 |** Adequabilidade climática para leishmaniose visceral no Brasil. Esquerda: cenário de 1,5°C. Direita: diferença entre o cenário histórico.

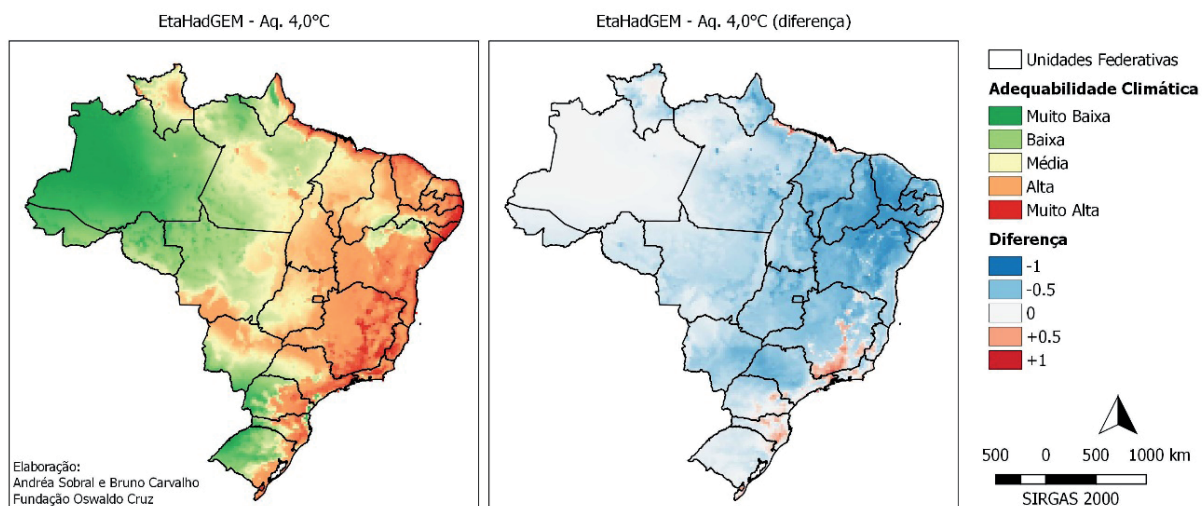
Fonte: *Elaboração própria.*

Para os cenários de aquecimento de 2°C e 4°C, há uma tendência de diminuição da adequabilidade climática para a doença, principalmente no cenário de nível de aquecimento de 4°C, no qual verificou-se uma redução das condições climáticas favoráveis para a ocorrência da doença nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e expansão das áreas com condições climáticas favoráveis nas regiões Sudeste e Sul e uma faixa no litoral norte dos estados do Pará, Amapá e Maranhão (Figuras 6 e 7).



**Figura 6 |** Adequabilidade climática para leishmaniose visceral no Brasil. Esquerda: cenário de 2°C. Direita: diferença entre o cenário histórico.

Fonte: *Elaborado pelos autores.*

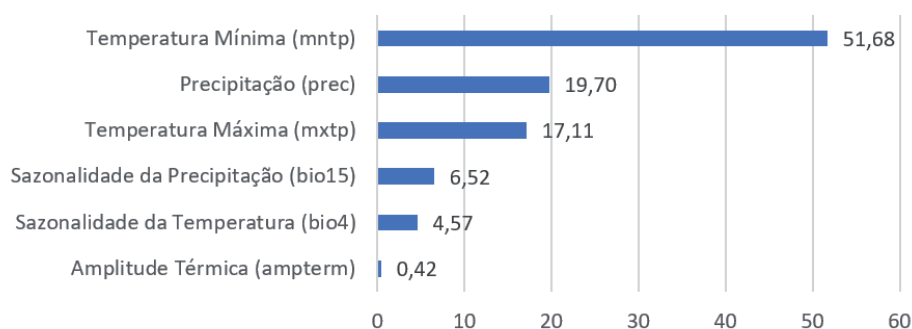


**Figura 7 |** Adequabilidade climática para leishmaniose visceral no Brasil. Esquerda: cenário de 4°C. Direita: diferença entre o cenário histórico.

Fonte: Elaboração própria.

### 3.2 FEBRE AMARELA

O modelo de adequabilidade climática para febre amarela também apresentou um bom ajuste aos dados (AUC = 0,865) e baixa taxa de omissão (19%). As variáveis que mais contribuíram para o ganho do modelo foram temperatura mínima (51,7%) e precipitação (19,7%) (Figura 8).



**Figura 8 |** Contribuição relativa das variáveis climáticas do modelo Eta-HadGEM2 para o ganho do modelo de adequabilidade climática para febre amarela.

Fonte: Elaboração própria.

As áreas de alta adequabilidade climática para febre amarela, de acordo com o modelo, se distribuem principalmente nas regiões Sudeste, Sul, Centro-Oeste e Norte (Figura 9). Essa área adequada aumentará expressivamente nos cenários de aquecimento, especialmente nas regiões Centro-Oeste e Norte (Figuras 10-12).

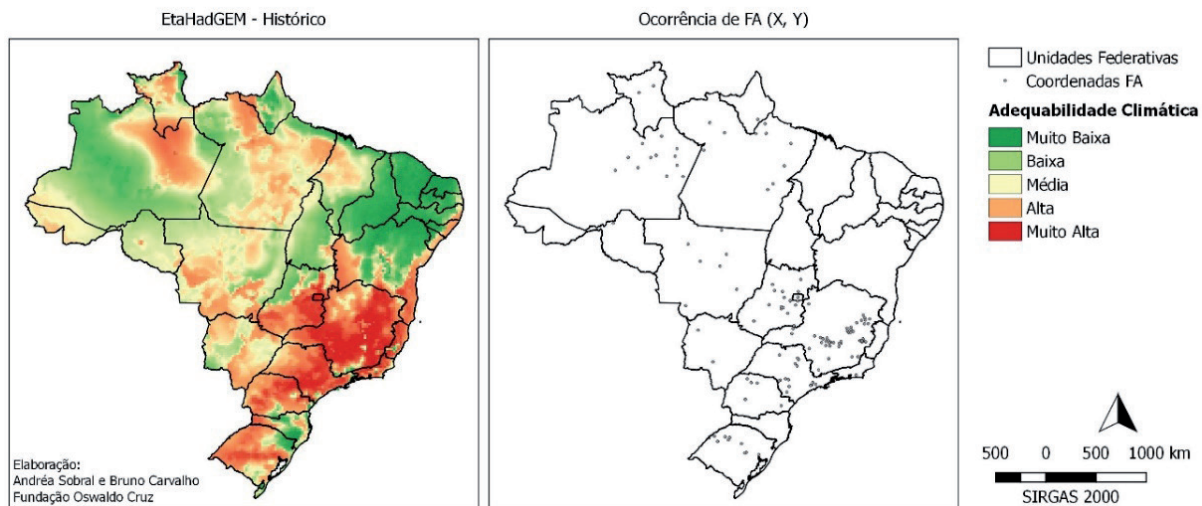


Figura 9 | Adequabilidade climática para febre amarela no Brasil. Esquerda: cenário histórico. Direita: municípios com ocorrência da doença.

Fonte: Elaboração própria.

No cenário de aquecimento 1,5°C, observa-se diminuição das condições climáticas ideais para a Febre Amarela no Sudeste, e o aumento dessas condições para o Centro-Oeste e Norte, especialmente nas regiões centrais do Amazonas e Pará (Figura 10).

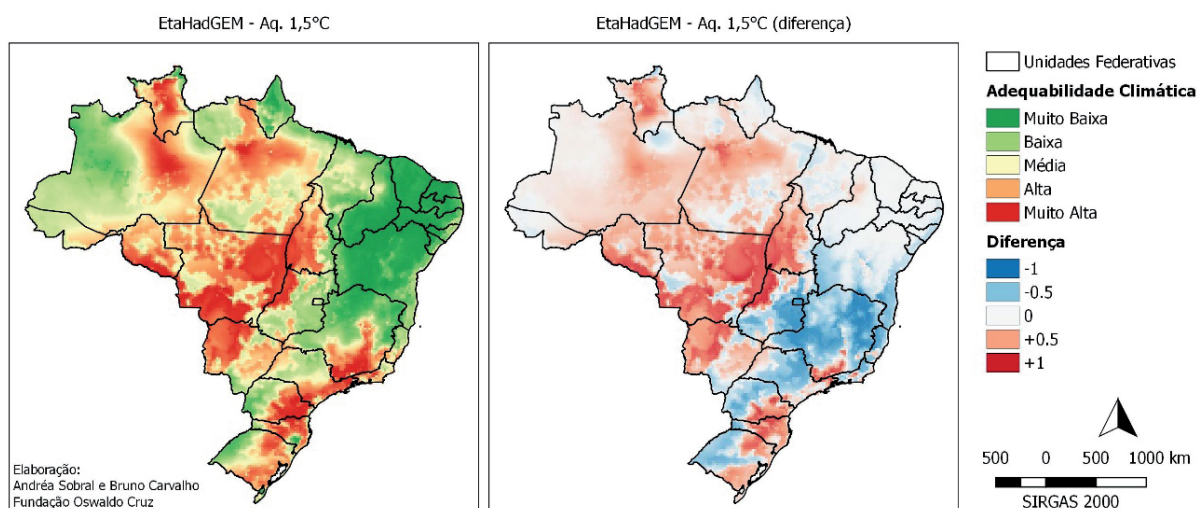
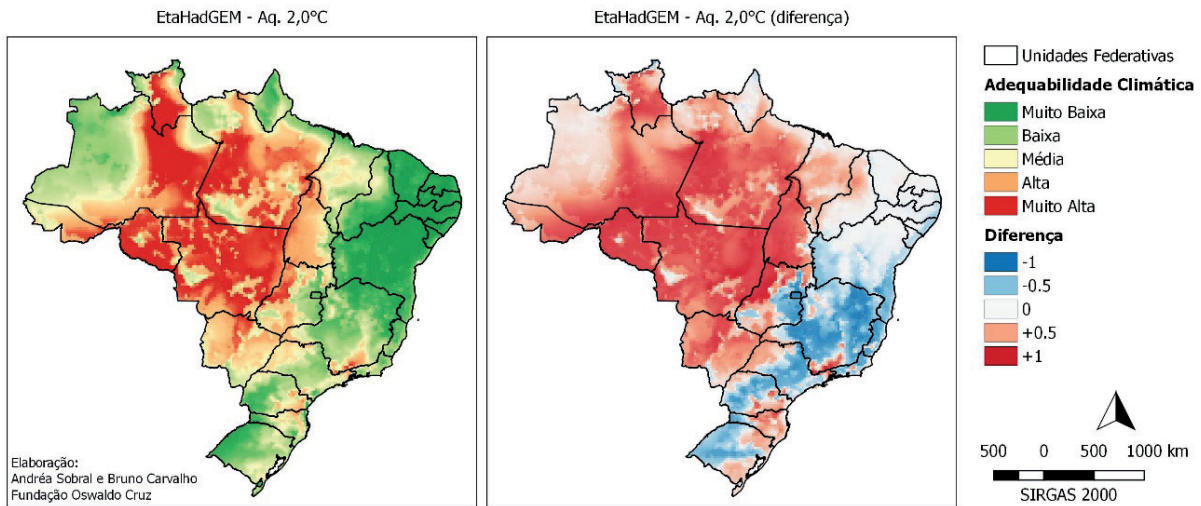


Figura 10 | Adequabilidade climática para febre amarela no Brasil. Esquerda: cenário de 1,5°C. Direita: diferença entre o cenário histórico.

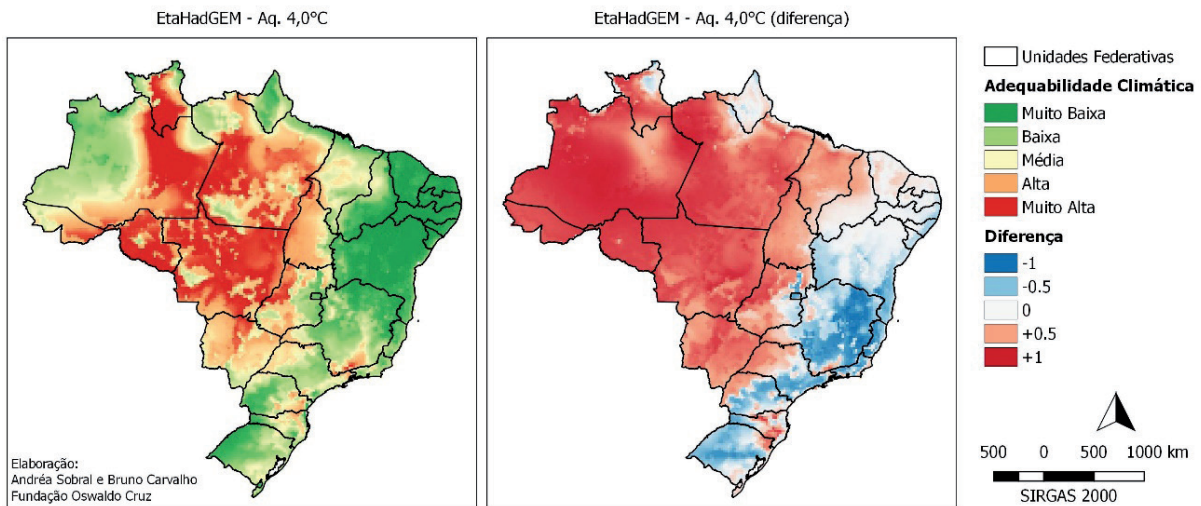
Fonte: Elaboração própria.

Nos cenários de 2°C e 4°C, observa-se uma mudança no padrão de distribuição geral da adequabilidade do clima para a febre amarela, que se enfraquece nas regiões Sudeste e Sul e passa a ocupar a Amazônia, incluindo os municípios da região do arco da soja, no Centro-Oeste (Figuras 11 e 12).



**Figura 11** | Adequabilidade climática para febre amarela no Brasil. Esquerda: cenário de 2°C. Direita: diferença entre o cenário histórico.

Fonte: *Elaboração própria.*



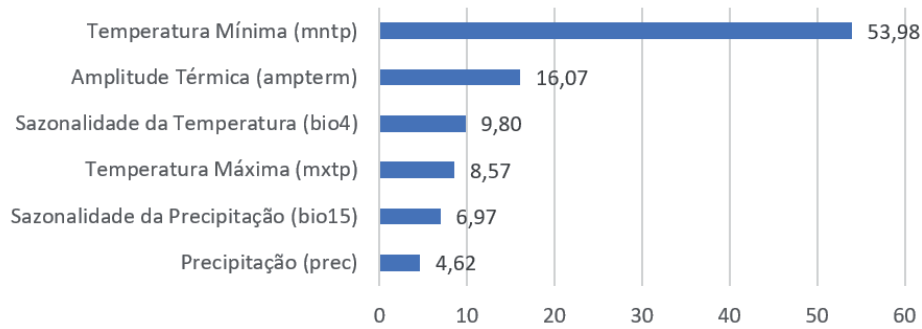
**Figura 12** | Adequabilidade climática para febre amarela no Brasil. Esquerda: cenário de 4°C. Direita: diferença entre o cenário histórico.

Fonte: *Elaboração própria.*

### 3.3 MALÁRIA

O modelo de adequabilidade climática para malária apresentou um ajuste bom ( $AUC = 0,704$ ), porém, menor que os modelos de leishmaniose visceral e febre amarela, com taxa de omissão muito baixa (7,89%). A variável temperatura mínima contribuiu em mais de 50% para a resposta do modelo (Figura 13).

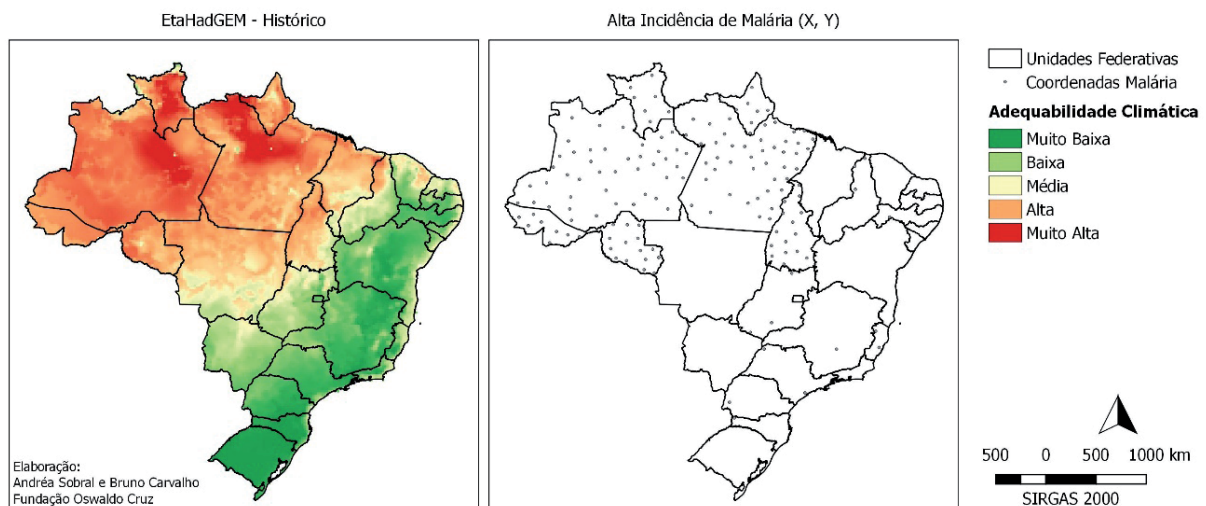




**Figura 13 |** Contribuição relativa das variáveis climáticas do modelo Eta-HadGEM2 para o ganho do modelo de adequabilidade climática para malária.

*Fonte: Elaboração própria.*

O modelo resultou em áreas com alta adequabilidade climática para malária, principalmente na Região Norte, em concordância com a distribuição de incidências apresentada anteriormente (Figura 14).

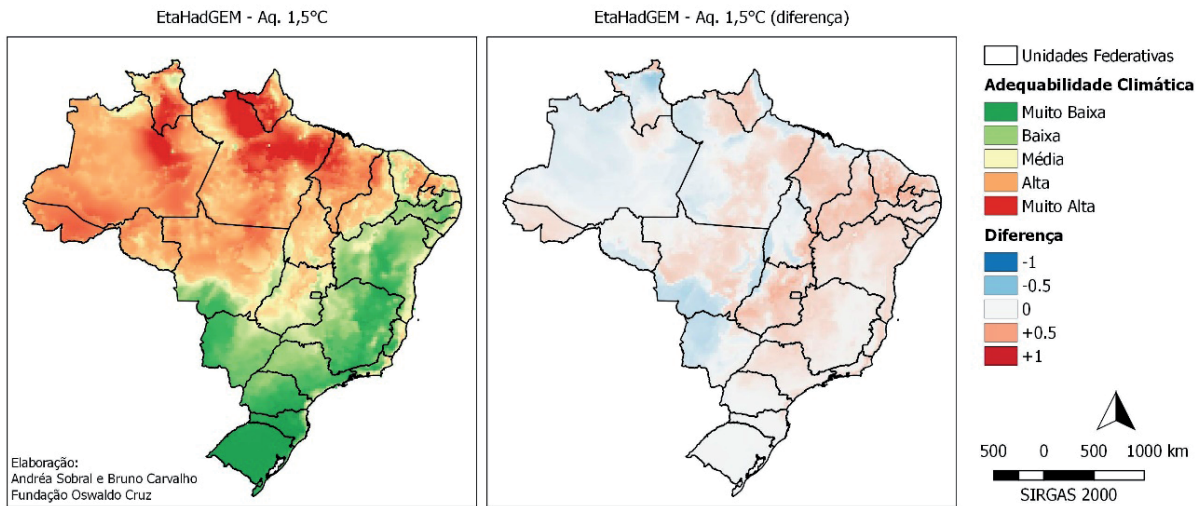


**Figura 14 |** Adequabilidade climática para malária no Brasil. Esquerda: cenário histórico. Direita: municípios com alta incidência da doença.

*Fonte: Elaboração própria.*

Apesar de pouca diferença na distribuição regional de malária no cenário 1,5°C, percebe-se um aumento da adequabilidade climática na região centro-leste da Amazônia (Figura 15).

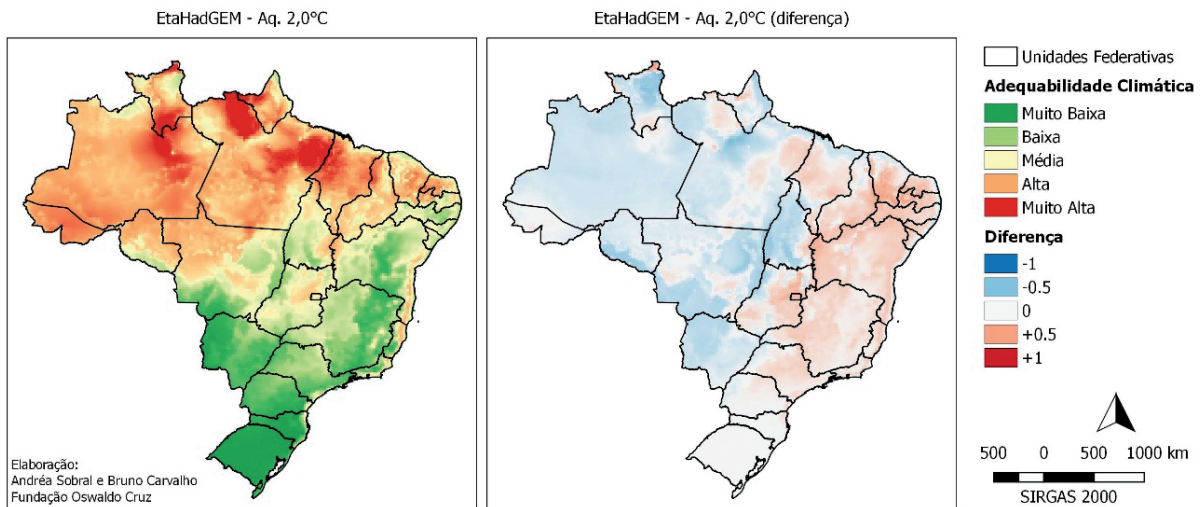




**Figura 15** | Adequabilidade climática para malária no Brasil. Esquerda: cenário de 1,5°C. Direita: diferença entre o cenário histórico.

Fonte: *Elaboração própria.*

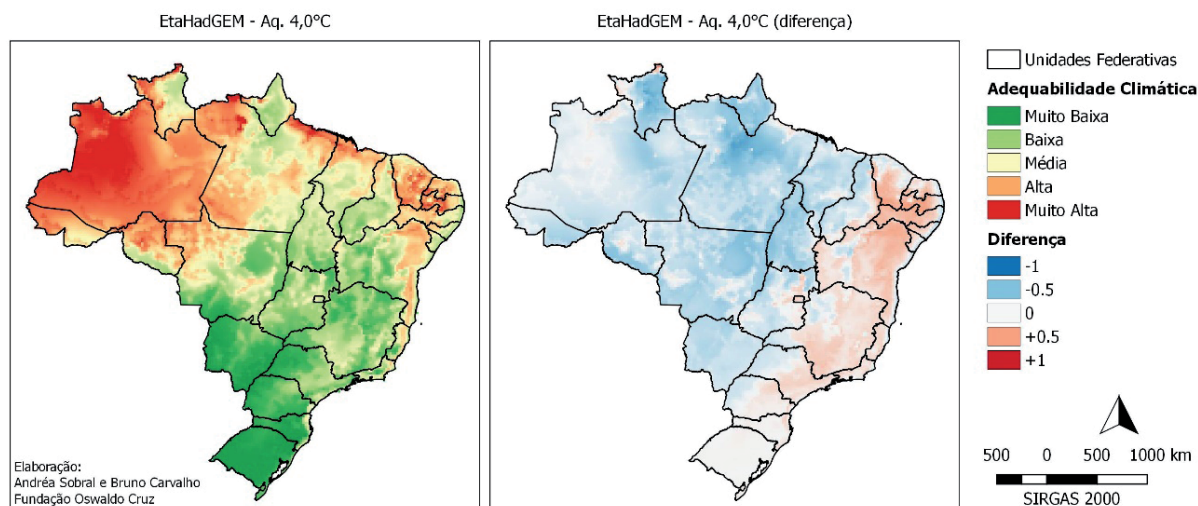
O nível de aquecimento de 2°C reforça aumento das condições climáticas favoráveis em localidades do norte do estado do Pará (Figura 16), enquanto o cenário de aumento em 4°C aponta uma concentração de maior adequabilidade climática na Amazônia ocidental, no litoral dos estados do Pará e Maranhão e parte da Região Nordeste (Figura 17).



**Figura 16** | Adequabilidade climática para malária no Brasil. Esquerda: cenário de 2,0°C. Direita: diferença entre o cenário histórico.

Fonte: *Elaboração própria.*

Para os cenários de 2°C (Figura 16) e 4°C (Figura 17), tem-se gradativamente a expansão das condições climáticas favoráveis à ocorrência de malária para a Região Nordeste, incluindo toda a costa da Bahia e, em 4°C, atingindo inclusive o norte de Minas Gerais (Figura 17).



**Figura 17** | Adequabilidade climática para malária no Brasil. Esquerda: cenário de 4,0°C. Direita: diferença entre o cenário histórico.

Fonte: *Elaboração própria.*

Também é importante ressaltar o ligeiro aumento da adequabilidade climática para malária nas regiões Nordeste, Sudeste e parte da Região Centro-Oeste (Goiás e Mato Grosso) nos diferentes cenários, com redução de adequabilidade climática no estado do Tocantins (Figuras 15 a 17).

## 4 DISCUSSÃO

O Brasil é um país de grande complexidade social, cultural, ecológica e climática. Estabelecer limiares climáticos para o Brasil e suas várias regiões, a partir dos quais poderá ocorrer alterações drásticas e/ou irreversíveis na ocorrência de algumas doenças, principalmente as vetoriais, é um desafio para a ciência brasileira (BARCELLOS et al., 2009). Esses limiares de temperatura, para algumas espécies de vetores que ocorrem no Brasil, foram determinados em estudos de laboratório (LAMBRECHTS et al., 2011; RIVAS et al., 2014). Do ponto de vista espacial, poucos estudos avaliaram a distribuição geográfica dessas espécies em relação a variáveis climáticas, como, por exemplo, para espécies de mosquitos vetores de malária (LAPORTA et al., 2011, 2015), triatomíneos vetores de doença de Chagas (GURGEL-GONÇALVES et al., 2012) e flebotomíneos vetores de leishmanioses (CARVALHO et al., 2015; COSTA; CORDEIRO; RANGEL, 2018).

No entanto, a maioria dos estudos previamente publicados não inclui a utilização de cenários produzidos por modelos climáticos para prever áreas de provável distribuição de doenças vetoriais no Brasil, como apresentados aqui. Entre os poucos, podem ser citados os cenários em extensão global da distribuição de malária (CAMINADE et al., 2014) e dengue (MESSINA et al., 2019), além das leishmanioses nas Américas (MOO-LLANES, 2016).

Neste estudo foram produzidos mapas de adequabilidade climática para três importantes doenças de transmissão vetorial do Brasil, em diferentes cenários de aumento da temperatura global. As três doenças estudadas aqui são altamente sensíveis ao clima, e esses cenários descrevem possíveis trajetórias das condições climáticas para sua ocorrência no futuro. Portanto, os resultados aqui apresentados identificam áreas do País em estado de maior ou menor vulnerabilidade à ocorrência dessas doenças do ponto de vista climático. Localidades onde o clima se tornará mais favorável à ocorrência dessas doenças devem ser alvo de atividades da Vigilância em Saúde, uma vez que a densidade de vetores já existentes pode aumentar, novas populações de vetores podem se dispersar para essas áreas, e os patógenos podem encontrar um ambiente mais favorável à sua sobrevivência, ocorrendo a consequente transmissão.

Contudo, os impactos na saúde resultantes das alterações climáticas dependerão do estado geral de saúde das populações expostas que, por sua vez, dependem de futuras condições dos determinantes sociais da saúde (IPCC, 2014), e outros fatores importantes, como a cobertura de saúde universal, a governança socioambiental, políticas públicas e os rumos do modelo de desenvolvimento do País (HACON et al., 2018) including the environmental impact assessment (EIA).

Para todas as doenças analisadas, existem vulnerabilidades socioambientais estruturais associadas, que aumentam consideravelmente o risco de ocorrência das doenças zoonóticas, e fatores modificadores da exposição (BARCELLOS et al., 2009), como desmatamento, queimadas, agronegócio, mineração, extração de madeira ou atividade da mineração artesanal de ouro na Amazônia brasileira, que contribuem diretamente para os impactos no bioma amazônico e seus serviços ecossistêmicos (LAPOLA et al., 2014, 2018; LOVEJOY; NOBRE, 2018). Tais fatores resultam também em impactos à saúde humana e à qualidade de vida das populações atingidas, que se caracterizam como as mais vulneráveis e as mais pobres no País (BARROS; GONÇALVES; HACON, 2014; MENDES et al., 2016; RUFINO et al., 2016).

A leishmaniose visceral tem dois padrões de transmissão (BRASIL, 2014). O primeiro é relacionado a áreas rurais, periferias de grandes cidades e áreas de alta concentração de populações socioeconomicamente vulneráveis. O segundo, mais recente, reflete o processo de urbanização da doença, ocorrendo em cidades médias e grandes, principalmente no Sudeste e Centro-Oeste do País (RANGEL et al., 2018; SALOMÓN et al., 2015). Os resultados aqui apresentados apontam uma tendência de aumento da adequabilidade climática para leishmaniose visceral nas regiões Sudeste e Sul, onde se encontram as maiores densidades populacionais do País. Essas regiões atualmente são ocupadas pelo vetor *Lutzomyia longipalpis*, e em estudo sobre sua distribuição nas Américas, em cenários de mudanças climáticas, foram apontadas áreas de provável expansão desse vetor principalmente nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro (PETERSON et al., 2017).

A combinação, nessas regiões, de clima favorável à transmissão, conforme demonstram os presentes resultados, populações locais do vetor altamente adaptadas ao ambiente peridoméstico (RANGEL et al., 2018) e condições precárias de habitação em periferias de cidades e zonas rurais (SALOMÓN et al., 2015) pode resultar em risco aumentado de transmissão de leishmaniose visceral, caso medidas de mitigação climática não sejam adotadas no País e caminhemos para o cenário de maior aquecimento global.

Em relação à febre amarela, é importante destacar sua recente reemergência, com dispersão do vírus para áreas sem registro de circulação da doença há décadas (BRASIL, 2020b; POSSAS et al., 2018). O expressivo aumento das epizootias em 2017/2018 precedeu surtos locais de transmissão do vírus e levou a reforços em campanhas locais de vacinação fora da área tradicionalmente considerada endêmica (FERNANDES et al., 2017; POSSAS et al., 2018).

Os resultados aqui apresentados, no cenário de aquecimento de 1,5°C, que é o mais próximo de nossa atual realidade, corroboram a ocorrência desses surtos recentes na regiões Sudeste e Sul. Nos demais cenários, cujo aquecimento global chega a temperaturas mais altas, o aumento de adequabilidade climática na Amazônia preocupa por esta ser conhecida uma região endêmica de transmissão de febre amarela silvestre, com números de casos decaindo nas últimas décadas após extensa vacinação, mas que voltaram a subir em 2017 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019). Ali estão em risco povos e comunidades tradicionais que, além das vulnerabilidades socioeconômicas, estão em maior contato com as populações silvestres de vetores, que podem se beneficiar de condições climáticas mais favoráveis e assim exacerbar a transmissão da doença na região.

Para a malária, a interpretação dos resultados é um pouco diferente das anteriores, pois representa as condições climáticas favoráveis à alta incidência da doença. Isso quer dizer que, apesar de a malária no Brasil ocorrer quase exclusivamente na região amazônica (OLIVEIRA-FERREIRA et al., 2010), nas zonas do País onde atualmente já ocorrem casos esporádicos de malária extra-amazônica (principalmente

na Mata Atlântica) sua incidência pode ser aumentada, devido a melhores condições climáticas para a transmissão. Esses resultados corroboram recentes estudos que demonstraram que mosquitos do grupo *Kerteszia* na Mata Atlântica têm maior taxa de sobrevivência em cenários de temperaturas aumentadas, além de reduzir o período de incubação extrínseca de *Plasmodium falciparum* e *P. vivax*, aumentando as chances de transmissão local (AZEVEDO et al., 2020).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi possível a produção de informações relevantes para mostrar tendências da distribuição espacial de doenças transmitidas por vetores em condições climáticas dentro do cenário RCP 8.5, ou seja, mantendo-se o ritmo atual de emissões de GEE (VAN VUUREN et al., 2011). É importante destacar que as projeções dos cenários e das situações climáticas as quais o planeta poderá alcançar são resultantes das opções de desenvolvimento do mundo atual. Assim, nos próximos anos ou décadas, o mundo poderá seguir diferentes rumos em termos de opções de desenvolvimento e, conseqüentemente, de cenários de emissões de GEE. Diante de uma gama de futuros possíveis para o setor de saúde, esses cenários têm sido usados não para prever o futuro, mas sim para entender melhor as incertezas associadas às mudanças climáticas que virão (MOSS et al., 2010). Sendo a ocorrência de doenças infecciosas um processo complexo e multifatorial, os resultados aqui apresentados indicam apenas uma das possíveis conseqüências no território brasileiro da não adoção de medidas mitigadoras das mudanças climáticas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte do CNPq/Finep sub-rede de Clima e Saúde (CNPq: Nº 550022/2014-7; Finep: Nº 01.13.0353.00; e aos processos CNPq 312932/2017-20, CNPq 381160/2018-1 e 381446/2019-0) e do Programa de Saúde Pública e Meio Ambiente da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca /Fiocruz. Este artigo foi produzido no contexto da bolsa de Pós-Doutorado de Bruno Moreira de Carvalho no Laboratório Interdisciplinar de Vigilância Entomológica em Diptera e Hemiptera/Fiocruz.

## REFERÊNCIAS

- ALKISHE, A. et al. Recognizing sources of uncertainty in disease vector ecological niche models: an example with the tick *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 18, n. 2, p. 91–102, 1 abr. 2020.
- ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 6, p. 1223–1232, 2006.
- ALMEIDA, M. A. B. DE. et al. Predicting Yellow Fever Through Species Distribution Modeling of Virus, Vector, and Monkeys. **EcoHealth**, v. 16, n. 1, p. 95–108, 1 mar. 2019.
- ALTO, B. W.; JULIANO, S. A. Precipitation and Temperature Effects on Populations of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae): implications for range expansion. **Journal of Medical Entomology**, v. 38, n. 5, p. 646–656, 1 set. 2001.
- ALVAR, J. et al. Leishmaniasis Worldwide and Global Estimates of Its Incidence. **PLOS ONE**, v. 7, n. 5, p. e35671, 31 maio 2012.
- ARBOLEDA, S.; JARAMILLO-O., N.; PETERSON, A. T. Mapping Environmental Dimensions of Dengue Fever Transmission Risk in the Aburrá Valley, Colombia. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 6, n. 12, p. 3040–3055, dez. 2009.
- ARTUN, O. Ecological niche modeling for the prediction of cutaneous leishmaniasis epidemiology in current and projected future in Adana, Turkey. **Journal of Vector Borne Diseases**, v. 56, n. 2, p. 127, 4 jan. 2019.



- AZEVEDO, T. S. DE. et al. Kerteszia cruzii and extra-Amazonian malaria in Brazil: Challenges due to climate change in the Atlantic Forest. **Infection, Genetics and Evolution**, v. 85, p. 104456, 1 nov. 2020.
- BABAIE, J. et al. A systematic evidence review of the effect of climate change on malaria in Iran. **Journal of Parasitic Diseases**, v. 42, n. 3, p. 331–340, 1 set. 2018.
- BARCELLOS, C. et al. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 18, n. 3, p. 285–304, set. 2009.
- BARROS, M. M. A.; GONÇALVES, K. DOS S.; HACON, S. DE S. Reinternações hospitalares por doenças respiratórias em menores de 12 anos e as queimadas em Porto Velho – RO, na Amazônia Ocidental. **InterfacEHS – Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 8, n. 3, 2014.
- BENEDICT, M. Q. et al. Spread of the Tiger: global risk of invasion by the mosquito *Aedes albopictus*. **Vector-Borne and Zoonotic Diseases**, v. 7, n. 1, p. 76–85, 1 mar. 2007.
- BENNETT, H. et al. Health and equity impacts of climate change in Aotearoa – New Zealand, and health gains from climate action. **New Zealand Medical Journal**, v. 127, n. 1406, p. 16, 2014.
- BESERRA, E. B. et al. Efeitos da temperatura no ciclo de vida, exigências térmicas e estimativas do número de gerações anuais de *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae). **Iheringia. Série Zoologia**, v. 99, n. 2, p. 142–148, jun. 2009.
- BRASIL. **Manual de Vigilância e Controle da Leishmaniose Visceral**. Brasília, DF: Editora MS, 2014.
- BRASIL. **Sistema de Informação de Agravos de Notificação – Sinan. Epidemiológicas e Morbidade – Datasus**. Disponível em: <<http://datasus1.saude.gov.br/informacoes-de-saude/tabnet/epidemiologicas-e-morbidade>>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- BRASIL. **Boletim epidemiológico da Febre Amarela no Brasil 2019/2020**. Rede Internacional de Educação de Técnicos em Saúde – Rets. Disponível em: <<http://www.rets.epsjv.fiocruz.br/biblioteca/boletim-epidemiologico-da-febre-amarela-no-brasil-20192020>>. Acesso em: 6 set. 2020.
- BRASIL. **Malária, Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica – Sivep**. Disponível em: <[http://portalweb04.saude.gov.br/sivep\\_malaria/](http://portalweb04.saude.gov.br/sivep_malaria/)>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Vigilância em saúde no Brasil 2003|2019: da criação da Secretaria de Vigilância em Saúde aos dias atuais. **Boletim Epidemiológico**. Disponível em: <<http://www.saude.gov.br/boletins-epidemiologicos>>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- CAMINADE, C. et al. Impact of climate change on global malaria distribution. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 9, p. 3286–3291, 4 mar. 2014.
- CAMPOS, G. S.; BANDEIRA, A. C.; SARDI, S. I. Zika Virus Outbreak, Bahia, Brazil. **Emerging Infectious Diseases**, v. 21, n. 10, p. 1885–1886, out. 2015.
- CARDOSO-LEITE, R. et al. Recent and future environmental suitability to dengue fever in Brazil using species distribution model. **Transactions of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 108, n. 2, p. 99–104, 1 fev. 2014.
- CARVALHO, B. M. et al. Ecological Niche Modelling Predicts Southward Expansion of *Lutzomyia* (*Nyssomyia*) *flaviscutellata* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), Vector of *Leishmania* (*Leishmania*) *amazonensis* in South America, under Climate Change. **PLOS ONE**, v. 10, n. 11, p. e0143282, 30 nov. 2015.
- CARVALHO, B. M.; RANGEL, E. F.; VALE, M. M. Evaluation of the impacts of climate change on disease vectors through ecological niche modelling. **Bulletin of Entomological Research**, v. 107, n. 4, p. 419–430, ago. 2017.
- CARVALHO, M. S.; SOUZA-SANTOS, R. Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas e perspectivas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 21, p. 361–378, abr. 2005.
- CASTRO, M. C.; WILSON, M. E.; BLOOM, D. E. Disease and economic burdens of dengue. **The Lancet Infectious**



**Diseases**, v. 17, n. 3, p. e70–e78, 1 mar. 2017.

CELLA, W. et al. Do climate changes alter the distribution and transmission of malaria? Evidence assessment and recommendations for future studies. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 52, p. e20190308, 2019.

CHOU, S. C. et al. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, v. 03, n. 05, p. 438, 25 dez. 2014.

COSTA, S. M. DA; CORDEIRO, J. L. P.; RANGEL, E. F. Environmental suitability for *Lutzomyia* (*Nyssomyia*) *whitmani* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) and the occurrence of American cutaneous leishmaniasis in Brazil. **Parasites & Vectors**, v. 11, n. 1, p. 155, 7 mar. 2018.

ELITH, J. et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and Distributions**, v. 17, n. 1, p. 43–57, 2011.

FERNANDES, N. C. C. DE A. et al. Outbreak of Yellow Fever among Nonhuman Primates, Espírito Santo, Brazil, 2017. **Emerging Infectious Diseases**, v. 23, n. 12, p. 2038–2041, dez. 2017.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 2017.

FOURNET, F. et al. Effective surveillance systems for vector-borne diseases in urban settings and translation of the data into action: a scoping review. **Infectious Diseases of Poverty**, v. 7, n. 1, p. 99, 3 set. 2018.

GASPARRINI, A. et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. **The Lancet**, v. 386, n. 9.991, p. 369–375, 25 jul. 2015.

GRACIE, R. et al. Geographical Scale Effects on the Analysis of Leptospirosis Determinants. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 11, n. 10, p. 10366–10383, out. 2014.

GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological Modelling**, v. 135, n. 2, p. 147–186, 5 dez. 2000.

GURGEL-GONÇALVES, R. et al. **Geographic Distribution of Chagas Disease Vectors in Brazil Based on Ecological Niche Modeling**. Research Article. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/jtm/2012/705326/>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

HACON, S. DE S. et al. Challenges and Prospects for Integrating the Assessment of Health Impacts in the Licensing Process of Large Capital Project in Brazil. **International Journal of Health Policy and Management**, v. 7, n. 10, p. 885–888, 30 jun. 2018.

HIJMANS, R. J. et al. **Dismo Species Distribution Modeling**. [s.l.: s.n.]. 2015.

HLAVACOVA, J.; VOTYPKA, J.; VOLF, P. The Effect of Temperature on *Leishmania* (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) Development in Sand Flies. **Journal of Medical Entomology**, v. 50, n. 5, p. 955–958, 1 set. 2013.

HORTA, M. A. et al. Temporal relationship between environmental factors and the occurrence of dengue fever. **International Journal of Environmental Health Research**, v. 24, n. 5, p. 471–481, 3 set. 2014.

IPCC (ED.). **Climate change 2014: mitigation of climate change**. Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, NY: Cambridge University Press, 2014.

IPCC. **Summary for Policymakers: Global Warming of 1.5°C**. Geneva: IPCC, 2018.

KINGSLEY, S. L. et al. Current and Projected Heat-Related Morbidity and Mortality in Rhode Island. **Environmental Health Perspectives**, v. 124, n. 4, p. 460–467, 1 abr. 2016.

KOVATS, R. S. et al. Early effects of climate change: do they include changes in vector-borne disease? **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 356, n. 1.411, p. 1057–1068, 29 jul. 2001.

- LAMBRECHTS, L. et al. Impact of daily temperature fluctuations on dengue virus transmission by *Aedes aegypti*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 18, p. 7460–7465, 3 maio 2011.
- LAPOLA, D. M. et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 1, p. 27–35, jan. 2014.
- LAPOLA, D. M. et al. Limiting the high impacts of Amazon forest dieback with no-regrets science and policy action. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 46, p. 11671–11679, 13 nov. 2018.
- LAPORTA, G. Z. et al. Habitat suitability of *Anopheles* vector species and association with human malaria in the Atlantic Forest in south-eastern Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 106, p. 239–245, ago. 2011.
- LAPORTA, G. Z. et al. Malaria vectors in South America: current and future scenarios. **Parasites & Vectors**, v. 8, n. 1, p. 426, 19 ago. 2015.
- LIPPI, C. A. et al. Geographic shifts in *Aedes aegypti* habitat suitability in Ecuador using larval surveillance data and ecological niche modeling: implications of climate change for public health vector control. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v. 13, n. 4, p. e0007322, 17 abr. 2019.
- LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon Tipping Point. **Science Advances**, v. 4, n. 2, p. eaat2340, 1 fev. 2018.
- MARICATO, E. Informalidade Urbana no Brasil: a lógica da cidade fraturada. In: WANDERLEY, L. E.; RAICHELIS, R. (Ed.). **A cidade de São Paulo, relações internacionais e gestão pública**. São Paulo: Educ, 2009. p. 296.
- MATSUEDA, M. Predictability of Euro-Russian blocking in summer of 2010. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 6, 2011.
- MENDES, C. S. et al. Impacto das mudanças climáticas sobre a leishmaniose no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n. 1, p. 263–272, jan. 2016.
- MESSINA, J. P. et al. The current and future global distribution and population at risk of dengue. **Nature Microbiology**, v. 4, n. 9, p. 1508–1515, set. 2019.
- MILLS, J. N.; GAGE, K. L.; KHAN, A. S. Potential Influence of Climate Change on Vector-Borne and Zoonotic Diseases: a review and proposed research plan. **Environmental Health Perspectives**, v. 118, n. 11, p. 1507–1514, 1 nov. 2010.
- MOO-LLANES, D. A. Nicho ecológico actual y futuro de la Leishmaniasis (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) en la región Neotropical. **Revista de Biología Tropical**, v. 64, n. 3, 1 jul. 2016.
- MOSS, R. H. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 7282, p. 747–756, fev. 2010.
- NAIMI, B. et al. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? **Ecography**, v. 37, n. 2, p. 191–203, 2014.
- NIETO, P.; MALONE, J. B.; BAVIA, M. E. Ecological niche modeling for visceral leishmaniasis in the state of Bahia, Brazil, using genetic algorithm for rule-set prediction and growing degree day-water budget analysis. **Geospatial health**, v. 1, n. 1, p. 115–126, nov. 2006.
- OLIVEIRA-FERREIRA, J. et al. Malaria in Brazil: an overview. **Malaria Journal**, v. 9, n. 1, p. 115, 30 abr. 2010.
- PARHAM, P. E.; MICHAEL, E. Modeling the Effects of Weather and Climate Change on Malaria Transmission. **Environmental Health Perspectives**, v. 118, n. 5, p. 620–626, 1 maio 2010.
- PETERSON, A. Ecologic Niche Modeling and Spatial Patterns of Disease Transmission. **Emerging Infectious Diseases**, v. 12, n. 12, p. 1822–1826, 2006.
- PETERSON, A. T. et al. **Ecological Niches and Geographic Distributions**. Princeton, N.J.: [s.n.].
- PETERSON, A. T. et al. Influences of climate change on the potential distribution of *Lutzomyia longipalpis* sensu

- lato (Psychodidae: Phlebotominae). **International Journal for Parasitology**, v. 47, n. 10, p. 667–674, 1 set. 2017.
- PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J. Species Distribution Modeling and Ecological Niche Modeling: getting the concepts right. **Natureza & Conservação**, v. 10, n. 2, p. 102–107, 2012.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, n. 3, p. 231–259, 25 jan. 2006.
- POSSAS, C. et al. Yellow fever outbreak in Brazil: the puzzle of rapid viral spread and challenges for immunisation. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 113, n. 10, 3 set. 2018.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 7 jun. 2008.
- RANDIN, C. F. et al. Monitoring biodiversity in the Anthropocene using remote sensing in species distribution models. **Remote Sensing of Environment**, v. 239, p. 111626, mar. 2020.
- RANGEL, E. F. et al. Eco-Epidemiology of American Visceral Leishmaniasis with Particular Reference to Brazil. In: RANGEL, E. F.; SHAW, J. J. (Ed.). **Brazilian Sand Flies**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 381–416.
- READY, P. D. Leishmaniasis emergence and climate change. **Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)**, v. 27, n. 2, p. 399–412, 1 ago. 2008.
- RIVAS, G. B. et al. Effects of temperature and photoperiod on daily activity rhythms of *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae). **Parasites & Vectors**, v. 7, n. 1, p. 278, 19 jun. 2014.
- ROBINE, J.-M. et al. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. **Comptes Rendus Biologies**. Dossier: nouveautés en cancérogenèse / New developments in carcinogenesis. v. 331, n. 2, p. 171–178, 1 fev. 2008.
- RUFINO, R. et al. Surtos de diarreia na Região Nordeste do Brasil em 2013, segundo a mídia e sistemas de informação de saúde – Vigilância de situações climáticas de risco e emergências em saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, p. 777–788, mar. 2016.
- SALOMÓN, O. D. et al. *Lutzomyia longipalpis* urbanisation and control. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 110, n. 7, p. 831–846, nov. 2015.
- VALDEZ, L. D.; SIBONA, G. J.; CONDAT, C. A. Impact of rainfall on *Aedes aegypti* populations. **Ecological Modelling**, v. 385, p. 96–105, 10 out. 2018.
- VAN VUUREN, D. P. et al. The representative concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, v. 109, n. 1, p. 5, 5 ago. 2011.
- VASCONCELOS, P. F. DA C. Yellow fever. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 36, n. 2, p. 275–293, abr. 2003.
- VASCONCELOS, V. V.; PINHO, C. M. DE D. Multivariate Geovisualization of Dengue, Zika and Chikungunya cases in Brazil: a didactic experience. **Hygeia – Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 13, n. 25, p. 91–106, 28 set. 2017.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World Malaria Report 2019**. [S.l.]: World Health Organization, 2019.
- YÉ, Y. et al. Effect of meteorological factors on clinical malaria risk among children: an assessment using village-based meteorological stations and community-based parasitological survey. **BMC Public Health**, v. 7, n. 1, p. 101, 8 jun. 2007.
- ZANLUCA, C. et al. First report of autochthonous transmission of Zika virus in Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 110, n. 4, p. 569–572, jun. 2015.

# Climate Change and Brazil's coastal zone: socio-environmental vulnerabilities and action strategies

*Mudanças Climáticas e a zona costeira do Brasil:  
vulnerabilidades socioambientais e estratégias de ação*

Paulo Horta<sup>a</sup>

Patrícia F. Pinho<sup>b</sup>

Lidiane Gouvêa<sup>c</sup>

Guido Grimaldi<sup>d</sup>

Giovanna Destri<sup>e</sup>

Carolina Melissa Mueller<sup>f</sup>

Lyllyan Rocha<sup>g</sup>

José Bonomi Baruffi<sup>h</sup>

Leonardo Rorigi<sup>i</sup>

Jorge Assis<sup>j</sup>

Letícia Cotrim da Cunha<sup>k</sup>

<sup>a</sup> Federal University of Santa Catarina, Laboratory of Phycology, Center for Biological Sciences,  
Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil  
E-mail: paulo.horta@ufsc.br

<sup>b</sup> Institute for Advanced Studies, University of São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brazil  
E-mail: pinhopati@gmail.com

<sup>c</sup> Graduate Program in Ecology, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil  
E-mail: lidianegouv@gmail.com

<sup>d</sup> Graduate Program in Ecology, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil  
E-mail: guidogrimaldi@gmail.com

<sup>e</sup> Graduate Program in Oceanography, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil  
E-mail: giovannanddestri@gmail.com

<sup>f</sup> Federal University of Santa Catarina, Laboratory of Phycology, Center for Biological Sciences, Federal  
University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil  
E-mail: carolinammueler@gmail.com

<sup>g</sup> Graduate Program in Oceanography, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil  
E-mail: lyllyrocha20@gmail.com

<sup>h</sup> Federal University of Santa Catarina, Laboratory of Phycology, Center for Biological Sciences,  
Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil  
E-mail: jose.bonomi@gmail.com

<sup>i</sup> Federal University of Santa Catarina, Laboratory of Phycology, Center for Biological Sciences, Federal  
University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil  
E-mail: leororig@gmail.com

<sup>j</sup> Center for Marine Sciences, University of Algarve, Portugal  
E-mail: jorgemfa@gmail.com

<sup>k</sup> Graduate Program in Oceanography/ Oceanography College, Rio de Janeiro State University (UERJ),  
Maracanã Campus, Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
E-mail: lcotrim@uerj.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33845

Received: 31/08/2020  
Accepted: 07/12/2020

ARTICLE – DOSSIER

*Data and results presented in this article were developed under the project of the “Fourth National Communication and Biennial Update Reports of Brazil to the Climate Convention”, coordinated by the Ministry of Science, Technology and Innovations, with the support of the United Nations Development Programme and resources of the Global Environment Facility, to which we offer our thanks.*

## ABSTRACT

The coastal zone, where most of the Brazilian population lives, plays a central role for discussing vulnerability and adaptation strategies to climate change. Besides saltmarshes, mangroves and coral reefs, this region also presents seagrass beds, macroalgae and rhodolith beds, forming underwater forests, which are key habitats for services such as biodiversity conservation, O<sub>2</sub> production, and absorption of part of the CO<sub>2</sub> from the atmosphere. Science endorses that ocean warming and acidification, sea level rise, biological invasions and their interactions with pollution, overfishing, and other stressors undermine the structure and functioning of these ecosystems, thus increasing the region's socio-environmental vulnerability. Ecosystem conservation, management and potential bioremediation/restoration using science-based solutions must be prioritized in order to reduce the vulnerability of coastal communities and the ocean.

**Keywords:** Blue Amazon. Biodiversity. Global stressors. Ocean warming. Ocean acidification. Pollution.

## Resumo

*A zona costeira, região que concentra boa parte da população brasileira, exerce papel central para a discussão da vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas. Além de marismas, manguezais e recifes de coral, nesta região encontramos bancos de gramas marinhas, de macroalgas e de rodólitos, que formam florestas submersas, habitats fundamentais para serviços como o de manutenção da biodiversidade, produção de O<sub>2</sub> e absorção de parte do CO<sub>2</sub> da atmosfera. A ciência reforça que o aquecimento e acidificação do oceano, a elevação do nível do mar, invasões biológicas e suas interações com a poluição, sobrepesca, entre outros estressores, comprometem a estrutura e o funcionamento destes ecossistemas, elevando a vulnerabilidade socioambiental da região. A conservação destes ecossistemas, seu manejo, eventual biorremediação/restauração, usando soluções baseadas em*



*evidências científicas, devem ser priorizadas para a redução da vulnerabilidade das comunidades costeiras e do oceano.*

*Palavras-chave: Amazônia Azul. Biodiversidade. Estressores Globais. Aquecimento do oceano. Acidificação do oceano. Poluição.*

## 1 INTRODUCTION

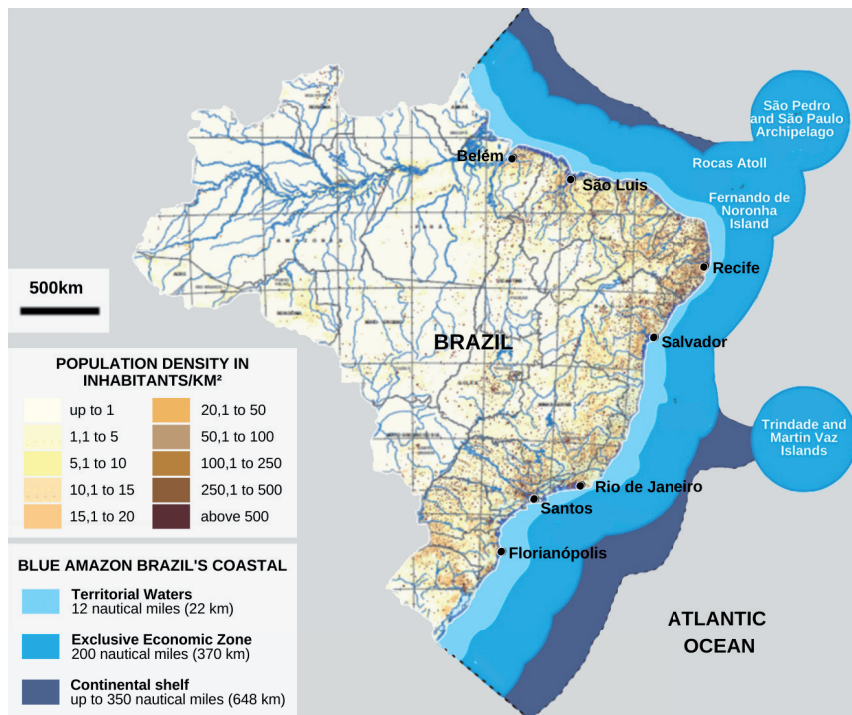
The discussion on Brazil's vulnerabilities to climate change has thrived at national level, mainly the interactions of local stressors like pollution, deforestation and fires, which aggravate consequences for the biomes. However, little importance has been given to the coastal marine environment. Brazil has one of the world's longest coastlines (~ 9,000 km<sup>2</sup>), and its exclusive economic zone (EEZ, a stretch from the coastline off to 200 nautical miles), known as Blue Amazon (Figure 1), is equivalent to the surface of the Legal Amazon area, comprising some 3.5 million km<sup>2</sup> (PRADO et al., 2015a; KERR et al., 2016b; GERHARDINGER et al., 2018) as in many other tropical countries, coastal communities have been dealing with a complex dynamics of change, mostly related to the degradation of ecosystems, growing tourism and changing government policies, with consequences for natural resources conservation and management. Understanding how these communities are dealing with such change and the trade-offs provide insights for building resilience. In this paper, we investigate how a Caiçara community (traditional group of mixed heritage).

The coastal region comprises remnants of the Atlantic Forest, parts of the Caatinga and the Amazon biomes (MARRONI e ASMUS, 2013), and some 60% of the country's urban population. This corresponds to 25% of the total population, concentrated in 4% of the national territory's area, with high demand for energy, food, water and housing (Figure 1). Population density, poor spatial planning and inadequate basic sanitation have an impact on the environment (HALPERN et al., 2015), changing the landscape and leading to air, soil and, especially, runoff pollution, thus impairing coastal environments' health (ELFES et al., 2014; HALPERN, 2020).

Like forests, the ocean acts as an annual sink of about 25% of CO<sub>2</sub> anthropogenic emissions, thus regulating the climate, which in turn benefits the population and the economy at several levels (WEATHERDON et al., 2016; COPERTINO et al., 2017; BERGSTROM et al., 2019). Besides mangroves and coral reefs, coastal regions also present seagrass beds, saltmarshes, macroalgae and rhodolith beds, forming underwater forests, rich and abundant biodiversity niches.

These ecosystem services, in addition to mitigating climate change and ocean acidification, also protect the coast from erosion. Saltmarshes, mangroves (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016) and seagrass beds (COPERTINO et al., 2016) have been historically present in the culture of traditional communities that live along Brazil's coastline. These environments also function as nurseries for a variety of marine organisms, contributing for the maintenance of economically and culturally important species.

The ocean and coastal zones' ecosystem services, essential for climate balance, food, energy, water and socio-cultural heritage securities, were emphasized in the Paris Agreement in 2015. In addition, conservation and good management of these services may represent solutions to problems related to energy demand and health, enabling alternatives to mitigate greenhouse gas emissions (GOUVÊA et al., 2020). The growing environmental conflicts caused by timber trade, agriculture, and mining compromise the services of the main terrestrial biomes (Pantanal, Cerrado and Amazon). Therefore, it is also necessary to highlight the vulnerabilities and threats experienced by Brazilian marine ecosystems.



**Figure 1 |** Map of Brazilian population density represented from dark brown (most densely populated areas) to white. Light blue represents the territorial sea, turquoise represents the Exclusive Economic Zone (EEZ), navy blue represents the continental shelf, which make up the so-called Blue Amazon (Gerhardinger et al. 2018).

Source: Census IBGE 2010.

Marine forests species decline has been reported on the Brazilian coast and attributed to urbanization (MARTINS et al., 2012) or other environmental stressors (GORMAN et al., 2020). Due to its extension and varied environmental conditions, the Brazilian coast is a good model to understand species displacement processes and to predict the consequences of climate change, especially those related to vulnerable communities' adaptation to transition regions, like the ones around the state of Santa Catarina (KRONIK et al., 2010; ZANETTI et al., 2016; BUSTAMANTE et al., 2019).

Some macroalgae genera are part of the structure of underwater forests in biogenic or rocky, tropical, and warm temperate reef systems (SPALDING et al., 2007), such as the *Sargassum* genus. In the Brazilian coast, it is found as benthic from the intertidal zone to great depths, but also include pelagic forms, which constitute floating masses (Sissini et al., 2017). Among the dominant *Sargassum* spp. morphologies, arborescent leaves and filamentous turfs algae stand out. These primary producers dominate 80% of the area of Brazilian submerged reefs with coverage ranging from 60% to almost 100% of the available substrate (AUED et al., 2018).

Underwater forests over consolidated seabeds dominated by *Sargassum* spp. have more three-dimensional complexity and spatial heterogeneity, playing an important ecological role in the composition and distribution of communities (JACOBUCCI and LEITE, 2002; GIANNI et al., 2013, MANSILLA and PEREIRA, 1998; SZÉCHY and PAULA, 2000; SZÉCHY et al., 2006; FIGUEIREDO and TÂMEGA, 2007).

Recent studies highlight that macroalgae are becoming less abundant or even disappearing from some areas of the ocean (TEAGLE et al., 2017), including in Brazil (GORMAN et al., 2020). Warming and acidification may compromise the oceans' life cycle, reducing their resistance, mainly if associated to coastal pollution (ARAÚJO et al., 2015; MARTINS et al., 2018). Populations that experience to extreme temperatures above optimal eco-physiological conditions, like the *Sargassum* spp. populations on the coast of the state of Santa Catarina, would represent the most vulnerable contingent against environmental unbalances (ARAÚJO et al., 2011; VIEJO et al., 2011). The physiological stress caused

by temperatures outside the ideal range leads to variations in enzymatic processes, cell damage, and death (EGGERT et al., 2012). These damages and the reallocation of physiological resources for protection and repair may affect growth and development and may cause individual mortality or even the local or regional population's extinction (DAVISON and PEARSON, 1996).

This study presents: i) a synthesis and an analysis based on the peer-reviewed bibliography of Brazilian efforts to describe the importance of coastal environments, their ecosystem services, and how these areas may respond to climate change; and ii) statistical modeling to discuss the impacts of ocean warming and acidification on the potential distribution of macroalgae forests dominated by the genus *Sargassum* spp., which are widely distributed along the Brazilian coast. Thus, this article presents the background for discussions related to environmental stressors impacts on niche adequacy for these organisms on the Brazilian coast. Considering that climate impacts interact with pollution, deforestation, use of pesticides or overfishing, this article also discusses possible solutions for the development of management tools that promote the restoration or conservation of balanced and healthy ecosystems.

## 2 MATERIAL AND METHODS

### 2.1 BIBLIOMETRICS

The SCOPUS, SCIENCE DIRECT and WEB OF SCIENCE databases, available at the CAPES publications portal, were used as sources of information and basis for bibliographic searches. Scientific articles were selected according to the use of the following key words: "Costal zone", "Climate change", "Changing oceans", "Global stressor", "Sea level", "Sea level rise", "Global warming", "Ocean warming", "Marine heatwaves", "Heatwaves", "Storms", "Ocean acidification", "Mangrove", "Estuaries", "Rockshore", "Seagrass", "Seaweed", "Macroalgae", "Sargassum", "Sandy Beach", "Coral Reef", "Rhodolith" and "Brazil". After a search for duplications and reference inadequacy for lack of coherence to the theme of the 4th National Communication on Climate Change, the works were exported to Biblioshiny for an analysis, by Bibliometrix 4.0 (SHI 2019), of metadata, global quotation, authors, and theme. The effort is represented by a word cloud that sums up the central aspects of the Brazilian academy's efforts to study climate change in the Blue Amazon.

### 2.2 POTENTIAL DISTRIBUTION MODELLING

Considering the need to understand climate change impacts on underwater forests and the lack of information about other species distribution, this article decided to assess suitability model for the genus *Sargassum* spp. for being among the most abundant and frequent on the coast, representing underwater forests (GORMAN et al., 2020).

The distribution analysis at present and future scenarios considered Representative Concentration Pathways (RCPs), and benthic environmental variables that are relevant to *Sargassum* spp: minimum and maximum temperature (°C) and minimum of irradiance ( $E.m^{-2}.dia^{-1}$ ), salinity (pss), nitrate, and phosphate ( $\mu mol.m^{-3}$ ), available in the Bio-ORACLE Database (TYBERGHEIN et al., 2012; ASSIS et al., 2017). Considering the known vertical distribution of benthic species of *Sargassum*, spp. the maximum depth of 100m was defined as a limit, using a bathymetric data set, with spatial resolution of 30 arcmin ( $\sim 9,2$  km at the equator). Besides the environmental variables at current conditions (2000–2017), environmental conditions for the 2090-2100 period were also assessed in the RCP 2.6 and RCP 8.5 scenarios. RCP 2.6 represents a high mitigation scenario in which mean temperature increases by 2°C above pre-industrial levels, and RCP 8.5 is a scenario with warming of up to 4,9°C (TIGNOR et al., 2018).

## 2.3 PRESENCE /PSEUDOABSENCES DATA FOR POTENTIAL DISTRIBUTION MODELLING

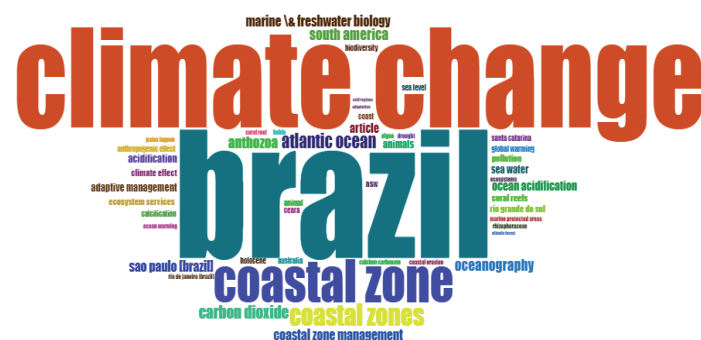
Georeferenced presence data for the genus *Sargassum* were sourced from the *Global Biodiversity Information Facility* online database (GBIF, 2018), and by the available literature. The data was approached according to Segurado et al. (2006), Cerasoli et al. (2017) and the models based on machine-learning algorithm Boosted Regression Trees (BRT) performed according to ELITH et al., (2008). Analyses were conducted in R (R Development Core Team, 2016) RStudio v.3.6.6 (Team, R. 2016). All maps were edited in QGIS (QGIS Development Team, R. 2019).

## 3 Outcomes and Discussion

### 3.1 BIBLIOMETRICS

A total of 234 bibliographic references were selected to build the national scenario of available Brazilian climate change impact studies on marine and coastal zones. Studies on this subject appeared in 1992 and increased in 2010 (supplementary material 1). Among the efforts of the past few decades, there are biogeochemistry studies related to the ocean acidification process and its impact on pH variation and total alkalinity, in addition to work related to sea level rise and its socio-environmental and economic impacts. CO<sub>2</sub> emissions are recognized as a central topic, and the direct or indirect cause of many impacts and alterations in organism biology, or even in community and ecosystems ecology or cities and regions vulnerability (Figure 2).

Coastal environments were evaluated under different approaches, but used variables related to climate change and their interactions with local stressors. Recently, usually observed biodiversity and ecological interactions have been revisited within this context, with focus on sandy beaches (AMARAL et al. 2016), rocky shores (COUTINHO et al., 2016), seagrass beds (COPERTINO et al., 2016), mangroves and other estuarine formations (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016; BERNARDINO et al., 2016), coral reefs (LEÃO et al., 2016), and Rhodolith beds (HORTA et al., 2016).



**Figure 2 |** Word cloud structured from a bibliographic review of aspects of climate change impacts and ocean acidification in the Blue Amazon. }

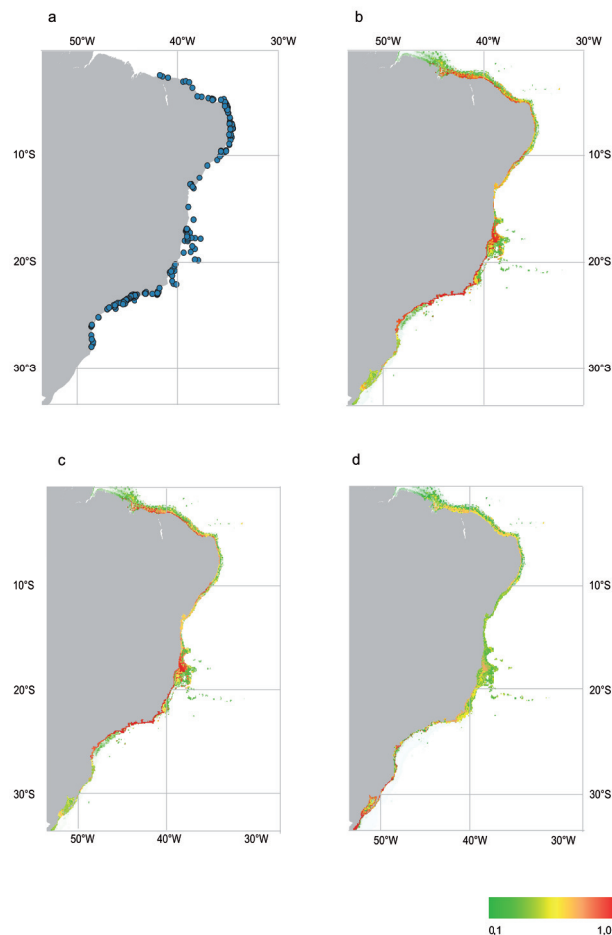
ource: produced from the Biblioshiny program (2020).

The efforts made by the Brazilian academy and partners endorse, with various evidence, that climate-change-related factors (warming and acidification) or local stressors (pollution and overfishing), and their interactions, threaten the balance of these coastal marine ecosystems, and their products and services. Studies report on physiological alterations in the fauna (as in BARROS et al., 2017) and marine flora (as in SCHERNER et al., 2012; GOUVÊA et al., 2017), in addition to focusing on the importance of these ecosystems for the coastline stability against climate change (ELLIFF and SILVA, 2017).

Notwithstanding the synthesis on climate change produced by the Brazilian Research Network on Global Climate Change and the Brazilian Ocean Acidification Network (KERR et al. 2016), other studies at national level mapping the presence of stressors in mining (MAGRIS et al., 2018), coastal pollution and fisheries (MAGRIS et al., 2019), biological invasions (KOERICH et al., 2020) or even global warming (MAGRIS et al., 2020) are scarce. These efforts are relevant to raise awareness about the severity of the problem and its national extent.

### 3.2 POTENTIAL DISTRIBUTION MODELLING

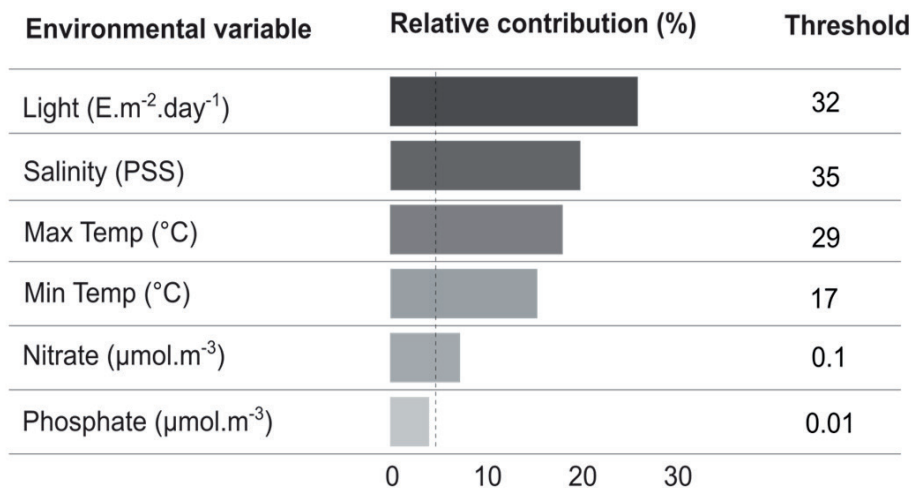
Potential distribution model outputs using RCP 2.6 and RCP 8.5 scenarios confirm niche loss and changes in the occurrence of *Sargassum* spp. (GORMAN et al., 2020) (SCHERNER et al., 2013). This suggests that even species with tropical affinities may experience losses at low latitudes and move south by 2100 (Fig. 3). The changes to the south do not seem to overcome or compensate for the losses in the distribution of *Sargassum* that may occur in the north. Moreover, despite minimum variations under low emission scenarios (RCP 2.6), there has been change in the potential distribution in the northern region of the country (Fig.3b). Distribution models showed high performance (True skill statistics-TSS 0.88, and receiver operating characteristic curve- AUC 0.94) and correspond to the known distribution of the genus (Fig. 3). The environmental variables that best explain the potential distribution are light, salinity, and temperature (maximum and minimum), with relative influence above 15% (Fig. 4).



**Figure 3** | Projections of the potential distribution of genus *Sargassum*, according to the occurrences (blue circles) on the Brazilian coast (a) considering the current scenario and predictive models generated from scenarios (b), RCP 2.6 of moderate emissions (c) and the most pessimistic scenario RCP 8.5 (d) for 2100. The green to red scale represents niche suitability (low (0.1) to high (1.0), respectively).

Source: Elaborated by the authors.





**Figure 4 |** Environmental variable, Relative contribution (%) and threshold used to potential distribution modelling of benthic *Sargassum*. Dotted line represents contributions of 5%.

Source: Elaborated by the authors.

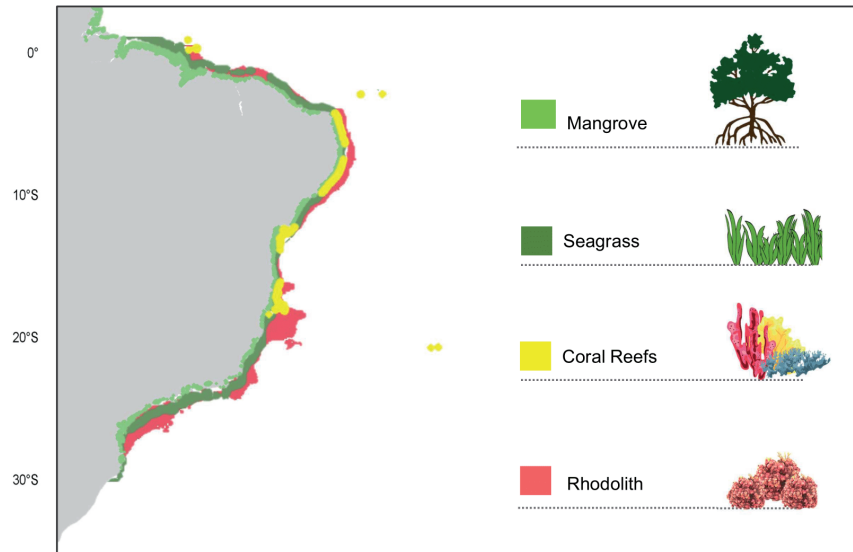
The tropicalization observed at higher latitudes, which would increase niche suitability along the warm temperate coast, is not accompanied by availability of abundant consolidated substrate to shelter quantitatively representative populations. Studies based on temperature, salinity, and irradiance limits for *Sargassum* species correspond to the thresholds inferred by our models, with tolerance ranges from 18°C to 30°C, salinity >20 and irradiance of 9.2–184  $E \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$  (HANISAK and SAMUEL, 1987, SCHERNER, et al. 2012, LI et al. 2019).

The absence of rocky shores along the coast of the state of Rio Grande do Sul must be taken into consideration when discussing refugia availability (ADDIS et al., 2016, AINSWORTH et al., 2020) to shelter fauna and flora that have been losing niche in tropical environments due to climate change and other stressors. Biomass losses of these algae by 52% have been observed since the 1980s on the southeastern coast of Brazil. This indicates that these ecosystems are losing health, highlighting the need for the urgent implementation of management systems to reduce stressors' impacts (GORMAN et al., 2020).

Marine heatwaves have increased in frequency and area in different regions, such as the Indo-Pacific Ocean (BENTHUYSEN et al., 2018), in the Mediterranean Sea (DARMARAKI et al., 2019) and in southern and northern Atlantic Ocean (GOUVÊA et al., 2017; OLIVER et al., 2018), inducing loss of marine forests. Moreover, a recent study has shown that two marine forests forming species (*Sargassum fallax* and *Scytothalia dorycarpa*) lost from 30% to 65% of their mean genetic diversity due to populational decline when exposed to a heatwave event (GURGEL et al., 2020). As projected warming trends continue during the 21<sup>st</sup> century (HIRAISHI et al., 2014), additional large-scale distribution trends of algae communities are expected (JUETERBOCK et al., 2013). Temperature variations, like the ones induced by marine heatwaves, determine the eco-physiological performance of marine organisms (EGGERT, 2012), causing changes in communities' structure and function (LAURIE, 1990).

In the past two decades, the species dispersal rate has increased significantly in response to anthropogenic environmental changes, displacing tropical species towards higher latitudes (CHEN et al., 2011). The consequences of this tropicalization in the composition and structure of coastal ecosystem depend on complex scenarios that need to be clarified by long-term studies and with simulations of environmental variability with utmost realism. Tropical algae species, seagrass or even coral reefs may become dominant in warm temperate environments. These alterations in availability and energy flows must be considered in conservation and management strategies to minimize risks, including a discussion about the ecosystem's socio-environmental and ethical aspects (VÉRGES et al., 2019).

When the distribution of key ecosystems for coastal resilience is mapped, they are seen as irreplaceable due to their role for biodiversity (COPERTINO et al., 2017), climate (BERGSTROM et al., 2019) and fishing stocks regulators (WEATHERDON et al., 2016), albeit under threat of multiple stressors in the Brazilian EEZ (MAGRIS et al., 2020) (Figure 4).



**Figure 5 |** Marine/coastal ecosystems distribution along the Brazilian EEZ whose physiognomy is determined by early-stage engineering species (mangroves (light green), seagrass (dark green), coral reefs (yellow) and rhodolith (pink)).

Sources: <http://gratispng.com>; <http://data.unep-wcmc.org>; Giri et al. (2011), Carvalho et al. (2020) and Horta et al. (2016).

Mangroves, saltmarshes and seagrass beds are known as “blue carbon” deposits, where CO<sub>2</sub> is stored in the form of organic material on the substrate sediments and biomass. Like macroalgae, during photosynthesis, these plants absorb large amounts of CO<sub>2</sub> dissolved in water, thus raising the pH of water around the plant. This role as carbon sink helps mitigate the damage caused by sea acidification to reef ecosystems and calcifying species. The daily CO<sub>2</sub> absorption by these primary producers may represent a solution and local adaptation for activities such as shellfish aquaculture, or *in situ* conservation of calcifying organisms, as these primary producers may mitigate acidification effects (BERGSTROM et al., 2019).

Notwithstanding the adaptive capacity of many species, it is observed that climate change impacts on the ocean biota, and warming, sea level rise, and acidification lead to the loss of biogenic reefs, mangroves, algae and seagrass beds (OPPENHEIMER et al., 2014; CRAMER et al., 2015; MAGALHÃES et al., 2020). Likewise, failing to intervene on human behavior feed a vicious cycle that compromises the ocean’s ability to contribute to climate regulation (HORTA et al., 2018), as well as interactions and interdependencies of continental ecosystems (LEYBA et al., 2019; MARENGO et al., 2019).

It is important to highlight that rainfall variability changes the continental runoff both qualitatively and quantitatively, affecting the coastal region. Coastal salinity decrease associated to rainfall increase may be linked to the depletion of underwater forests of *Sargassum* (SCHERNER et al., 2012). Additionally, blooms of floating populations (GOUVÊA et al., 2020) might be related to fertilization river basins with nutrients derived from fertilizers, soil erosion and livestock activities (BUSTAMANTE et al., 2015).

Besides climate change, varied sources of pollution, overfishing, among other aspects related to the country’s spatial planning, socioeconomic dynamic and governance have caused services loss and ocean and coastal zone vulnerability, increasing erosion and compromising the quality of life and income of the traditional populations that live in those areas (REYER et al., 2017; HORTA et al., 2012; COPERTINO et al., 2017; GERHARDINGER et al., 2018).

There is an intersection of the most distinct climate change impacts on socially vulnerable areas in the country's coastal zones. Poverty and socioeconomic inequality encompass both the urban population and traditional peoples, who fully depend on coastal zones and the ocean for their way of life and economy (SARAIVA et al., 2018). Socio-environmental data show that 82% of Brazilian coastal municipalities have less than half of their households connected to the sewage network, implying the irregular dumping of these wastes in courses that flow into the sea. The coastal population's average income does not exceed 6 minimum wages and 27% of these municipalities have an average income of less than one minimum wage, around US\$ 200,00 (IBGE, 2010).

From that perspective, fisheries and other water resources may be compromised by overexploitation and inadequate management, in addition to climate change threats. Climate impacts on fisheries resources are caused by an increase in air and ocean temperature and sea level rise. Combined to acidification, warming and local stressors cause coral reef losses, which, in turn, leads to coastal productivity loss and shortages of various natural resources (CYBULSKI et al., 2020). It is estimated that 1% loss of coral global coverage would lead to 3.8% economic loss associated with the recreational and commercial value of reef coverage equivalent to US\$ 3.95 to US\$ 23.78 billion annually (CHEN et al., 2015).

Despite the high, and so far underestimated economic losses for Brazil (MARTINS e GASALLA, 2018), climate change impacts have led to cultural losses such as altering and compromising the way of life, deaths linked to catastrophes caused by extreme events, as well as forced migrations from the place of origin associated with coastal erosion. These aspects are not quantified in the economic valuing metric, but lead to significant damage (HOEGH-GULDBERG et al., 2014; PRADO et al., 2015b). These non-economic losses to the population compromise the next generations and the ability to build a dignified, safe and sustainable future (ROY et al., 2018).

Evidence show that limiting global warming to 1.5°C above pre-industrial levels is pivotal for the survival of coral reef systems, since a 2°C mean global warming combined with acidification lead to severe biodiversity losses (ROY et al., 2018). This stresses the urgency of mitigation, restoration and socioeconomic adaptation actions (BERGSTROM et al., 2019). The loss of calcification capacity by these organisms, observed in combined scenarios of warming, acidification, and coastal pollution, might increase the losses of ecosystem services. If, on one hand, heating may compromise calcification by up to 50%, pollution may reduce these building organisms primary production by 90 to 100%. (SCHUBERT et al., 2019).

Considering the biogenic reefs and rhodolith beds from the Amazon River mouth to off the coast of Santa Catarina state (CARVALHO et al., 2020), the exposure of these organisms to extreme temperature conditions and lower pH may lead to the loss of 80% of the carbonate structure, thus compromising the entire ecosystem (MUÑOZ et al., 2018). Rhodolith beds are not fully investigated, but due to their ecological and evolutionary importance, deserve greater attention in public policies for conservation and management. These organisms occupy some 230 thousand km<sup>2</sup> along the EEZ, which corresponds to a carbonate deposit of about 2.10<sup>11</sup>-ton C, therefore being a long-term carbon reservoir (CARVALHO et al., 2020).

#### **4 RELEVANT SCIENTIFIC INITIATIVES IN PUBLIC POLICIES FOR OCEANS AND COASTAL ZONES**

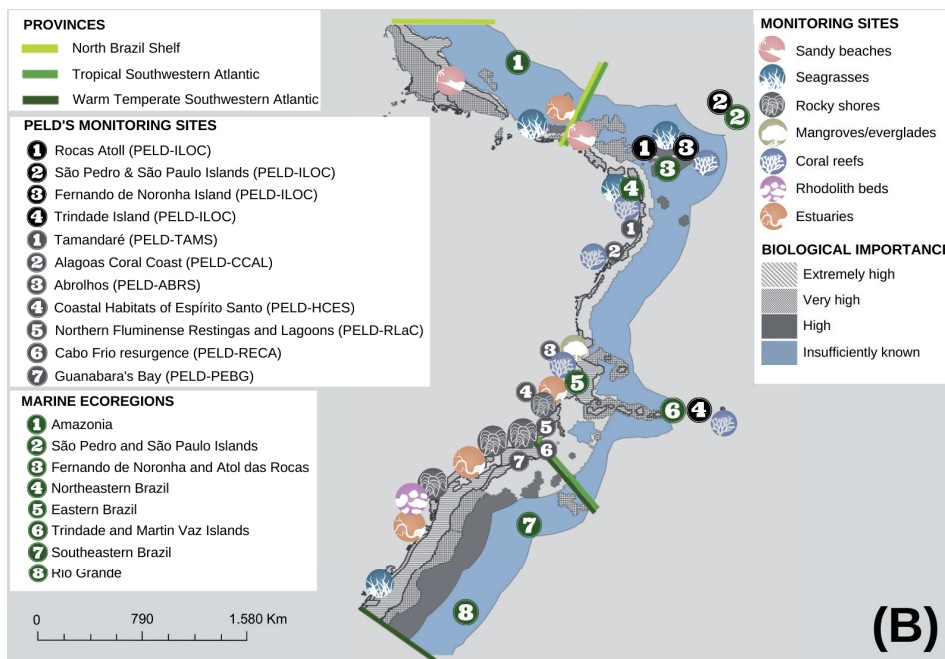
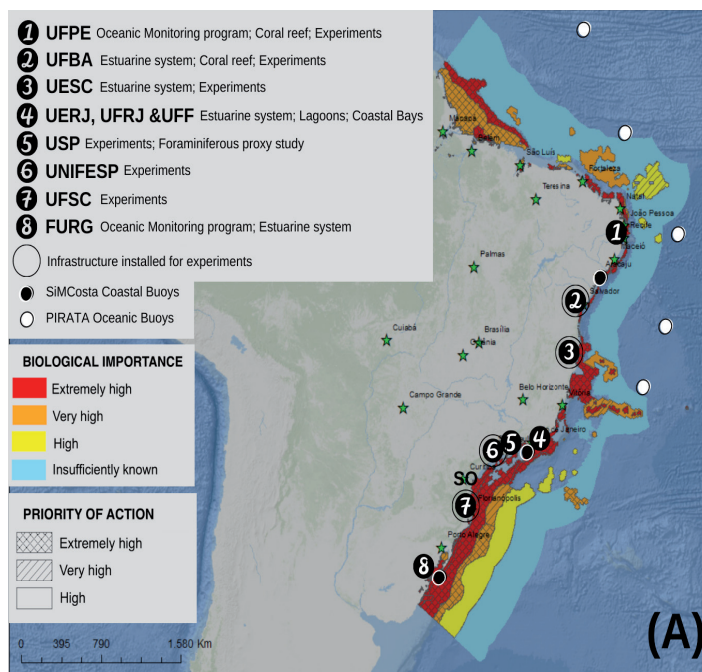
Some Brazilian scientific initiatives have stood out in highlighting the impacts and vulnerabilities of coastal areas and the ocean due to climate change and other stressors. In this regard, the Brazilian Research Network on Global Climate Change and its sub-networks on Oceans and Coastal Zones, the BrOA Network (the Brazilian Ocean Acidification Network), the Sisbiota Network, marine-coastal INCTs and the PELD program are noteworthy. All these efforts have been consolidated and contributed to the understanding on the impacts of climate change and ocean acidification on different ecosystems and

groups of organisms. The academic maturity process observed in Brazil is the direct result of investments made in infrastructure and availability of scholarships, especially for post-graduate studies, which were particularly significant by 2015 (ROSSI et al., 2019, MACÁRIO e REIS, 2020).

In this scenario, the Brazilian Research Network on Global Climate Change stands out for its national scope, involving dozens of research groups at universities and institutes, distributed in sub-networks in all regions of the country and working on studies on impacts, adaptation and vulnerabilities for agriculture and forestry, water resources, biodiversity and ecosystems, coastal zones, cities, economy, renewable energy, and health. The Coastal Zones sub-network and its coastal monitoring associate (the REBENTOS-Coastal Benthic Habitats Monitoring Network) is an inter-disciplinary, inter-institutional research network, with regional representativeness, encompassing the areas of coastal geomorphology, physical oceanography, biogeochemistry, biological oceanography, marine and socioeconomic ecology.

The BrOA network acts on topics related to ocean acidification, from observation studies that include coastal areas, to tests with organisms and numerical modeling. The BrOA network currently works in a self-organized way, with no funding, and is registered as a research group under CNPq, with about 40 researchers distributed in the country. Since its foundation, it has published reports and scientific articles to promote knowledge about ocean acidification, being recognized as a partner by the General Coordination of Geosciences, Ocean, and Antarctica of the MCTI.

These networks articulate and add efforts to projects related to long-term ecological programs that have already been consolidated or are about to be consolidated, which promote the monitoring of the country's different aspects and ecosystems. Considering the Blue Amazon extension, it is pivotal to consider the need to consolidate, broaden and engage these projects, groups and networks so that results are more robust and disclosed at the national level (Figure 5).



**Figure 6 |** Scientific networks monitoring Brazilian marine biodiversity. (A) Numbered circles indicate regional groups within the network, organized by institution, and the special arrangement of their areas of expertise: experiments, estuaries, coastal or oceanic observation and monitoring (buoys and/or oceanographic cruises). Dark circles indicate the SiMCosta buoy network, and the white circles indicate the Prediction and Research Moored Array in the Atlantic buoys. Highlighted in warmer colors, areas of greater biological importance and in the different filling patterns, the different degrees of priority action stand out; (B) Biogeographic provinces and marine ecoregions with emphasis on the biological importance and ecosystems monitored by REBENTOS and coastal marine PELD sites.

Sources: Spalding et al. 2007, Kerr et al. 2016, [www.cnpq.br](http://www.cnpq.br).

This set of institutions and the installed infrastructure are a strong ally for building impact adaptation and mitigation for coastal marine environments in the country. It is important to invest in maintaining and broadening these networks for the sustainable development and management of the country's coastal-marine environments. Academic knowledge and infrastructure must be articulated to the



organized society, using traditional knowledge to jointly define priorities for action to tackle the problems experienced and projected for the future of the Brazilian coast (GRILLI et al., 2019).

The Brazilian coastal management process must be considered in an integrated way due to the major interdependency between the coastal/oceanic system and the continental runoff (GRILLI et al., 2019). An integrated management system must avoid or mitigate the negative consequences of accidents such as those in the municipality of Mariana, in the state of Minas Gerais, which resulted in priceless losses from a human and environmental point of view since its occurrence, in November 2015, to the present day (CARMO et al., 2017) and for different coastal environments (COSTA et al., 2019). This accident affected different environments and conservation units, impacting over 1 million Brazilians, with consequences on coastal systems up to 200 km south (MARTA-ALMEIDA et al., 2016) and even northwards the Rio Doce mouth to the Abrolhos reef system (MAGRIS et al., 2018; FERNANDES et al., 2016).

Considering the beginning of the UN Ocean Decade (2021-2030), it is necessary to effectively contribute to coastal sanitation and mitigation of problems related to climate change and pollution in the Blue Amazon. Management of aquatic ecosystems with high water quality remediation capacity and potential for generating goods and services such as atmospheric CO<sub>2</sub> storage, such as macrophytes and macroalgae, reef environments, salt marshes, seagrass beds and rhodolith beds.

Respecting biogeography aspects particularities and the coast's latitudinal extension may lead to solutions based on scientific evidence to promote social development combined with ecological balance.

## 5 CONCLUSION

The national efforts made in the past decades have produced robust evidence of climate change impacts on the coastal zones and the risks they represent to the safety of coastal communities and marine ecosystems. Among global stressors, ocean warming, and acidification stand out. Local stressors include pollution and overfishing. These stressors impact on and compromise ecosystem products and services from mangroves, saltmarshes, reefs, seagrass beds, macroalgae and rhodolith beds.

Mapping the EEZ, its biodiversity and functioning, must guide integrated management actions, and discussions must value the particularities, vulnerabilities, resilience, climate refuges, high diversity environments and socio-environmental importance, considering the advancement of local and global threats. Concerted actions and the search for solutions based on scientific evidence must promote the balance of Brazil's coastal marine environments, accompanied by the unique health of the country's ocean and society' well-being.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This study was carried out with the support of grants from the Boticário Foundation, FAPESC- Research and Innovation Support Foundation of the State of Santa Catarina, Capes-Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel, CNPq-Council of Scientific and Technological Development, Petrobras Ambiental, REBENTOS-Coastal Benthic Habitats Monitoring Network, and ProspecMar-Sustainable Prospecting in Oceanic Islands: Biodiversity, Chemistry, Ecology and Biotechnology, Live Coral Network, REDEALGAS. The Portuguese Science and Technology Foundation (FCT) via FRH/BSAB/150485/2019, transitory norm DL57/2016/CP1361/CT0035, UIDB/04326/2020 project and PTDC/BIA-CBI/6515/2020. PAH thanks CAPES- Senior Visitor, CAPES-PrInt 310793 / 2018-01, CNPq-PVE 407365 / 2013-3, CNPq-Universal 426215 / 2016-8 and CNPq-PQ- 308537 / 2019-0. LCC thanks the UERJ/FAPERJ Pro-Science grant for the 2018-2021 period.

## References

- ADDIS, D. T.; PATTERSON III, W. F.; DANCE, M. A. **The potential for unreported artificial reefs to serve as refuges from fishing mortality for reef fishes.** North American Journal of Fisheries Management, v. 36, n. 1, p. 131-139, 2016.
- AINSWORTH, T. D.; HURD, C. L.; GATES, R. D.; BOYD, P. W. **How do we overcome abrupt degradation of marine ecosystems and meet the challenge of heat waves and climate extremes?** Global Change Biology, v. 26, n. 2, p. 343-354, 2020.
- Amaral, A. C. Z.; Corte, G. N.; Denadai, M. R.; Colling, L. A.; Borzone, C.; Veloso, V.; ... & Rosa, L. C. D. **Brazilian sandy beaches: characteristics, ecosystem services, impacts, knowledge and priorities.** Brazilian Journal of Oceanography, v. 64(SPE2), p. 5-16, 2016.
- ARAÚJO, R.; SERRÃO, E. A.; SOUSA-PINTO, I.; ABERG, P. **Phenotypic differentiation at southern limit borders: the case study of two fucoid macroalgal species with different life-history traits.** Journal of Phycology, v. 47, n. 3, p. 451-462, abr. 2011. doi:10.1111/j.1529-8817.2011.00986.x.
- ARAÚJO, R.; SERRÃO, E. A.; SOUSA-PINTO, I.; ARENAS, F.; MONTEIRO, C.A.; TOTH, G., ÅBERG, P. **Trade offs between life-history traits at range-edge and central locations.** Journal of Phycology, v. 51, n. 4, p. 808-818, jun. 2015. doi:10.1111/jpy.12321.
- ARAÚJO, M. E.; DE MATTOS, F. M. G.; DE MELO, F. P. L.; CHAVES, L. D. C. T.; FEITOSA, C. V.; LIPPI, D. L.; HACKRADT, F. C. F.; HACKRADT, C. W.; NUNES, J. L. S.; LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; JUNIOR, A. V. F.; PEREIRA, P. H. C.; MACEDO, C. H. R.; SAMPAIO, C. L. S.; FEITOSA, J. L. L. **Diversity patterns of reef fish along the Brazilian tropical coast.** Marine Environmental Research, v. 160, p. 105038, set. 2020.
- ASSIS, J.; TYBERGHEIN, L.; BOSCH, S.; VERBRUGGEN, H.; SERRÃO, E. A.; DE CLERCK, O. Bio- ORACLE v20: **Extending marine data layers for bioclimatic modelling.** Global Ecology and Biogeography, v. 27, n. 3, p. 277-284, dez. 2017. doi:101111/geb12693.
- AUED, A.W.; SMITH, F.; QUIMBAYO, J. P.; CANDIDO, D. V.; LONGO, G. O.; FERREIRA, C. E. L.; WITMAN, J. D.; FLOETER, S. R.; SEGAL, B. **Large-scale patterns of benthic marine communities in the Brazilian Province.** PloS one, v. 13, n. 6, p. e0198452, 2018.
- Benthuisen, J. A.; Oliver, E. C. J.; Feng, M.; and Marshall, A. G. **Extreme marine warming across tropical Australia during austral summer 2015-2016.** J. Geophys. Res. Oceans. 123, 1301-1326. 2018. doi: 10.1002/2017JC013326
- BERGSTROM, E.; SILVA, J.; MARTINS C.; HORTA, P. **Seagrass can mitigate negative ocean acidification effects on calcifying algae.** Scientific Reports, v. 9, n.1932, fev. 2019. doi: 10.1038/s41598-018-35670-3.
- BERNARDINO, A. F.; PAGLIOSA, P. R.; CHRISTOFOLETTI, R. A.; BARROS, F.; NETTO, S. A.; MUNIZ, P.; LANA, P. D. C. **Benthic estuarine communities in Brazil: moving forward to long term studies to assess climate change impacts.** Brazilian Journal of Oceanography, v. 64(SPE2), p. 81-96, 2016.
- BARROS, L. F.; MARQUES, J. A.; DUARTE, G. A. S.; PEREIRA, C. M.; CALDERON, E. N.; CASTRO, C. B.; BIANCHINI, A. **Copper effects on biomarkers associated with photosynthesis, oxidative status and calcification in the Brazilian coral *Mussismilia harttii* (Scleractinia, Mussidae).** Marine Environmental Research, v. 130, p. 248-257, 2017.
- BUSTAMANTE, M. M., MARTINELLI, L. A., PÉREZ, T., RASSE, R., OMETTO, J. P. H., PACHECO, F. S. & MARQUINA, S. **Nitrogen management challenges in major watersheds of South America.** Environmental Research Letters, 10(6), 065007, 2015.
- BUSTAMANTE, M. M. et al. Tendências e impactos dos vetores de degradação e restauração da biodiversidade e serviços ecossistêmicos. In: SCARIOT A. et al. (eds). **Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos.** 2018.
- BUSTAMANTE, M. M. et al. Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change: lessons and challenges from Brazil. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, v. 24, n. 7, p. 1249-1270, 2019.

CARMO, F. F., KAMINO, L. H. Y., JUNIOR, R. T., DE CAMPOS, I. C., DO CARMO, F. F., SILVINO, G., PINTO, C. E. F. **Fundão tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context.** Perspectives in Ecology and Conservation, 2017.

CARVALHO, V. F.; ASSIS, J.; SERRÃO, E. A.; NUNES, J. M.; BATISTA, A. A.; BATISTA, M. B.; BARUFI, J. B.; SILVA, J.; PEREIRA, S. M. B.; HORTA, P. A. **Environmental drivers of rhodolith beds and epiphytes community along the South Western Atlantic coast.** Marine Environmental Research, v. 154, p. 104827, fev. 2020.

CERASOLI, F.; IANNELLA, M.; D'ALESSANDRO, P.; BIONDI, M. **Comparing pseudo-absences generation techniques in boosted regression trees models for conservation purposes: a case study on amphibians in a protected area.** PLoS One, v. 12, n. 11, nov. 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187589>

CHEN, I.-C.; HILL, J.; OHLEMULLER, R.; ROY, D.B.; THOMAS, C. **Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming.** Science, v. 333, n. 6045, p. 1024-1026, 2011..

CHEN, P. Y.; CHEN, C. C.; CHU, L.; MCCARL, B. **Evaluating the economic damage of climate change on global coral reefs.** Global Environmental Change, v. 30, p.12–20, jan. 2015. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2014.10.011.

COPERTINO, M. S.; CREED, J. C.; LANARI, M. O.; MAGALHÃES, K.; BARROS, K.; LANA, P. C.; HORTA, P. A. **Seagrass and submerged aquatic vegetation (VAS) habitats off the coast of Brazil: state of knowledge, conservation and main threats.** Brazilian Journal of Oceanography, v.64(SPE2), p.53-80, 2016.

COPERTINO, M. S. et al. Zonas Costeiras. In: NOBRE, C.; MARENGO, J. (eds) **Mudanças Climáticas em Rede: Um Olhar Interdisciplinar.** Contribuições do Instituto de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas. São José dos Campos: INCT, 2017. p. 608.

COSTA, G. B.; RAMLOV, F.; DE RAMOS, B.; KOERICH, G.; GOUVEA, L.; COSTA, P. G.; BIANCHINI, A.; MARASCHIN, M.; HORTA, P. A. **Physiological damages of Sargassum cymosum and Hypnea pseudomusciformis exposed to trace metals from mining tailing.** Environmental Science and Pollution Research, v. 26, n. 36, p. 36486-36498, nov. 2019.

COUTINHO, R.; YAGINUMA, L. E.; SIVIERO, F.; DOS SANTOS, J. C. Q.; LÓPEZ, M. S.; CHRISTOFOLETTI, R. A.; MASI, B. **Studies on benthic communities of rocky shores on the Brazilian coast and climate change monitoring: status of knowledge and challenges.** Brazilian Journal of Oceanography, v. 64(SPE2), p. 27-36, 2016. CRAMER, W.; YOHE, G. W.; AUFFHAMMER, M.; HUGGEL, C.; MOLAU, U.; DA SILVA DIAS, M. A. A. F.; SOLOW, A.; STONE, D. A.; TIBIG, L.; LEEMANS, R.; SEGUIN, B.; SMITH, N.; HANSEN, G. Detection and attribution of observed impacts. In: Climate Change 2014 Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects. 2015

CYBULSKI, J. D. et al. **Coral reef diversity losses in China's Greater Bay Area were driven by regional stressors.** Science Advances, v. 6, n. 40, p. eabb1046, 2020.

DARMARAKI, S.; SOMOT, S.; SEVAULT, F.; NABAT, P. **Past variability of Mediterranean Sea marine heatwaves.** Geophys. Res. Lett. v. 46, p. 9813–9823, 2019. doi: 10.1029/2019GL082933

DAVISON, I. R.; PEARSON, G. A. **Stress tolerance in intertidal seaweeds.** Journal of Phycology, n. 32, p.197–211, abr. 1996. doi:10.1111/j0022-3646199600197x.

DAYTON, P. K.; TEGNER, M. J.; EDWARDS, P. B.; RISER, K. L. **Sliding baselines, ghosts, and reduced expectations in kelp forest communities.** Ecological Applications, v. 8, n. 2, p.309-322, mai.1998. doi:10.2307/2641070.

DUARTE, L.; VIEJO, R. M. **Environmental and phenotypic heterogeneity of populations at the trailing range-edge of the habitat-forming macroalga Fucus serratus.** Marine Environmental Research, v.136, p.16-26, mai. 2018. doi:10.1016/j.marenvres.2018.02.004

EGGERT, A. Seaweed responses to temperature. In: WIENCKE, C.; BISCHOF, K. (Eds), **Seaweed Biology.** Springer Publishing, p. 47-66, 2012.

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R.; HASTIE, T. **A working guide to boosted regression trees.** Journal of Animal Ecology, v. 77, p.802–813, abr. 2008. doi:10.1111/j1365-2656200801390x.

- ELFES, Cristiane T. et al. **A regional-scale ocean health index for Brazil.** PLoS One, v. 9, n. 4, p. e92589, 2014.
- ELLIFF, C. I.; SILVA, I. R. **Coral reefs as the first line of defense: Shoreline protection in face of climate change.** Marine Environmental Research, v. 127, p. 148–154, 2017.
- FERNANDES, G. W. et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v.14, n. 2, p. 35-45, nov. 2016.
- FIGUEIREDO, M. A. O.; TÂMEGA, F. T. S. Macroalgas marinhas Biodiversidade marinha da Baía da Ilha Grande Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p 155-180. 2007
- GALLON, R. K.; ROBUCHON, M.; LEROY, B.; LE GALL, L.; VALERO, M.; FEUNTEUN, E. **Twenty years of observed and predicted changes in subtidal red seaweed assemblages along a biogeographical transition zone: inferring potential causes from environmental data.** Journal of Biogeography, v. 41, n.12, p.2293-2306, ago. 2014. <https://doi.org/10.1111/jbi.12380>
- GBIF.org (26th September 2018). GBIF Occurrence Download. <https://doi.org/10.15468/dl.1kuflix>
- GERHARDINGER, L. C.; GORRIS, P.; GONÇALVES, L. R.; HERBST, D. F.; VILA-NOVA, D. A.; DE CARVALHO, F. G.; GLASER, M.; ZONDERVAN, R.; GLAVOVIC, B. C. Healing Brazil's Blue Amazon: The Role of Knowledge Networks in Nurturing Cross-Scale Transformations at the Frontlines of Ocean Sustainability. **Frontiers of Marine Science**, v.4, jan. 2018. doi: 10.3389/fmars.2017.00395
- GIANNI, F.; BARTOLINI, F.; AIROLDI, L.; BALLESTEROS, E.; FRANCOUR, P.; GUIDETTI, P.; MANGIALAJO, L. Conservation and restoration of marine forests in the Mediterranean Sea and the potential role of Marine Protected Areas. **Advances in Oceanography and Limnology**, v.4, n.2, p.83-101, dez. 2013. doi:10.4081/aiol.2013.5338.
- GIRIR, C.; OCHIENG, E.; TIESZEN, L. L.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; MASEK, J.; DUKE, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data (version 1.3, updated by UNEP-WCMC). **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, p.154-159, 2011. doi:10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x. <http://data.unep-wcmc.org/datasets/4>.
- GORMAN, D.; HORTA, P.; FLORES, A. A.; TURRA, A.; BERCHEZ, F.A. D. S.; BATISTA, M. B. VILLAÇA, R. C. **Decadal losses of canopy-forming algae along the warm temperate coastline of Brazil.** Global Change Biology, v. 26, n.3, p.1446-1457, mar. 2020. doi:10.1111/gcb.14956.
- GOUVÊA, L. P.; SCHUBERT, N. MARTINS, C. D. L.; SISSINI, M.; RAMLOV, F.; RODRIGUES, E. R. D. O.; VARELA, D. A. **Interactive effects of marine heatwaves and eutrophication on the ecophysiology of a widespread and ecologically important macroalga.** Limnology and Oceanography, v. 62, n. 5, p.2056-2075, set. 2017. doi: 10.1002/lno.10551.
- GOUVÊA, L. P.; ASSIS, J.; GURGEL, C. F.; SERRÃO, E. A.; SILVEIRA, T. C.; SANTOS, R.; DUARTE, C. M.; PERES, L. M. C.; CARVALHO, V. F.; BATISTA, M.; BASTOS, E.; SISSINI, M. N.; HORTA, P. A. **Golden carbon of Sargassum forests revealed as an opportunity for climate change mitigation.** Science of The Total Environment, 138745. v. 719, ago. 2020
- GRILLI, N. DE M.; XAVIER, L.Y.; JACOBI, P.R.; TURRA, A. **Integrated science for coastal management: Discussion on a local empirical basis.** Ocean Coast Manag, v. 167, p.219–228, 2019. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2018.10.009.
- Gurgel, C. F. D., Camacho, O., Minne, A. J., Wernberg, T., & Coleman, M. A. **Marine heatwave drives cryptic loss of genetic diversity in underwater forests.** Current Biology. v.30, p.1199-1206, 2020. doi.org/10.1016/j.cub.2020.01.051
- HALPERN, B. S. et al. **Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean.** Nature communications, v. 6, n. 1, p. 1-7, 2015.
- HALPERN, B. S. **Building on a Decade of the Ocean Health Index.** One Earth, v. 2, n. 1, p. 30-33, 2020.
- HANISAK, M.D.; SAMUEL, M.A. **Growth rates in culture of several species of Sargassum from Florida, USA.** Hydrobiologia, v. 151–152, p. 399–404, 1987. doi:10.1007/BF00046159.

HATJE, V.; PEDREIRA, R. M.; DE REZENDE, C. E.; SCHETTINI, C. A. F.; DE SOUZA, G. C.; MARIN, D. C.; HACKSPACHER, P. C. **The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide**. Scientific reports, v. 7, n. 1, p. 1-13. set. 2017.

HIRAIISHI, T., KRUNG, T., TANABE, K., SRIVASTAVA, N., BAASANSUREN, J., FUKUDA, M., TROXLER, T. G. Supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland, 2014.

HOEGH-GULDBERG, O. et al. (eds). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p.1655–1731, 2014.

HORTA, P. A. et al. Evaluation of impacts of climate change and local stressors on the biotechnological potential of marine macroalgae - A brief theoretical discussion of likely scenarios. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 22, n. 4, p.768-774, jun. 2012. doi:10.1590/S0102-695X2012005000085.

HORTA, P. A., RIUL, P., AMADO FILHO, G. M., GURGEL, C. F. D., BERCHEZ, F., NUNES, J. M. D. C. & SISSINI, M. Rhodoliths in **Brazil: Current knowledge and potential impacts of climate change**. Brazilian Journal of Oceanography, v. 64(SPE2), p. 117-136, 2016. doi.org/10.1590/S1679-875920160870064sp2

HORTA, P. A.; GURGEL, C. F. D.; RORIG, L. R.; PAGLIOSA, P.; RODRIGUES, A. C.; FONSECA, A.; BUCKERIDGE, M. **Climate change feeds climate changes**. Int J Hydro, v.2, n.1, p.61-62, 2018.

JACOBUCCI, G. B.; LEITE, F. P. P. **Depth distribution and seasonal fluctuations of vagile macrofauna associated with Sargassum cymosum C Agardh at Lázaro beach, Ubatuba, São Paulo, Brazil**. Revista Brasileira de Zoologia, v. 19, n. 1, p. 87-100, jul. 2002. doi:10.1590/S0101-81752002000500004

JAYATHILAKE, D.R.M.; COSTELLO, M.J. **A modelled global distribution of the seagrass biome**. Biological Conservation, v. 226, p. 120-126, out. 2018.

JUETERBOCK, A.; TYBERGHEIN, L.; VERBRUGGEN, H.; COYER, J. A.; OLSEN, J. L.; HOARAU, G. **Climate change impact on seaweed meadow distribution in the North Atlantic rocky intertidal**. Ecology and evolution, v.3, n.5, p.1356-1373, abr. 2013. https://doi.org/10.1002/ece3.541

KERR, R.; DA CUNHA, L. C.; KIKUCHI, R. K. P.; HORTA, P. A.; ITO, R. G.; MÜLLER, M. N.; ORSELLI, I. B. M.; LENCINA-AVILA, J. M.; DE ORTE, M. R.; SORDO, L.; PINHEIRO, B. R.; BONOU, F. K.; SCHUBERT, N.; BERGSTROM, E.; COPERTINO, M. S. **The Western South Atlantic Ocean in a High-CO2 World: Current Measurement Capabilities and Perspectives**. Environmental Management, v.57, p. 740–752, 2016. doi: 10.1007/s00267-015-0630-x.

KOCH, M.; BOWES, G.; ROSS, C.; ZHANG, X-H. **Climate change and ocean acidification effects on seagrasses and marine macroalgae**. Global Change Biology, v. 19, p.103–132, 2013. doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02791.x.

KOERICH, G. et al. **How experimental physiology and ecological niche modelling can inform the management of marine bioinvasions?** Science of The Total Environment, v. 700, p. 134692, 2020.

Kronik, J.; Verner, D.; Mearns, R.; Norton, A. **The role of indigenous knowledge in crafting adaptation and mitigation strategies for climate change in Latin America**. Social Dimensions of Climate Change, 145, 2010. doi.org/10.1596/978-0-8213-7887-8

LAURIE, W. A. **Effects of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation event on marine iguana (Amblyrhynchus cristatus Bell, 1825) populations on Galápagos**. Elsevier Oceanography Series, v. 52, p. 361-380, 1990.

LEÃO, Z. M., KIKUCHI, R. K., FERREIRA, B. P., NEVES, E. G., SOVIERZOSKI, H. H., OLIVEIRA, M. D., ... & JOHANSSON, R. Brazilian coral reefs in a period of global change: A synthesis. **Brazilian Journal of Oceanography**, 64(SPE2), 97-116. 2016.

LEYBA, I. M., SOLMAN, S. A., & SARACENO, M. Trends in sea surface temperature and air–sea heat fluxes over the South Atlantic Ocean. **Climate Dynamics**, 53(7-8), 4141-4153. 2019.



- LI, J. LIU, YINGCHAO, LIU, YAN, WANG, Q., GAO, X., GONG, Q. **Effects of temperature and salinity on the growth and biochemical composition of the brown alga *Sargassum fusiforme* (Fucales, Phaeophyceae).** J. Appl. Phycol. v.31, p.3061–3068, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01795-9>.
- LIMA, F. P.; RIBEIRO, P. A.; QUEIROZ, N.; HAWKINS, S. J.; SANTOS, AM. **Do distributional shifts of northern and southern species of algae match the warming pattern?** Global Change Biology, v.13, n.12, p. 2592-2604, dez. 2007. doi:10.1111/j1365-2486200701451x.
- MACÁRIO, E.; REIS, L. **COVID-19, dívida pública e crise de financiamento de ciência e tecnologia no Brasil.** Auditoria Cidadã, 2020.
- MAGALHÃES, K. M. et al. **Oil spill+ COVID-19: A disastrous year for Brazilian seagrass conservation.** Science of The Total Environment, p. 142872, 2020.
- MAGRIS, R. A.; GRECH, A.; PRESSEY, R. L. **Cumulative human impacts on coral reefs: assessing risk and management implications for Brazilian coral reefs.** Diversity, v. 10, n. 2, p. 26, abr. 2018.
- MAGRIS, R. A.; MARTA-ALMEIDA, M.; MONTEIRO, J. A.; BAN, N. C. **A modelling approach to assess the impact of land mining on marine biodiversity: Assessment in coastal catchments experiencing catastrophic events (SW Brazil).** Science of The Total Environment, v. 659, p.828-840, abr. 2019.
- MAGRIS, R. A. et al. **A blueprint for securing Brazil's marine biodiversity and supporting the achievement of global conservation goals.** Diversity and Distributions. 2020. doi.org/10.1111/ddi.13183
- MANSILLA, M. A. Q.; PEREIRA, S. M. **Varição temporal da abundância e composição específica da macroflora associada a uma população de *Sargassum* (Fucophyceae) do litoral sul de Pernambuco, Brasil.** Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo, p. 271-276, 1998. doi: 10.2307/42871503.
- MARENCO, J. A.; CUNHA, A. P.; SOARES, W. R.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M.; DE BARROS BRITO, S. S.; CUARTAS, L. A.; LEAL, K.; RIBEIRO NETO, G.; ALVALÁ, R. C. S.; MAGALHAES, A. R. **Increase Risk of Drought in the Semiarid Lands of Northeast Brazil Due to Regional Warming above 4 °C.** Climate Change Risks in Brazil. Springer International Publishing, p. 181–200, 2019.
- MARRONI, E. V.; ASMUS, M. L. **Historical antecedents and local governance in the process of public policies building for coastal zone of Brazil.** Ocean & Coastal Management, v.76, p.30–37, mai. 2013. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2013.02.011.
- MARTA-ALMEIDA, M.; MENDES, R.; AMORIM, F. N.; CIRANO, M.; DIAS, J. M. **Fundão Dam collapse: Oceanic dispersion of River Doce after the greatest Brazilian environmental accident.** Marine pollution bulletin, v.112, n.1-2, p.359-364, nov. 2016.
- MARTINS, C. D.; ARANTES, N.; FAVERI, C.; BATISTA, M. B.; OLIVEIRA, E. C.; PAGLIOSA, P. R.; HORTA, P. A. **The impact of coastal urbanization on the structure of phytobenthic communities in southern Brazil.** Marine pollution bulletin, v. 64, n.4, p.772-778, 2012.
- MARTINS, G.M.; ARENAS, F.; TUYA, F.; RAMÍREZ, R.; NETO, A.I.; JENKINS, S.R. **Successional convergence in experimentally disturbed intertidal communities.** Oecologia, v.186, n. 2, p. 507-516, 2018. doi:10.1007/s00442-017-4022-1.
- MARTINS, I. M.; GASALLA, M. A. **Perceptions of climate and ocean change impacting the resources and livelihood of small-scale fishers in the South Brazil Bight.** Climatic Change, v.147, p.441-456, fev. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2144-z>
- MÜLLER, R.; LAEPPEL, T.; BARTSCH, I.; WIENCKE, C. **Impact of oceanic warming on the distribution of seaweeds in polar and cold-temperate waters.** Botanica Marina, v. 52, n.6, p. 617- 638, dez. 2009. doi:101515/BOT2009080.
- MUÑOZ, P. T.; SÁEZ, C. A.; MARTÍNEZ-CALLEJAS, M. B.; FLORES-MOLINA, M. R.; BASTOS, E.; FONSECA, A. ; GURGEL, C. F. D. ; BARUFI, J. B.; RÖRIG, L.; HALL-SPENCER, J. M.; HORTA, P. A. **Short-term interactive effects of increased temperatures and acidification on the calcifying macroalgae *Lithothamnion crispatum* and *Sonderophycus capensis*.** Aquatic Botany, v. 148, p. 46-52, ago. 2018.

OLIVER, E. C. J., DONAT, M. G., BURROWS, M. T., MOORE, P. J., SMALE, D. A., ALEXANDER, L. V., et al. **Longer and more frequent marine heatwaves over the past century.** *Nat. Commun.*, v.9, n.1324, 2018. doi: 10.1038/s41467-018-03732-9

OPPENHEIMER, M.; CAMPOS, M.; WARREN, R.; BIRKMANN, J.; LUBER, G.; O'NEILL, B.; TAKAHASHI, K. Emergent Risks and Key Vulnerabilities. *Climate Change 2014 Impacts, Adapt Vulnerability Part A Glob Sect Asp Contrib Work Gr II to Fifth Assess Rep Intergov Panel Climate Change.* P.1039–1099, 2014. doi: 10.1017/CBO9781107415379.

PHILLIPS, J. A.; BLACKSHAW, J. K.; BLACKSHAW, J. K. **Extirpation of macroalgae (*Sargassum* spp) on the subtropical east Australian coast.** *Conservation Biology*, v.25, n.5, p.913-921, set. 2011. doi: 10.1111/j.1523-1739.2011.01727.x.

PRADO, D. S.; SEIXAS, C. S.; BERKES, F. **Looking back and looking forward: Exploring livelihood change and resilience building in a Brazilian coastal community.** *Ocean & Coastal Management*, v. 113, p.29–37, 2015a. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2015.05.018.

PRADO, D. S.; SEIXAS, C. S.; BERKES, F. **Looking back and looking forward: Exploring livelihood change and resilience building in a Brazilian coastal community.** *Ocean & Coastal Management*, v. 113, p.29–37, 2015b. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2015.05.018.

QGIS Development Team (2019) QGIS Geographic Information System Open Source Geospatial Foundation Project <http://qgisosgeorg>.

REYER, C. P. O. et al. **Climate change impacts in Latin America and the Caribbean and their implications for development.** *Regional Environmental Change*, v.17, p.1601–1621, 2017. doi: 10.1007/s10113-015-0854-6.

RIUL, P. **Modelagem e distribuição de espécies bêmicas.** 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

ROSSI, P. et al. **Austeridade fiscal e o financiamento da educação no Brasil.** *Educação&Sociedade*, v. 40, 2019.

ROY, J. et al. Sustainable Development, Poverty Eradication and Reducing Inequalities. In: MASSON-DELMONTE, V. et al. (Eds). *An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development.* p. 435–558, 2018.

R Development Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing* R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria 2016.

RStudio Team, *RStudio: Integrated Development for R* RStudio, Inc, Boston, MA, 2016. URL <http://www.rstudio.com/>.

SARAIVA, A.; LIMA, A. G. M.; ADAMS, C.; CERVONE, C. O. F.; OVERBECK, G. E.; QUEIROZ, H.; MENEZES, J. A.; GONÇALVES, L. R.; LONDE, L. R.; ELOY, L.; CUNHA, M. C.; PRADO, R. B.; RAFAEL LEMBI, R. K. VIEIRA, S.; CONFALONIERU, U. E. C.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; AZEVEDO, S. M. F. O. Contribuições da Natureza para Qualidade de Vida. In: SEIXAS, C. S. (ed) *Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos.* 2018.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y., SORIANO-SIERRA, E. J., VALE, C. C. D., BERNINI, E., ROVAI, A. S., PINHEIRO, M. A. A., MARTINEZ, D. I. **Climate changes in mangrove forests and salt marshes.** *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 64(spe2), p.37-52, 2016.

SCHERNER, F., VENTURA, R., BARUFI, J. B., & HORTA, P. A. **Salinity critical threshold values for photosynthesis of two cosmopolitan seaweed species: providing baselines for potential shifts on seaweed assemblages.** *Marine environmental research*, v.91, p.14-25, 2012.

SCHERNER, F.; HORTA, P. A.; DE OLIVEIRA, E. C.; SIMONASSI, J. C.; HALL-SPENCER, J. M.; CHOW, F.; NUNES, J. M. C.; PEREIRA, S. M. B. **Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic.** *Marine Pollution Bulletin*, v. 76, p. 106-115, nov. 2013.

SHI, Lei. Mapping ecological trends by keywords in the last 20 years. *PeerJ Preprints*, 2019.

SCHUBERT, N.; SALAZAR, RICH, W. A.; BERCOVICH, M. V.; ALMEIDA SAÁ, A. C.; FADIGAS, S. D.; SILVA, J.; HORTA, P. A. **Rhodolith primary and carbonate production in a changing ocean: The interplay of warming and nutrients.** *Science of The Total Environment*, v. 676, p. 455-468, 2019.

SEGURADO, P.; ARAÚJO, M. B.; KUNIN, W. E. **Consequences of spatial autocorrelation for niche-based models.** *Journal of Applied Ecology*, v.43, p.433-444, 2006.

SISSINI, M. N.; DE BARROS BARRETO, M. B. B.; SZÉCHY, M. T. M.; DE LUCENA, M. B.; OLIVEIRA, M. C.; GOWER, J.; MARTINELLI-FILHO, J. E. **The floating Sargassum (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean—likely scenarios.** *Phycologia*, v.56, n.3, p.321-328, 2017. doi:10.2216/16-92.1.

SPALDING, M. D.; FOX, H. E.; ALLEM, G. R.; DAVIDSON, N.; FERDAÑA, Z. A.; FINLAYSON, M. A. X.; MARTIN, K. D. **Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas.** *BioScience*, v.57, n. 7, p. 573-583, 2007.

SZÉCHY, M. D.; PAULA, E. D.; **Padrões estruturais quantitativos de bancos de Sargassum (Phaeophyta, Fucales) do litoral dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, Brasil.** *Revista Brasileira de Botânica*, v.23, n.2, p.121-132, 2000. doi:10.1590/S0100-84042000000200002.

SZÉCHY, M. T. M.; GALLIEZ, M.; MARCONI, M. I. **Quantitative variables applied to phenological studies of Sargassum vulgare c Agardh (phaeophyceae-Fucales) from Ilha Grande Bay, state of Rio de Janeiro.** *Brazilian Journal of Botany*, v.29, n.1, p 27-37, 2006. doi:https://doi.org/10.1590/S0100-84042006000100004

STENECK, R. S.; GRAHAM, M. H.; BOURQUE, B. J.; CORBETT, D.; ERLANDSON, J. M.; ESTES, J. A.; TEGNER, M. J. **Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future.** *Environmental Conservation*, p.436-459, 2002.

TANAKA, K.; TAINO, S.; HARAGUCHI, H.; PRENDERGAST, G.; HIRAOKA, M. **Warming off southwestern Japan linked to distributional shifts of subtidal canopy-forming seaweeds.** *Ecology and Evolution* v.2, p. 2854–2865, 2012.

TEAGLE, H.; HAWKINS, S. J.; MOORE, P. J.; SMALE, D. A. **The role of kelp species as biogenic habitat formers in coastal marine ecosystems.** *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v.492, p.81-98, 2017. doi:10.1016/j.jembe.2017.01.017.

TEDESCO, E. C.; SEGAL, B.; CALDERON, E. N.; SCHIAVETTI, A. **Conservation of Brazilian coral reefs in the Southwest Atlantic Ocean: a change of approach.** *Latin American Journal of Aquatic Research*, v.45, n.2, 2017.

TYBERGHEIN, L.; VERBRUGGEN, H.; PAULY, K.; TROUPIN, C.; MINEUR, F.; DE CLERCK, O. **Bio-ORACLE: a global environmental dataset for marine species distribution modelling.** *Global Ecology and Biogeography*, v.21, p. 272–281, 2012. doi:10.1111/j.1466-8238201100656x.

UNEP-WCMC, WorldFish Centre, WRI, TNC (2018). Global distribution of warm-water coral reefs, compiled from multiple sources including the Millennium Coral Reef Mapping Project. Version 4.0. Includes contributions from IMaRS-USF and IRD (2005), IMaRS-USF (2005) and Spalding et al. (2001). Cambridge (UK): UN Environment World Conservation Monitoring Centre. URL: <http://data.unep-wcmc.org/datasets/1>.

VERGÉS, A. et al. **Tropicalisation of temperate reefs: implications for ecosystem functions and management actions.** *Functional Ecology*, v. 33, n. 6, p. 1000-1013, 2019.

VIEJO, R. M.; MARTINEZ, B.; ARRONTEZ, J.; ASTUDILLO, C.; HERNANDEZ, L. **Reproductive patterns in central and marginal populations of a large brown seaweed: drastic changes at the southern range limit.** *Ecography*, v.34, p.75–84, 2011. doi:10.1111/j.1600-0587.2010.06365.x.

WEATHERDON, L. V.; MAGNAN, A. K.; ROGERS, A. D.; SUMAILA, U. R.; CHEUNG, W. W. L. **Observed and Projected Impacts of Climate Change on Marine Fisheries, Aquaculture, Coastal Tourism, and Human Health: An Update.** *Front Mar Sci*, v.3, 2016: doi: 10.3389/fmars.2016.00048.

ZANETTI, V. B., DE SOUSA JUNIOR, W. C., & DE FREITAS, D. M. **A climate change vulnerability index and case study in a Brazilian coastal city.** *Sustainability*, v.8, n.8, p.811. 2016.

# Mudanças Climáticas e a zona costeira do Brasil: vulnerabilidades socioambientais e estratégias de ação

*Climate Change and Brazil's coastal zone: socio-environmental vulnerabilities and action strategies*

Paulo Horta<sup>a</sup>

Patrícia F. Pinho<sup>b</sup>

Lidiane Gouvêa<sup>c</sup>

Guido Grimaldi<sup>d</sup>

Giovanna Destri<sup>e</sup>

Carolina Melissa Mueller<sup>f</sup>

Lyllyan Rocha<sup>g</sup>

José Bonomi Baruffi<sup>h</sup>

Leonardo Rorigi<sup>i</sup>

Jorge Assis<sup>j</sup>

Letícia Cotrim da Cunha<sup>k</sup>

<sup>a</sup> *Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Ficologia, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
End. Eletrônico: paulo.horta@ufsc.br*

<sup>b</sup> *Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brasil  
End. Eletrônico: pinhopati@gmail.com*

<sup>c</sup> *Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
End. Eletrônico: lidianegouv@gmail.com*

<sup>d</sup> *Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
End. Eletrônico: guidogrimaldi@gmail.com*

<sup>e</sup> *Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
End. Eletrônico: giovannanddestri@gmail.com*

<sup>f</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Ficologia, Centro de Ciências Biológicas,  
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
End. Eletrônico: carolinamueller@gmail.com

<sup>g</sup> Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Santa Catarina,  
Florianópolis, SC, Brasil  
End. Eletrônico: lyllyrocha20@gmail.com

<sup>h</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Ficologia, Centro de Ciências Biológicas,  
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
End. Eletrônico: jose.bonomi@gmail.com

<sup>i</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Ficologia, Centro de Ciências Biológicas,  
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
End. Eletrônico: leororig@gmail.com

<sup>j</sup> Centro de Ciências do Mar, Universidade do Algarve, Portugal  
End. Eletrônico: jorgemfa@gmail.com

<sup>k</sup> Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ),  
Maracanã Campus, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: lcotrim@uerj.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33845

Received: 31/08/2020  
Accepted: 07/12/2020

## ARTICLE – DOSSIER

*Os dados e os resultados apresentados nesta publicação foram desenvolvidos no âmbito do projeto “Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, por meio dos recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente, aos quais oferecemos nossos agradecimentos.*

### RESUMO

A zona costeira, região que concentra boa parte da população brasileira, exerce papel central para a discussão da vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas. Além de marismas, manguezais e recifes de coral, nesta região encontramos bancos de gramas marinhas, de macroalgas e de rodólitos, que formam florestas submersas, habitats fundamentais para serviços como o de manutenção da biodiversidade, produção de O<sub>2</sub> e absorção de parte do CO<sub>2</sub> da atmosfera. A ciência reforça que o aquecimento e acidificação do oceano, a elevação do nível do mar, invasões biológicas e suas interações com a poluição, sobrepesca, entre outros estressores, comprometem a estrutura e o funcionamento destes ecossistemas, elevando a vulnerabilidade socioambiental da região. A conservação destes ecossistemas, seu manejo, eventual biorremediação/restauração, usando soluções baseadas em evidências científicas, devem ser priorizadas para a redução da vulnerabilidade das comunidades costeiras e do oceano.

**Palavras-chave:** Amazônia Azul. Biodiversidade. Estressores Globais. Aquecimento do oceano. Acidificação do oceano. Poluição.

### ABSTRACT

*The coastal zone, where most of the Brazilian population lives, plays a central role for discussing vulnerability and adaptation strategies to climate change. Besides saltmarshes, mangroves and coral*



*reefs, this region also presents seagrass beds, macroalgae and rhodolith beds, forming underwater forests, which are key habitats for services such as biodiversity conservation, O<sub>2</sub> production, and absorption of part of the CO<sub>2</sub> from the atmosphere. Science endorses that ocean warming and acidification, sea level rise, biological invasions and their interactions with pollution, overfishing, and other stressors undermine the structure and functioning of these ecosystems, thus increasing the region's socio-environmental vulnerability. Ecosystem conservation, management and potential bioremediation/restoration using science-based solutions must be prioritized in order to reduce the vulnerability of coastal communities and the ocean.*

*Keywords: Blue Amazon. Biodiversity. Global stressors. Ocean warming. Ocean acidification. Pollution.*

## 1 INTRODUÇÃO

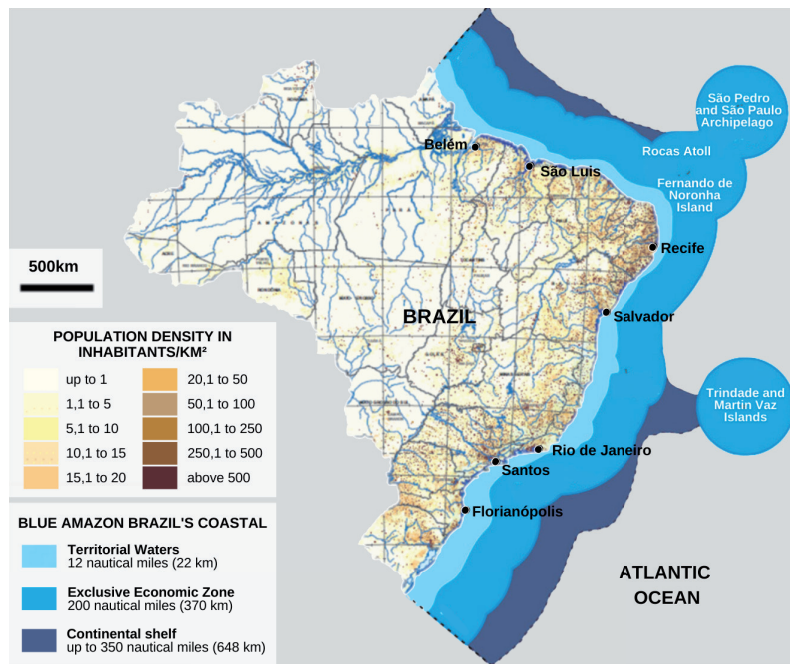
O debate sobre as vulnerabilidades do Brasil diante das mudanças climáticas tem crescido nacionalmente, especialmente sobre as interações de estressores locais como poluição, desmatamento e queimadas, que acentuam as consequências nos biomas. No entanto, pouca importância tem sido dada ao ambiente marinho costeiro. O Brasil tem uma das maiores linhas de costa do mundo (~ 9,000 km<sup>2</sup>), e a sua zona econômica exclusiva (ZEE, faixa até 200 milhas náuticas da costa), conhecida como Amazônia Azul (Figura 1), equivale em superfície à área da Amazônia Legal, compreendendo cerca de 3,5 milhões km<sup>2</sup> (PRADO et al., 2015a; KERR et al., 2016b; GERHARDINGER et al., 2018).

A região litorânea abriga remanescentes de Mata Atlântica, partes da Caatinga e Amazônia (MARRONI e ASMUS, 2013), e cerca de 60% da população urbana do país. Este contingente corresponde a 25% da população total, concentrada em 4% da área do território nacional, com elevada demanda de energia, de alimento, água e moradia (Figura 1). A densidade populacional, o frágil planejamento espacial e carências de saneamento básico, impactam o meio ambiente (HALPERN et al., 2015), transformando a paisagem e levando à poluição do ar, do solo e, especialmente, do escoamento superficial, diminuindo a saúde dos ambientes costeiros (ELFES et al., 2014; HALPERN, 2020).

Como as florestas, o oceano atua como sumidouro de cerca de 25% das emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub>, oferecendo assim um serviço de regulação climática, beneficiando a população e economia em múltiplas esferas (WEATHERDON et al., 2016; COPERTINO et al., 2017; BERGSTROM et al., 2019). Nas regiões costeiras, além de manguezais e recifes de coral, encontramos também os bancos de gramas marinhas, marismas, macroalgas e rodólitos, que formam estruturas similares a florestas submersas, representando um nicho de biodiversidade rica e abundante.

Esses serviços ecossistêmicos, além da mitigação das mudanças climáticas e acidificação do oceano, protegem o litoral contra a erosão. As marismas, manguezais (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016) e bancos de gramas marinhas (COPERTINO et al., 2016) têm presença histórica na cultura das comunidades tradicionais que habitam nosso litoral. Estes ambientes são responsáveis ainda pela provisão de berçários para organismos marinhos, contribuindo para a manutenção de espécies de importância econômica e cultural.

Os serviços ecossistêmicos do oceano e regiões costeiras, essenciais para o equilíbrio climático, segurança alimentar, energética, hídrica e do patrimônio sociocultural, foram enfatizados no Acordo de Paris em 2015. Além disso, a conservação e boa gestão dos mesmos pode representar soluções para problemas relacionados à demanda energética e à saúde, viabilizando alternativas de mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GOUVÊA et al., 2020). Os crescentes conflitos ambientais induzidos pelas atividades de exploração da madeira, agropecuária e mineração, já comprometem os serviços dos principais biomas terrestres (Pantanal, Cerrado e Amazônia). Assim, é necessário também destacarmos as vulnerabilidades e as ameaças sofridas pelos ecossistemas marinhos brasileiros.



**Figura 1 |** Mapa da densidade populacional no Brasil, destacando-se as áreas costeiras onde observamos as maiores densidades (marrom escuro ao branco). Em azul claro está representado o mar territorial, em turquesa a Zona Econômica Exclusiva (ZEE), e em azul marinho a plataforma continental, que compõem a Amazônia azul (Gerhardinger et al. 2018).

Fonte: Censo IBGE 2010.

O declínio de espécies que compõem as florestas submersas tem sido relatado no litoral brasileiro e atribuídos à urbanização (MARTINS et al., 2012) ou a outros estressores ambientais (GORMAN et al., 2020). A costa brasileira, pela extensão e variabilidade de condições ambientais representa um bom modelo para entender os processos de deslocamento de espécies e prever as consequências das mudanças climáticas, especialmente na adaptação de comunidades vulneráveis em regiões de transição, como ao largo do estado de Santa Catarina (KRONIK et al., 2010; ZANETTI et al., 2016; BUSTAMANTE et al., 2019).

Alguns gêneros de macroalgas estruturam florestas submersas em sistemas recifais biogênicos ou rochosos, tropicais e temperados quentes (SPALDING et al., 2007), como o gênero *Sargassum*. Presentes no litoral brasileiro na forma bentônica desde o mesolitoral até grandes profundidades, incluem formas pelágicas, que constituem massas flutuantes (Sissini et al., 2017). Dentre as morfologias dominantes deste gênero, destacam-se as folhosas arborescentes e aquelas que estruturam tapetes filamentosos, conhecidos como *turfs*. Estes produtores primários dominam 80% de nossos recifes submersos com cobertura variando de 60% a quase 100% do substrato disponível (AUED et al., 2018).

As florestas submersas com a dominância de *Sargassum* spp. têm maior complexidade tridimensional e heterogeneidade espacial dos fundos consolidados, desempenhando importante papel ecológico na composição e distribuição de comunidades (JACOBUCCI e LEITE, 2002; GIANNI et al., 2013, MANSILLA e PEREIRA, 1998; SZÉCHY e PAULA, 2000; SZÉCHY et al., 2006; FIGUEIREDO e TÂMEGA, 2007).

Estudos recentes reforçam que estas macroalgas estão perdendo abundância ou mesmo desaparecendo de algumas áreas do oceano (TEAGLE et al., 2017), inclusive no Brasil (GORMAN et al., 2020). O aquecimento e acidificação do oceano podem comprometer seu ciclo de vida, reduzindo sua resistência, principalmente se associados à poluição costeira (ARAÚJO et al., 2015; MARTINS et al., 2018). Populações sujeitas a extremos de temperatura acima do ótimo ecofisiológico, como as populações de *Sargassum* spp. no litoral de Santa Catarina, representariam contingente mais vulnerável face aos desequilíbrios ambientais (ARAÚJO et al., 2011; VIEJO et al., 2011). O estresse fisiológico provocado por temperaturas fora da faixa ideal ocasiona variações em processos enzimáticos, ou danos e morte de células (EGGERT

et al., 2012). Esses danos e a realocação de recursos fisiológicos para proteção e reparo podem afetar o crescimento e o desenvolvimento e levar à mortalidade de indivíduos ou mesmo à extinção local ou regional de uma população (DAVISON e PEARSON, 1996).

Neste estudo trazemos: i) uma síntese e análise baseada na produção bibliográfica revisada por pares dos esforços brasileiros para descrever a importância dos ambientes costeiros, seus serviços ecossistêmicos, e de como estas áreas poderão responder às mudanças climáticas; e ii) modelagem estatística para discutir os impactos do aquecimento e acidificação do oceano na distribuição potencial das florestas de macroalgas dominadas pelo gênero *Sargassum* spp., amplamente distribuídas na costa brasileira. Assim, fornecemos bases para as discussões relacionadas aos impactos de estressores ambientais sobre a adequação de nicho para estes organismos no litoral brasileiro. Considerando que os impactos climáticos interagem com a poluição, desmatamento, uso de agrotóxicos ou sobrepesca, discutiremos também eventuais soluções para o desenvolvimento de ferramentas de gestão que promovam a restauração ou a conservação de ecossistemas equilibrados e saudáveis.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 BIBLIOMETRIA

Foram utilizados os bancos de dados SCOPUS, SCIENCE DIRECT e WEB OF SCIENCE, disponíveis no Portal de Periódicos da CAPES como fonte de informação e base para as buscas bibliográficas. Foram selecionados artigos científicos considerando as palavras chave “Costal zone”, “Climate change”, “Changing oceans”, “Global stressor”, “Sea level”, “Sea level rise”, “Global warming”, “Ocean warming”, “Marine heat waves”, “Heat waves”, “Storms”, “Ocean acidification”, “Mangrove”, “Estuaries”, “Rockshore”, “Seagrass”, “Seaweed”, “Macroalgae”, “Sargassum”, “Sandy Beach”, “Coral Reef”, “Rhodolith” e “Brazil”. Após análise de duplicações e inadequação da referência por falta de adesão ao tema da 4ª. Comunicação Nacional sobre Mudanças Climáticas, os trabalhos foram exportados para o Biblioshiny para análise dos metadados citação global, autores e tema pelo Bibliometrix 4.0 (SHI 2019). O esforço é representado por uma nuvem de palavras, que resume aspectos centrais dos esforços da academia brasileira para estudar as mudanças climáticas na Amazônia Azul.

### 2.2 MODELAGEM

Considerando a necessidade de entendimento dos impactos de mudanças climáticas nas florestas submersas e a falta de informações relacionadas à distribuição outras espécies, optou-se por avaliar a adequação de nicho para o gênero *Sargassum* spp. por constarem entre os mais abundantes e frequentes do litoral, representando as florestas submersas (GORMAN et al., 2020).

Para a análise da distribuição no presente e em cenários futuros de mudanças climáticas, consideramos as Trajetórias Representativas de Concentração (do inglês RCP “*Representative Concentration Pathway*”), e variáveis ambientais bentônicas relevantes para *Sargassum* spp: mínimo e máximo de temperatura (°C), irradiância ( $E.m^{-2}.dia^{-1}$ ), salinidade, nitrato e fosfato ( $\mu mol.m^{-3}$ ), disponíveis na Base de Dados Bio-ORACLE. Considerando a distribuição vertical conhecida das espécies bentônicas de *Sargassum*, spp. delimitou-se a profundidade máxima de 100 m, usando um conjunto de dados batimétricos. (TYBERGHEIN et al., 2012; ASSIS et al., 2017), com resolução espacial de 30 arcmin ( $\sim 9,2$  km no equador). Além das variáveis ambientais nas condições atuais (2000–2017), também foram avaliadas as condições ambientais para o período 2090–2100 nos cenários RCP2.6 e RCP 8.5. RCP 2.6 representa um cenário de alta mitigação em que a temperatura média aumenta em até 2°C acima dos níveis pré-industriais em 2100, e o RCP 8.5, um cenário com aquecimento de até 4,9°C (TIGNOR et al., 2018).

## 2.3 DADOS DE PRESENÇA/PSEUDO AUSÊNCIAS PARA MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO

Os dados de presença georreferenciados para o gênero *Sargassum* foram compilados do Banco Virtual de Dados *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, 2018), e pela literatura disponível. Esses dados foram tratados segundo Segurado et al. (2006), Cerasoli et al. (2017) e os modelos baseados em *machine-learning algorithm Boosted Regression Trees* (BRT) gerados conforme (ELITH et al., 2008). Todas as análises foram realizadas em R (R Development Core Team, 2016) RStudio v.3.6.6 (Team, R, 2016). Todos os mapas foram editados no QGIS (QGIS Development Team, 2019).

## 3 Resultados e discussão

### 3.1 BIBLIOMETRIA

Foram selecionadas 234 referências bibliográficas para a construção do cenário nacional dos estudos sobre mudanças climáticas e seus impactos em nossa zona costeira e marinha. Os trabalhos que tratam do tema surgiram a partir de 1992, e se intensificaram a partir de 2010 (material suplementar 1). Dentre os esforços das últimas décadas, destacam-se trabalhos sobre a biogeoquímica relacionados ao processo de acidificação do oceano e seu impacto sobre a variação do pH e da alcalinidade total, além de trabalhos relacionados à elevação do nível do mar e seus impactos sócio-ambientais e econômicos. As emissões de CO<sub>2</sub> são reconhecidas como tema central e causa direta ou indireta de muitos dos impactos e alterações na biologia de organismos, ou mesmo na ecologia de comunidades, ecossistemas ou na vulnerabilidade de cidades ou regiões (Figura 2).

Os ambientes costeiros foram avaliados com diferentes enfoques, mas utilizaram variáveis relacionadas às mudanças climáticas e suas interações com os estressores locais. Recentemente, a biodiversidade e as interações ecológicas comumente observadas foram revisitados neste contexto, com destaque para as praias arenosas (AMARAL et al. 2016), costões rochosos (COUTINHO et al., 2016), bancos de gramas marinhas (COPERTINO et al., 2016), manguezais e outras formações estuarinas (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016; BERNARDINO et al., 2016), recifes de corais (LEÃO et al., 2016), e bancos de rodólitos (HORTA et al., 2016).

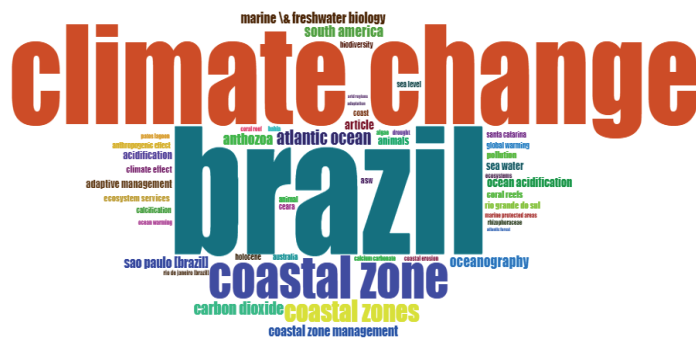


Figura 2 | Nuvem de palavras chaves estruturada a partir da revisão da bibliografia relativa aos aspectos dos impactos das mudanças climáticas e da acidificação do oceano em na Amazônia Azul.

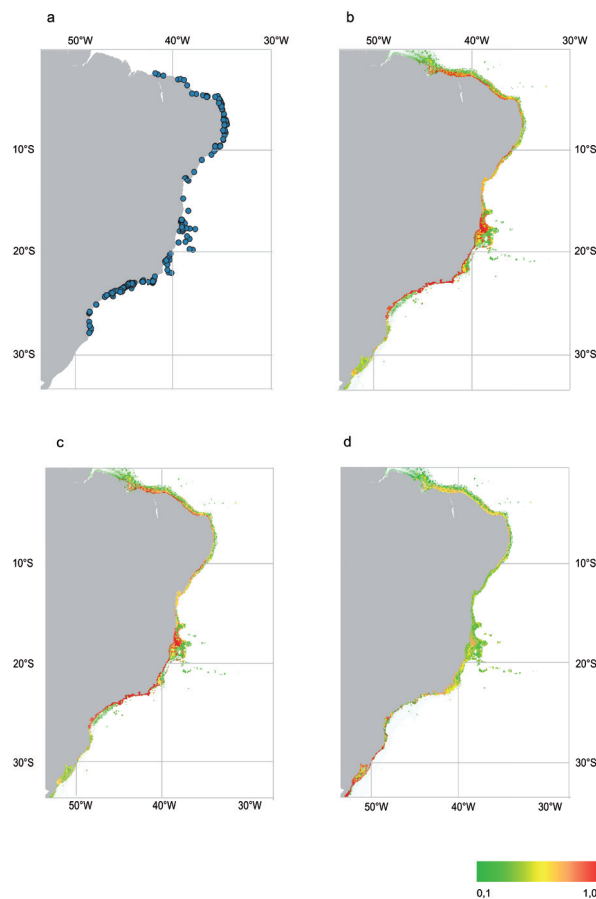
Fonte: produzida a partir do programa Biblioshiny (2020).

Estes esforços da academia brasileira e de seus parceiros reforçam, com evidências diversas, que fatores relacionados às mudanças climáticas (aquecimento e acidificação) ou a estressores locais (poluição e sobrepesca), e suas interações, ameaçam o equilíbrio destes ecossistemas marinhos costeiros, e de seus produtos e serviços. Os estudos relataram alterações fisiológicas da fauna (p.e. BARROS et al., 2017) e flora marinha (p.e. SCHERNER et al., 2012; GOUVÊA et al., 2017), além de destacarem a importância destes ecossistemas para a estabilidade da linha de costa diante das mudanças climáticas (ELLIFF e SILVA, 2017).

Apesar das sínteses sobre mudanças climáticas produzidas pela Rede Clima e Rede Brasileira de Acidificação do Oceano (KERR et al. 2016), ainda são raros os trabalhos que mapearam em escala nacional a presença destes estressores relacionados à mineração (MAGRIS et al., 2018), poluição costeira e pesca (MAGRIS et al., 2019), invasões biológicas (KOERICH et al., 2020) ou mesmo do aquecimento do planeta (MAGRIS et al., 2020). Estes esforços são relevantes para elevar a percepção da severidade do problema e de sua escala nacional.

### 3.2 MODELAGEM ECOLÓGICA

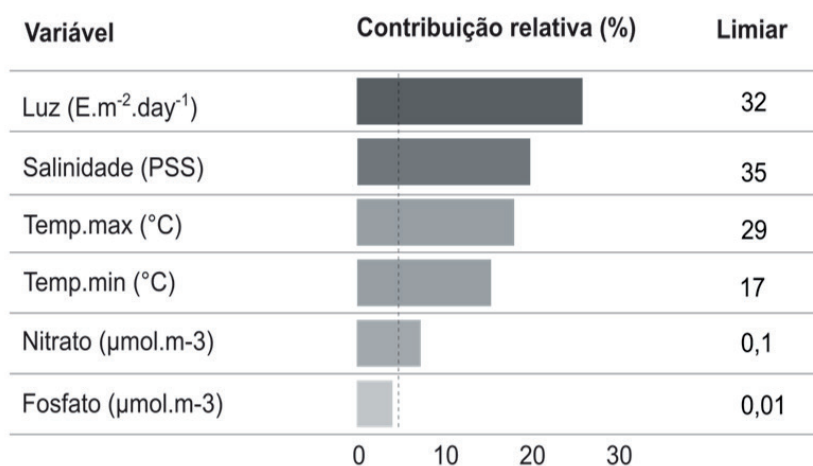
Os resultados gerados a partir da modelagem espacial e ecológica nos cenários RCP2.6 e RCP8.5 corroboram a perda de nicho e mudanças na ocorrência e abundância de *Sargassum* spp. (GORMAN et al., 2020) (SCHERNER et al., 2013), sugerindo que mesmo espécies com afinidades tropicais podem apresentar perdas em baixas latitudes e se deslocar em direção ao sul até o ano 2100 (Fig. 3). A expansão para o sul não supera ou compensa as perdas na distribuição que poderão ocorrer ao norte. Além disso, apesar das mínimas variações sob cenários de baixas emissões (RCP 2.6), verificou-se mudança da distribuição potencial na região norte do país (Fig.3b). Os modelos de distribuição apresentaram alto desempenho (TSS 0.88, e AUC 0.94) e corresponderam à distribuição conhecida do gênero (Fig. 3). As variáveis ambientais que melhor explicam a distribuição potencial são a luz, salinidade e temperatura (máximos e mínimos), com relativa influência maior que 15% (Fig. 4).



**Figura 3 |** Projeções da distribuição potencial das florestas submersas, inferida a partir do gênero *Sargassum*, de acordo com as ocorrências (círculos azuis) na costa Brasileira (a) considerando o cenário atual e de modelos preditivos gerados a partir dos cenários (b), RCP 2.6 de emissões moderadas (c) e o cenário mais pessimista RCP 8.5 (d) para 2100. A escala de verde para vermelho representa a adequabilidade de nicho (baixa (0,1) para alta (1,0), respectivamente).

Fonte: Elaborado pelos autores.





**Figura 4 |** Contribuição relativa (%) e limiar de variáveis ambientais utilizadas para modelar a distribuição potencial de *Sargassum bentônico*. As linhas pontilhadas representam contribuições de 5%.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A tropicalização observada de maiores latitudes, que elevaria a adequação de nichos ao longo do litoral temperado quente, não é acompanhada pela disponibilidade de substrato consolidado abundante para abrigar populações quantitativamente representativas. Estudos baseados em limites de temperatura, salinidade e irradiância para espécies de *Sargassum* correspondem aos limiares inferidos por nossos modelos com faixas de tolerância de 18°C–30 ° C, salinidade >20 e irradiância de 9,2–184 E · m<sup>-2</sup> · dia<sup>-1</sup> (HANISAK e SAMUEL, 1987, SCHERNER, et al. 2012, LI et al. 2019).

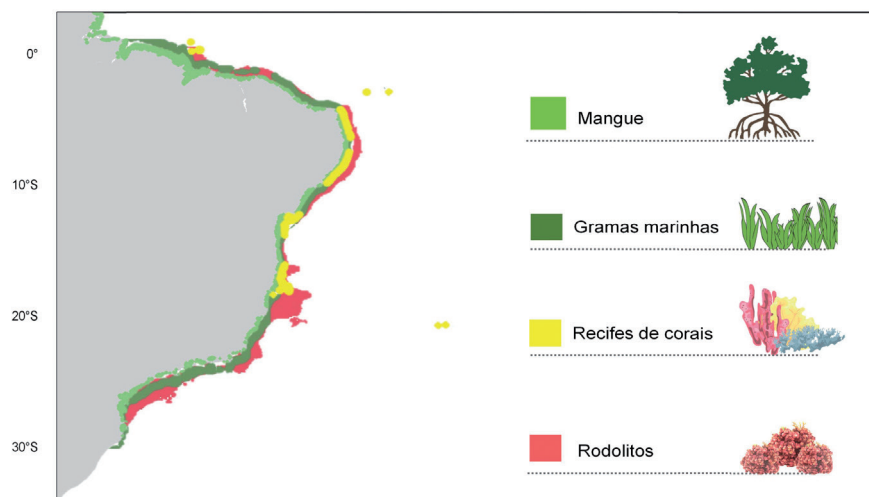
A ausência de costões rochosos ao longo do litoral do Rio Grande do Sul deve ser levada em consideração na discussão da disponibilidade de refúgios (ADDIS et al., 2016, AINSWORTH et al., 2020) para abrigar fauna e flora que vêm perdendo nicho nos ambientes tropicais em virtude das mudanças climáticas e outros estressores. Perdas de biomassa destas algas na ordem de 52% vêm sendo observadas desde os anos 1980 no litoral sudeste do Brasil, e representam a perda de saúde destes ecossistemas, reforçando a necessidade da implementação urgente de sistemas de gestão para a redução dos impactos dos estressores locais (GORMAN et al., 2020).

A perda de florestas marinhas induzida por eventos de aquecimento extremo aumentou em frequência e área em diferentes regiões, como no Oceano Indo-Pacífico (BENTHUYSEN et al., 2018), no Mar Mediterrâneo (DARMARAKI et al., 2019) e no Oceano Atlântico norte e sul (GOUVÊA et al., 2017; OLIVER et al., 2018). Além disso, um estudo recente mostrou que duas espécies formadoras de florestas marinhas (*Sargassum fallax* e *Scytothalia dorycarpa*) perderam 30% a 65% de sua diversidade genética média devido ao declínio populacional enquanto exposto a um evento de onda de calor (GURGEL et al., 2020). À medida que as tendências de aquecimento projetadas continuam ao longo do século 21 (HIRAISHI et al., 2014), mudanças adicionais de distribuição em grande escala das comunidades de algas são esperadas (JUETERBOCK et al., 2013). Variações de temperatura, como as induzidas por ondas de calor marinhas, determinam o desempenho ecofisiológico de organismos marinhos (EGGERT, 2012), causando mudanças na estrutura e função das comunidades (LAURIE, 1990).

Nas últimas décadas a taxa de movimentação das espécies aumentou muito em resposta às mudanças ambientais antropogênicas, deslocando para latitudes maiores espécies tropicais (CHEN et al., 2011). As consequências da tropicalização na composição e estrutura dos ecossistemas costeiros dependem de cenários complexos que precisam ser clareados a partir de estudos de longa duração e com simulações de variabilidade ambiental com o máximo de realismo. Espécies tropicais de algas, gramas marinhas ou mesmo de corais, podem passar a serem dominantes nos ambientes temperados quentes. Estas alterações na disponibilidade e nos fluxos de energia deverá ser considerada nas estratégias de

conservação e gestão para minimizar os riscos, incluindo a discussão dos aspectos socioambientais e éticos inerentes ao ecossistema (VÉRGES et al., 2019).

Ao mapearmos a distribuição dos ecossistemas chaves para a resiliência do litoral eles apresentam-se como insubstituíveis pelo seu papel de regulação biogeoquímica (COPERTINO et al., 2017), climática (BERGSTROM et al., 2019) e dos estoques pesqueiros (WEATHERDON et al., 2016), e sob ameaça de múltiplos estressores na ZEE brasileira (MAGRIS et al., 2020) (Figura 4).



**Figura 5 |** Distribuição de ecossistemas marinho/costeiros ao longo da ZEE brasileira cuja a fisionomia é determinada por espécies engenheiras fundadoras (Mangues (verde claro), gramas marinhas (verde escuro), recifes de corais (amarelo) e rodólitos (rosa);

Fontes: <http://gratispng.com>; <http://data.unep-wcmc.org>; Giri et al. (2011), Carvalho et al. (2020) e Horta et al. (2016).

Os manguezais, marismas e bancos de gramas marinhas são reconhecidos como depósitos de “carbono azul”, onde o  $\text{CO}_2$  é retido na forma de material orgânico nos sedimentos e na biomassa sobre o substrato. Assim como as macroalgas, durante a fotossíntese, estas plantas absorvem grande quantidade de  $\text{CO}_2$  dissolvido na água, elevando o pH da água adjacente à planta. Este papel de sumidouro de carbono contribui para mitigar os danos provocados pela acidificação da água do mar aos ecossistemas recifais e às espécies calcificadoras. A absorção diária de  $\text{CO}_2$  exercida por estes produtores primários pode representar uma solução e adaptação local para atividades como a aquicultura de moluscos, ou conservação *in situ* de organismos calcificadores, uma vez que estes produtores primários podem mitigar o efeito da acidificação (BERGSTROM et al., 2019).

Apesar da capacidade adaptativa de muitas espécies verifica-se que os impactos das mudanças climáticas no oceano, como o aquecimento, a elevação do nível do mar e a acidificação levam à perda de recifes biogênicos, mangues, bancos de algas e gramas marinhas (OPPENHEIMER et al., 2014; CRAMER et al., 2015; MAGALHÃES et al., 2020). Da mesma forma, a ausência de intervenções e alterações de comportamento alimentam um ciclo vicioso que compromete a capacidade do oceano de contribuir para a regulação climática (HORTA et al., 2018), assim como as interações e interdependências dos ecossistemas continentais (LEYBA et al., 2019; MARENGO et al., 2019).

É importante destacar que a variabilidade pluviométrica altera quali-quantitativamente o escoamento continental, afetando a região costeira. A redução da salinidade costeira, associada à elevação da pluviosidade, que pode estar associada ao desaparecimento de florestas submersas de *Sargassum* (SCHERNER et al., 2012), assim como as explosões populacionais de suas populações flutuantes (GOUVÊA et al., 2020) podem estar relacionadas à fertilização das principais bacias hidrográficas de nosso continente com nutrientes derivados dos fertilizantes agrícolas, da erosão do solo e da atividade pecuária (BUSTAMANTE et al., 2015).

Além das alterações climáticas, diversas fontes de poluição, sobrepesca, entre outros aspectos relacionados ao ordenamento territorial, dinâmica sócio-econômica e de governança no país, têm levado à perda de serviços e à vulnerabilidade do oceano e zonas costeiras, aumentando a erosão, e comprometendo a qualidade de vida e renda das populações tradicionais que habitam essas áreas (REYER et al., 2017; HORTA et al., 2012; COPERTINO et al., 2017; GERHARDINGER et al., 2018).

Existe uma intersecção dos impactos das mudanças climáticas mais pronunciados em áreas socialmente vulneráveis nas zonas costeiras no país. A pobreza e a desigualdade socioeconômica compreendem tanto a população urbana, quanto também os povos tradicionais, que dependem integralmente das zonas costeiras e do oceano para seu modo de vida e economia (SARAIVA et al., 2018). Dados socioambientais mostram que 82% dos municípios costeiros brasileiros têm menos da metade de seus domicílios conectados à rede de esgoto, implicando no despejo irregular destes dejetos nos cursos que deságuam no mar. A renda média da população costeira não ultrapassa os 6 salários-mínimos e 27% destes municípios tem renda média de menos de um salário mínimo (IBGE, 2010).

Nessa perspectiva, a produção pesqueira e outros recursos aquáticos poderão ser comprometidos pela sobre-exploração e manejo inadequado, além das ameaças das mudanças climáticas. Os impactos climáticos nos recursos pesqueiros se dão pelo aumento das temperaturas do ar, do oceano e da elevação do nível do mar. Combinado à acidificação, o aquecimento e os estressores locais levam à perda dos recifes de corais, o que por sua vez leva à perda de produtividade costeira e escassez de recursos naturais diversos (CYBULSKI et al., 2020). Estima-se que 1% da perda de cobertura de global corais levaria a 3,8% de perda econômica associada ao valor recreativo e comercial da cobertura do recife equivalente à US \$ 3,95 a US \$ 23,78 bilhões anuais (CHEN et al., 2015).

Apesar das perdas econômicas serem altas e no entanto pouco estimadas para o Brasil (MARTINS e GASALLA, 2018), os impactos climáticos têm levado a perdas culturais como a alteração e comprometimento do modo de vida, perdas de vidas relacionadas a catástrofes e eventos extremos, bem como migrações forçadas do local de origem associadas à erosão costeira. Esses aspectos não são quantificáveis na métrica de valoração econômica, mas produzem danos substanciais (HOEGH-GULDBERG et al., 2014; PRADO et al., 2015b). Esses prejuízos não-econômicos na população comprometem as próximas gerações e a habilidade para construir um futuro digno, seguro e sustentável (ROY et al., 2018).

Evidências mostram que limitar o aquecimento global a 1,5°C em relação à média do período pré-industrial é essencial para a sobrevivência dos sistemas recifais, uma vez que a partir de 2°C de aquecimento médio global, somado à acidificação, estes sofrerão perdas severas de biodiversidade (ROY et al., 2018). Isto aumenta urgência de ações de mitigação, restauração e adaptação socioeconômica (BERGSTROM et al., 2019). A perda da capacidade de calcificação destes organismos, observada em cenários combinados de aquecimento e poluição costeira deve elevar as perdas dos serviços ecossistêmicos. Se por um lado o aquecimento pode comprometer em até 50% a calcificação, a poluição pode reduzir de 90 a 100% a produção primária destes organismos construtores (SCHUBERT et al., 2019).

Considerando os recifes biogênicos e bancos de rodolitos da Foz do Amazonas até o litoral catarinense (CARVALHO et al., 2020), a exposição destes organismos a condições extremas de temperatura e de menores valores de pH pode levar a perda de 80% da estrutura carbonática, comprometendo todo o ecossistema (MUÑOZ et al., 2018). Os bancos de rodolitos são pouco conhecidos, mas pela sua importância ecológica e evolutiva, deveriam ganhar maior destaque em políticas públicas de conservação e manejo. Estes organismos ocupam cerca de 230 mil km<sup>2</sup> da ZEE, correspondendo a um depósito de carbonatos da ordem de 2.10<sup>11</sup> ton C, sendo, portanto, um estoque de carbono a longo prazo (CARVALHO et al., 2020).

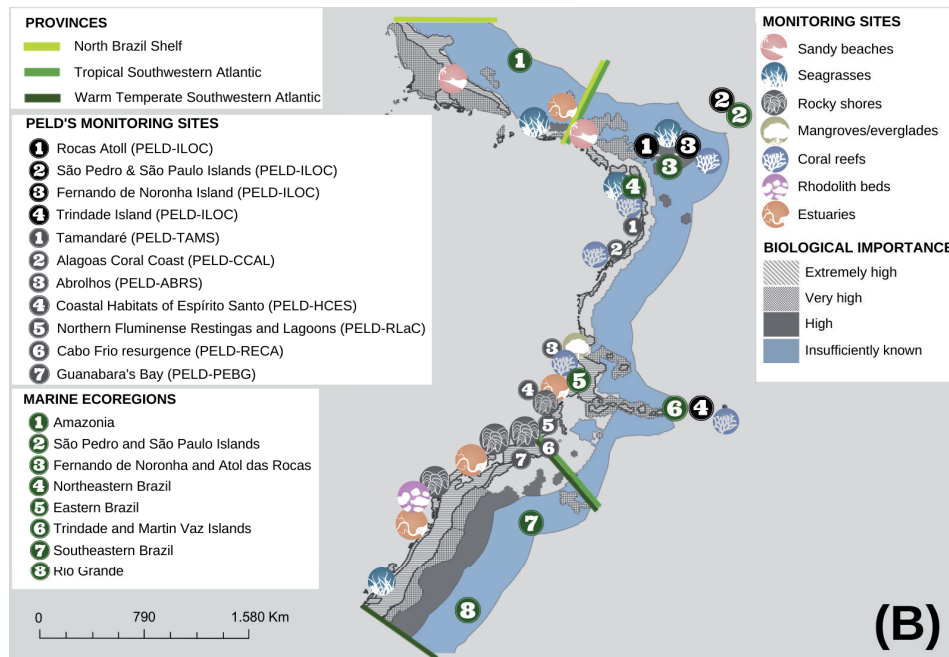
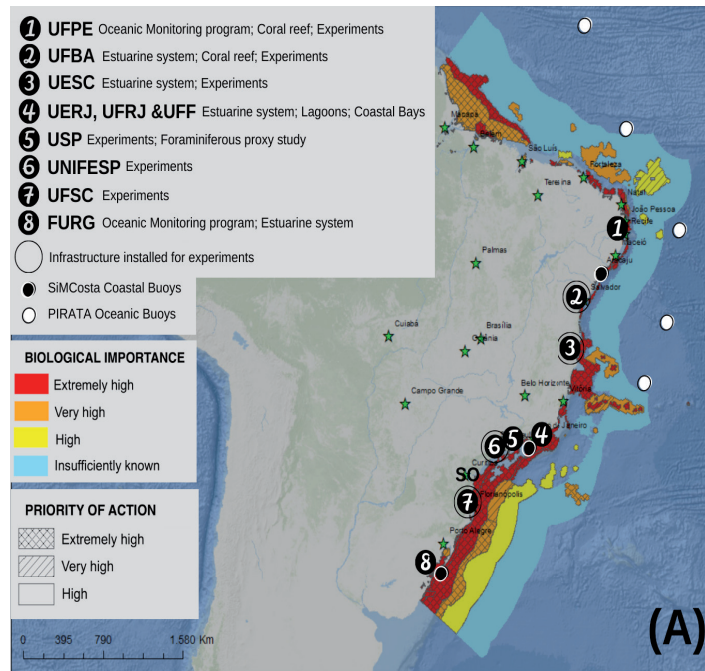
## 4 INICIATIVAS CIENTÍFICAS DE IMPORTÂNCIA EM POLÍTICAS PÚBLICAS PARA O OCEANO E ZONAS COSTEIRAS

Algumas iniciativas científicas no Brasil têm tido papel de destaque em evidenciar impactos e vulnerabilidades das zonas costeiras e oceano face às mudanças climáticas e outros estressores. Nesse sentido, ressalta-se a Rede Clima com as sub Redes Oceanos e Zonas Costeiras, a Rede BrOA (Rede Brasileira de Pesquisa em Acidificação do Oceano), Rede Sisbiota, INCTs marinho-costeiros e o programa PELD. Todos estes esforços que vinham se consolidando e contribuíram para o entendimento que temos hoje sobre dos impactos das mudanças climáticas e da acidificação do oceano sobre diferentes ecossistemas e grupos de organismos. Este processo de amadurecimento acadêmico observado no Brasil foi resultado direto investimento em infraestrutura e disponibilidade de bolsas, especialmente para a pós graduação que se fizeram expressivos especialmente até 2015 (ROSSI et al., 2019, MACÁRIO e REIS, 2020).

Neste cenário, a Rede Clima destacou-se pela abrangência nacional, envolvendo dezenas de grupos de pesquisa em universidades e institutos, distribuídos em sub-redes por todas as regiões do país e atuando nos estudos de impactos, adaptação e vulnerabilidades para agricultura e silvicultura, recursos hídricos, biodiversidade e ecossistemas, zonas costeiras, cidades, economia, energias renováveis e saúde. A sub-rede Zonas Costeiras, e seu braço no monitoramento costeiro (REBENTOS), caracteriza-se por uma rede de pesquisa interdisciplinar, interinstitucional, com representatividade regional e que abrange as áreas de geomorfologia costeira, oceanografia física, biogeoquímica, oceanografia biológica, ecologia marinha e socioeconômica.

A Rede BrOA atua nos tópicos relativos à acidificação do oceano, desde estudos de observação que incluem as zonas costeiras, passando por ensaios com organismos e modelagem numérica. No momento, a Rede BrOA funciona de maneira auto-organizada, não tem financiamento, e consta como grupo de pesquisa registrado no CNPq, com cerca de 40 pesquisadores distribuídos pelas regiões Sul, Sudeste, Nordeste e Norte do país. Desde a sua fundação, atua através de relatórios e artigos científicos para promover o conhecimento sobre o tema acidificação, sendo reconhecida como parceira pela Coordenação Geral de Geociências, Oceano e Antártica do MCTI.

Estas redes articulam e adicionam esforços aos já consolidados e em fase de consolidação projetos relacionados aos programas ecológicos de longa duração (PELD), que promovem o monitoramento de diferentes aspectos e ecossistemas de nosso litoral. Considerando a extensão da Amazônia Azul, é fundamental considerarmos a necessidade de consolidação, ampliação e a interação destes projetos, grupos e redes para que seus resultados sejam mais robustos e nacionalmente disseminados (Figura 5).



**Figura 6 |** Redes científicas de monitoramento da biodiversidade marinha Brasileira. (A) Os círculos numerados indicam os grupos regionais da rede, organizados por instituição, e o arranjo especial de suas áreas de atuação: experimentos, estuários, observações costeiras ou oceânicas e monitoramento (boias e/ou cruzeiros oceanográficos). Os círculos escuros indicam a rede de boias SiMCosta, e os círculos brancos a rede de boias PIRATA (*Prediction and Research Moored Array in the Atlantic*). Destacado em cores mais quentes áreas de maior importância biológica e nos diferentes padrões de preenchimento destacam-se os diferentes graus de prioridade de ação; (B) Províncias biogeográficas e ecorregiões marinhas com destaque para a importância biológica e ecossistemas monitorados pela REBENTOS e sítios PELD marinho costeiros.

Fontes: Spalding et al. 2007, Kerr et al. 2016, [www.cnpq.br](http://www.cnpq.br).

Este conjunto de instituições e a infraestrutura instalada representam forte aliado nacional para a construção de adaptação e mitigação de impactos para ambientes marinhos costeiros no país. É importante investir na manutenção e ampliação destas redes para um desenvolvimento e gestão sustentável dos biomas marinho-costeiros no país. Os saberes e infraestruturas acadêmicas devem



se articular à sociedade organizada, utilizando saberes tradicionais, para em conjunto definirem de prioridades de ação o enfrentamento dos problemas vivenciados e previstos para o futuro do litoral brasileiro (GRILLI et al., 2019).

O processo de gestão territorial da zona costeira brasileira deve ser pensado de forma integrada por conta da grande interdependência entre o sistema costeiro/oceânico e o escoamento continental (GRILLI et al., 2019). Um sistema integrado de gestão deve evitar ou mitigar as consequências negativas de acidentes como os dos municípios de Mariana, no estado de Minas Gerais, que produziu perdas inestimáveis do ponto de vista humano e ambiental a partir de sua ocorrência em novembro de 2015 até os dias de hoje (CARMO et al., 2017) e para diferentes ambientes costeiros (COSTA et al., 2019). Este acidente afetou diferentes ambientes e unidades de conservação, atingindo mais de 1 milhão de brasileiros, e impactando ecossistemas costeiros 200 km ao sul (MARTA-ALMEIDA et al., 2016) e até mesmo o importante sistema recifal dos Abrolhos, situado ao norte e ao largo da foz do Rio Doce (MAGRIS et al., 2018; FERNANDES et al., 2016).

Considerando que estamos no início da Década do Oceano da ONU, precisaremos contribuir de maneira eficaz para o saneamento costeiro e mitigação de problemas relacionados às mudanças climáticas e poluição na Amazônia Azul. Deveremos priorizar o manejo de populações aquáticas que apresentam elevada capacidade de remediação da qualidade de água e potencial de geração de bens e serviços como o armazenamento de CO<sub>2</sub> atmosférico, como macrófitas e macroalgas, ambientes recifais, marismas, bancos de gramas marinhas e rodólitos.

Respeitando as particularidades impostas por aspectos biogeografia e da extensão latitudinal do litoral, podemos encontrar soluções baseadas em evidências científicas para promover o desenvolvimento social aliado ao equilíbrio ecológico.

## 5 CONCLUSÃO

Os esforços nacionais das últimas décadas produziram evidências robustas dos impactos das mudanças climáticas nas zonas costeiras e os riscos que estas representam para a segurança das comunidades e ecossistemas marinho costeiros. Entre os estressores globais destacam o aquecimento e a acidificação do oceano, entre os estressores locais a poluição e a sobrepesca. Considerando Estes estressores impactam e comprometem os produtos e serviços ecossistêmicos de manguezais, marismas, recifes, bancos de gramas marinhas, de macroalgas e de rodólitos.

O mapeamento ZEE, de sua biodiversidade e funcionamento, deve orientar ações gestão integrada, valorizando-se nas discussões particularidades, vulnerabilidades, resiliências, refúgios climáticos, ambientes de alta diversidade e importância socioambiental, considerando o avanço das ameaças locais e globais. Ações concatenadas e a busca por soluções baseadas em evidências científicas deverá promover o equilíbrio de nossos ambientes marinho costeiros, acompanhado da saúde única do nosso oceano e bem estar de nossa sociedade.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi apoiado por bolsas da Fundação Boticário, FAPESC-Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina, Capes-Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq-Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Petrobras Ambiental, REBENTOS - Rede de monitoramento de habitats Bentônicos Costeiros e ProspecMar - Prospecção Sustentável em Ilhas Oceânicas: Biodiversidade, Química, Ecologia e Biotecnologia, Rede Coral Vivo, REDEALGAS. A Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) de Portugal via FRH/BSAB/ 150485/2019, a norma transitória DL57/2016/CP1361/CT0035, projeto UIDB/04326/2020 e PTDC/BIA-CBI/6515/2020.

PAH agradece a CAPES- Visitante Sênior, CAPES-Print 310793 / 2018-01, CNPq-PVE 407365 / 2013-3, CNPq-Universal 426215 / 2016-8 e CNPq-PQ- 308537 / 2019-0. LCC agradece a bolsa Prociência/UERJ/ FAPERJ para o período de 2018-2021.

## Referências

ADDIS, D. T.; PATTERSON III, W. F.; DANCE, M. A. **The potential for unreported artificial reefs to serve as refuges from fishing mortality for reef fishes.** North American Journal of Fisheries Management, v. 36, n. 1, p. 131-139, 2016.

AINSWORTH, T. D.; HURD, C. L.; GATES, R. D.; BOYD, P. W. **How do we overcome abrupt degradation of marine ecosystems and meet the challenge of heat waves and climate extremes?** Global Change Biology, v. 26, n. 2, p. 343-354, 2020.

Amaral, A. C. Z.; Corte, G. N.; Denadai, M. R.; Colling, L. A.; Borzone, C.; Veloso, V.; ... & Rosa, L. C. D. **Brazilian sandy beaches: characteristics, ecosystem services, impacts, knowledge and priorities.** Brazilian Journal of Oceanography, v. 64(SPE2), p. 5-16, 2016.

ARAÚJO, R.; SERRÃO, E. A.; SOUSA-PINTO, I.; ABERG, P. **Phenotypic differentiation at southern limit borders: the case study of two furoid macroalgal species with different life-history traits.** Journal of Phycology, v. 47, n. 3, p. 451-462, abr. 2011. doi:10.1111/j.1529-8817.2011.00986.x.

ARAÚJO, R.; SERRÃO, E. A.; SOUSA-PINTO, I.; ARENAS, F.; MONTEIRO, C.A.; TOTH, G., ÅBERG, P. **Trade offs between life-history traits at range-edge and central locations.** Journal of Phycology, v. 51, n. 4, p. 808-818, jun. 2015. doi:10.1111/jpy.12321.

ARAÚJO, M. E.; DE MATTOS, F. M. G.; DE MELO, F. P. L.; CHAVES, L. D. C. T.; FEITOSA, C. V.; LIPPI, D. L.; HACKRADT, F. C. F.; HACKRADT, C. W.; NUNES, J. L. S.; LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; JUNIOR, A. V. F.; PEREIRA, P. H. C.; MACEDO, C. H. R.; SAMPAIO, C. L. S.; FEITOSA, J. L. L. **Diversity patterns of reef fish along the Brazilian tropical coast.** Marine Environmental Research, v. 160, p. 105038, set. 2020.

ASSIS, J.; TYBERGHEIN, L.; BOSCH, S.; VERBRUGGEN, H.; SERRÃO, E. A.; DE CLERCK, O. Bio- ORACLE v20: **Extending marine data layers for bioclimatic modelling.** Global Ecology and Biogeography, v. 27, n. 3, p. 277-284, dez. 2017. doi:10.1111/geb.12693.

AUED, A.W.; SMITH, F.; QUIMBAYO, J. P.; CANDIDO, D. V.; LONGO, G. O.; FERREIRA, C. E. L.; WITMAN, J. D.; FLOETER, S. R.; SEGAL, B. **Large-scale patterns of benthic marine communities in the Brazilian Province.** PloS one, v. 13, n. 6, p. e0198452, 2018.

BENTHUYSEN, J. A.; OLIVER, E. C. J.; FENG, M.; AND MARSHALL, A. G. **Extreme marine warming across tropical Australia during austral summer 2015-2016.** J. Geophys. Res. Oceans. 123, 1301-1326. 2018. doi: 10.1002/2017JC013326

BERGSTROM, E.; SILVA, J.; MARTINS C.; HORTA, P. **Seagrass can mitigate negative ocean acidification effects on calcifying algae.** Scientific Reports, v. 9, n.1932, fev. 2019. doi: 10.1038/s41598-018-35670-3.

BERNARDINO, A. F.; PAGLIOSA, P. R.; CHRISTOFOLETTI, R. A.; BARROS, F.; NETTO, S. A.; MUNIZ, P.; LANA, P. D. C. **Benthic estuarine communities in Brazil: moving forward to long term studies to assess climate change impacts.** Brazilian Journal of Oceanography, v. 64(SPE2), p. 81-96, 2016.

BARROS, L. F.; MARQUES, J. A.; DUARTE, G. A. S.; PEREIRA, C. M.; CALDERON, E. N.; CASTRO, C. B.; BIANCHINI, A. **Copper effects on biomarkers associated with photosynthesis, oxidative status and calcification in the Brazilian coral *Mussismilia harttii* (Scleractinia, Mussidae).** Marine Environmental Research, v. 130, p. 248-257, 2017.

BUSTAMANTE, M. M., MARTINELLI, L. A., PÉREZ, T., RASSE, R., OMETTO, J. P. H., PACHECO, F. S. & MARQUINA, S. **Nitrogen management challenges in major watersheds of South America.** Environmental Research Letters, 10(6), 065007, 2015.

BUSTAMANTE, M. M. et al. Tendências e impactos dos vetores de degradação e restauração da biodiversidade e serviços ecossistêmicos. In: SCARIOT A. et al. (eds). **Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. 2018.

BUSTAMANTE, M. M. et al. Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change: lessons and challenges from Brazil. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 24, n. 7, p. 1249-1270, 2019.

CARMO, F. F., KAMINO, L. H. Y., JUNIOR, R. T., DE CAMPOS, I. C., DO CARMO, F. F., SILVINO, G., PINTO, C. E. F. **Fundão tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context**. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 2017.

CARVALHO, V. F.; ASSIS, J.; SERRÃO, E. A.; NUNES, J. M.; BATISTA, A. A.; BATISTA, M. B.; BARUFI, J. B.; SILVA, J.; PEREIRA, S. M. B.; HORTA, P. A. **Environmental drivers of rhodolith beds and epiphytes community along the South Western Atlantic coast**. *Marine Environmental Research*, v. 154, p. 104827, fev. 2020.

CERASOLI, F.; IANNELLA, M.; D'ALESSANDRO, P.; BIONDI, M. **Comparing pseudo-absences generation techniques in boosted regression trees models for conservation purposes: a case study on amphibians in a protected area**. *PLoS One*, v. 12, n. 11, nov. 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187589>

CHEN, I.-C.; HILL, J.; OHLEMULLER, R.; ROY, D.B.; THOMAS, C. **Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming**. *Science*, v. 333, n. 6045, p. 1024-1026, 2011..

CHEN, P. Y.; CHEN, C. C.; CHU, L.; MCCARL, B. **Evaluating the economic damage of climate change on global coral reefs**. *Global Environmental Change*, v. 30, p.12–20, jan. 2015. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2014.10.011.

COPERTINO, M. S.; CREED, J. C.; LANARI, M. O.; MAGALHÃES, K.; BARROS, K.; LANA, P. C.; HORTA, P. A. **Seagrass and submerged aquatic vegetation (VAS) habitats off the coast of Brazil: state of knowledge, conservation and main threats**. *Brazilian Journal of Oceanography*, v.64(SPE2), p.53-80, 2016.

COPERTINO, M. S. et al. Zonas Costeiras. In: NOBRE, C.; MARENGO, J. (eds) **Mudanças Climáticas em Rede: Um Olhar Interdisciplinar**. Contribuições do Instituto de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas. São José dos Campos: INCT, 2017. p. 608.

COSTA, G. B.; RAMLOV, F.; DE RAMOS, B.; KOERICH, G.; GOUVEA, L.; COSTA, P. G.; BIANCHINI, A.; MARASCHIN, M.; HORTA, P. A. **Physiological damages of *Sargassum cymosum* and *Hypnea pseudomusciformis* exposed to trace metals from mining tailing**. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 26, n. 36, p. 36486-36498, nov. 2019.

COUTINHO, R.; YAGINUMA, L. E.; SIVIERO, F.; DOS SANTOS, J. C. Q.; LÓPEZ, M. S.; CHRISTOFOLETTI, R. A.; MASI, B. **Studies on benthic communities of rocky shores on the Brazilian coast and climate change monitoring: status of knowledge and challenges**. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 64(SPE2), p. 27-36, 2016. CRAMER, W.; YOHE, G. W.; AUFFHAMMER, M.; HUGGEL, C.; MOLAU, U.; DA SILVA DIAS, M. A. A. F.; SOLOW, A.; STONE, D. A.; TIBIG, L.; LEEMANS, R.; SEGUIN, B.; SMITH, N.; HANSEN, G. Detection and attribution of observed impacts. In: *Climate Change 2014 Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects*. 2015

CYBULSKI, J. D. et al. **Coral reef diversity losses in China's Greater Bay Area were driven by regional stressors**. *Science Advances*, v. 6, n. 40, p. eabb1046, 2020.

DARMARAKI, S.; SOMOT, S.; SEVAULT, F.; NABAT, P. **Past variability of Mediterranean Sea marine heatwaves**. *Geophys. Res. Lett.* v. 46, p. 9813–9823, 2019. doi: 10.1029/2019GL082933

DAVISON, I. R.; PEARSON, G. A. **Stress tolerance in intertidal seaweeds**. *Journal of Phycology*, n. 32, p.197–211, abr. 1996. doi:10.1111/j0022-3646199600197x.

DAYTON, P. K.; TEGNER, M. J.; EDWARDS, P. B.; RISER, K. L. **Sliding baselines, ghosts, and reduced expectations in kelp forest communities**. *Ecological Applications*, v. 8, n. 2, p.309-322, mai.1998. doi:10.2307/2641070.

DUARTE, L.; VIEJO, R. M. **Environmental and phenotypic heterogeneity of populations at the trailing range-edge of the habitat-forming macroalga *Fucus serratus***. *Marine Environmental Research*, v.136, p.16-26, mai. 2018. doi:10.1016/j.marenvres.2018.02.004

EGGERT, A. Seaweed responses to temperature. In: WIENCKE, C.; BISCHOF, K. (Eds), **Seaweed Biology**. Springer Publishing, p. 47-66, 2012.

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R.; HASTIE, T. **A working guide to boosted regression trees**. *Journal of Animal Ecology*, v. 77, p.802–813, abr. 2008. doi:10.1111/j.1365-2656.2008.01390x.

ELFES, Cristiane T. et al. **A regional-scale ocean health index for Brazil**. *PLoS One*, v. 9, n. 4, p. e92589, 2014.

ELLIFF, C. I.; SILVA, I. R. **Coral reefs as the first line of defense: Shoreline protection in face of climate change**. *Marine Environmental Research*, v. 127, p. 148–154, 2017.

FERNANDES, G. W. et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v.14, n. 2, p. 35-45, nov. 2016.

FIGUEIREDO, M. A. O.; TÂMEGA, F. T. S. Macroalgas marinhas Biodiversidade marinha da Baía da Ilha Grande Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p 155-180. 2007

GALLON, R. K.; ROBUCHON, M.; LEROY, B.; LE GALL, L.; VALERO, M.; FEUNTEUN, E. **Twenty years of observed and predicted changes in subtidal red seaweed assemblages along a biogeographical transition zone: inferring potential causes from environmental data**. *Journal of Biogeography*, v. 41, n.12, p.2293-2306, ago. 2014. <https://doi.org/10.1111/jbi.12380>

GBIF.org (26th September 2018). GBIF Occurrence Download. <https://doi.org/10.15468/dl.1kuf1x>

GERHARDINGER, L. C.; GORRIS, P.; GONÇALVES, L. R.; HERBST, D. F.; VILA-NOVA, D. A.; DE CARVALHO, F. G.; GLASER, M.; ZONDERVAN, R.; GLAVOVIC, B. C. Healing Brazil's Blue Amazon: The Role of Knowledge Networks in Nurturing Cross-Scale Transformations at the Frontlines of Ocean Sustainability. **Frontiers of Marine Science**, v.4, jan. 2018. doi: 10.3389/fmars.2017.00395

GIANNI, F.; BARTOLINI, F.; AIROLDI, L.; BALLESTEROS, E.; FRANCOUR, P.; GUIDETTI, P.; MANGIALAJO, L. Conservation and restoration of marine forests in the Mediterranean Sea and the potential role of Marine Protected Areas. **Advances in Oceanography and Limnology**, v.4, n.2, p.83-101, dez. 2013. doi:10.4081/aiol.2013.5338.

GIRIR, C.; OCHIENG, E.; TIESZEN, L. L.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; MASEK, J.; DUKE, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data (version 1.3, updated by UNEP-WCMC). **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, p.154-159, 2011. doi:10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x. <http://data.unep-wcmc.org/datasets/4>.

GORMAN, D.; HORTA, P.; FLORES, A. A.; TURRA, A.; BERCHEZ, F.A. D. S.; BATISTA, M. B. VILLAÇA, R. C. **Decadal losses of canopy-forming algae along the warm temperate coastline of Brazil**. *Global Change Biology*, v. 26, n.3, p.1446-1457, mar. 2020. doi:10.1111/gcb.14956.

GOUVÊA, L. P.; SCHUBERT, N. MARTINS, C. D. L.; SISSINI, M.; RAMLOV, F.; RODRIGUES, E. R. D. O.; VARELA, D. A. **Interactive effects of marine heatwaves and eutrophication on the ecophysiology of a widespread and ecologically important macroalga**. *Limnology and Oceanography*, v. 62, n. 5, p.2056-2075, set. 2017. doi: 10.1002/lno.10551.

GOUVÊA, L. P.; ASSIS, J.; GURGEL, C. F.; SERRÃO, E. A.; SILVEIRA, T. C.; SANTOS, R.; DUARTE, C. M.; PERES, L. M. C.; CARVALHO, V. F.; BATISTA, M.; BASTOS, E.; SISSINI, M. N.; HORTA, P. A. **Golden carbon of Sargassum forests revealed as an opportunity for climate change mitigation**. *Science of The Total Environment*, 138745. v. 719, ago. 2020

GRILLI, N. DE M.; XAVIER, L.Y.; JACOBI, P.R.; TURRA, A. **Integrated science for coastal management: Discussion on a local empirical basis**. *Ocean Coast Manag*, v. 167, p.219–228, 2019. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2018.10.009.

Gurgel, C. F. D., Camacho, O., Minne, A. J., Wernberg, T., & Coleman, M. A. **Marine heatwave drives cryptic loss of genetic diversity in underwater forests**. *Current Biology*. v.30, p.1199-1206, 2020. doi.org/10.1016/j.cub.2020.01.051

HALPERN, B. S. et al. **Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean**. *Nature communications*, v. 6, n. 1, p. 1-7, 2015.

- HALPERN, B. S. **Building on a Decade of the Ocean Health Index**. *One Earth*, v. 2, n. 1, p. 30-33, 2020.
- HANISAK, M.D.; SAMUEL, M.A. **Growth rates in culture of several species of Sargassum from Florida, USA**. *Hydrobiologia*, v. 151–152, p. 399–404, 1987. doi:10.1007/BF00046159.
- HATJE, V.; PEDREIRA, R. M.; DE REZENDE, C. E.; SCHETTINI, C. A. F.; DE SOUZA, G. C.; MARIN, D. C.; HACKSPACHER, P. C. **The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide**. *Scientific reports*, v. 7, n. 1, p. 1-13. set. 2017.
- HIRAISHI, T., KRUNG, T., TANABE, K., SRIVASTAVA, N., BAASANSUREN, J., FUKUDA, M., TROXLER, T. G. Supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland, 2014.
- HOEGH-GULDBERG, O. et al. (eds). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p.1655–1731, 2014.
- HORTA, P. A. et al. Evaluation of impacts of climate change and local stressors on the biotechnological potential of marine macroalgae - A brief theoretical discussion of likely scenarios. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, v. 22, n. 4, p.768-774, jun. 2012. doi:10.1590/S0102-695X2012005000085.
- HORTA, P. A., RIUL, P., AMADO FILHO, G. M., GURGEL, C. F. D., BERCEZ, F., NUNES, J. M. D. C. & SISSINI, M. Rhodoliths in **Brazil: Current knowledge and potential impacts of climate change**. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 64(SPE2), p. 117-136, 2016. doi.org/10.1590/S1679-875920160870064sp2
- HORTA, P. A.; GURGEL, C. F. D.; RORIG, L. R.; PAGLIOSA, P.; RODRIGUES, A. C.; FONSECA, A.; BUCKERIDGE, M. **Climate change feeds climate changes**. *Int J Hydro*, v.2, n.1, p.61-62, 2018.
- JACOBUCCI, G. B.; LEITE, F. P. P. **Depth distribution and seasonal fluctuations of vagile macrofauna associated with Sargassum cymosum C Agardh at Lázaro beach, Ubatuba, São Paulo, Brazil**. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 19, n. 1, p. 87-100, jul. 2002. doi:10.1590/S0101-81752002000500004
- JAYATHILAKE, D.R.M.; COSTELLO, M.J. **A modelled global distribution of the seagrass biome**. *Biological Conservation*, v. 226, p. 120-126, out. 2018.
- JUETERBOCK, A.; TYBERGHEIN, L.; VERBRUGGEN, H.; COYER, J. A.; OLSEN, J. L.; HOARAU, G. **Climate change impact on seaweed meadow distribution in the North Atlantic rocky intertidal**. *Ecology and evolution*, v.3, n.5, p.1356-1373, abr. 2013. https://doi.org/10.1002/ece3.541
- KERR, R.; DA CUNHA, L. C.; KIKUCHI, R. K. P.; HORTA, P. A.; ITO, R. G.; MÜLLER, M. N.; ORSELLI, I. B. M.; LENCINA-AVILA, J. M.; DE ORTE, M. R.; SORDO, L.; PINHEIRO, B. R.; BONOU, F. K.; SCHUBERT, N.; BERGSTROM, E.; COPERTINO, M. S. **The Western South Atlantic Ocean in a High-CO2 World: Current Measurement Capabilities and Perspectives**. *Environmental Management*, v.57, p. 740–752, 2016. doi: 10.1007/s00267-015-0630-x.
- KOCH, M.; BOWES, G.; ROSS, C.; ZHANG, X-H. **Climate change and ocean acidification effects on seagrasses and marine macroalgae**. *Global Change Biology*, v. 19, p.103–132, 2013. doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02791.x.
- KOERICH, G. et al. **How experimental physiology and ecological niche modelling can inform the management of marine bioinvasions?** *Science of The Total Environment*, v. 700, p. 134692, 2020.
- Kronik, J.; Verner, D.; Mearns, R.; Norton, A. **The role of indigenous knowledge in crafting adaptation and mitigation strategies for climate change in Latin America**. *Social Dimensions of Climate Change*, 145, 2010. doi. org/10.1596/978-0-8213-7887-8
- LAURIE, W. A. *Effects of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation event on marine iguana (Amblyrhynchus cristatus Bell, 1825) populations on Galápagos*. Elsevier Oceanography Series, v. 52, p. 361-380, 1990.
- LEÃO, Z. M., KIKUCHI, R. K., FERREIRA, B. P., NEVES, E. G., SOVIERZOSKI, H. H., OLIVEIRA, M. D., ... & JOHNSON, R. **Brazilian coral reefs in a period of global change: A synthesis**. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64(SPE2), 97-116. 2016.



LEYBA, I. M., SOLMAN, S. A., & SARACENO, M. Trends in sea surface temperature and air–sea heat fluxes over the South Atlantic Ocean. *Climate Dynamics*, 53(7-8), 4141-4153. 2019.

LI, J. LIU, YINGCHAO, LIU, YAN, WANG, Q., GAO, X., GONG, Q. **Effects of temperature and salinity on the growth and biochemical composition of the brown alga *Sargassum fusiforme* (Fucales, Phaeophyceae)**. *J. Appl. Phycol.* v.31, p.3061–3068, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01795-9>.

LIMA, F. P.; RIBEIRO, P. A.; QUEIROZ, N.; HAWKINS, S. J.; SANTOS, AM. **Do distributional shifts of northern and southern species of algae match the warming pattern?** *Global Change Biology*, v.13, n.12, p. 2592-2604, dez. 2007. doi:10.1111/j1365-2486200701451x.

MACÁRIO, E.; REIS, L. **COVID-19, dívida pública e crise de financiamento de ciência e tecnologia no Brasil**. Auditoria Cidadã, 2020.

MAGALHÃES, K. M. et al. **Oil spill+ COVID-19: A disastrous year for Brazilian seagrass conservation**. *Science of The Total Environment*, p. 142872, 2020.

MAGRIS, R. A.; GRECH, A.; PRESSEY, R. L. **Cumulative human impacts on coral reefs: assessing risk and management implications for Brazilian coral reefs**. *Diversity*, v. 10, n. 2, p. 26, abr. 2018.

MAGRIS, R. A.; MARTA-ALMEIDA, M.; MONTEIRO, J. A.; BAN, N. C. *A modelling approach to assess the impact of land mining on marine biodiversity: Assessment in coastal catchments experiencing catastrophic events (SW Brazil)*. *Science of The Total Environment*, v. 659, p.828-840, abr. 2019.

MAGRIS, R. A. et al. *A blueprint for securing Brazil's marine biodiversity and supporting the achievement of global conservation goals*. *Diversity and Distributions*. 2020. doi.org/10.1111/ddi.13183

MANSILLA, M. A. Q.; PEREIRA, S. M. **Varição temporal da abundância e composição específica da macroflora associada a uma população de *Sargassum* (Fucophyceae) do litoral sul de Pernambuco, Brasil**. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, p. 271-276, 1998. doi: 10.2307/42871503.

MARENCO, J. A.; CUNHA, A. P.; SOARES, W. R.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M.; DE BARROS BRITO, S. S.; CUARTAS, L. A.; LEAL, K.; RIBEIRO NETO, G.; ALVALÁ, R. C. S.; MAGALHAES, A. R. **Increase Risk of Drought in the Semiarid Lands of Northeast Brazil Due to Regional Warming above 4 °C**. *Climate Change Risks in Brazil*. Springer International Publishing, p. 181–200, 2019.

MARRONI, E. V.; ASMUS, M. L. **Historical antecedents and local governance in the process of public policies building for coastal zone of Brazil**. *Ocean & Coastal Management*, v.76, p.30–37, mai. 2013. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2013.02.011.

MARTA-ALMEIDA, M.; MENDES, R.; AMORIM, F. N.; CIRANO, M.; DIAS, J. M. **Fundão Dam collapse: Oceanic dispersion of River Doce after the greatest Brazilian environmental accident**. *Marine pollution bulletin*, v.112, n.1-2, p.359-364, nov. 2016.

MARTINS, C. D.; ARANTES, N.; FAVERI, C.; BATISTA, M. B.; OLIVEIRA, E. C.; PAGLIOSA, P. R.; HORTA, P. A. **The impact of coastal urbanization on the structure of phytobenthic communities in southern Brazil**. *Marine pollution bulletin*, v. 64, n.4, p.772-778, 2012.

MARTINS, G.M.; ARENAS, F.; TUYA, F.; RAMÍREZ, R.; NETO, A.I.; JENKINS, S.R. **Successional convergence in experimentally disturbed intertidal communities**. *Oecologia*, v.186, n. 2, p. 507-516, 2018. doi:10.1007/s00442-017-4022-1.

MARTINS, I. M.; GASALLA, M. A. **Perceptions of climate and ocean change impacting the resources and livelihood of small-scale fishers in the South Brazil Bight**. *Climatic Change*, v.147, p.441-456, fev. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2144-z>

MÜLLER, R.; LAEPPEL, T.; BARTSCH, I.; WIENCKE, C. **Impact of oceanic warming on the distribution of seaweeds in polar and cold-temperate waters**. *Botanica Marina*, v. 52, n.6, p. 617- 638, dez. 2009. doi:10.1515/BOT2009080.

MUÑOZ, P. T.; SÁEZ, C. A.; MARTÍNEZ-CALLEJAS, M. B.; FLORES-MOLINA, M. R.; BASTOS, E.; FONSECA, A. ; GURGEL,

C. F. D. ; BARUFI, J. B.; RÖRIG, L.; HALL-SPENCER, J. M.; HORTA, P. A. **Short-term interactive effects of increased temperatures and acidification on the calcifying macroalgae *Lithothamnion crispatum* and *Sonderophycus capensis***. *Aquatic Botany*, v. 148, p. 46-52, ago. 2018.

OLIVER, E. C. J., DONAT, M. G., BURROWS, M. T., MOORE, P. J., SMALE, D. A., ALEXANDER, L. V., et al. **Longer and more frequent marine heatwaves over the past century**. *Nat. Commun*, v.9, n.1324, 2018. doi: 10.1038/s41467-018-03732-9

OPPENHEIMER, M.; CAMPOS, M.; WARREN, R.; BIRKMANN, J.; LUBER, G.; O'NEILL, B.; TAKAHASHI, K. Emergent Risks and Key Vulnerabilities. *Climate Change 2014 Impacts, Adapt Vulnerability Part A Glob Sect Asp Contrib Work Gr II to Fifth Assess Rep Intergov Panel Climate Change*. P.1039–1099, 2014. doi: 10.1017/CBO9781107415379.

PHILLIPS, J. A.; BLACKSHAW, J. K.; BLACKSHAW, J. K. **Extirpation of macroalgae (*Sargassum* spp) on the subtropical east Australian coast**. *Conservation Biology*, v.25, n.5, p.913-921, set. 2011. doi: 10.1111/j.1523-1739.2011.01727.x.

PRADO, D. S.; SEIXAS, C. S.; BERKES, F. **Looking back and looking forward: Exploring livelihood change and resilience building in a Brazilian coastal community**. *Ocean & Coastal Management*, v. 113, p.29–37, 2015a. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2015.05.018.

PRADO, D. S.; SEIXAS, C. S.; BERKES, F. **Looking back and looking forward: Exploring livelihood change and resilience building in a Brazilian coastal community**. *Ocean & Coastal Management*, v. 113, p.29–37, 2015b. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2015.05.018.

QGIS Development Team (2019) QGIS Geographic Information System Open Source Geospatial Foundation Project <http://qgisosgeo.org>.

REYER, C. P. O. et al. **Climate change impacts in Latin America and the Caribbean and their implications for development**. *Regional Environmental Change*, v.17, p.1601–1621, 2017. doi: 10.1007/s10113-015-0854-6.

RIUL, P. **Modelagem e distribuição de espécies bêmicas**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

ROSSI, P. et al. **Austeridade fiscal e o financiamento da educação no Brasil**. *Educação&Sociedade*, v. 40, 2019.

ROY, J. et al. Sustainable Development, Poverty Eradication and Reducing Inequalities. In: MASSON-DELMONTE, V. et al. (Eds). *An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development*. p. 435–558, 2018.

R Development Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing* R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria 2016.

RStudio Team, *RStudio: Integrated Development for R* RStudio, Inc, Boston, MA, 2016. URL <http://www.rstudio.com/>.

SARAIVA, A.; LIMA, A. G. M.; ADAMS, C.; CERVONE, C. O. F.; OVERBECK, G. E.; QUEIROZ, H.; MENEZES, J. A.; GONÇALVES, L. R.; LONDE, L. R.; ELOY, L.; CUNHA, M. C.; PRADO, R. B.; RAFAEL LEMBI, R. K. VIEIRA, S.; CONFALONIERU, U. E. C.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; AZEVEDO, S. M. F. O. *Contribuições da Natureza para Qualidade de Vida*. In: SEIXAS, C. S. (ed) *Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos*. 2018.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y., SORIANO-SIERRA, E. J., VALE, C. C. D., BERNINI, E., ROVAI, A. S., PINHEIRO, M. A. A., MARTINEZ, D. I. **Climate changes in mangrove forests and salt marshes**. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 64(spe2), p.37-52, 2016.

SCHERNER, F., VENTURA, R., BARUFI, J. B., & HORTA, P. A. **Salinity critical threshold values for photosynthesis of two cosmopolitan seaweed species: providing baselines for potential shifts on seaweed assemblages**. *Marine environmental research*, v.91, p.14-25, 2012.

SCHERNER, F.; HORTA, P. A.; DE OLIVEIRA, E. C.; SIMONASSI, J. C.; HALL-SPENCER, J. M.; CHOW, F.; NUNES, J. M. C.; PEREIRA, S. M. B. **Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along**

**the SW Atlantic.** Marine Pollution Bulletin, v. 76, p. 106-115, nov. 2013.

SHI, Lei. Mapping ecological trends by keywords in the last 20 years. PeerJ Preprints, 2019.

SCHUBERT, N.; SALAZAR, RICH, W. A.; BERCOVICH, M. V.; ALMEIDA SAÁ, A. C.; FADIGAS, S. D.; SILVA, J.; HORTA, P. A. **Rhodolith primary and carbonate production in a changing ocean: The interplay of warming and nutrients.** Science of The Total Environment, v. 676, p. 455-468, 2019.

SEGURADO, P.; ARAÚJO, M. B.; KUNIN, W. E. **Consequences of spatial autocorrelation for niche-based models.** Journal of Applied Ecology, v.43, p.433–444, 2006.

SISSINI, M. N.; DE BARROS BARRETO, M. B. B.; SZÉCHY, M. T. M.; DE LUCENA, M. B.; OLIVEIRA, M. C.; GOWER, J.; MARTINELLI-FILHO, J. E. **The floating Sargassum (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean—likely scenarios.** Phycologia, v.56, n.3, p.321-328, 2017. doi:10.2216/16-92.1.

SPALDING, M. D.; FOX, H. E.; ALLEM, G. R.; DAVIDSON, N.; FERDAÑA, Z. A.; FINLAYSON, M. A. X.; MARTIN, K. D. **Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas.** BioScience, v.57, n. 7, p. 573-583, 2007.

SZÉCHY, M. D.; PAULA, E. D.; **Padrões estruturais quantitativos de bancos de Sargassum (Phaeophyta, Fucales) do litoral dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, Brasil.** Revista Brasileira de Botânica, v.23, n.2, p.121-132, 2000. doi:10.1590/S0100-84042000000200002.

SZÉCHY, M. T. M.; GALLIEZ, M.; MARCONI, M. I. **Quantitative variables applied to phenological studies of Sargassum vulgare c Agardh (phaeophyceae-Fucales) from Ilha Grande Bay, state of Rio de Janeiro.** Brazilian Journal of Botany, v.29, n.1, p 27-37, 2006. doi:https://doi.org/10.1590/S0100-84042006000100004

STENECK, R. S.; GRAHAM, M. H.; BOURQUE, B. J.; CORBETT, D.; ERLANDSON, J. M.; ESTES, J. A.; TEGNER, M. J. **Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future.** Environmental Conservation, p.436-459, 2002.

TANAKA, K.; TAINO, S.; HARAGUCHI, H.; PRENDERGAST, G.; HIRAOKA, M. **Warming off southwestern Japan linked to distributional shifts of subtidal canopy-forming seaweeds.** Ecology and Evolution v.2, p. 2854–2865, 2012.

TEAGLE, H.; HAWKINS, S. J.; MOORE, P. J.; SMALE, D. A. **The role of kelp species as biogenic habitat formers in coastal marine ecosystems.** Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, v.492, p.81-98, 2017. doi:10.1016/j.jembe.2017.01.017.

TEDESCO, E. C.; SEGAL, B.; CALDERON, E. N.; SCHIAVETTI, A. **Conservation of Brazilian coral reefs in the Southwest Atlantic Ocean: a change of approach.** Latin American Journal of Aquatic Research, v.45, n.2, 2017.

TYBERGHEIN, L.; VERBRUGGEN, H.; PAULY, K.; TROUPIN, C.; MINEUR, F; DE CLERCK, O. **Bio-ORACLE: a global environmental dataset for marine species distribution modelling.** Global Ecology and Biogeography, v.21, p. 272–281, 2012. doi:10.1111/j.1466-8238.2011.00656x.

UNEP-WCMC, WorldFish Centre, WRI, TNC (2018). Global distribution of warm-water coral reefs, compiled from multiple sources including the Millennium Coral Reef Mapping Project. Version 4.0. Includes contributions from IMaRS-USF and IRD (2005), IMaRS-USF (2005) and Spalding et al. (2001). Cambridge (UK): UN Environment World Conservation Monitoring Centre. URL: <http://data.unep-wcmc.org/datasets/1>.

VERGÉS, A. et al. **Tropicalisation of temperate reefs: implications for ecosystem functions and management actions.** Functional Ecology, v. 33, n. 6, p. 1000-1013, 2019.

VIEJO, R. M.; MARTINEZ, B.; ARRONTES, J.; ASTUDILLO, C.; HERNANDEZ, L. **Reproductive patterns in central and marginal populations of a large brown seaweed: drastic changes at the southern range limit.** Ecography, v.34, p.75–84, 2011. doi:10.1111/j.1600-0587.2010.06365.x.

WEATHERDON, L. V.; MAGNAN, A. K.; ROGERS, A. D.; SUMAILA, U. R.; CHEUNG, W. W. L. **Observed and Projected Impacts of Climate Change on Marine Fisheries, Aquaculture, Coastal Tourism, and Human Health: An Update.** Front Mar Sci, v.3, 2016: doi: 10.3389/fmars.2016.00048.

ZANETTI, V. B., DE SOUSA JUNIOR, W. C., & DE FREITAS, D. M. **A climate change vulnerability index and case study in a Brazilian coastal city.** Sustainability, v.8, n.8, p.811. 2016.

# Environmental impacts and infrastructure in Agrarian Reform settlements in Minas Gerais, Brazil

*Impactos ambientais e infraestrutura de assentamentos da Reforma Agrária em Minas Gerais, Brasil*

Luciane Cleonice Durante<sup>a</sup>

Onélia Carmem Rossetto<sup>b</sup>

Giseli Dalla Nora<sup>c</sup>

Paulo Cesar Venere<sup>d</sup>

Olivan da Silva Rabelo<sup>e</sup>

Raoni Florentino da Silva Teixeira<sup>f</sup>

<sup>a</sup> PhD in Environmental Physics, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brazil  
E-mail: luciane.durante@hotmail.com

<sup>b</sup> PhD in Sustainable Development, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brazil  
E-mail: carmemrossetto@gmail.com

<sup>c</sup> PhD in Education, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brazil  
E-mail: nora.gisa@gmail.com

<sup>d</sup> PhD in Genetics and Evolution, Cuiabá, MT, Brazil  
E-mail: paulo.venere@gmail.com

<sup>e</sup> PhD in Economics, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brazil  
E-mail: olivanrabelo@gmail.com

<sup>f</sup> PhD in Computer Science, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brazil  
E-mail: raoniteixeira@gmail.com

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.26653

Received: 15/08/2019  
Accepted: 01/12/2020

ARTICLE – VARIA

## ABSTRACT

The existence of adequate infrastructure aims to meet the basic human needs, contributing to local development, poverty reduction and social inequalities. The aim of this article is to analyze the potential environmental impacts arising from infrastructure conditions in agrarian reform settlements in the State of Minas Gerais - Brazil. The methodology is based on the Leopold Matrix, which considers the environmental components: water pollution, soil degradation, land use and quality of life, in a sample of 1,270 lots. The variables analyzed were: water supply; sanitation; disposal of wastewater, dry waste, pesticide packaging and veterinary medicinal products; distribution of electricity and paving of public roads. The results indicate that the impacts are of greater negative potential in the Northern Mesoregion of Minas Gerais (70%), followed by Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (60%), proving the hypothesis that the incipience in infrastructure conditions results in a greater negative environmental impact.

**Keywords:** Rural settlements. Environmental Impact. Leopold Matrix. Sustainable development.

## RESUMO

*A existência de infraestrutura adequada visa atender às necessidades humanas básicas, contribuindo com desenvolvimento local, redução da pobreza e desigualdades sociais. O objetivo deste artigo é analisar os potenciais impactos ambientais decorrentes das condições de infraestrutura em assentamentos da reforma agrária, no estado de Minas Gerais, Brasil. A metodologia apoia-se na Matriz de Leopold, que considera as componentes ambientais: poluição da água, degradação do solo, uso do solo e qualidade de vida, em uma amostra de 1.270 lotes. As variáveis analisadas foram: abastecimento d'água; esgotamento sanitário; destino das águas servidas, do lixo seco, das embalagens de agrotóxicos e dos medicamentos veterinários; distribuição de energia elétrica e pavimentação das vias públicas. Os resultados apontam que os impactos são de maior potencial negativo na Mesorregião Norte de Minas (70%), seguido pelo Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (60%), comprovando-se a hipótese de que a incipiência nas condições de infraestrutura resulta em maior impacto ambiental negativo.*

*Palavras-chave:* Assentamentos rurais. Avaliação de Impacto Ambiental. Matriz de Leopold. Desenvolvimento sustentável.

## 1 INTRODUCTION

The guidelines of the II National Program for Agrarian Reform (PNRA) establish that agrarian reform is part of a national development project, labor generator and food producer. Agrarian reform is implemented by the actions of the National Institute of Colonization and Agrarian Reform (INCRA), promoting gender equality, the right to education, culture and social security in reformed areas, as well as sustainable development (BRAZIL, 2003).

In the case of federal settlements of agrarian reform, INCRA is responsible for providing the necessary infrastructure. According to Choguill (1996) the infrastructure should mainly cover water supply, proper disposal of effluents and solid waste, access to electricity and roads. The existence of adequate infrastructure aims to meet basic human needs, contribute to the local development process, reduce poverty and social inequalities (INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA, 2020). It results in quality of life and relates to the process of socio-spatial formation of the settlements.

Therefore, the infrastructure deficiency in the settlements is directly related to the possibilities of development and the quality of life of families (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2010). When infrastructure is not made available, a relationship of state dependence and precariousness can be established in more poor regions. On the other hand, the provision of adequate infrastructure can drive development, not only of the settlement, but of the entire region (LEITE et al., 2004).



The relations between infrastructure and development and, more specifically, the process of adapting the infrastructure to favor the development of settlements, involves the understanding of specificities and the process of socio-spatial formation of the settlements (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2010).

In this sense, Bruno and Medeiros (2001) affirm that problems related to infrastructure contribute to the evasion of the settlers. This occurs when the state does not perform functions or the infrastructure is implemented differently from the will or need of settled families, especially with regard to the availability of water, electricity, housing, transportation and teaching services.

Ribeiro et al. (2011) when studying the *Barranco do Mundo* Settlement Project, in Tocantins state (Brazil), point out that 33.3% of the causes of evasion occurred and 85% of the improvements pointed out as necessary are related to infrastructure problems.

Medeiros (2010) records that several studies point to the precariousness of the settlements in relation to infrastructure and draw attention to the configuration of rural “favelas”<sup>1</sup> that help the settlers abandon their plots. On the other hand, Heredia et al. (2005) record that the infrastructure of the agrarian reform settlements is quite precarious, but even so, there is an improvement in income and living conditions, with the prospect of greater long-term economic stability, in clear contrast to the poverty and social exclusion that families suffered before being integrated into settlement projects.

Due to the environmental bias, the implementation of agrarian reform policies results in the area cutout in lots, which consolidate rural settlements in the country. Without disregarding the intentionality of this fact with regard to land deconcentration and improvement of the quality of life of family farmers, this article raises the hypothesis that the absence or precariousness of infrastructure conditions in the settlements may result in negative environmental impacts.

Environmental impact is defined as a change in the physical, chemical and biological properties of the environment, resulting from human activities and affecting the health, safety and well-being of the population; social and economic activities; the biota; the aesthetic and sanitary conditions of the environment and the quality of environmental resources (BRASIL, 1986).

Environmental Impact Assessments (AIA), according to Pimentel and Pires (1992), are studies to identify, predict, interpret and prevent the environmental effects that certain activities can cause to health, human well-being and the environment. Several authors have studied environmental impacts on land reform settlements.

Leal (2003) focuses his studies on social and environmental impacts, analyzing the dimensions of access to health, education, housing, public policies, among others. Van de Steeg et al. (2006) studied the environmental impacts of Brazilian land reform from 1985 to 2001, in 4,340 settlements, with 458,000 families. The Environmental Quality Index (EQ) was used, focusing on the degradation of areas resulting from exploration activities. The results showed low environmental quality for the North and Northeast, intermediate values for the Midwest and Southeast and high environmental quality for the South.

Araújo (2007), in turn, addresses sustainability in local development and states that the poor condition of roads makes it difficult to flow production and increases the isolation of communities from settlements in relation to urban ones.

Morais et al. (2012) evaluated the environmental impact on seven properties of two rural settlements in the state of Mato Grosso. They used the *APOIA - Novo Rural* System, which expresses the Environmental Impact Index (IIA) based on 62 indicators, on a scale between zero (worst situation) and one (better situation). The reference value 0.70 was adopted to indicate that the productive activity developed in the

1 | Brazilian shantytowns.

property does not generate negative changes in the local environment. The IIA demonstrated that there is no commitment of environmental quality on the part of the activities developed in the studied settlements and that agricultural practices are compatible with the environmentally sustainable development standard.

Leite, Sobral and Barreto (2011), in Espírito Santo state (Brazil), evaluated the environmental impacts through the Leopold Matrix, adapting it to classify social impacts as well. The activities considered were: burning of solid waste, burning for the cleaning of the land, generation of effluents, hunting of birds with sling by children and young people, water supply system and water scarcity for irrigation. The authors conclude that the minimization of environmental and social impacts involves the mobilization of the community, which culminates in the improvement of the quality of life of families and stimulates the fixation of those settled in the field.

This same methodology was used by Martins (2014), with satisfactory results, to evaluate the environmental impacts of the *Grotão* Stream basin, in Ceilândia city (Brazil), covering urban and rural areas, in the construction and operation phases of the projects on its banks.

Brandão and Souza (2006), Farias et al. (2018) and Schneider and Peres (2015) return the focus to deforestation in land reform settlements in Amazon, but without relating it to existing infrastructure.

In view of the above, this article aims to analyze the potential environmental impacts arising from the infrastructure conditions of the agrarian reform settlements in the Northern Mesoregions of Minas Gerais and Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, in the State of Minas Gerais, Brazil. Its contribution lies in the diagnosis of the infrastructure conditions of the studied settlements, providing subsidies for the development of public policies aimed at the region.

## 2 CHARACTERIZATION OF STUDY MESOREGIONS

### 2.1 MESORREGION NORTE DE MINAS

The northern mesoregion of Minas Gerais, created by IBGE in 1990, occupies a territorial area of 128,450.6 km<sup>2</sup> (IBGE, 2011). The historical process of occupation of this mesoregion began in the seventeenth century, from the movement of expansion of livestock, along the São Francisco, and the western part belonged to Pernambuco and the eastern part, to Bahia. Between the 17th and 18th centuries, the region was occupied by cowboys, originally from Bahia and Pernambuco, who climbed the São Francisco, and by the *Bandeirantes*<sup>2</sup> from São Paulo. This mesoregion is an area of transition between the southeast and northeast regions of the country (PEREIRA, 2007).

Data from the Demographic Census recorded 1,492,715 inhabitants, a population that is irregularly distributed throughout the territory. The population density is 12.54 inhabitants/km<sup>2</sup>, an average lower than the Brazilian population, which is 19.92 inhabitants/km<sup>2</sup>. The counties have a rural population higher than the urban population, of which 52.80%. Norte de Minas Gerais has the per capita income declared below the minimum wage, being R\$ 455.33 (IBGE, 2011).

The geographical characteristics, such as: low soil fertility, low rainfall index, together with *cerrado* vegetation in transition to *caatinga*, led Norte Mineiro to have cattle raising and subsistence agriculture as the basis of its economy. Drought has caused a steady and progressive exodus throughout the region, even agriculture is seriously compromised due to the reduction of the annual rainy season (SANTOS, 2017).

In the Northern mesoregion of Minas Gerais, the cultivation of forage sorghum as the main crop predominates, which is responsible for the feeding of cattle. The region also stands out in banana

2 | Pathfinders who explored Brazil's inland from the southeast up to the northwest.

production, accounting for 29.9% (243,685 tons) of the state's production; among the main producing regions of Minas Gerais; along with the Regions of the Doce and Central Rivers (MINAS GERAIS, 2018).

## 2.2 MESORREGION TRIÂNGULO MINEIRO/VALE DO PARANAÍBA

The region that is now occupied by the Triângulo Mineiro was called *Sertão da Farinha Podre* and was first occupied by Caiapó Indians (VEDUVOTO and BRITO, 2013). The Mesoregion of the Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba has an excellent geographical location in relation to the regions with strong economic, social and political dynamics, with a privileged position in the heartland of the country.

The relief of the Mesoregion, for its excellent combination of flat areas of stoned land, allowed the practice of extensive agriculture with the use of machinery. The pletan water distribution network of affluent in the drainage area of the Grande and Paranaíba rivers, in addition to important watercourses, such as the Araguari, Uberabinha and Tejuco rivers, allowed the achievement of high hydraulic potential and favored regional growth (OLIVEIRA, 2017).

The Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba occupies a territorial area of 90,540.6 km<sup>2</sup>, registering a population of 2,144,482 inhabitants, with only 8.6% of this total resident of the rural area. It has a population density of 23.69 inhabitants/km<sup>2</sup>. This mesoregion has a declared per capita income of R\$ 908.04 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011). The state of Minas Gerais is responsible for 6% of the national grain production (corn, beans, soybeans, cotton, wheat, sorghum, peanuts, sunflower and castor bean) producing 14.3 million tons in 2017, and its production is concentrated in the mesoregion Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba and Northwest.

The state also stands out in meat production, the number of animals slaughtered in 2016 was in the order of 2.6 million heads, being the Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba leader in this production. In the last ten years, the region has led the ranking of the main state regions with the highest number of animals (MINAS GERAIS, 2018).

## 3 METHODOLOGY

The study was developed within the framework of the RADIS/UFMT project (PROJETO DIAGNÓSTICO PARA REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL DOS ASSENTAMENTOS DA REFORMA AGRÁRIA, 2018). Self-declaratory questionnaires of socioeconomic and environmental nature were applied to settled family farmers, through visits to the previously scheduled lots, preceded by stages of sensitization and mobilization. The settlements surveyed are located in the Northern Mesoregions of Minas Gerais and Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba Mesoregions, in Minas Gerais. The sample consists of 1,270 lots, distributed in ten counties and 33 rural settlements (Table 1, Figure 1).

The methodology adopted to assess environmental impacts is based on the Leopold Matrix (LEOPOLD, 1971), considering the environmental variables: water supply; sanitation; disposal of wastewater, solid waste, pesticide packaging and veterinary medicinal products; distribution of electricity and paving of roads (Figure 2). These variables were defined based on the questionnaire and its relationship with the infrastructure of rural settlements.

**Table 1 |** Sample by Mesoregion, Counties and Settlements

Mesoregion	County	Numbering and name of the Settlement Project as shown in Figure 1	Number of settlements per county	Number of lots per mesoregion
North	Bocaiúva	32. Paraíso Salobro	1	91
	Montalvânia	33. Santa Engrácia32	1	
Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba	Campina Verde	9. Nova Capão Alto	10	456
		10. Inhumas		
		12. Primavera		
		14. São José da Boa Vista		
		15. Nova São José da Boa Vista		
		16. Campo Belo		
		17. Bela Cruz/ Palmeira		
		18. Córrego Fundo II		
		19. Nova Rio da Prata		
		20. Cachoeirinha II		
	Gurinhata	5. Vargem do Touro	4	225
		6. Nova Piedade Barreiro		
		7. Nova Rosada		
		8. Divino Rosa		
	Ituiutaba	21. Douradinho	3	104
		22. Engenho da Serra		
		23. Renascer		
	Perdizes	29. Santa Luzia	3	128
		30. Bom Sucesso II		
		31. Guariba		
	Prata	24. Nova Cachoeirinha	2	104
		25. Sidamar		
	Santa Vitória	Nova Jacaré Curiango	4	130
2. Porto Feliz				
Paulo Freire				
Nova Santa Inês				
São Francisco de Sales	11. Boa Vista	2	32	
	13. Queixada			
Veríssimo	26. 21 de abril	3	138	
	27. Rio do Peixe			
	28. Irmã Doroty			

Source: Diagnostic project for environmental regularization of agrarian reform settlements (2018).

The characteristics of the classes were adequate for the rural environment based on Topanotti (2002) and based on data on the Brazilian rural area. From these data, the numerical references of the classes (from 1 to 4 for each environmental indicator, in increasing order of impact meaning) were established (Chart 1). In the stage of environmental impact assessment, scores 2, 3, 5 and 7 were assigned for each of classes 1, 2, 3 and 4, respectively.

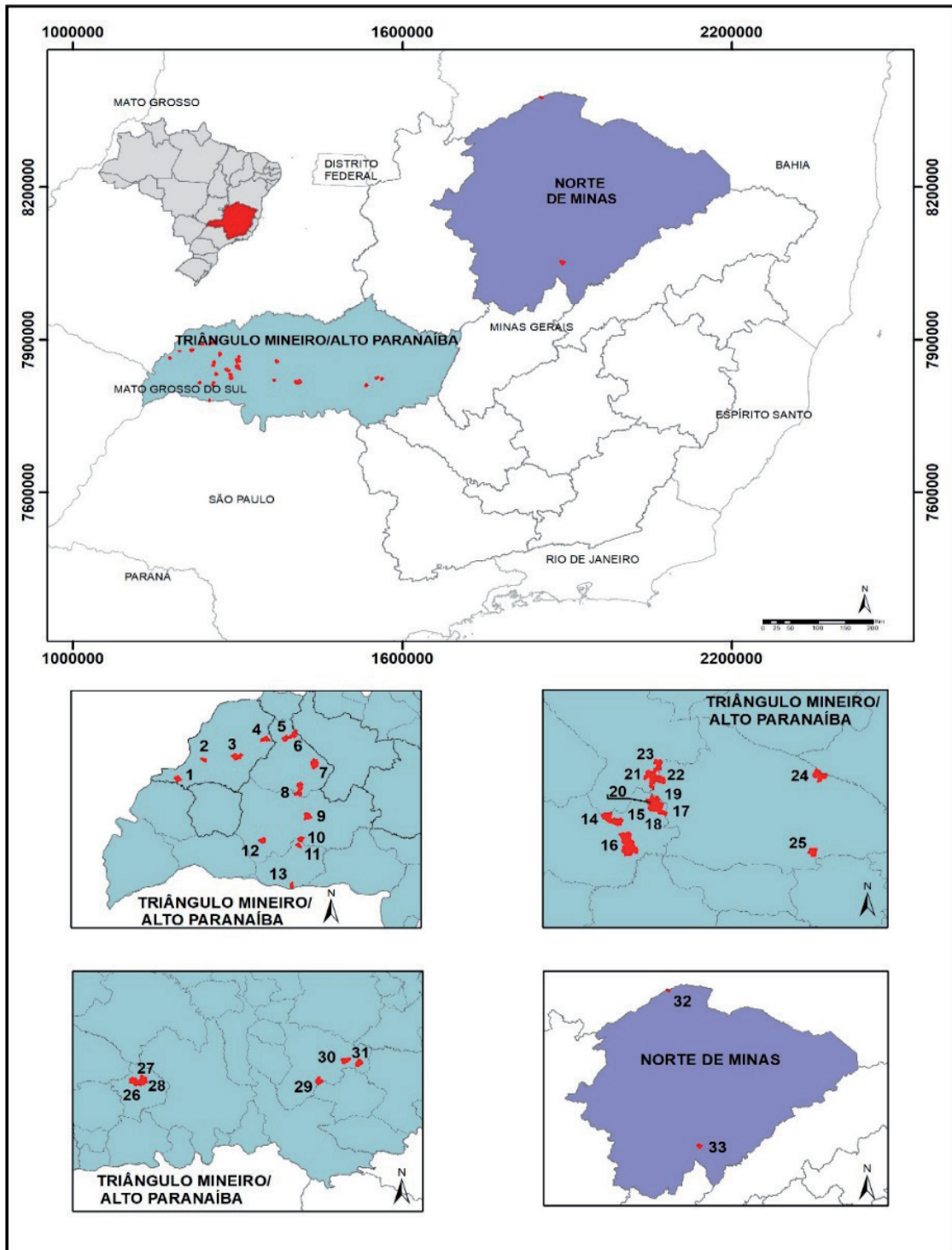


Figure 1 | Location of Settlement Projects (PAs) by Mesoregions of Minas Gerais - Brazil

Source: Prepared by the authors.



Does the dwelling have access to water?	Where does the water consumed in the house come from?	Does the lot have rural electrification?	What kind of network is supplying the lot?
<input type="checkbox"/> yes	<input type="checkbox"/> public plumbing network	<input type="checkbox"/> yes	<input type="checkbox"/> 1 phase
<input type="checkbox"/> no	<input type="checkbox"/> community plumbing network	<input type="checkbox"/> no	<input type="checkbox"/> 2 phases
	<input type="checkbox"/> shed or spring of water		<input type="checkbox"/> 3 phases
	<input type="checkbox"/> artesian well		
	<input type="checkbox"/> ordinary well		
	<input type="checkbox"/> collective well		
	<input type="checkbox"/> stream, creek or river		
	<input type="checkbox"/> cistern		
	<input type="checkbox"/> water reservoir/dam		
What is the disposal of veterinary medicine packaging?	What is the disposal of the wastewater?	What is the disposal of pesticide packaging?	What is the disposal of household solid waste?
<input type="checkbox"/> not used	<input type="checkbox"/> cesspool or sinkhole	<input type="checkbox"/> not used	<input type="checkbox"/> public withdrawal
<input type="checkbox"/> grounding hole	<input type="checkbox"/> septic tank or ecological treatment	<input type="checkbox"/> grounding hole	<input type="checkbox"/> collection point
<input type="checkbox"/> open cast	<input type="checkbox"/> other	<input type="checkbox"/> open cast	<input type="checkbox"/> grounding hole
<input type="checkbox"/> incineration	<input type="checkbox"/> there is none	<input type="checkbox"/> incineration	<input type="checkbox"/> incineration
<input type="checkbox"/> storage in the lot		<input type="checkbox"/> storage in the lot	<input type="checkbox"/> open cast
<input type="checkbox"/> public withdrawal		<input type="checkbox"/> public withdrawal	<input type="checkbox"/> recycling
		<input type="checkbox"/> return	
		<input type="checkbox"/> reuse	
What is the condition of the access roads to the lot?	What is the allowed period to access the roads?	What are the kind of roads?	
<input type="checkbox"/> good	<input type="checkbox"/> permanent access	<input type="checkbox"/> gravel	
<input type="checkbox"/> even	<input type="checkbox"/> seasonal access	<input type="checkbox"/> dirt	
<input type="checkbox"/> bad	<input type="checkbox"/> permanently interrupted access		

Figure 2 | Questions applied in the field data collection instrument

Source: Adapted from Diagnostic Project for Environmental Regularization of Agrarian Reform Settlements (2018).

Table 2 - Classes of environmental indicators

<i>Environmental indicators</i>	<i>Classes and Characteristics</i>		<i>References</i>
Water supply	1	More than 24% (lots) supplied by the public network and/or 30% by individual artesian well and/or cistern and/or shed (spring)	According to PNAD (2015), Minas Gerais has 24% of rural households connected to the water supply network. The Brazilian state with the lowest supply is 35%.
	2	Less than 35% (lots) supplied by water reservoir and/or dam and/or ordinary well and/or more than 30% (lots) supplied by stream (river/creek)	
	3	More than 35% (lots) supplied by water reservoir and/or dam and/or ordinary well	
Sanitary sewage	1	More than 14% (lots) destined to the public network	According to PNAD (2015): the rural area of Minas Gerais has 13.8% lots with a collection network; the average launch of water, cesspool and open cast in Brazil are 19.73% and 16.35% are treated in septic tank in Minas Gerais.
	2	Less than 20% (lots) launches into watercourse and/or cesspool and/or open cast and/or more than 17% in septic tank	
	3	From 20% to 50% (lots) launches in watercourse and/or cesspool and/or open pit	
	4	More than 50% (lots) launches into water course and/or cesspool and/or open pit	
Disposal of wastewater	1	More than 14% (lots) launches in the public network	
	2	Less than 20% (lots) launches in the open and/or more than 17% in Fat box/septic tank /sink hole and/or fat box/sink hole and/or sink hole	
	3	From 20% to 50% (lots) launches in the open cast	
	4	More than 50% (lots) launches in the open cast	
Disposal of pesticide packaging	1	More than 41% of (lots) public withdrawal and/or return, return and/or storage in the lot	According to IBGE (2011), in the Southeast region only 40.55% of the rural area allocates waste with direct or indirect withdrawal.
	2	Less than 20% (lots) destined in grounding hole and/or open cast and/or incineration	
	3	From 20% to 48% (lots) destined in grounding hole and/or open cast and/or incineration	
	4	More than 48% (lots) destined in grounding hole and/or open cast and/or incineration	
Disposal of solid waste	1	More than 41% of (lots) have public withdrawal and/or collection point and/or recycling	According to IBGE (2011), in the Southeast region only 40.55% of the rural area allocates waste with direct or indirect withdrawal.
	2	Less than 20% (lots) destined in grounding hole and/or open cast and/or incineration	
	3	From 20% to 48% (lots) destined in grounding hole and/or open cast and/or incineration	
	4	More than 48% (lots) destined in grounding hole and/or open casts and/or incineration	

Environmental indicators	Classes and Characteristics		References
Disposal of veterinary medicinal product packaging	1	More than 41% of (lots) have public withdrawal and/or return, return and/or storage in the lot	Defined by the authors
	2	Less than 20% (lots) destined in grounding hole and/or open cast and/or incineration	
	3	From 20% to 48% (lots) destined in grounding hole and/or open cast and/or incineration	
	4	More than 48% (lots) destined for grounding hole and/or open cast and/or incineration	
Availability of power (electricity)	1	More than 80% has mono, bi or three-phase network	
	4	Most lack of electrification	
Paving roads	1	Most considered the roads good	
	2	Most considered the roads even	
	3	Most considered the roads bad	

Source: Prepared by the authors.

After assigning the weights of the classes (1, 2, 3 or 4) and scores (2, 3, 5 or 7), the magnitude of impact is calculated by Equation 01, where the sum of the weights, regarding this study, is equal to twenty. For the calculation of the magnitude of normalized impact, the values of the scores are related to the scale from 1 to 10, with 10 being the maximum value of the magnitude of impact.

$$\text{Magnitude of impact} = \frac{\sum(\text{Score} \times \text{Weight})}{\sum \text{Weight}} \quad (\text{Equation 1})$$

Based on Topanotti (2002), environmental components that suffer some kind of anthropic impact related to the problem of low infrastructure of the settlements were selected, i.e.: water pollution, soil contamination, land use and quality of life.

From the understanding of how each of the environmental components influences the infrastructure of the settlements, the relevance of each of them was attributed, the latter being a subjective value of 1 to 3 according to Leopold (1977). In the present study, values according to Topanotti (2002) were adopted, being 3, 2, 3 and 3 for environmental components water pollution, soil contamination, land use and quality of life, respectively.

The maximum value of the environmental impact caused by the lack of infrastructure is the extreme situation that the environment supports and, in this methodology, it is calculated in the matrix using the magnitude in its acme, that is, ten. The impact score according to Equation 2 represents its relevance and the percentage of the impact caused is the ratio of the maximum impact value to the calculated score.

$$\text{Impact score} = \Sigma (\text{Magnitude} \times \text{Relevance}) \quad (\text{Equation 2})$$

## 4 RESULTS AND DISCUSSION

In the scope of the variables researched, the theme of access and the origin of the water that supplies the settlements is initially highlighted. The results indicate that, in Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, there are 30.5% of the lots supplied by cistern, 5.7% per individual artesian well and 24.1% per spring or slope. In the Northern mesoregion of Minas Gerais, there were a large number of non-respondents (39.1%), however, considering the valid questionnaires, 17.4% and 16.4% of the lots are supplied by collective artesian well water and cistern, respectively (Table 2).

**Table 3 | Water supply (%)**

<i>Indicators / Mesoregion</i>	<i>Norte de Minas Gerais</i>	<i>Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba</i>
Public plumbing network	1.0	0.0
Community plumbing network	13.2	0.6
Single artesian well	7.3	25.7
Collective artesian well	17.4	10.7
Cistern	16.4	30.5
Water reservoir	1.0	0.1
Dam	0.8	1.9
Stream / creek / river	3.4	2.9
Shed (spring)	0.4	24.1
Did not answer	39.1	3.6
<b>Class</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Source: Adapted from Diagnostic Project for Environmental Regularization of Agrarian Reform Settlements (2018).

Due to its climatic characteristics, there is no large bodies of water in the Northern region of Minas Gerais, which leads to infer that the supply is usually made by dam and cistern. There was a significant amount of lots with supply from the community network, which is an interesting alternative in the area of infrastructure. However, this water is coming from means such as rivers, streams, sheds, collective artesian well and even water reservoirs. Therefore, its availability is subject to change of level according to the rainfall regime. Based on the high percentage of non-respondents, class 2 was assigned the most consistent with the reality of the place.

Leite et al (2004) identified in settlements distributed throughout Brazil, that access to water takes place in 37 and 27% of them, by common and artesian wells, respectively; 34% per spring; 18% by rivers, 10% in dams; 5% by public plumbing network and 43% by other forms. As can be seen, there is a predominance of collection in wells in both studies.

As for the disposal of the wastewater, 39.8 and 50.2% have its disposal in the open air, in the northern mesoregions of Minas Gerais and Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, respectively. There was a large number of non-respondents - 56.2% in the first and 34% in the second. This absence of data may be a justification for the Triângulo Mineiro mesoregion presenting worse conditions regarding this criterion, although it is a region of greater economic development (Table 3).

**Table 4 | Disposal of wastewater in mesoregions (%)**

<i>Indicators / Mesoregion</i>	<i>Norte de Minas</i>	<i>Triangulo Mineiro/Vale do Paranaíba</i>
Fat box/septic tank/sink hole	2.3	5.1
Fat box/sink hole	1.4	4.0
Sink hole	0.3	6.8
Open cast	39.8	50.2
Did not answer	56.2	34.0
<b>Class</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

Source: Adapted from Diagnostic Project for Environmental Regularization of Agrarian Reform Settlements (2018).

According to the criterion of class assignment in relation to the disposal of the wastewater, it is concluded that in the Northern Mesoregion of Minas Gerais, the class is 3 and in Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, the class is 4 (Table 3).

According to the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE, 2011), 49.9% of households in the rural area of the Southeast macro-region incorrectly allocate the effluent produced. In the Northern mesoregion of Minas Gerais, according to the State Sanitation Information System (2017), considering the urban and rural region, only 42.2% of households have coverage of the effluent system. Considering, as a fact, that the infrastructure conditions of the urban area are better than rural ones, it is concluded that the rural area is in an unfavorable situation in the general context.

According to Leite et al. (2004), 80% of national settlements have no disposal for wastewater; 16% sink directly in rivers; 40 and 35% target them to the common and septic tank, respectively, and only 1% to the public plumbing network. The reality in the studied settlements accompanies the national one, where most have the water served arranged in the open cast, without any type of treatment or disposal.

In the criterion of sanitary sewage disposal (Table 4), in Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, the highest percentages of disposal occur in septic tank/sinkhole (27.6%) and well (32.4%), as well as in Norte de Minas Gerais (14.9%) and (18.2%), respectively. The occurrence of 10.4% of the lots with open effluent stake in the Northern mesoregion of mines is highlighted.

**Table 5 | Disposal of sanitary sewage (%)**

<i>Indicators / Mesoregion</i>	<i>Norte de Minas Gerais</i>	<i>Triangulo Mineiro/Vale do Paranaíba</i>
Septic Tank/Sinkhole	14.9	27.6
Septic Tank/Ecological Treatment	0.5	4.5
Toilet	0.0	0.7
Open cast	10.4	0.8
Sinkhole (dark well)	18.2	32.4
Did not answer	56.2	33.9
<b>Class</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

*Source: Adapted from Diagnostic Project for Environmental Regularization of Agrarian Reform Settlements (2018).*

In the Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba mesoregion, the percentage of treatment, septic tank/Sinkhole and Septic Tank/Ecological effluent treatment is 32.1%, falling into class 3. Despite presenting a better picture than Norte de Minas Gerais, the disposal of sanitary effluent is still inadequate. Both mesoregions have an expressive amount of sewage disposal in a sink hole (dark well), that is, dump without treatment directly into the environment.

Surface water can be contaminated mainly in the absence of sewage infrastructure and inadequate disposal of waste, and may contaminate the soil and, consequently, the water table. The watercourse when in contact with organic waste causes imbalance in its components, for example, oxygen is consumed in an accelerated manner, causing eutrophication and, consequently, changes in the dynamics and structure of biological communities, in addition to a sharp drop in aquatic biodiversity, among others (CALLISTO, MORETTI and GOULART, 2001).

The study by Jove (2018), in a hydrographic basin in Peru, also using the Leopold Matrix, pointed out that water contamination impacts the physical environment (soil, water and air), the biotic environment (flora and fauna) and the socioeconomic environment. The methodology allowed identifying both positive and negative impacts. Regarding the positive impacts found (16%), these result from the generation of jobs in the activities developed, although they are directly related to 84% of negative environmental impacts.

Regarding the land use indicator, this is related to the production system, in terms of pesticide use, crop management, fire adoption, among others. Inadequate disposal of chemical packaging (medicine



and pesticides) is a potential risk of soil microbiota alteration and affects the growth, distribution and biological cycle of plant species (BARCELÓ & POSCHENRIEDER, 1992).

The disposal of domestic solid waste was classified as 3 and 4 in the Northern mesoregions of Minas Gerais and Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, in which the main disposal is incineration - 38.5 and 52.4%, respectively (Table 5).

**Table 6 | Disposal of domestic solid waste (%)**

<i>Indicators / Mesoregion</i>	<i>Norte de Minas Gerais</i>	<i>Triangulo Mineiro/ Vale do Paranaíba</i>
Public Withdrawal	0.4	3.9
Collection point	0.1	6.9
Recycling	0.0	0.0
Grounding Hole	2.5	0.8
Open Cast	2.5	1.7
Incineration	38.5	52.4
Did not answer	55.8	33.9
<b>Class</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

*Source: Adapted from Diagnostic Project for Environmental Regularization of Agrarian Reform Settlements (2018).*

Based on the result and considering the high percentage of non-respondents, both mesoregions follow the Brazilian rural panorama regarding the disposal of solid waste, which presents 79.4% of inadequate disposal, according to the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE, 2011).

The proper disposal of empty packages of pesticides is determined by Federal Law No. 9,974 (BRASIL, 2000) which establishes principles for the management and environmentally correct disposal of empty poison packaging, based on shared responsibilities among all agricultural production agents – farmers, distribution channels and cooperatives, industry and public authorities. According to the National Institute of Empty Packaging Processing (2018), 95% of pesticide packaging sold in Brazil is recyclable, once it is properly washed.

In the criterion of disposal of pesticide packaging (Table 6), in Norte de Minas Gerais there is purposeful burning in 30.2% of the lots. In the Triângulo Mineiro/ Vale do Paranaíba, the return type is destined in 28.1% of the lots. Thus, the mesoregions are classified in 3 and 2, respectively. It is observed that, even with the large percentage of non-respondents, the Northern mesoregion of Minas Gerais burns a large portion of its waste.

**Table 7 | Disposal of pesticide packaging (%)**

<i>Mesoregion</i>	<i>Norte de Minas Gerais</i>	<i>Triangulo Mineiro Vale do Paranaíba</i>
Public Withdrawal	0.7	0.7
Return	17.8	28.1
Storage in the lot	0.9	3.4
Grounding Hole	4.0	0.1
Open cast	0.2	0.5
Incineration	30.2	6.8
Did not answer	46.1	60.4
<b>Class</b>	<b>3</b>	<b>2</b>

*Source: Adapted from Diagnostic Project for Environmental Regularization of Agrarian Reform Settlements (2018).*

Regarding the disposal of veterinary drug packaging, the Northern Mesoregions of Minas Gerais and Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba were classified as 4 and 3, respectively. It is observed that there is a large percentage of residue burning in both mesoregions.

In Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba there is 21.6% of storage in the lot and 10.9% of public withdrawal. Norte de Minas Gerais has 9.6% of disposal in hole, 6.1% of storage in the lot and 4.8% of public withdrawal (Table 7).

**Table 8 | Disposal of veterinary medicine packaging (%)**

Mesoregion	Norte de Minas Gerais	Triangulo Mineiro/ Vale do Paranaíba
Public withdrawal	4.8	10.9
Storage in the lot	6.1	21.6
Grounding Hole	9.6	0.9
Open cast	0.6	0.1
Incineration	42.4	30.4
Did not answer	36.5	36.2
<b>Class</b>	<b>4</b>	<b>3</b>

Source: Adapted from Diagnostic Project for Environmental Regularization of Agrarian Reform Settlements (2018).

It is worth mentioning that Martins (2014), when analyzing the water from the *Grotão* Stream watershed, observed that the springs are contaminated as they supply rural productive areas (agriculture and livestock) and constant monitoring of water should be carried out, aiming to diagnose its quality for the use of rural residents themselves and also of downstream cities. It also highlights the contamination of water from the springs due to the use of pesticides and the inadequate dumping of their containers on rural properties.

The Federal Government, in November 2003, created *Luz para Todos*<sup>3</sup>, a social program aiming to provide free electricity to the rural population. As a whole, in 2016 and 2017, 500,000 families had access to electricity in fifteen Brazilian states (SILVA, 2018).

On this theme, both mesoregions are class 1 (Table 8). Of the interviewees, 96.7 and 87.2% answered that they had access to single-phase electricity in the Northern mesoregions of Minas Gerais and Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, respectively.

The national panorama reveals that 78% of the lots of rural settlements have electricity and 22% do not. Of the settlements served by the electricity grid, 27% have supplied all its lots and 23%, most of them (Leite et al., 2004). It is noteworthy that the electricity supply service is considered essential by the Federal Constitution (BRASIL, 1988).

**Table 9 | Electrification of Lots (%)**

Mesoregion	Norte de Minas Gerais	Triangulo Mineiro/ Alto Paranaíba
Three-phase electrification	2.8	0
Biphasic electrification	10	3.3
Single-phase electrification	87.2	96.7
Lacks electrification	17.2	1.5
Did not answer	39	2.5
<b>Class</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Source: Adapted from Diagnostic Project for Environmental Regularization of Agrarian Reform Settlements (2018).

3 | "Light for All".

Access to electricity has a positive impact on the expansion of work capacities and community development prospects, being used for domestic applications and for the expansion of knowledge (ESCOBAR, 2014). Leite et al (2004) state that the main claim in settlements after access to land has been the provision of electricity.

The lack of paving of the roads is a problem that can affect the quality of life of the settlers. It hinders mobility, causes dust in the dry season or prevents traffic, especially during the rainy season. The practice of using gravel to improve traffic can cause accidents, as it increases the chances of slippage.

It was found that the paving in the Northern mesoregion of Minas was classified by 37.3% of the settlers as “bad”, 59.7% of them “without gravel” and 36.7% allowing free access throughout the year. In Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, the access roads to the lot were classified as “good” by 26% of the settlers, 63% of them “without gravel”, allowing free access throughout the year in 58.2% of them.

Access to the lot is of fundamental importance due to the need for access to health and transportation of production, the latter being fundamental for the permanence and survival of the family farmer.

**Table 10 | Paving within the Settlement (%).**

<i>Mesoregion</i>	<i>Norte de Minas Gerais</i>	<i>Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba</i>
Gravel	10.6	3.2
Without gravel (dirt road)	59.7	63.0
Free access throughout the year	36.7	58.2
Seasonal access	31.9	7.5
Permanently interrupted access	1.7	0.5
Good	4.4	26.0
Even	28.5	21.6
Bad	37.3	18.6
Did not answer	29.8	33.8
<b>Class</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

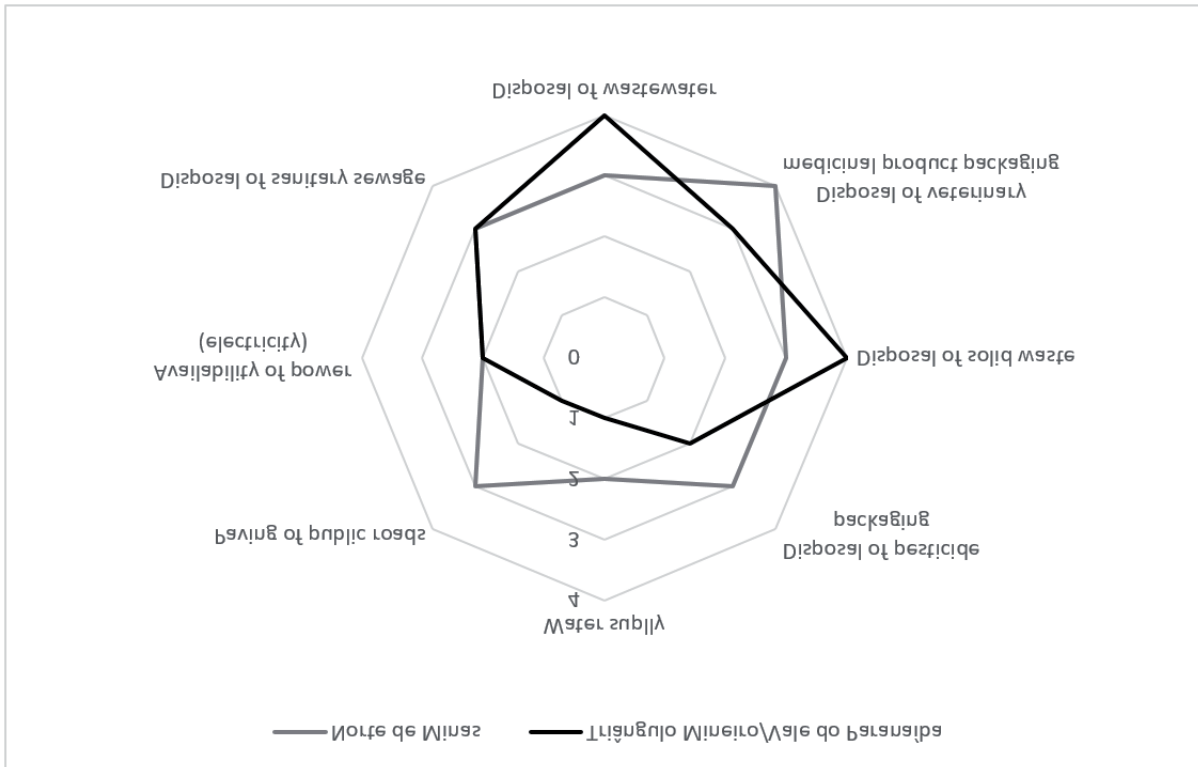
*Source: Adapted from Diagnostic Project for Environmental Regularization of Agrarian Reform Settlements (2018).*

Roads with good paving and constant maintenance can impact trade near the settlement, since they approach and facilitate the access of settlers to drain production and also acquire goods and services.

Considering the classes obtained, Figure 3 presents, comparatively, the behavior of the classes of environmental components selected for the study, in the two mesoregions.

The two mesoregions studied have similar infrastructure conditions regarding the availability of electricity and disposal of sanitary sewage. Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba presents better infrastructure conditions related to water pollution, disposal of pesticide packaging and veterinary medicines, justified by being a region closer to large centers, and having a large number of settlers associated with cooperatives, which enable a better organization for compliance with industry standards.

The paving infrastructure of the roads is worse in the settlements of Norte de Minas Gerais, because they are less assisted by maintenance actions.



**Figure 3 |** Behavior of the classes of environmental components in the two mesoregions studied

*Elaboration: The Authors.*

Table 10 shows the calculation of the magnitude of impacts, where the sum of weights equal to 20 and the magnitude of the normalized environmental impact in the scale from 0 to 10 corresponding to 7.0 and 6.0, for the Northern mesoregions of Minas Gerais and Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, respectively.

Table 11 presents the impact of infrastructure in the Northern mesoregions of Minas Gerais and Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, at 70% and 60%, respectively. The more incipient the infrastructure, the greater the environmental impact on each component. It is concluded, therefore, that the infrastructure conditions of the Northern Mesoregion of Minas Gerais cause greater negative environmental impact when compared to the Triângulo Mineiro/ Vale do Paranaíba (Table 11).

**Table 11 | Magnitude of environmental impacts**

Environmental Impact	Environmental Indicators Class		Norte de Minas Gerais		Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba		Weight
			Score*	Class	Score*	Class	
Lack of infrastructure	Water supply		2	3	1	2	3
	Disposal	Sanitary sewage	3	5	3	5	3
		Wastewater	3	5	4	7	3
	Disposal of solid waste	Domestic	3	5	4	7	3
		Pesticide packaging	3	5	2	3	3
		Packaging of veterinary medicinal products	4	7	3	5	3
	Availability of electricity grid		1	2	1	2	1
Paving roads		3	5	1	2	1	
Σ (score x weight)			97		91		
Σ weight							20
Σ (score x weight) / Σ weight			4.85		4.55		
Magnitude of normalized environmental impact on scale 1 to 10			7.0		6.0		

Legend: \*Class 1 = 1 point; Class 2 = 3 points; Class 3 = 5 points and Class 4 = 7 points

Source: The Authors

**Table 12 | Environmental Impact Assessment Matrix**

Environmental Impact		Water contamination	Soil Degradation	Land use	Quality of life	Total
Norte de Minas Gerais	Lack of infrastructure	7	7	7	7	
	Impact score	3	2	3	3	
	Maximum impact value					110
	Percentage of impact caused					70%
Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba	Lack of infrastructure	6	6	6	6	
	Impact score	3	2	3	3	
	Maximum impact value					110
	Percentage of impact caused					60%

Elaboration: The Authors. Source: Diagnostic project for environmental regularization of agrarian reform settlements (2018).

## 4 FINAL CONSIDERATIONS

The multiple use of the natural environment, associated with increased demands and degradation itself, paves the way for a wide range of tensions and disputes, especially in rural areas, usually devoid of infrastructure.

The National Agrarian Reform Policy contributes to land deconcentration and improvement of the quality of life of family farmers. The initial hypothesis of this article that the absence or precariousness of infrastructure conditions in the settlements may result in negative environmental impacts is proven,



since it is verified that the impacts are of greater negative potential in the Northern mesoregion of Minas than in Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, corresponding to 70 and 60%, respectively.

The variables researched were: water supply, sanitary sewage, disposal of wastewater, disposal of dry waste, disposal of pesticide packaging, disposal of veterinary drug packaging, distribution of electricity and paving of public roads.

The infrastructure of rural settlements in relation to these variables is the responsibility of the public authorities. As a correlated report, the absence or failures of the responsible institutions contribute to the negative impacts on the environment. Regarding the methodology adopted for the evaluation of impacts, the Leopold Matrix was found to be efficient in pointing out the indicators with the greatest potential for negative impact. In addition, the use of this matrix can be useful as a tool for environmental managers and public agencies.

This study finds limits on the possible amounts of blank answers of the questionnaire, which may incur some deviation of the results. In future studies it will allow to prove its efficiency in pointing out significant socio-environmental impacts, or inferring the need to insert, remove or adjust some of the indicators of the matrix, as well as subsidize the planning for an action in favor of environmental conservation.

## ACKNOWLEDGMENT

This research was developed with resources from the Diagnostic Project for Environmental Regularization of Agrarian Reform Settlements (RADIS/UFMT), developed by *Universidade Federal de Mato Grosso*<sup>4</sup> (UFMT) and the National Institute of Colonization and Agrarian Reform (INCRA), to which the authors thank.

## REFERENCES

ARAÚJO, R. C. B. D. Questão ambiental e assentamento rural: a luta por uma sustentabilidade alternativa no Assentamento Novo Horizonte II, em Maxaranguape (RN). 2007. 98p. Dissertação (Mestrado em Serviço Social). Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

BRANDÃO JR, A., SOUZA JR, C. Desmatamento nos assentamentos de reforma agrária na Amazônia. **O Estado da Amazônia**, n.4, 2006. Disponível em: <https://imazon.org.br/desmatamento-nos-assentamentos-de-reforma-agraria-na-amazonia/>. Acesso: 30 nov. 2020.

BARCELÓ, J., POSCHENRIEDER, C. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. *Suelo y Planta*, v.2, p.345-361, 1992.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986. Considerando a necessidade de se estabelecerem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial da República Federativa**, Brasília, DF, 23 jan. 1986.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988, 292 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **II Plano Nacional de Reforma Agrária - Paz, Produção e Qualidade de Vida no Meio Rural**. 2003. Disponível em: <[http://www.dhnet.org.br/dados/pp/a\\_pdfdht/plano\\_nac\\_reforma\\_agraria\\_2.pdf](http://www.dhnet.org.br/dados/pp/a_pdfdht/plano_nac_reforma_agraria_2.pdf)>. Acesso: nov. 2020.

4 | The Federal University of Mato Grosso

BRASIL. Lei nº 9.974, de 6 de junho de 2000. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa**, Brasília, DF, 07 jun. 2000.

BRUNO, R., MEDEIROS, L. **Percentuais e causas de evasão nos assentamentos rurais**. Cadernos da Terra, n.9, 2001

CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M. D. C. **Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.6, n.1, p.71-82, 2001.

CHOGUILL, C. L. *Ten steps to sustainable infrastructure*. Habitat Int., v.20, n.3, p.389-404, 1996.

ESCOBAR, M. C. S. B. **O uso da energia elétrica pelos trabalhadores rurais: o caso do PA Renascer**. 2014. 107 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional da Amazônia). Universidade Federal de Roraima, 2014.

FARIAS, M. H. C. S., BELTRÃO, N. E. S., SANTOS, C. A., CORDEIRO, Y. E. M. **Impact of Rural Settlements on the Deforestation of the Amazon**. Mercator (Fortaleza), n. 17, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Brasil. Indicadores sociais municipais: uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <[https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/indicadores\\_sociais\\_municipais/default\\_indicadores\\_sociais\\_municipais.shtm](https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/indicadores_sociais_municipais/default_indicadores_sociais_municipais.shtm)>. Acesso: 24 out. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Brasil. **Atlas de saneamento 2011: Manejo de resíduo sólido**. 2011. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096\\_cap9.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096_cap9.pdf)>. Acesso: 02 set. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. IPEA. **Infraestrutura Social e Urbana no Brasil: subsídios para uma agenda de pesquisa e formulação de políticas públicas**. ed.6, v.22, Brasília, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. INCRA. *Infraestrutura*. 28 jan. 2020. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/pt/infraestrutura-atuacao.html>>. Acesso: 30 nov. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PROCESSAMENTO DE EMBALAGENS VAZIAS. **Centros de Recolhimento de Embalagens de Agrotóxicos**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://inpev.org.br/>>. Acesso: 30 nov. 2020.

HEREDIA, B. MEDEIROS, L., PALMEIRA, M., CINTRÃO, R. LEITE S. P. Regional impacts of land reform in Brazil. In: LAND SETTLEMENT AND COOPERATIVES. Boletim FAO, 2005. Disponível em: <http://www.fao.org/3/y7218t/y7218t08.htm#bm08>. Acesso: 30 nov. 2020.

JOVE, E. M. H. **Identificación y valoración de impacto ambiental de la contaminación por aguas servidas en el Río Ayaviri**. 2018. 74p. Trabalho de Conclusão de Curso (Faculdade de Engenharia Química). Universidade Nacional do Altiplano, Peru, 2018.

LEAL, G. M. **Impactos socioterritoriais dos assentamentos do município de Teodoro Sampaio – SP**. 2003. 187p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2003.

LEITE, S. P., HEREDIA, B., MEDEIROS, L., PALMEIRA, M., CINTRÃO, R. **Impactos dos assentamentos: um estudo sobre o meio rural brasileiro**. Brasília: Unesp, 2004.

LEITE, T. A., SOBRAL, I. S., BARRETO, K. F. B. **Avaliação dos impactos ambientais e sociais como subsídio para licenciamento ambiental do projeto de assentamento de reforma agrária Maria Bonita I, Poço Redondo/SE**. Boletim Goiano de Geografia, v.31, n.2, p.69-81, 2011.

LEOPOLD, L. B. *Leopold Matrix*. Washington: U.S. Geologican Survey.1971.

MARTINS, E. L. S. **Diagnóstico ambiental d abacia hidrográfica do Córrego grotão, Ceilândia/DF**. 2014. 112p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural). Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

MEDEIROS, L. S. Impacts of rural settlements in Brazilian rural development International. In: CONFERENCE DYNAMICS OF RURAL TRANSFORMATION IN EMERGING ECONOMIES, 2010, Nova Delhi, Anais...Nova Delhi: RIMISP, 2010, p.1-21. Disponível em: [http://www.rimisp.org/wp-content/uploads/2010/05/Paper\\_Leonilde\\_Servolo\\_de\\_Medeiros-10.pdf](http://www.rimisp.org/wp-content/uploads/2010/05/Paper_Leonilde_Servolo_de_Medeiros-10.pdf). Acesso: 30 nov. 2020.

MORAIS, M. A. V., MELO SOUSA, R. A. T., COSTA, R. B., DORVAL, A., JUNIOR, R. T. **Impacto ambiental em assentamentos da reforma agrária no Mato Grosso**. Floresta, v.42, n.3, p.587-598, 2012.

OLIVEIRA, A. S. Produto Interno Bruto na Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba -TMAP. In: CORRÊA, V. P. (Org.). **Dinâmica Socioeconômica da Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba**. Uberlândia: CEPES/IEUFU, v.3, 61p, 2017. Disponível em: <http://www.ie.ufu.br/CEPES>.

PEREIRA, A. M. **Cidade Média e Região: o Significado de Montes Claros no Norte de Minas Gerais**. 2007. 351p. Uberlândia. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15921>. Acesso: 23.out. 2018.

PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS. PNAD. **Síntese de Indicadores 2014**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94935.pdf>. Acesso: 20 ago. 2018.

PIMENTEL, G., PIRES, S.H. **Metodologias de avaliação de impacto ambiental: aplicações e seus limites**. Rev. Adm. púb., v.26, n.1, p.56-68, 1992.

PROJETO DIAGNÓSTICO PARA REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL DOS ASSENTAMENTOS DA REFORMA AGRÁRIA. Projeto RADIS/UFMT. **Diagnóstico para Regularização Ambiental dos Assentamentos da Reforma Agrária**. 2018.

RIBEIRO, M. M. C., FERREIRA NETO, J. A., MINA DIAS, M., FIÚZA, A. L. C. **Análise das causas da evasão em assentamentos de reforma agrária no estado do Tocantins**. Revista Extensão Rural, n.22, 2011.

SANTOS, G. R., PALES, R. C., ROSA, T. R. S. **Intensidade da pobreza na região norte de Minas Gerais - 1991-2010: uma análise a partir dos dados do PNUD**. Revista Desenvolvimento Social, v.22, n.1, 2017.

SCHNEIDER, M., PERES, C. A. **Environmental costs of government-sponsored agrarian settlements in Brazilian Amazonia**. PloS one, v.10, n.8, pe 0134016, 2015.

MINAS GERAIS. SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Projeções do Agronegócio Mineiro 2017 a 2027**. 3º ed. 2018. Disponível em: [http://www.agricultura.mg.gov.br/images/Arq\\_Relatorios/Publicacoes/projecoes\\_2017\\_a\\_2027.pdf](http://www.agricultura.mg.gov.br/images/Arq_Relatorios/Publicacoes/projecoes_2017_a_2027.pdf). Acess: 24. Out. 2018.

SILVA, R. M. **Luz para todos: desafios da eletrificação rural no Brasil**. R.Le Monde Diplomatieque Brasil, 2018.

SISTEMA ESTADUAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Saneamento Básico de Minas Gerais - 2014**. Belo Horizonte, 2017. Disponível em: [http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/seis/730-sistema-estadual-de-informacoes\\_sobre-saneamento-2014-31-08-2017-site/file](http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/seis/730-sistema-estadual-de-informacoes_sobre-saneamento-2014-31-08-2017-site/file). Acesso: 23 out. 2018.

TOPANOTTI, V. P. **Estudo dos Impactos Ambientais das Invasões Urbanas de Cuiabá – MT**. 176p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

VAN DE STEEG, J. A, SPAROVEK, G., RANIERI, S. B., MAULE, R. F., COOPER, M., NETO, D. D., ALVES, M. C. **Impactos ambientais da Reforma Agrária no Brasil de 1985 a 2001**. Scientia Agricola, v.63, n.2, p.176-83, 2006.

VEDUVOTO, A. M. G; BRITO, L. E. P. F. **Povoamento e organização territorial de Frutal nos séculos XIX e XX: o Cerrado mineiro**. Revista Territorial - Goiás, v.2, n.2, p.192-209, 2013.

# Impactos ambientais e infraestrutura de assentamentos da Reforma Agrária em Minas Gerais, Brasil

*Environmental impacts and infrastructure in Agrarian Reform settlements in Minas Gerais, Brazil*

Luciane Cleonice Durante<sup>a</sup>

Onélia Carmem Rossetto<sup>b</sup>

Giseli Dalla Nora<sup>c</sup>

Paulo Cesar Venere<sup>d</sup>

Olivan da Silva Rabelo<sup>e</sup>

Raoni Florentino da Silva Teixeira<sup>f</sup>

<sup>a</sup> Doutora em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil  
End. Eletrônico: luciane.durante@hotmail.com

<sup>b</sup> Doutora em Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil  
End. Eletrônico: carmemrossetto@gmail.com

<sup>c</sup> Doutora em Educação, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil  
End. Eletrônico: nora.gisa@gmail.com

<sup>d</sup> Doutor em Ciências Genética e Evolução, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil  
End. Eletrônico: paulo.venere@gmail.com

<sup>e</sup> Doutor em Economia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil  
End. Eletrônico: olivanrabelo@gmail.com

<sup>f</sup> Doutor em Ciência da Computação, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil  
End. Eletrônico: raoniteixeira@gmail.com

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.26653

Received: 15/08/2019  
Accepted: 01/12/2020

ARTICLE – VARIA

## RESUMO

A existência de infraestrutura adequada visa atender às necessidades humanas básicas, contribuindo com desenvolvimento local, redução da pobreza e desigualdades sociais. O objetivo deste artigo é analisar os potenciais impactos ambientais decorrentes das condições de infraestrutura em assentamentos da reforma agrária, no estado de Minas Gerais, Brasil. A metodologia apoia-se na Matriz de Leopold, que considera as componentes ambientais: poluição da água, degradação do solo, uso do solo e qualidade de vida, em uma amostra de 1.270 lotes. As variáveis analisadas foram: abastecimento d'água; esgotamento sanitário; destino das águas servidas, do lixo seco, das embalagens de agrotóxicos e dos medicamentos veterinários; distribuição de energia elétrica e pavimentação das vias públicas. Os resultados apontam que os impactos são de maior potencial negativo na Mesorregião Norte de Minas (70%), seguido pelo Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (60%), comprovando-se a hipótese de que a incipiência nas condições de infraestrutura resulta em maior impacto ambiental negativo.

**Palavras-chave:** Assentamentos rurais. Avaliação de Impacto Ambiental. Matriz de Leopold. Desenvolvimento sustentável.

## ABSTRACT

*The existence of adequate infrastructure aims to meet the basic human needs, contributing to local development, poverty reduction and social inequalities. The aim of this article is to analyze the potential environmental impacts arising from infrastructure conditions in agrarian reform settlements in the State of Minas Gerais - Brazil. The methodology is based on the Leopold Matrix, which considers the environmental components: water pollution, soil degradation, land use and quality of life, in a sample of 1,270 lots. The variables analyzed were: water supply; sanitation; disposal of wastewater, dry waste, pesticide packaging and veterinary medicinal products; distribution of electricity and paving of public roads. The results indicate that the impacts are of greater negative potential in the Northern Mesoregion of Minas Gerais (70%), followed by Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (60%), proving the hypothesis that the incipience in infrastructure conditions results in a greater negative environmental impact.*

**Keywords:** Rural settlements. Environmental Impact. Leopold Matrix. Sustainable development.

## 1 INTRODUÇÃO

As diretrizes do II Programa Nacional de Reforma Agrária (PNRA) estabelecem que a reforma agrária é parte de um projeto nacional de desenvolvimento, gerador de trabalho e produtor de alimentos. A reforma agrária é implementada pelas ações do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), visando a promoção da igualdade de gênero, o direito à educação, à cultura e à seguridade social nas áreas reformadas, bem como o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2003).

Em se tratando de assentamentos federais da reforma agrária, o INCRA é o responsável por prover a infraestrutura necessária. Segundo Choguill (1996) a infraestrutura deve abranger, essencialmente, o abastecimento de água, a destinação adequada dos efluentes e resíduos sólidos, o acesso à energia elétrica e estradas.

A existência de infraestrutura adequada visa atender às necessidades humanas básicas, contribuir com o processo de desenvolvimento local, reduzir a pobreza e as desigualdades sociais (INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA, 2020). Resulta em qualidade de vida e se relaciona com o processo de formação socioespacial dos assentamentos.

Diante disso, a deficiência de infraestrutura nos assentamentos se relaciona diretamente com as possibilidades de desenvolvimento e com a qualidade de vida das famílias (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2010). Quando a infraestrutura não é disponibilizada, pode ser estabelecida uma relação de dependência do Estado e de precariedade em regiões mais pauperizadas. Por outro lado,



a provisão de infraestrutura adequada pode impulsionar desenvolvimento, não só do assentamento, mas de toda a região (LEITE et al., 2004).

As relações entre infraestrutura e desenvolvimento e, mais especificamente, o processo de adequação da infraestrutura para favorecer o desenvolvimento dos assentamentos, envolve o entendimento de especificidades e do processo de formação socioespacial dos assentamentos (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2010).

Nesse sentido, Bruno e Medeiros (2001) afirmam que problemas relacionados à infraestrutura contribuem para a evasão dos assentados. Isso ocorre quando há o descumprimento das funções por parte do Estado ou a infraestrutura é implementada de forma diferente da vontade ou necessidade das famílias assentadas, principalmente no que se refere à disponibilidade de água, energia elétrica, moradia, transportes e serviços de ensino.

Ribeiro et al. (2011) ao estudar o Projeto de Assentamento Barranco do Mundo, em Tocantins, aponta que 33,3% das causas de evasão ocorridas e 85% das melhorias apontadas como necessárias, se relacionam aos problemas de infraestrutura.

Medeiros (2010) registra que diversas pesquisas apontam a precariedade dos assentamentos em relação à infraestrutura e chamam a atenção para a configuração de “favelas” rurais, que colaboram para que os assentados abandonem suas parcelas.

Por outro lado, Heredia et al. (2005) registram que a infraestrutura dos assentamentos da reforma agrária é bastante precária mas, mesmo assim, verifica-se melhoria na renda e nas condições de vida, com perspectiva de uma maior estabilidade econômica a longo prazo, em claro contraste com a pobreza e exclusão social que as famílias sofriam antes de serem integradas aos projetos de assentamento.

Pelo viés ambiental, a implementação das políticas da reforma agrária resulta no recorte do território em lotes, que consolidam os assentamentos rurais no país. Sem desconsiderar a intencionalidade de tal fato no que se refere à desconcentração fundiária e melhoria da qualidade de vida dos agricultores familiares, o presente artigo levanta a hipótese de que a ausência ou precariedade das condições de infraestrutura nos assentamentos, pode resultar em impactos ambientais negativos.

Define-se impacto ambiental como uma alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, resultante de atividades humanas e que afetem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

As Avaliações de Impacto Ambiental (AIA), segundo Pimentel e Pires (1992), são estudos para identificar, prever, interpretar e prevenir os efeitos ambientais que determinadas atividades podem causar à saúde, ao bem-estar humano e ao ambiente.

Diversos autores estudaram impactos ambientais em assentamentos da reforma agrária.

Leal (2003) foca seus estudos nos impactos socioambientais, analisando as dimensões de acesso à saúde, educação, moradia, políticas públicas, dentre outros. Van de Steeg et al. (2006) estudaram os impactos ambientais da reforma agrária brasileira de 1985 a 2001, em 4.340 assentamentos, com 458.000 famílias. Utilizaram-se do Índice de Qualidade Ambiental (EQ), com foco na degradação de áreas decorrente das atividades de exploração. Os resultados evidenciaram baixa qualidade ambiental para o Norte e Nordeste, valores intermediários para o Centro-Oeste e Sudeste e alta qualidade ambiental para o Sul.

Araújo (2007), por sua vez, aborda a sustentabilidade no desenvolvimento local e afirma que a má condição das estradas dificulta o escoamento da produção e aumenta o isolamento das comunidades dos assentamentos em relação às urbanas.

Morais et al. (2012) avaliaram o impacto ambiental em sete propriedades de dois assentamentos rurais, no estado de Mato Grosso. Utilizaram o Sistema APOIA - Novo Rural, que expressa o Índice de Impacto Ambiental (IIA) com base em 62 indicadores, numa escala entre zero (pior situação) e um (melhor situação). O valor de referência 0,70 foi adotado para indicação de que a atividade produtiva desenvolvida na propriedade não gera alteração negativa no meio ambiente local. Os IIA demonstraram que não há comprometimento da qualidade ambiental por parte das atividades desenvolvidas nos assentamentos estudados e que as práticas agrícolas são compatíveis com o padrão de desenvolvimento ambientalmente sustentável.

Leite, Sobral e Barreto (2011), no Espírito Santo, avaliaram os impactos ambientais por meio da Matriz de Leopold, adaptando-a para classificar também os impactos sociais. As atividades consideradas foram: queima de resíduos sólidos, queimada para a limpeza do terreno, geração de efluentes, caça de pássaros com estilingue pelas crianças e jovens, sistema de abastecimento de água e escassez de água para irrigação. Os autores concluem que a minimização dos impactos ambientais e sociais passa pela mobilização da comunidade, o que culmina com a melhoria da qualidade de vida das famílias e estimula a fixação dos assentados no campo.

Essa mesma metodologia foi utilizada por Martins (2014), com resultados satisfatórios, para avaliar os impactos ambientais da bacia hidrográfica do Córrego Grotão, em Ceilândia-DF, abrangendo área urbana e rural, nas fases de construção e operação dos empreendimentos às suas margens.

Brandão e Souza (2006), Farias et al. (2018) e Schneider e Peres (2015) voltam o foco para o desmatamento nos assentamentos de reforma agrária na Amazônia, porém, sem relacionar com a infraestrutura existente.

Diante do exposto, este artigo tem por objetivo analisar os potenciais impactos ambientais decorrentes das condições de infraestrutura dos assentamentos da reforma agrária, nas Mesorregiões Norte de Minas e Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, no Estado de Minas Gerais, Brasil. A sua contribuição se encontra no diagnóstico das condições de infraestrutura dos assentamentos estudados, fornecendo subsídios para elaboração de políticas públicas voltadas para a região.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DAS MESORREGIÕES DE ESTUDO

### 2.1 MESORREGIÃO NORTE DE MINAS

A mesorregião do Norte de Minas, criada pelo IBGE em 1990, ocupa uma área territorial de 128.450,6 km<sup>2</sup> (IBGE, 2011). O processo histórico de ocupação dessa mesorregião iniciou-se no século XVII, a partir do movimento de expansão da pecuária, ao longo do São Francisco, sendo que a parte ocidental pertencia a Pernambuco e a parte Oriental, à Bahia. Entre os séculos XVII e XVIII, a região foi sendo ocupada por vaqueiros, originários da Bahia e de Pernambuco, que subiam o São Francisco, e por bandeirantes paulistas. Essa mesorregião é área de transição entre regiões sudeste e nordeste do país (PEREIRA, 2007).

Os dados do Censo Demográfico registraram 1.492.715 habitantes, população que se encontra distribuída de forma irregular pelo território. A densidade demográfica é de 12,54 habitantes/km<sup>2</sup>, média inferior à brasileira, que é de 19,92 habitantes/km<sup>2</sup>. Os municípios possuem população rural superior à população urbana, sendo de 52,80%. O Norte de Minas apresenta a renda per capita declarada abaixo do salário mínimo, sendo de R\$ 455,33 (IBGE, 2011).

As características geográficas, como: baixa fertilidade do solo, baixo índice pluviométrico, juntamente com a vegetação de cerrado em transição para caatinga, levou o Norte Mineiro a ter a criação de gado e a agricultura de subsistência como base de sua economia. A seca tem causado um êxodo constante e progressivo em toda a região, até mesmo a agricultura está seriamente comprometida devido à redução do período anual de chuvas (SANTOS, 2017).

Na mesorregião Norte de Minas, predomina o cultivo do sorgo forrageiro como safra principal, o qual é responsável pela alimentação de bovinos. A região se destaca também nas produções de banana, sendo responsável por 29,9% (243.685 toneladas) da produção do estado; de limão, estando entre principais regiões produtoras mineiras; e de madeira, juntamente com as regiões do Rio Doce e Central (MINAS GERAIS, 2018).

## 2.2 MESORREGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO/VALE DO PARANAÍBA

A região que hoje é ocupada pelo Triângulo Mineiro era denominada de Sertão da Farinha Podre e foi, primeiramente, ocupada por índios Caiapó (VEDUVOTO e BRITO, 2013). A Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba apresenta excelente localização geográfica em relação às regiões com forte dinâmica econômica, social e política, contando com posição privilegiada no centro do País.

O relevo da Mesorregião, por sua excelente combinação entre as áreas planas de chapada, permitiu a prática da agricultura extensiva com uso de maquinários. A farta rede hidrográfica de afluentes da área de drenagem dos rios Grande e Paranaíba, além de importantes cursos d'água, como os rios Araguari, Uberabinha e Tejuco, permitiu a obtenção de alto potencial hidráulico e favoreceu o crescimento regional (OLIVEIRA, 2017).

O Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba ocupa uma área territorial de 90.540,6 km<sup>2</sup>, registrando população de 2.144.482 habitantes, sendo apenas 8,6% desse total residente da área rural. Apresenta densidade demográfica de 23,69 habitantes/km<sup>2</sup>. Essa mesorregião apresenta a renda per capita declarada de R\$ 908,04 (IBGE, 2011).

O estado de Minas Gerais é responsável por 6% da produção nacional de grãos (milho, feijão, soja, algodão, trigo, sorgo, amendoim, girassol e mamona) produzindo 14,3 milhões de toneladas no ano de 2017, sendo sua produção concentrada na mesorregião Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba e Noroeste.

O estado também se destaca na produção de carne, o número de animais abatidos no ano de 2016 ficou na ordem de 2,6 milhões de cabeças, sendo o Triângulo Mineiro/ Vale do Paranaíba líder nessa produção. Nos últimos dez anos, a região liderou o ranking das principais regiões estado com o maior número de animais (MINAS GERAIS, 2018).

## 3 METODOLOGIA

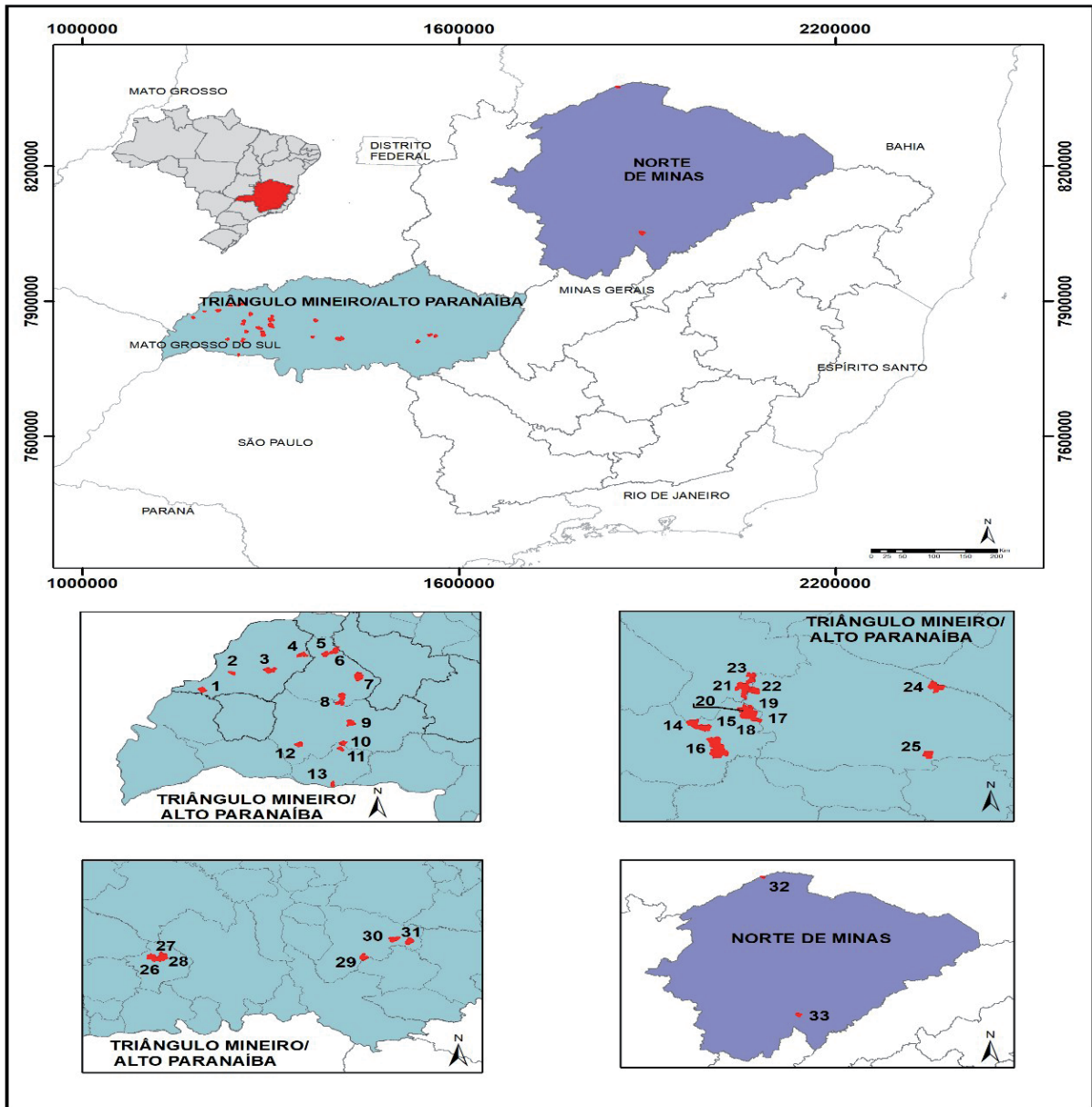
O estudo foi desenvolvido no âmbito do Projeto RADIS/UFMT (PROJETO DIAGNÓSTICO PARA REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL DOS ASSENTAMENTOS DA REFORMA AGRÁRIA, 2018). Foram aplicados questionários auto declaratórios, de cunho socioeconômico e ambiental, aos agricultores familiares assentados, por meio de visitas aos lotes, previamente agendadas, antecedidas de etapas de sensibilização e mobilização. Os assentamentos pesquisados localizam-se nas Mesorregiões Norte de Minas e Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, em Minas Gerais. A amostra compõe-se de 1.270 lotes, distribuídos em dez municípios e 33 assentamentos rurais (Tabela 1, Figura 1).

**Tabela 1 |** Amostra por Mesorregião, Municípios e Assentamentos

Mesorregião	Município	Numeração e nome do Projeto de Assentamento conforme a Figura 1	Número de assentamentos por município	Número de lotes por mesorregião
Norte	Bocaiúva	32. Paraíso Salobro	1	91
	Montalvânia	33. Santa Engrácia32	1	
Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba	Campina Verde	9. Nova Capão Alto	10	456
		10. Inhumas		
		12. Primavera		
		14. São José da Boa Vista		
		15. Nova São José da Boa Vista		
		16. Campo Belo		
		17. Bela Cruz/ Palmeira		
		18. Córrego Fundo II		
		19. Nova Rio da Prata		
		20. Cachoeirinha II		
	Gurinhata	5. Vargem do Touro	4	225
		6. Nova Piedade Barreiro		
		7. Nova Rosada		
		8. Divino Rosa		
	Ituiutaba	21. Douradinho	3	104
		22. Engenho da Serra		
		23. Renascer		
	Perdizes	29. Santa Luzia	3	128
		30. Bom Sucesso II		
		31. Guariba		
Prata	24. Nova Cachoeirinha	2	104	
	25. Sidamar			
Santa Vitória	Nova Jacaré Curiango	4	130	
	2. Porto Feliz			
	Paulo Freire			
	Nova Santa Inês			
São Francisco de Sales	11. Boa Vista	2	32	
	13. Queixada			
Veríssimo	26. 21 de abril	3	138	
	27. Rio do Peixe			
	28. Irmã Doroty			

Fonte: Projeto diagnóstico para regularização ambiental dos assentamentos da reforma agrária (2018).

A metodologia adotada para avaliação dos impactos ambientais fundamenta-se na Matriz de Leopold (LEOPOLD, 1971), considerando-se as variáveis ambientais: abastecimento d'água; esgotamento sanitário; destino das águas servidas, dos resíduos sólidos, das embalagens de agrotóxicos e de medicamentos veterinários; distribuição de energia elétrica e pavimentação de estradas (Figura 2). Essas variáveis foram definidas com base no questionário e em sua relação com a infraestrutura dos assentamentos rurais.



**Figura 1 |** Localização dos Projetos de Assentamento (PAs) por Mesorregiões de Minas Gerais – Brasil

*Fonte: Elaborado pelos autores.*

As características das classes foram adequadas para o meio rural com base em Topanotti (2002) e fundamentadas por dados sobre a área rural brasileira. A partir desses dados se estabeleceram as referências numéricas das classes (de 1 a 4 para cada indicador ambiental, em ordem crescente de significado de impacto) (Quadro 1). Na etapa da avaliação dos impactos ambientais foram atribuídas as pontuações 2, 3, 5 e 7, para cada uma das classes 1, 2, 3 e 4, respectivamente.



<p>A moradia tem acesso à água?</p> <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não	<p>De onde vem a água consumida na moradia?</p> <input type="checkbox"/> rede pública <input type="checkbox"/> rede comunitária <input type="checkbox"/> vertente ou nascente <input type="checkbox"/> poço artesiano <input type="checkbox"/> poço comum <input type="checkbox"/> poço coletivo <input type="checkbox"/> arroio, rio ou riacho <input type="checkbox"/> cisterna <input type="checkbox"/> açude	<p>O lote possui eletrificação rural?</p> <input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não	<p>Qual o tipo da rede que abastece o lote?</p> <input type="checkbox"/> monofásica <input type="checkbox"/> bifásica <input type="checkbox"/> trifásica
<p>Qual a destinação das embalagens de medicamentos veterinários?</p> <input type="checkbox"/> não utiliza <input type="checkbox"/> buraco <input type="checkbox"/> a céu aberto <input type="checkbox"/> queima <input type="checkbox"/> armazena no lote <input type="checkbox"/> coleta pública	<p>Qual a destinação das águas servidas?</p> <input type="checkbox"/> fossa ou sumidouro <input type="checkbox"/> fossa séptica ou tratamento ecológico <input type="checkbox"/> outra <input type="checkbox"/> não possui	<p>Qual a destinação das embalagens de agrotóxicos?</p> <input type="checkbox"/> não utiliza <input type="checkbox"/> buraco <input type="checkbox"/> a céu aberto <input type="checkbox"/> queima <input type="checkbox"/> armazena no lote <input type="checkbox"/> coleta pública <input type="checkbox"/> devolução ou retorno <input type="checkbox"/> reutiliza	<p>Qual a destinação dos resíduos sólidos domésticos?</p> <input type="checkbox"/> coleta pública <input type="checkbox"/> ponto de recolhimento <input type="checkbox"/> buraco <input type="checkbox"/> queima <input type="checkbox"/> a céu aberto <input type="checkbox"/> reciclagem
<p>Qual a condição das estradas para acesso ao lote?</p> <input type="checkbox"/> boa <input type="checkbox"/> regular <input type="checkbox"/> ruim	<p>Qual o período de acesso permitido pelas estradas?</p> <input type="checkbox"/> acesso permanente <input type="checkbox"/> acesso interrompido em algumas épocas do ano <input type="checkbox"/> acesso interrompido permanentemente	<p>Qual o tipo das estradas?</p> <input type="checkbox"/> cascalhada <input type="checkbox"/> não cascalhada	

Figura 2 | Questões aplicadas no instrumento de coleta de dados em campo

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 1 | Classes dos indicadores ambientais

<i>Indicadores ambientais</i>	<i>Classes</i>	<i>Características das classes</i>	<i>Referências</i>
Abastecimento de água	1	Mais de 24% (lotes) abastecidos pela rede pública e/ou 30% por poço artesiano individual e/ou cisterna e/ou vertente (nascente)	Segundo PNAD (2015), Minas Gerais tem 24% dos domicílios rurais ligados à rede de abastecimento de água. O estado brasileiro com menor abastecimento é de 35%.
	2	Menos de 35% (lotes) abastecidos por açude e/ou cacimba e/ou poço comum e/ou mais de 30% (lotes) abastecidos por arroio (rio/riacho)	
	3	Mais de 35% (lotes) abastecido por açude e/ou cacimba e/ou poço comum	
Esgotamento sanitário	1	Mais de 14% (lotes) destinado à rede pública	Segundo PNAD (2015): a área rural de Minas Gerais possui 13,8% lotes com rede coletora; a média de lançamento em curso d'água, fossa negra e céu aberto no Brasil são de 19,73% e 16,35% fazem tratamento em fossa séptica em Minas Gerais.
	2	Menos de 20% (lotes) lança em curso d'água e/ou fossa negra e/ou a céu aberto e/ou mais de 17% em fossa séptica	
	3	De 20% a 50% (lotes) lança em curso d'água e/ou fossa negra e/ou a céu aberto	
	4	Mais de 50% (lotes) lança em curso d'água e/ou fossa negra e/ou a céu aberto	
Destino das águas servidas	1	Mais de 14% (lotes) lança na rede pública	
	2	Menos de 20% (lotes) lança a céu aberto e/ou mais de 17% em Caixa de gordura/fossa séptica / sumidouro e/ou na Caixa de gordura/sumidouro e/ou sumidouro	
	3	De 20% a 50% (lotes) lança a céu aberto	
	4	Mais de 50% (lotes) lança a céu aberto	
Destino das embalagens de agrotóxicos	1	Mais de 41% dos (lotes) coleta pública e/ou devolução, retorno e/ou armazena no lote	Segundo IBGE (2011), na região Sudeste apenas 40,55% da área rural destina o resíduo com coleta direta ou indireta.
	2	Menos de 20% (lotes) destina em buraco e/ou céu aberto e/ou queima	
	3	De 20% a 48% (lotes) destina em buraco e/ou céu aberto e/ou queima	
	4	Mais de 48% (lotes) destina em buraco e/ou céu aberto e/ou queima	
Destino dos resíduos sólidos	1	Mais de 41% dos (lotes) tem coleta pública e/ou ponto de recolhimento e/ou reciclagem	Segundo IBGE (2011), na região Sudeste apenas 40,55% da área rural destina o resíduo com coleta direta ou indireta.
	2	Menos de 20% (lotes) destina em buraco e/ou céu aberto e/ou queima	
	3	De 20% a 48% (lotes) destina em buraco e/ou céu aberto e/ou queima	
	4	Mais de 48% (lotes) destina em buraco e/ou céu aberto e/ou queima	

Indicadores ambientais	Classes	Características das classes	Referências
Destino das embalagens de medicamentos veterinários	1	Mais de 41% dos (lotes) possui coleta pública e/ou devolução, retorno e/ou armazena no lote	Definido pelos autores
	2	Menos de 20% (lotes) destina em buraco e/ou céu aberto e/ou queima	
	3	De 20% a 48% (lotes) destina em buraco e/ou céu aberto e/ou queima	
	4	Mais de 48% (lotes) destina em buraco e/ou céu aberto e/ou queima	
Distribuição de energia elétrica	1	Mais de 80% possui rede mono, bi ou trifásica	
	4	A maioria não possui eletrificação	
Pavimentação de estradas	1	A maioria considerada as estradas boas	
	2	A maioria considerada as estradas regulares	
	3	A maioria considerada as estradas ruins	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a atribuição dos pesos das classes (1, 2, 3 ou 4) e pontuações (2, 3, 5 ou 7), a magnitude do impacto é calculada pela Equação 01, onde a somatória dos pesos, no caso deste trabalho, é igual a vinte. Para o cálculo da magnitude do impacto normalizada, os valores das pontuações são relacionados à escala de 1 a 10, sendo 10 o valor máximo da magnitude do impacto.

$$\text{Magnitude do impacto} = \frac{\sum(\text{Pontuação} \times \text{Peso})}{\sum \text{Pesos}} \quad (\text{Equação 1})$$

Com base em Topanotti (2002), foram selecionados componentes ambientais que sofrem algum tipo de impacto antrópico relacionado à problemática de baixa infraestrutura dos assentamentos, a saber: poluição da água, contaminação do solo, uso do solo e qualidade de vida.

A partir do entendimento de como cada um dos componentes ambientais influencia na infraestrutura dos assentamentos, atribuiu-se a relevância de cada um deles, sendo esta última um valor subjetivo de 1 a 3 segundo Leopold (1977). No presente estudo foram adotados valores segundo Topanotti (2002), sendo 3, 2, 3 e 3 para os componentes ambientais poluição da água, contaminação do solo, uso do solo e qualidade de vida, respectivamente.

O valor máximo do impacto ambiental causado pela carência de infraestrutura é a situação extrema que o ambiente suporta e, nessa metodologia, é calculado na matriz utilizando a magnitude no seu acme, ou seja, dez. A pontuação do impacto conforme a Equação 2, representa a sua relevância e a percentagem do impacto causado é a relação do valor do impacto máximo pela pontuação calculada.

$$\text{Pontuação do impacto} = \Sigma (\text{Magnitude} \times \text{Relevância}) \quad (\text{Equação 2})$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No âmbito das variáveis pesquisadas destaca-se inicialmente a temática de acesso e origem da água que abastece os assentamentos.

Os resultados apontam que, no Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, tem-se 30,5% dos lotes abastecidos por cisterna, 5,7% por poço artesiano individual e 24,1% por nascente ou vertente. Na mesorregião Norte de Minas, houve um grande número de não respondentes (39,1%), contudo, considerando os questionários válidos, 17,4% e 16,4% dos lotes são abastecidos por água de poço artesiano coletivo e cisterna, respectivamente (Tabela 2).

**Tabela 2 |** Abastecimento de água (%)

<i>Indicadores / Mesorregião</i>	<i>Norte de Minas</i>	<i>Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba</i>
Rede pública	1,0	0,0
Rede comunitária	13,2	0,6
Poço Artesiano Individual	7,3	25,7
Poço Artesiano Coletivo	17,4	10,7
Cisterna	16,4	30,5
Açude	1,0	0,1
Cacimba	0,8	1,9
Arroio (rio/riacho)	3,4	2,9
Vertente (nascente)	0,4	24,1
Não respondeu	39,1	3,6
<b>Classe</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Fonte: Projeto diagnóstico para regularização ambiental dos assentamentos da reforma agrária (2018).

Devido às suas características climáticas, há ausência de grandes massas de água na região Norte de Minas, o que leva a inferir que o abastecimento seja feito, geralmente, por açude e cisterna. Ocorreu quantidade expressiva de lotes com abastecimento a partir de rede comunitária, a qual é uma alternativa interessante no quesito de infraestrutura. Porém, essa água é advinda de meios como rios, riachos, vertentes, poço artesiano coletivo e até de cacimba. Portanto, sua disponibilidade é passível de alteração de nível conforme o regime pluviométrico. Mediante a elevada porcentagem de não respondentes, atribuiu-se a classe 2, a mais condizente com a realidade do local.

Leite et al (2004) identificaram em assentamentos distribuídos por todo o Brasil, que o acesso à água se dá em 37 e 27% deles, por poço comum e artesiano, respectivamente; 34% por nascente; 18% por rios, 10% em açudes; 5% por rede pública e 43% por outras formas. Como se pode observar, há predominância de coleta em poços, em ambos os estudos.

Quanto à destinação das águas servidas, 39,8 e 50,2% tem sua destinação a céu aberto, nas mesorregiões Norte de Minas e Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, respectivamente. Houve grande número de não respondentes - 56,2% na primeira e 34% na segunda. Esta ausência de dados pode ser justificativa da mesorregião Triângulo Mineiro apresentar piores condições quanto a esse critério, embora seja uma região de maior desenvolvimento econômico (Tabela 3).

**Tabela 3 |** Destinação da água servida nas mesorregiões (%)

<i>Indicadores / Mesorregião</i>	<i>Norte de Minas</i>	<i>Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba</i>
Caixa de gordura/ fossa séptica/ sumidouro	2,3	5,1
Caixa de gordura/ sumidouro	1,4	4,0
Sumidouro	0,3	6,8
Céu aberto	39,8	50,2
Não respondeu	56,2	34,0
<b>Classe</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

Fonte: Projeto diagnóstico para regularização ambiental dos assentamentos da reforma agrária (2018).

Segundo o critério de atribuição de classes em relação ao destino das águas servidas concluiu-se que na Mesorregião Norte de Minas, a classe é 3 e no Triângulo Mineiro/ Vale do Paranaíba, a classe é 4 (Tabela 3).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011), 49,9% dos domicílios na área rural da macrorregião Sudeste destinam de forma incorreta o efluente produzido. Na mesorregião Norte de Minas, segundo Sistema Estadual de Informações sobre Saneamento (2017), considerando a região urbana e rural, apenas 42,2% dos domicílios apresentam cobertura do sistema de efluente. Tendo como fato que as condições de infraestrutura da área urbana são melhores que as rurais, conclui-se que a área rural se encontra em situação desfavorável no contexto geral.

Segundo Leite et al. (2004), 80% dos assentamentos nacionais não possuem destinação de água servidas; 16% destinam a sumidouro ou diretamente nos rios; 40 e 35% os destinam à fossa comum e séptica, respectivamente, e apenas 1% à rede pública. A realidade nos assentamentos estudados acompanha a nacional, onde a maioria tem a água servida disposta a céu aberto, sem nenhum tipo de tratamento ou destinação.

No critério de destinação do efluente sanitário (Tabela 4), no Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, as maiores porcentagens de destinação ocorrem em fossa séptica/sumidouro (27,6%) e poço negro (32,4%), assim como no Norte de Minas (14,9%) e (18,2%), respectivamente. Destaca-se a ocorrência de 10,4% dos lotes com destinação de efluentes a céu aberto, na mesorregião Norte de Minas.

**Tabela 4 | Destinação do efluente sanitário (%)**

<i>Indicadores / Mesorregião</i>	<i>Norte de Minas</i>	<i>Triangulo Mineiro/Vale do Paranaíba</i>
Fossa séptica/Sumidouro	14,9	27,6
Fossa Séptica/Tratamento ecológico	0,5	4,5
Patente (Latrina)	0,0	0,7
Céu aberto	10,4	0,8
Sumidouro (poço negro)	18,2	32,4
Não respondeu	56,2	33,9
<b>Classe</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

*Fonte: Projeto diagnóstico para regularização ambiental dos assentamentos da reforma agrária (2018).*

Na mesorregião Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, a porcentagem de tratamento, Fossa séptica/Sumidouro e Fossa séptica/Tratamento ecológico do efluente é de 32,1%, enquadrando na classe 3. Apesar de apresentar um panorama melhor do que o Norte de Minas, a destinação do efluente sanitário ainda é inadequada. Ambas as mesorregiões possuem quantidade expressiva de destinação de esgoto em sumidouro (poço negro), ou seja, despejo sem tratamento diretamente no ambiente.

As águas de superfície podem ser contaminadas principalmente na ausência de infraestrutura de esgotamento sanitário e na destinação inadequada de resíduos, podendo contaminar o solo e, por consequência, o lençol freático. O curso d'água quando em contato com resíduos orgânicos causa desequilíbrio nos seus componentes, por exemplo, o oxigênio é consumido de forma acelerada, causando eutrofização e, por consequência, alteração na dinâmica e estrutura das comunidades biológicas, além de queda acentuada na biodiversidade aquática, entre outros (CALLISTO, MORETTI e GOULART, 2001).

O estudo de Jove (2018), em uma bacia hidrográfica no Peru, também se utilizando da Matriz de Leopold, apontou que a contaminação das águas impacta o ambiente físico (solo, água e ar), o meio biótico (flora e fauna) e o meio socioeconômico. A metodologia permitiu identificar tanto impactos positivos, quanto negativos. Com relação aos impactos positivos encontrados (16%), esses decorrem da geração de empregos nas atividades desenvolvidas, apesar das mesmas estarem diretamente relacionadas a 84% de impactos ambientais negativos.



Em se tratando do indicador uso do solo, este se relaciona com o sistema de produção, em termos de uso de agrotóxicos, manejo de cultivos, adoção de queimada, dentre outros. A destinação inadequada de embalagens de produtos químicos (medicamentos e agrotóxicos) constitui risco potencial de alteração da microbiota do solo e afeta o crescimento, distribuição e o ciclo biológico das espécies vegetais (BARCELÓ & POSCHENRIEDER, 1992).

A destinação do resíduo doméstico foi classificada como 3 e 4 nas mesorregiões Norte de Minas e Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, nas quais a principal destinação é a queima - 38,5 e 52,4%, respectivamente (Tabela 5).

**Tabela 5 | Destinação do resíduo sólido doméstico (%)**

<i>Indicadores / Mesorregião</i>	<i>Norte de Minas</i>	<i>Triangulo Mineiro/ Vale do Paranaíba</i>
Coleta Pública	0,4	3,9
Ponto de recolhimento	0,1	6,9
Reciclagem	0,0	0,0
Buraco	2,5	0,8
Céu aberto	2,5	1,7
Queima	38,5	52,4
Não respondeu	55,8	33,9
<b>Classe</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

*Fonte: Projeto diagnóstico para regularização ambiental dos assentamentos da reforma agrária (2018).*

A partir do resultado e considerando a porcentagem alta de não respondentes, ambas as mesorregiões seguem o panorama rural brasileiro quanto ao destino dos resíduos sólidos, que apresenta 79,4% da destinação inadequada, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011).

A destinação adequada das embalagens vazias de agrotóxicos é determinada pela Lei Federal nº 9.974 (BRASIL, 2000) que estabelece princípios para o manejo e a destinação ambientalmente correta das embalagens vazias de veneno, a partir de responsabilidades compartilhadas entre todos os agentes da produção agrícola – agricultores, canais de distribuição e cooperativas, indústria e poder público. De acordo com o Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (2018), 95% das embalagens de agrotóxicos comercializadas no Brasil são passíveis de reciclagem, desde que devidamente lavadas.

No critério de destinação das embalagens de agrotóxicos (Tabela 6), no Norte de Minas tem-se a queima em 30,2% dos lotes. No Triângulo Mineiro/ Vale do Paranaíba, ocorre a destinação do tipo devolução/ retorno em 28,1% dos lotes. Assim, as mesorregiões se classificam em 3 e 2, respectivamente. Observa-se que, mesmo com a grande porcentagem de não respondentes, a mesorregião Norte de Minas queima grande parcela dos seus resíduos.

**Tabela 6 | Destinação das embalagens de agrotóxicos (%)**

Mesorregião	Norte de Minas	Triângulo Mineiro Vale do Paranaíba
Coleta Pública	0,7	0,7
Devolução/ retorno	17,8	28,1
Armazena no lote	0,9	3,4
Buraco	4,0	0,1
Céu aberto	0,2	0,5
Queima	30,2	6,8
Não respondeu	46,1	60,4
<b>Classe</b>	<b>3</b>	<b>2</b>

Fonte: Projeto diagnóstico para regularização ambiental dos assentamentos da reforma agrária (2018)

Quanto à destinação de embalagens de medicamentos veterinários, as mesorregiões Norte de Minas e Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba classificaram-se em 4 e 3, respectivamente. Constata-se que há grande porcentagem de queima do resíduo em ambas as mesorregiões.

No Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba ocorre 21,6% de armazenamento no lote e 10,9% de coleta pública. O Norte de Minas apresenta 9,6% de destinação em buraco, 6,1% de armazenamento no lote e 4,8% de coleta pública (Tabela 7).

Cabe destacar que Martins (2014), ao analisar a água da bacia hidrográfica do Córrego Grotão, observou que os mananciais se contaminam à medida que abastecem as áreas produtivas rurais (agricultura e pecuária) e deve ser realizado constante monitoramento da água, visando diagnosticar sua qualidade para uso dos próprios moradores rurais e, também, das cidades à jusante. Também destaca a contaminação da água dos mananciais em função do uso de agrotóxicos e o despejo inadequado de seus vasilhames em propriedades rurais.

**Tabela 7 | Destinação das embalagens de medicamentos veterinários (%)**

Mesorregião	Norte de Minas	Triângulo Mineiro/ Vale do Paranaíba
Coleta Pública	4,8	10,9
Armazena no lote	6,1	21,6
Buraco	9,6	0,9
Céu aberto	0,6	0,1
Queima	42,4	30,4
Não respondeu	36,5	36,2
<b>Classe</b>	<b>4</b>	<b>3</b>

Fonte: Projeto diagnóstico para regularização ambiental dos assentamentos da reforma agrária (2018).

O Governo Federal, em novembro de 2003, criou o Programa Luz para Todos, objetivando fornecer energia elétrica gratuita à população rural. Com isso, nos anos de 2016 e 2017, 500 mil famílias tiveram acesso à eletricidade, em quinze estados brasileiros (SILVA, 2018).

Sobre esse tema, ambas as mesorregiões são de classe 1 (Tabela 8). Dos entrevistados, 96,7 e 87,2% responderam que possuíam acesso à energia elétrica de rede monofásica, nas mesorregiões Norte de Minas e Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, respectivamente.

O panorama nacional revela que 78% dos lotes dos assentamentos rurais possuem energia elétrica e 22% não possuem. Dos assentamentos atendidos pela rede elétrica, 27% tem abastecidos todos os seus lotes e 23%, a maioria deles (Leite et al., 2004). Cumpre ressaltar que o serviço de fornecimento de energia elétrica é considerado essencial pela Constituição Federal (BRASIL, 1988).

**Tabela 8 |** Eletrificação dos lotes (%)

Mesorregião	Norte de Minas	Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba
Possui eletrificação trifásica	2,8	0
Possui eletrificação bifásica	10	3,3
Possui eletrificação monofásica	87,2	96,7
Não possui eletrificação	17,2	1,5
Não respondeu	39	2,5
<b>Classe</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Fonte: Projeto diagnóstico para regularização ambiental dos assentamentos da reforma agrária (2018).

O acesso à energia elétrica tem impacto positivo na ampliação das capacidades de trabalho e das perspectivas de desenvolvimento das comunidades, sendo utilizada para aplicações domésticas e para ampliação de conhecimentos (ESCOBAR, 2014). Leite et al (2004) afirma que a principal reivindicação nos assentamentos após o acesso à terra, tem sido a disponibilização de energia elétrica.

A falta de pavimentação das estradas se constitui em um problema que pode afetar a qualidade de vida dos assentados. Dificulta a mobilidade, origina poeira no período da seca ou impede o trânsito, especialmente na época da chuva. A prática do uso de cascalho para melhorar a trafegabilidade pode causar acidentes, visto que aumenta as possibilidades de ocorrência de derrapagens.

Constatou-se que a pavimentação na mesorregião Norte de Minas foi classificada por 37,3% dos assentados como “Ruim”, sendo 59,7% delas “Sem cascalho” e 36,7% permitindo o acesso livre durante o ano todo. No Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, as estradas de acesso ao lote foram classificadas como “Boa” por 26% dos assentados, sendo 63% delas “Sem cascalho”, permitindo o acesso livre durante o ano todo em 58,2% delas.

O acesso ao lote é de fundamental importância devido à necessidade de acesso a saúde e transporte da produção, sendo esta última fundamental para a permanência e sobrevivência do agricultor familiar.

**Tabela 9 |** Pavimentação dentro do Assentamento (%)

Mesorregião	Norte de Minas	Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba
Cascalhada	10,6	3,2
Sem cascalho	59,7	63,0
Acesso livre durante o ano	36,7	58,2
Acesso interrompido em alguma época do ano	31,9	7,5
Acesso interrompido permanentemente	1,7	0,5
Boa	4,4	26,0
Regular	28,5	21,6
Ruim	37,3	18,6
Não respondeu	29,8	33,8
<b>Classe</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

Fonte: Projeto diagnóstico para regularização ambiental dos assentamentos da reforma agrária (2018).

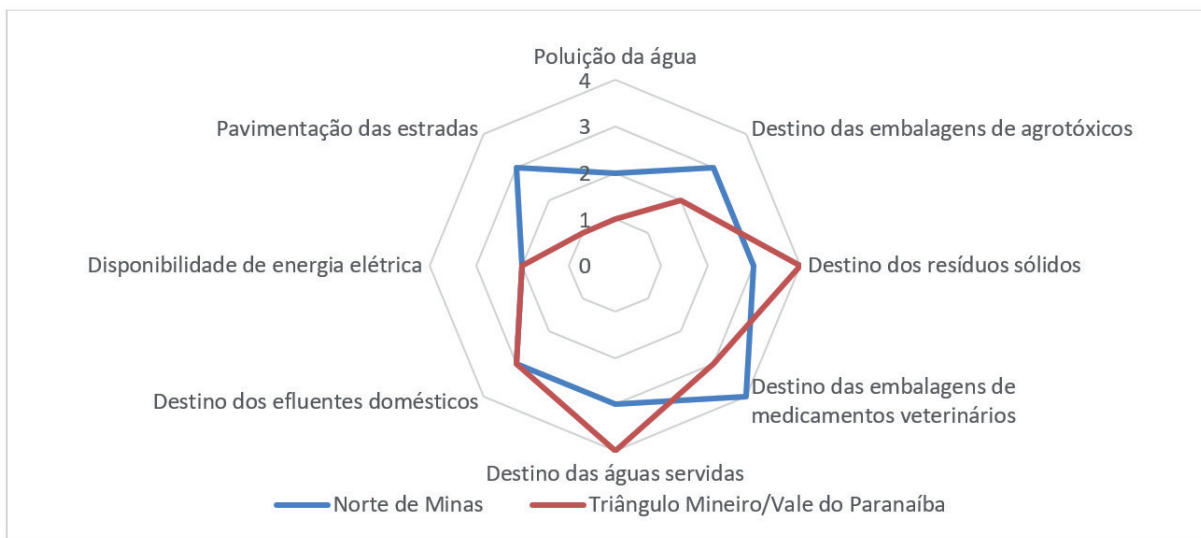
Estradas com bom pavimentação e constante manutenção podem impactar o comércio próximo ao assentamento, já que aproximam e facilitam o acesso dos assentados para escoar a produção e, também, adquirir bens e serviços

Considerando-se as classes obtidas, a Figura 2 apresenta, comparativamente, o comportamento das classes dos componentes ambientais selecionados para o estudo, nas duas mesorregiões.

As duas mesorregiões estudadas possuem condições semelhantes de infraestrutura no que tange à disponibilidade de energia elétrica e destino dos efluentes domésticos.

O Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba apresenta melhores condições de infraestrutura relativa à poluição das águas, destino das embalagens de agrotóxicos e de medicamentos veterinários, justificado por ser uma região mais próxima de grandes centros, e ter um grande número de assentados associados à cooperativas, que viabilizam uma melhor organização para o cumprimento das normas do setor.

A infraestrutura de pavimentação das estradas é pior nos assentamentos do Norte de Minas, pois são menos assistidos pelas ações de manutenção.



**Figura 2 |** Comportamento das classes dos componentes ambientais nas duas mesorregiões estudadas

Fonte: Adaptado do Projeto Diagnóstico de Regularização Ambiental de Assentamentos de Reforma Agrária (2018).

A Tabela 10 apresenta o cálculo da magnitude dos impactos, onde se tem a somatória dos pesos igual a 20 e a magnitude do impacto ambiental normalizada na escala de 0 a 10 correspondentes a 7,0 e 6,0, para as mesorregiões Norte de Minas e Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, respectivamente.

**Tabela 10 | Magnitude dos impactos ambientais**

Impacto Ambiental	Indicadores Ambientais Classe		Norte de Minas		Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba		Peso
			Pontuação*	Classe	Pontuação*	Classe	
Carência de infraestrutura	Abastecimento d'água		2	3	1	2	3
	Destinação do efluente	Sanitário	3	5	3	5	3
		Águas servidas	3	5	4	7	3
	Destinação do resíduo sólido	Doméstico	3	5	4	7	3
		Embalagens de agrotóxico	3	5	2	3	3
		Embalagens de medicamentos veterinários	4	7	3	5	3
	Rede de energia elétrica		1	2	1	2	1
Pavimentação de estradas		3	5	1	2	1	
Σ (pontuação X peso)			97		91		
Σ pesos							20
Σ (pontuação X peso) / Σ pesos			4,85		4,55		
Magnitude do impacto ambiental normalizada na escala 1 a 10			7,0		6,0		

Legenda: \*Classe 1 = 1 ponto; Classe 2 = 3 pontos; Classe 3 = 5 pontos e Classe 4 = 7 pontos

Fonte: os Autores

A Tabela 11 apresenta o impacto da infraestrutura nas mesorregiões Norte de Minas e Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, nos valores de 70% e 60%, respectivamente. Quanto mais incipiente é a infraestrutura, maior é o impacto ambiental em cada componente. Conclui-se, portanto, que as condições de infraestrutura da mesorregião Norte de Minas causam maior impacto ambiental negativo se comparado à Triângulo Mineiro/ Vale do Paranaíba (Tabela 11).

**Tabela 11 | Matriz de avaliação do impacto ambiental**

Componente Ambiental \ Impacto Ambiental		Contaminação da água	Degradação do Solo	Uso do solo	Qualidade de vida	Total
		Norte de Minas	Carência de infraestrutura	7	7	7
Pontuação do impacto	3		2	3	3	
Valor máximo do impacto					110	
Porcentagem do impacto causado					70%	
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	Carência de infraestrutura	6	6	6	6	
	Pontuação do impacto	3	2	3	3	
	Valor máximo do impacto					110
	Porcentagem do impacto causado					60%

Elaboração: os Autores. Fonte: Projeto diagnóstico para regularização ambiental dos assentamentos da reforma agrária (2018).



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso múltiplo do ambiente natural, associado ao aumento de demandas e à própria degradação, abre caminho para uma ampla série de tensões e disputas, especialmente no meio rural, usualmente desprovido de infraestrutura.

A Política Nacional de Reforma Agrária contribui para a desconcentração fundiária e aprimoramento da qualidade de vida dos agricultores familiares. A hipótese inicial do presente artigo de que a ausência ou precariedade das condições de infraestrutura nos assentamentos pode resultar em impactos ambientais negativos é comprovada, pois verifica-se que os impactos são de maior potencial negativo na mesorregião Norte de Minas que na do Triângulo Mineiro/Vale do Paranaíba, correspondendo a 70 e 60%, respectivamente.

As variáveis pesquisadas foram: rede de abastecimento d'água, esgotamento sanitário, destino das águas servidas, destino do lixo seco, destino das embalagens de agrotóxicos, destino das embalagens de medicamentos veterinários, distribuição de energia elétrica e pavimentação das vias públicas.

A infraestrutura dos assentamentos rurais em relação à essas variáveis são de responsabilidade do poder público. Como correlato, a ausência ou as falhas das instituições responsáveis contribuem para os impactos negativos no meio ambiente.

Em se tratando da metodologia adotada para a avaliação dos impactos, a Matriz de Leopold, constatou-se que a mesma se mostrou eficiente em apontar os indicadores com maior potencial de impacto negativo. Ademais, a utilização dessa matriz pode ser útil como ferramenta para os gestores ambientais e órgãos públicos.

Esse estudo encontra limites nas eventuais quantidades de respostas em branco do questionário, o que pode incorrer em algum desvio dos resultados. Em trabalhos futuros permitirá comprovar sua eficiência em apontar impactos socioambientais significativos, ou inferir a necessidade de se inserir, retirar ou ajustar alguns dos indicadores da matriz, assim como subsidiar o planejamento para uma atuação em prol da conservação ambiental.

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi desenvolvida com recursos do Projeto Diagnóstico para Regularização Ambiental dos Assentamentos da Reforma Agrária (RADIS/UFMT), desenvolvido pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), aos quais os autores agradecem.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R. C. B. D. Questão ambiental e assentamento rural: a luta por uma sustentabilidade alternativa no Assentamento Novo Horizonte II, em Maxaranguape (RN). 2007. 98p. Dissertação (Mestrado em Serviço Social). Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

BRANDÃO JR, A., SOUZA JR, C. Desmatamento nos assentamentos de reforma agrária na Amazônia. **O Estado da Amazônia**, n.4, 2006. Disponível em: <https://imazon.org.br/desmatamento-nos-assentamentos-de-reforma-agraria-na-amazonia/>. Acesso: 30 nov. 2020.

BARCELÓ, J., POSCHENRIEDER, C. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. *Suelo y Planta*, v.2, p.345-361, 1992.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986. Considerando a necessidade de se estabelecerem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial da República Federativa**, Brasília, DF, 23 jan. 1986.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988, 292 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **II Plano Nacional de Reforma Agrária - Paz, Produção e Qualidade de Vida no Meio Rural**. 2003. Disponível em: <[http://www.dhnet.org.br/dados/pp/a\\_pdfdht/plano\\_nac\\_reforma\\_agraria\\_2.pdf](http://www.dhnet.org.br/dados/pp/a_pdfdht/plano_nac_reforma_agraria_2.pdf)>. Acesso: nov. 2020.

BRASIL. Lei nº 9.974, de 6 de junho de 2000. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa**, Brasília, DF, 07 jun. 2000.

BRUNO, R., MEDEIROS, L. **Percentuais e causas de evasão nos assentamentos rurais**. Cadernos da Terra, n.9, 2001

CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M. D. C. **Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.6, n.1, p.71-82, 2001.

CHOGUILL, C. L. *Ten steps to sustainable infrastructure*. Habitat Int., v.20, n.3, p.389-404, 1996.

ESCOBAR, M. C. S. B. **O uso da energia elétrica pelos trabalhadores rurais: o caso do PA Renascer**. 2014. 107 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional da Amazônia). Universidade Federal de Roraima, 2014.

FARIAS, M. H. C. S., BELTRÃO, N. E. S., SANTOS, C. A., CORDEIRO, Y. E. M. **Impact of Rural Settlements on the Deforestation of the Amazon**. Mercator (Fortaleza), n. 17, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Brasil. Indicadores sociais municipais: uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <[https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/indicadores\\_sociais\\_municipais/default\\_indicadores\\_sociais\\_municipais.shtm](https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/indicadores_sociais_municipais/default_indicadores_sociais_municipais.shtm)>. Acesso: 24 out. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Brasil. **Atlas de saneamento 2011: Manejo de resíduo sólido**. 2011. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096\\_cap9.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096_cap9.pdf)>. Acesso: 02 set. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. IPEA. **Infraestrutura Social e Urbana no Brasil: subsídios para uma agenda de pesquisa e formulação de políticas públicas**. ed.6, v.22, Brasília, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. INCRA. *Infraestrutura*. 28 jan. 2020. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/pt/infraestrutura-atuacao.html>>. Acesso: 30 nov. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PROCESSAMENTO DE EMBALAGENS VAZIAS. **Centros de Recolhimento de Embalagens de Agrotóxicos**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://inpev.org.br/>>. Acesso: 30 nov. 2020.

HEREDIA, B. MEDEIROS, L., PALMEIRA, M., CINTRÃO, R. LEITE S. P. Regional impacts of land reform in Brazil. In: LAND SETTLEMENT AND COOPERATIVES. Boletim FAO, 2005. Disponível em: <http://www.fao.org/3/y7218t/y7218t08.htm#bm08>. Acesso: 30 nov. 2020.

JOVE, E. M. H. **Identificación y valoración de impacto ambiental de la contaminación por aguas servidas en el Río Ayaviri**. 2018. 74p. Trabalho de Conclusão de Curso (Faculdade de Engenharia Química). Universidade Nacional do Altiplano, Peru, 2018.

LEAL, G. M. **Impactos socioterritoriais dos assentamentos do município de Teodoro Sampaio – SP**. 2003. 187p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2003.

LEITE, S. P., HEREDIA, B., MEDEIROS, L., PALMEIRA, M., CINTRÃO, R. **Impactos dos assentamentos: um estudo sobre o meio rural brasileiro**. Brasília: Unesp, 2004.

LEITE, T. A., SOBRAL, I. S., BARRETO, K. F. B. **Avaliação dos impactos ambientais e sociais como subsídio para licenciamento ambiental do projeto de assentamento de reforma agrária Maria Bonita I, Poço Redondo/SE.** Boletim Goiano de Geografia, v.31, n.2, p.69-81, 2011.

LEOPOLD, L. B. *Leopold Matrix*. Washington: U.S. Geological Survey.1971.

MARTINS, E. L. S. **Diagnóstico ambiental d abacia hidrográfica do Córrego grotão, Ceilândia/DF.** 2014. 112p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural). Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

MEDEIROS, L. S. Impacts of rural settlements in Brazilian rural development International. In: CONFERENCE DYNAMICS OF RURAL TRANSFORMATION IN EMERGING ECONOMIES, 2010, Nova Delhi, Anais...Nova Delhi: RIMISP, 2010, p.1-21. Disponível em: [http://www.rimisp.org/wp-content/uploads/2010/05/Paper\\_Leonilde\\_Servolo\\_de\\_Medeiros-10.pdf](http://www.rimisp.org/wp-content/uploads/2010/05/Paper_Leonilde_Servolo_de_Medeiros-10.pdf). Acesso: 30 nov. 2020.

MORAIS, M. A. V., MELO SOUSA, R. A. T., COSTA, R. B., DORVAL, A., JUNIOR, R. T. **Impacto ambiental em assentamentos da reforma agrária no Mato Grosso.** Floresta, v.42, n.3, p.587-598, 2012.

OLIVEIRA, A. S. Produto Interno Bruto na Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba -TMAP. In: CORRÊA, V. P. (Org.). **Dinâmica Socioeconômica da Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.** Uberlândia: CEPES/IEUFU, v.3, 61p, 2017. Disponível em: <<http://www.ie.ufu.br/CEPES>>.

PEREIRA, A. M. **Cidade Média e Região: o Significado de Montes Claros no Norte de Minas Gerais.** 2007. 351p. Uberlândia. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15921>>. Acesso: 23.out. 2018.

PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS. PNAD. **Síntese de Indicadores 2014.** Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94935.pdf>>. Acesso: 20 ago. 2018.

PIMENTEL, G., PIRES, S.H. **Metodologias de avaliação de impacto ambiental: aplicações e seus limites.** Rev. Adm. púb., v.26, n.1, p.56-68, 1992.

PROJETO DIAGNÓSTICO PARA REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL DOS ASSENTAMENTOS DA REFORMA AGRÁRIA. Projeto RADIS/UFMT. **Diagnóstico para Regularização Ambiental dos Assentamentos da Reforma Agrária.** 2018.

RIBEIRO, M. M. C., FERREIRA NETO, J. A., MINA DIAS, M., FIÚZA, A. L. C. **Análise das causas da evasão em assentamentos de reforma agrária no estado do Tocantins.** Revista Extensão Rural, n.22, 2011.

SANTOS, G. R., PALES, R. C., ROSA, T. R. S. **Intensidade da pobreza na região norte de Minas Gerais - 1991-2010: uma análise a partir dos dados do PNUD.** Revista Desenvolvimento Social, v.22, n.1, 2017.

SCHNEIDER, M., PERES, C. A. **Environmental costs of government-sponsored agrarian settlements in Brazilian Amazonia.** PloS one, v.10, n.8, pe 0134016, 2015.

MINAS GERAIS. SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Projeções do Agronegócio Mineiro 2017 a 2027.** 3º ed. 2018. Disponível em: <[http://www.agricultura.mg.gov.br/images/Arq\\_Relatorios/Publicacoes/projecoes\\_2017\\_a\\_2027.pdf](http://www.agricultura.mg.gov.br/images/Arq_Relatorios/Publicacoes/projecoes_2017_a_2027.pdf)>. Acess: 24. Out. 2018.

SILVA, R. M. **Luz para todos: desafios da eletrificação rural no Brasil.** R.Le Monde Diplomatique Brasil, 2018.

SISTEMA ESTADUAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Saneamento Básico de Minas Gerais - 2014.** Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <[http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/seis/730-sistema-estadual-de-informacoes\\_sobre-saneamento-2014-31-08-2017-site/file](http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/seis/730-sistema-estadual-de-informacoes_sobre-saneamento-2014-31-08-2017-site/file)>. Acesso: 23 out. 2018.

TOPANOTTI, V. P. **Estudo dos Impactos Ambientais das Invasões Urbanas de Cuiabá – MT.** 176p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

VAN DE STEEG, J. A, SPAROVEK, G., RANIERI, S. B., MAULE, R. F., COOPER, M., NETO, D. D., ALVES, M. C. **Impactos ambientais da Reforma Agrária no Brasil de 1985 a 2001.** Scientia Agricola, v.63, n.2, p.176-83, 2006.

VEDUVOTO, A. M. G; BRITO, L. E. P. F. **Povoamento e organização territorial de Frutal nos séculos XIX e XX: o Cerrado mineiro.** Revista Territorial - Goiás, v.2, n.2, p.192-209, 2013.

# Methodological proposal to analyze land use and land cover changes: the case of Santa Catarina state in Brazil from 2000 to 2010

*Metodologia de análise das dinâmicas do uso e cobertura da terra: o caso do estado de Santa Catarina - Brasil entre 2000 e 2010*

Juliana Mio de Souza<sup>a</sup>

Eduarda Marques da Costa<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Doutorado em Geografia, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Assistente de Pesquisa da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
E-mail: julianasouza@epagri.sc.gov.br*

<sup>b</sup> *Doutora em Planejamento Regional e Local, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa - IGOT/ULisboa, Lisboa, Portugal  
End. Eletrônico: eduarda.costa@campus.ul.pt*

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.32395

Received: 05/07/2020  
Accepted: 16/11/2020

ARTICLE – VARIA

## ABSTRACT

The aim of this paper is to examine land use and land cover changes and to relate it to the potential driving forces observed in the state of Santa Catarina, Brazil, during the period from 2000 to 2010. The methodology consists of identifying trends in land use and land cover changes; indicating possible explanatory factors by means of Principal Component Factor Analysis and elaborating a final typology, based on Cluster Analysis. Results point to the considerable expansion and increased intensity of agricultural activity as well as silviculture throughout the state and the loss of native vegetation, suggesting the need for protective actions and land use and cover regulations, particularly from an environmental perspective, to frame the development of intensive and mechanized agricultural activity.

**Keywords:** LUCC. Principal component factor analysis. Driving forces. Spatial planning.

## RESUMO

*Este artigo objetiva verificar a dinâmica do uso e cobertura da terra e relacioná-la com potenciais forças motrizes dessa dinâmica no estado de Santa Catarina, Brasil, para o período de 2000 a 2010. A metodologia consiste na identificação de tendências na dinâmica de uso e cobertura da terra; apontar possíveis fatores explicativos com base na análise fatorial por componentes principais e na elaboração de uma tipologia final, baseada na análise de clusters. Como resultados, nota-se uma forte expansão e fortalecimento da atividade agropecuária e da silvicultura pelo estado, e perda da vegetação nativa, o que aponta para a necessidade de desenvolver medidas de proteção e de regulamentação da cobertura e uso da terra nomeadamente na vertente ambiental, enquadrando o desenvolvimento de uma atividade agropecuária intensiva e mecanizada.*

*Palavras-chave: Uso e cobertura da terra. Análise fatorial de componentes principais. Forças motrizes. Ordenamento do território.*

## 1 INTRODUCTION

The dynamics of land use and cover involve a set of interactions with highly complex socioeconomic and biophysical processes, thus calling for a systemic approach by which the identification and understanding of the causes and effects of changes depend on their historical, social and geographical contexts (LAMBIN; GEIST; RINDFUSS, 2006).

According to Houghton, Hackler and Lawrence (1999), the dynamics of land reflect the impact of human activity on the global environment. Additionally, Lambin, Geist, and Rindfuss (2006), claim that regardless of whether the impacts of land change are positive or negative, at present, most of them are associated with the expansion of food production, the efficiency of resource exploitation and human well-being. In other words, land change is driven by the needs of individuals or society at large.

It is highlighted in the literature that driving forces, actors and land use are three fundamental factors at play in land dynamics (HERSPERGER et al., 2010). Driving forces usually refer to a set of variables which, according to Hersperger and Bürgi (2009), can be subdivided into five categories: political, socioeconomic, cultural, technological and natural / spatial.

The analysis of land use and cover changes is a highly important subject nowadays, since different systems (environmental, ecological and socioeconomic) are directly influenced by this phenomenon, and the knowledge regarding these processes and their impacts is essential in several domains such as environmental monitoring and spatial planning, at both political and economic level (VALE; REIS; MENESES, 2014).

In different countries, such as Brazil, the dynamics of land occupation have undergone major changes both as a result of an urbanization trend and growth in the primary sector. In fact, it is in this context that the importance of developing methodologies for the analysis of these phenomena and their impacts is brought to light, as a means of supporting the design and evaluation of public policies.

According to the IFFSC Project, the state of Santa Catarina has 29% forest cover and is characterized by depleted forest remnants, threats to vegetation biodiversity, continued human-induced forest degradation and constant changes in the use of the land. Unrestrained land use for grazing and forest plantations are examples of the government's ineffective actions to date to protect the forests (VIBRANS et al., 2012, p.334). In view of this reality, in 2014 the Government of Santa Catarina (SECRETARIA DA AGRICULTURA, DA PESCA E DO DESENVOLVIMENTO RURAL DE SANTA CATARINA, 2014) created the Forest Management Committee – CGFlorestal. This the discussion and formulation of policies for the forest supply chain, guarantying the balance between social, economic and environmental interests.

Thus, in order to contribute to the discussion within the scope of spatial planning in the state, the proposed research question of this study departs from the scenario painted by the IFFSC Project. Are agricultural and silviculture activities a growing trend in the land use and land cover changes of the microregions of Santa Catarina? And does this growth override the urbanization trend? In order to respond to these questions, the aim of this study is to present a methodological proposal, based on multivariate data analysis techniques, to define a typology of land use and land cover changes and to ascertain the extent to which this phenomenon is in line with socioeconomic and territorial changes in the State of Santa Catarina for the period from 2000 to 2010. To such end, the specific objectives are: to the changes between classes of land use and land cover in the state for the period of analysis, in order to pinpoint trends and to identify the relation between the dynamics and the socioeconomic factors.



## 2 STATE OF THE ART

Information on the dynamics of land use forms (and especially those based on geography, that is, those supported by geographic information technologies) provides considerable support to public managers involved in the development and implementation of environmental and spatial planning policies, insofar as it unveils “where” the changes have occurred; “to what extent”, in terms of units of measurement, a given use *was* formerly and *has become*, both in absolute and relative values; “how” these changes occur in terms of shifting from one type of use to another/others, as well as in relation to spatial distribution. According to Verburg et al. (2004, p.147), models for analyzing and preview land use/cover change constitute valuable tools to support an assessment of the causes and effects of this phenomenon. The analysis of scenarios with land use/cover models can offer support to spatial planning and policies.

In this context, the impact of the land use and land cover transition process has been widely studied, as corroborated by the extensive literature published in the last 10 years. Different methodological proposals may be observed, based mainly on statistical analyses (both linear, and more recently, non-linear methods of analysis) supported by Geographic Information Technologies (GIT), such as Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing techniques (RS).

DeFries et al. (2010) evaluate economic, agricultural and demographic correlations with forest loss in the tropical forests of 41 countries (Asia, Africa and Latin America) from 2000 to 2005, using a set of possible indicators of this change by means of multiple linear regression, regression tree and cross tabulation methods. Their findings point to growth of the urban population and the export of agricultural products as driving forces in tropical forest loss. Souza and Costa (2018), present a methodology for analyzing land use and land cover changes, based on multivariate data analysis, in the state of Santa Catarina, Brazil, during the period from 2000 to 2010. They identify significant growth in agriculture and silviculture activity as well as loss of forest areas, closely related to the expansion of the crop area, mechanization, and increased herd size.

Yoshikawa and Sanga-Ngoie (2011) addresses deforestation from 1981 to 2011 in the state of Mato Grosso do Sul, in Brazil, by seeking to quantify the changes in vegetation area and to identify its uses and causes, with a particular focus on the relationship between agricultural activities and the road network.

They used Digital Vegetation Models (*DVM Maps*); road maps; hydrography; parks and indigenous areas; annual cattle population data (1974 to 2006) and soy planted areas (1990 to 2006). Based on Cross Tabulation and Spatial Analysis techniques, they identified urban development and soy production as deforestation-inducing forces in Mato Grosso do Sul. In Silva et al. (2011), the authors analyze the evolution of deforestation in the Brazilian Pantanal and surrounding area over a period of 32 years (1976 to 2008) and outline scenarios for the period from 2010 to 2050, using supervised classification of satellite imagery techniques and the geometric mean (2002-2008) for scenario planning.

The authors point to a strong tendency for natural areas to be converted into land use (in monoculture - soy and other grains, sugar cane, pasture and urban expansion) and the scenarios suggest that the natural vegetation in the region will disappear by 2050. The studies, present different methods to analyze the dynamics of deforestation in the different territories which are constituted as relevant methodologies in the pursuit to identify and relate the driving forces behind this phenomenon. As a consequence, both studies predict a trend of natural area (forests) conversion into land use stemming from agricultural activities and urban expansion, caused by market demand. This is due to Brazil's increased exports of agricultural-based products (such as grains and meat) and silviculture products, and to serving the domestic market, characterized by population growth.

Asner et al. (2009) present an integrated environment analysis (ClasLite) to support the mapping of large areas of tropical forests based on a variety of satellite sensors. Different treatments are applied to the images where they manage to provide estimates of forest cover, degradation and deforestation.

As a case study, they use Brazil (known hotspot for logging) and Peru (Amazon Biome) for the period from 1999 to 2002. In order study to analyze the changes and their influencing factors on the dynamics of land use in the Coastal Area of Rio Grande do Sul, Lipp-Nissinen et al. (2018) used remote sensing and field observation techniques to map, quantify and compare the classes of land use and cover of four temporal thematic maps, referring to a period of 26 years (1985 - 2011). They found relevant changes in the landscape over the period under analysis, particularly the occupation of permanent preservation areas (PPA) by *Pinus sp.* Silva et al. (2013) who had carried out studies using Remote Sensing techniques to map land use and land cover in the municipality of Floresta, in Brazil, from 1987 to 2008.

As a result, they point to a considerable decrease in forest cover to the detriment of urban expansion and agricultural activities. Rodrigues and Leite (2017) analyze the dynamics of land use and cover in the hydrographic basin of the Aquidauana River, in the state of Mato Grosso do Sul, in Brazil, using satellite images from 1970 to 2014. They identify strong anthropic pressure, where the main dynamics denote forest loss due to the expansion of pastures and urban areas. The results presented by Asner et al. (2009), Lipp-Nissinen et al. (2018), Rodrigues and Leite (2017), and Silva et al. (2013) indicates changes from natural to agricultural uses and also identified urbanization as the main conversions in the areas under study.

The proposed methodologies offer basic inputs that are necessary for land use and land cover changes studies, namely relative speed, high temporality and possibilities for different spatial resolutions and levels of detail. Based on the availability of numerous types of satellite images and image classification resources, the development of specific products can be aligned according to the need required in the study.

Abrantes et al. (2016) and Rocha (2012) analyze land use changes in an urban and peri-urban context, that contributed to evaluate territorial policies. Also, they simulate scenarios of evaluation that supported future policy choice. Rocha (2012) developed a model to simulate the dynamics of urban growth for the municipality of Almada in Portugal, based on a non-linear basic approach.

Urban, environmental and institutional data (slopes, road network density, distance to urban environment, index of attractiveness, constructive dynamics, value of the territory, legal restrictions and zoning) were used for the period from 1985 to 2008 along with simulations that enable the prediction of land use evolution scenarios for 2001. From a perspective of evaluation, Abrantes et al. (2016) analyzed the conformities of land use and land cover changes, particularly in terms of urban expansion, with municipal planning instruments for the Metropolitan Area of Lisboa, in Portugal.

The present study focuses on the period from 1990 to 2007 and includes cross tabulation, spatial metrics and gradient analysis. These authors compare the identified dynamic patterns with the instruments that regulate land development. The results shed light upon artificial areas growing along an urban-rural gradient, decreased and more fragmented agriculture, to the detriment of expanding peri-urban spaces and high conversion of agricultural and urban land in protected areas, pointing to a lack of conformity between the regulatory instruments of land use and the actual reality.

### 3 MATERIALS AND METHODS

#### 3.1 AREA OF STUDY

Santa Catarina State (Figure 1) located in the southern region of Brazil, has a population of approximately 6.5 million inhabitants and an area of approximately 95 thousand km<sup>2</sup>. It borders the States of Paraná (to the North), Rio Grande do Sul (to the South), Argentina to the West and has an Atlantic coast of 450km at east. In the south temperate zone of the planet, the state has a subtropical climate and is

located in the Atlantic Forest Biome. Its capital and seat of government is the city of Florianópolis, on the island of Santa Catarina.



Figure 1 | Map of Santa Catarina State/Brazil, Geographic Microregions and Municipalities.

Source: The authors.

The main economic activities of the state are agriculture, cattle raising, manufacturing, extraction and tourism. It is the sixth richest state in the Federation, with a diversified and industrialized economy. It is based on the extractive production of yerba mate and wood, agriculture and pastoral production, and also has textile, metallurgical, ceramic, food and electrical material industries. With only 13% of the national territory and 3% of the Brazilian population, Santa Catarina is today the fifth food producer in Brazil.

The state is among the largest Brazilian producers of corn, honey, apples, onions, poultry and pork and is the largest Brazilian producer of garlic. It also participates with 40% of the domestic production of tobacco. Santa Catarina's apple production corresponds to 60% of the domestic production and its chicken production to 28%. It also has an intensive fishing activity, and the state ranks first place in the country for fish production and third as producer of shellfish (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS, 2014).

The dynamism of the Santa Catarina economy is reflected in the high rates of growth, in literacy, employment and per capita income, which are much higher than the national average. According to data published by the Atlas of Human Development in Brazil, Santa Catarina is positioned within a high range of human development by the United Nations Development Program – UNDP. According to the publication, in 2010, the state reached an HDI of 0.774, the third highest in the country, only surpassed by the Federal District and São Paulo (PROGRAMA NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, 2013).

### 3.2 THE INFORMATION USED

For the development of this study, data classified as secondary were used, all of which are publicly available on different online databases.

The State of Santa Catarina is divided into 20 geographic microregions defined by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), based on the grouping of municipalities with economic and social similarities. The map used was made available by the National Planning Secretariat of Santa Catarina for

the year 2013, in vector format, scale 1: 500,000, SIRGAS 2000 Reference System and UTM Projection System - Universal Transverse de Mercator.

Considering that the economy of the state of Santa Catarina is strongly based on agricultural, pastoral and extraction production, a set of variables were initially considered to describe the microregions in terms of their land features, agriculture and cattle raising characteristics, as well as their population, quality of life and economic development characteristics. Data availability for the period under analysis was also considered. Thus, the following variables were selected: Urban Population, Human Development Index, Number of Agricultural Establishments, Workers Occupied on the Land, Number of Tractors, Value of Animal Production and Herd Size. The databases used were the Demographic Census, Agricultural Census, Municipal Cattle Raising Survey of the IBGE Automatic Recovery System - Sidra<sup>1</sup>, and the Human Development Atlas of Brazil.

The land use and land cover maps used (years 2000 and 2010) are the result of the Project entitled *Changes in Land Cover and Land Use* conducted and made available by the IBGE. They are in vector format, with a scale of 1: 1,000,000 and SIRGAS 2000 Reference System and UTM Projection System. There are 12 classes in the state, namely: Artificial Area, Agriculture, Mosaic of Agriculture and Forest Remnants, Silviculture, Forest, Mosaic of Forest and Agriculture, Grassland, Natural Pasture, Mosaic of Grassland and Agriculture, Continental Water Body, Coastal Water Body, Uncovered Areas.

**Table 1 |** List of databases used

Data	Format	Scale	Year	Source
Land use and land cover maps - Santa Catarina	vector	1:1.000.000	2000 e 2010	IBGE
Geographic microregions map - Santa Catarina	vector	1:500,000	2013	SPG
Demographic Census	tabular	Microregion	2000 e 2010	IBGE
Agricultural Census	tabular	Microregion	1995/96 e 2006	IBGE
Human Development Atlas - Brazil	tabular	Microregion	2000 e 2010	Pnud
Municipal Cattle Raising Survey	tabular	Microregion	2000 e 2010	Sidra/IBGE

Source: The authors.

Table 1 presents the information that served as a basis to meet the aims defined in this research, with references to format, scale, year and source. For the year 2000, the data considered were as follows: Classes of land use and land cover - year 2000; variables from the Demographic Census 2000, Agricultural Census 1995/1996 - (IBGE, 1995), data from the Human Development Atlas 2000 and the Municipal Cattle Raising Survey 2000. For the year 2010, the data were as follows: Classes of land use and land cover - year 2010; variables from the Demographic Census 2010, Agricultural Census 2006, data from the Human Development Atlas 2010 and the Municipal Cattle Raising Survey 2010.

### 3.3 METHODOLOGY

The methodology was developed in three stages. The first consisted of performing a flow analysis of the classes of land use and land cover by means of cross tabulation, in order to identify and quantify the main land use and cover transitions; the second stage involved selecting the indicators deemed representative of the previously identified changes, relating them to the social and economic variables

1 | IBGE Automatic Recovery System – Sidra. Available in: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Accessed on March 02, 2018



with a view to explaining the relationship of use and cover with socioeconomic activity by means of a principal component factor analysis; the third corresponded to the elaboration of a final typology, based on the cluster analysis, in which homogeneous groups of microregions according to the characteristics and relationships found were identified. Further detail is presented in the next section.

In this research, the first stage, with recourse to cross tabulation, is considered an initial phase of the study, as this technique is used to support the verification of changes between classes and the exploration of existing relationships. Thus, it was used to quantify area transitions between classes of land use and land cover for the years 2000 and 2010, and to identify trends in flow. Additionally, the variation rate of the classes was calculated. To this end, vector land use and cover maps and GIS spatial analysis tools were used.

In the second stage, a principal component factor analysis was performed in order to describe the changes in the dynamics of land use and land cover by microregion during the period under study, and to identify some of the factors that may explain these changes (the driving forces). Factor Analysis is a Multidimensional Data Analysis technique that studies the relationship between the set of initial variables (simultaneously considered dependent and independent) and the secondary variables (usually independent of each other), generated from the first set

Prior to the factor analysis, a preliminary processing of the data was required so that the variables could be properly processed in the SPSS statistical software package. The classes of use taken from the state map of land use and cover were regionalized by microregion in order to obtain each microregion's area of use and cover; the socioeconomic data that were sometimes available by municipality were aggregated by microregion. Upon completion of this data systematization by microregion, the variables were then relativized, forming indicators, so that they could be comparable.

Therefore, as units of analysis, the 20 microregions of the state and 11 variables were used. To help assess the quality of the data, the Kaiser-Meyer-Olkin Measure - KMO and the Bartlett Sphericity Test were calculated, where the recommended KMO value is above 0.5 and Bartlett below 0.05. The extraction method used was the Principal Component Analysis and the Varimax rotation method.

Thus, and according to the change trends identified in the previous step, the variables were classified into the following dimensions of analysis: Silviculture/Forest, Animal Production and Agriculture. The fourth dimension was then added, corresponding to Population and Socioeconomic Development, representative of the urban characteristics and social and economic development, comprising: artificial area (urban occupation area, organized by buildings and road system - %), the Human Development Index - HDI (considering life expectancy at birth, education, and per capita income) and the urban population. In the Silviculture/Forest dimension, areas occupied by Forest (%) and Silviculture (%) were selected to measure their evolution. As for the Animal Production dimension, the following were included as indicators: Herd Size and Value of Animal Production, intended to measure both the quantity of livestock and the valuation of this activity (for which all herd types were considered: Bovine, Bubal, Equine, Swine - total, Goats, Sheep, Poultry - total, Quails).

Finally, for the Agriculture dimension, the following were considered: Agriculture (% occupied area), Density of Agricultural Establishments (as a means of assessing the land structure), Rural Workers (to observe their evolution) and Number of Tractors for every 100 rural workers. These indicators were selected to ascertain the development of the activity based on its level of mechanization. It should be noted that the Agriculture variable refers to the sum of occupied areas with Agriculture and the Mosaic of Agriculture and Forest Remnants and Forest refers to the sum of areas occupied with Forest and Mosaic of Forest and Agriculture.

The third and final stage of analysis is based on the numerical taxonomy in order to present a final typology of synthesis. Numerical taxonomy (cluster analysis) refers to the general techniques of grouping or classifying individuals, cases, elements or units of analysis. They are said to be numerical



since the basis for grouping or classifying these individuals or units of analysis is based on the numerical values presented by each in one or more indicators. To this end, hierarchical classification, with the method of grouping by the farthest neighbour and the Euclidean distance measurement were used as the classification methodology. The dendrogram method was used, with a cut-off point at 15, obtaining 4 homogeneous groups for the years 2000 and 2010.

## 4. RESULTS AND DISCUSSION

### 4.1 IDENTIFICATION OF TRENDS IN LAND USE AND LAND COVER CHANGES

The cross tabulation result is presented in the form of a table, which contains the distribution of the intersections between the different classes and allows for the numerical analysis of the changes that occurred during the period. As previously described, in Santa Catarina there are 12 classes, however, for this analysis and presentation of the result, 7 classes were considered, excluding those that represent bodies of water (unchanged), uncovered areas and grassland (little representation). Figure 2 illustrates changes in km<sup>2</sup> between land use and cover classes for Santa Catarina between 2000 and 2010.

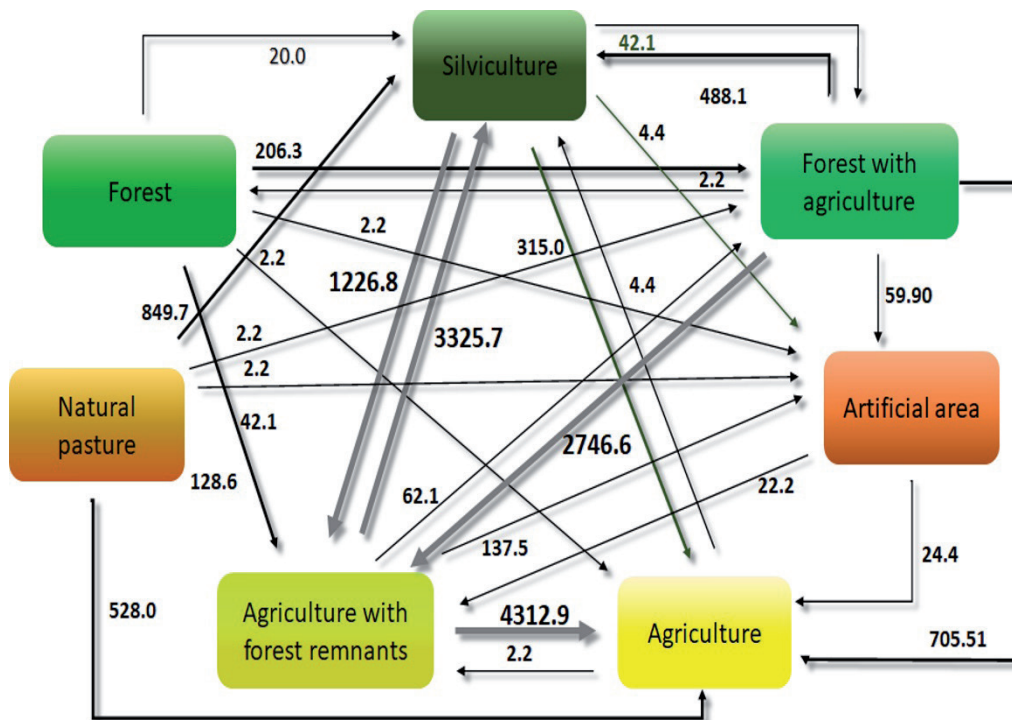


Figure 2 | Land use and land cover changes from 2000 to 2010 (km<sup>2</sup>).

Source: The authors.

According to Figure 2, it should be noted that the most relevant transitions for the period under analysis were from Mosaic of Agriculture and Forest Remnants to Agriculture (4312.94km<sup>2</sup>) and Silviculture (3325.67 km<sup>2</sup>), from Mosaic of Forest and Agriculture to Mosaic of Agriculture and Forest Remnants (2746.62 km<sup>2</sup>) and Silviculture to Mosaic of Agriculture and Forest Remnants (1226.88km<sup>2</sup>).

It is also noteworthy that, according to the mapping methodology adopted by the Brazilian Institute of Geography and Statistics - IBGE (2016), the classes referred to as Mosaic of Agriculture and Forest Remnants and Mosaic of Forest and Agriculture are areas that contain more than 50% and less than 75% of the polygon used for agriculture and forest vegetation, respectively. In other words, there is

a predominance of one class to the detriment of another, as in this case, namely a predominance of agriculture over forest area and conversely, a predominance of forest vegetation over agriculture.

Thus, it should be stressed that the analysis of class use and cover transitions carried out for the period under study suggests that a class previously deemed mosaic, or mixed, was predominantly defined as Agriculture and Silviculture, as in the case of the Mosaic of Agriculture and Forest Remnants class. Another relevant transition occurred as an inversion, as in the case of Mosaic of Forest and Agriculture to Mosaic of Agriculture and Forest Remnants. In other words, over the period, agricultural use became more predominant than forest vegetation and less frequent. Additionally the area of Silviculture is also noteworthy, with higher representation in the agricultural area.

According to the main categories of land use and cover change in Santa Catarina between 2000 and 2010 presented by Ribeiro, Vale, Reis (2014) and Geist et al. (2006), two of the categories were the most frequent, namely “agricultural intensification” - where internal intensification of land use in agricultural areas occurs (including the forest planted for economic purposes such as silviculture as an agricultural activity); “natural to agricultural conversion”, another process, with less intensity, but not less important in the context of the main dynamics, characterized by the conversion of forest and mosaic of forest into agricultural areas.

Complementarily, and in order to aid the identification of trends for the period, the variation for the two years was calculated, as shown in Table 2.

**Table 2 |** Variation of land use and land cover classes in Santa Catarina (2000 and 2010)

<b>Classes</b>	<b>Variation (%) 2000 - 2010</b>
Artificial area	12.09
Agriculture	131.10
Agriculture with forest remnants	-8.88
Silviculture	64.12
Forest	-9.05
Forest with agriculture	-13.83
Natural pasture	-16.48

*Source: The authors*

The variation shown in Table 1 indicates that the classes related to Agriculture and Silviculture increased by 131.1% and 64.1% respectively. Artificial Area also recorded growth, however, with little expression compared to the others. Natural Pasture area was observed to experience the greatest loss, -16.48%, followed by Forest with Agriculture (-13.83%), Forest (-9.05%) and Agriculture with Forest Remnants.

In view of the methodology adopted, it is possible to observe that for the period under study, an increase in agricultural and silviculture activities coupled with a loss of natural areas (not in the same proportion) is a strong trend, namely Forest and Natural Pasture.

The changes identified in the state of Santa Catarina corroborate the studies of DeFries et al. (2010), Silva et al. (2011), Silva et al. (2013) and Yoshikawa and Sanga-Ngoie (2011) in which these authors demonstrate that in the most different parts of the world there is a strong expansion of agricultural exploration area to the detriment of natural areas, whether through planted forests, grain cultivation or cattle raising activity, and these transitions/conversions occur to meet a high demand for agricultural products, mainly from the foreign market. The results are also in line with the findings of the IFFSC project, where Vibrans et al. (2012) state that the advance of agropastoral use and forest plantations has been one of the major causes of the depletion of native forests in the state of Santa Catarina, both in terms of quantity and biodiversity.

## 4.2 IDENTIFICATION OF LAND USE AND LAND COVER CHANGE BY MEANS OF FACTOR ANALYSIS

The principal component factor analysis enabled the identification of 11 factors, the first three of which represented an explanation of 82.9% and 84.6% for the years 2000 and 2010 respectively. Table 3 shows the indicators with the highest relational component in each factor (bold).

**Table 3 |** Highlighted indicators with high explanatory component (2000 and 2010)

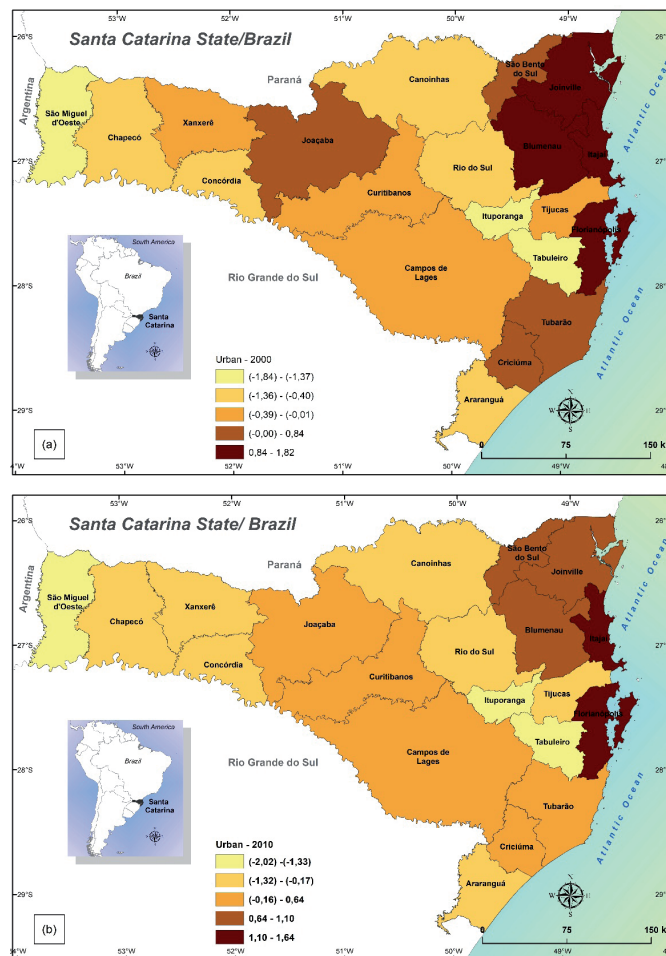
Dimension	Indicator	2000		
		Factor1	Factor2	Factor3
		Urban	Animal production and agriculture	Silviculture
Pop. and socioeconomic develop.	Artificial area (%)	<b>0,797</b>	-0,104	0,404
	HDI	<b>0,741</b>	0,203	<b>0,529</b>
	Urban population (%)	<b>0,947</b>	-0,005	-0,159
Silviculture /Forest	Forest (%)	<b>0,604</b>	<b>-0,563</b>	<b>0,435</b>
	Silviculture (%)	0,000	-0,090	<b>-0,926</b>
Animal Production	Herd size	-0,067	<b>0,867</b>	0,167
	Animal production value (%)	0,072	<b>0,851</b>	0,337
Agriculture	Agriculture (%)	<b>-0,694</b>	<b>0,586</b>	0,058
	Tractors/100 rural workers	0,065	<b>-0,735</b>	0,202
	Density of agricultural establishment	<b>-0,567</b>	<b>0,520</b>	<b>0,470</b>
	Rural workers (%)	<b>-0,960</b>	0,080	0,073
Dimensin	Indicator	2010		
		Factor1	Factor2	Factor3
		Urban	Animal production and agriculture	Silviculture
Pop. and socioeconomic develop.	Artificial area (%)	<b>0,715</b>	-0,111	<b>0,538</b>
	HDI	<b>0,524</b>	0,211	<b>0,710</b>
	Urban population (%)	<b>0,969</b>	-0,001	0,006
Silviculture /Forest	Forest (%)	0,470	<b>-0,601</b>	<b>0,556</b>
	Silviculture (%)	0,130	-0,084	<b>-0,921</b>
Animal Production	Herd size	0,010	<b>0,906</b>	0,110
	Animal production value (%)	-0,070	<b>0,904</b>	0,167
Agriculture	Agriculture (%)	<b>-0,646</b>	<b>0,633</b>	0,055
	Tractors/100 rural workers	-0,031	<b>-0,828</b>	0,137
	Density of agricultural establishment	<b>-0,543</b>	<b>0,633</b>	0,402
	Rural workers (%)	<b>-0,946</b>	0,056	-0,064

Source: The authors

Thus, based on the factor loadings of each factor, some inferences may be drawn as to the extraction of these factors. Factor 1, designated as Urban, refers to the indicators mainly from the dimension entitled “Population and Socioeconomic Development” (Artificial Area, Urban Population and Human Development Index), and also reveals a strong correlation with Forest Area. This points to a predominance of urbanization over agricultural activities, leaving the remaining forest area. Factor 2 relates Herd Size, Animal Production Value and Density of Agricultural Establishment indicators, referring to Animal Production and Agricultural activities. Factor 3, which has the lowest explanatory percentage of the three, relates the indicator to Silviculture (the highest negative), which emerges as an activity.

Based on the factor analysis by microregions (scoring matrix), as illustrated in Figures 3a and 3b, it may be observed that in relation to the Urbanization Factor, in 2000, the microregions of Florianópolis, Itajaí, Joinville and Blumenau emerge as the major urban centres of the state, presenting the highest scores for Urbanization (Factor 1) in that year. This, in fact, was an expected finding since the largest urban concentration in the state of Santa Catarina is located along its coastal strip.

Moreover, according to the demographic census 2000 of the IBGE, compared to other microregions in the state, on average, over 86% of the inhabitants of these microregions live in urban areas and also present the highest human development indexes - HDI, with average values above 0.75, above the national average of 0.699 (PNUD, 2013). In 2010, Blumenau and Joinville presented less representation, which may be justified by a reduction of their scores in this factor and, in general, the urbanization factor for the year 2010 was weaker compared to the year 2000, denoted by a reduction in the correlation of its indicators.

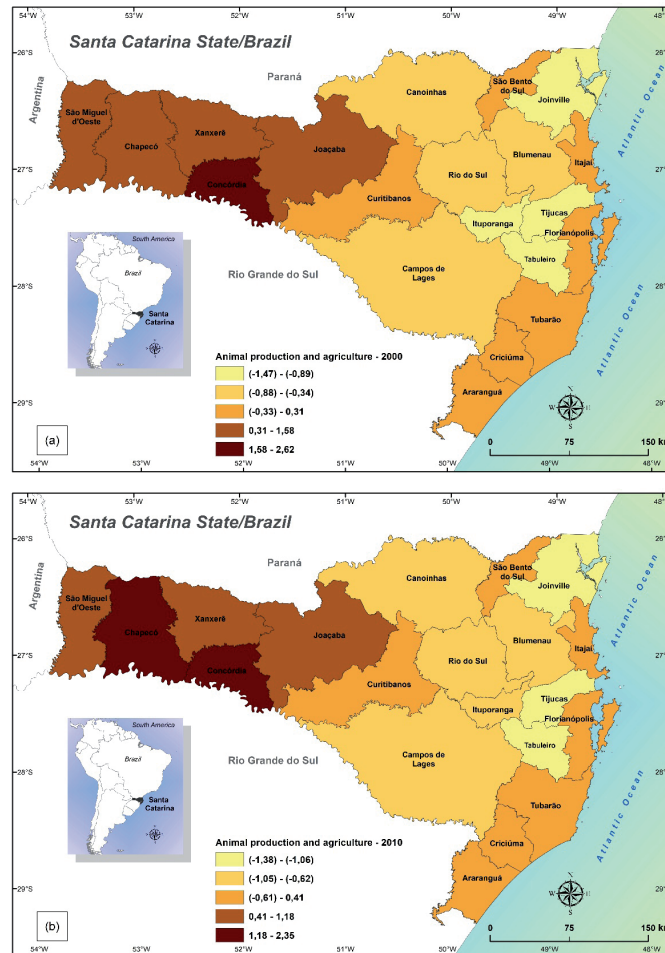


**Figure 3a |** Microregions of Santa Catarina - Factor 1: Urban - 2000 and **Figure 3b |** Microregions of Santa Catarina - Factor 1: Urban – 2010.

Source: The authors.



In relation to Factor 2 - Animal Production and Agriculture (Figures 4a and 4b), the dynamic was the opposite of the Urban Factor. A considerable increase in the explanatory factor of the variables of this factor for the year 2010 is observed, and in 2000, a high correlation is already observable. In 2000, the microregion with the highest score is Concórdia. However, in 2010, the microregion of Chapecó joins Concórdia in this regard. This dynamic may be attributed to the high growth of animal production in Chapecó, for which herd size for the period shows a positive variation of approximately 72%, according to data from the Municipal Cattle Raising Survey, IBGE.



**Figure 4a | Microregions of Santa Catarina - Factor 2: Animal Production and Agriculture - 2000**  
**Figure 4b | Microregions of Santa Catarina - Factor 2: Animal Production and Agriculture – 2010.**

Source: The authors.

As for Factor 3, which generally presents the lowest loadings, the correlation with the Area with Silviculture variable should be noted, thus its designation as Silviculture. In 2000, the microregions of São Bento do Sul, Canoinhas, Joaçaba, Curitibanos and Campos de Lages have the highest scores in this factor and in 2010, the Curitibanos and Campos de Lages microregions continue this trend. Such dynamics may be associated with the fact that in 2010, the urban HDI and artificial area indicator had a greater correlation with this factor compared to 2000. Additionally, based on the mapping of land use and land cover (2000 and 2010) developed by the IBGE, the variation rate calculated for the Silviculture area for the period was 177% in Campos de Lages and 60% in Curitibanos, substantially higher compared to the other microregions previously associated with this group.



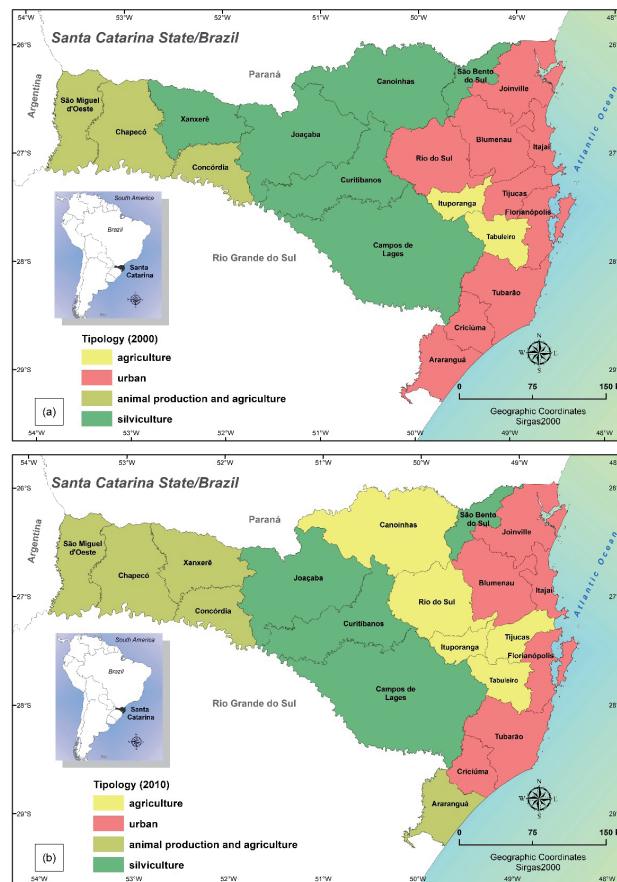
### 4.3 FINAL TYPOLOGY

In order to present a final typology of synthesis, a cluster analysis was carried out, which identified homogeneous groupings of the microregions, considering the 3 factors extracted from the factor analysis: Urban, Animal Production and Agriculture, and Silviculture.

The group referred to as Agriculture is characterized by microregions with a higher concentration of rural workers and number of tractors, in addition to the extension of agricultural area. The Urban Group is related to Factor 1 and is composed of microregions with the largest extensions of urban area, urban population and the highest development index - HDI. The Silviculture Group, related to Factor 3, groups together the microregions with the largest area of silviculture combined with a lower density of agricultural establishments, which refers back to a land structure characterized by medium and large properties, as opposed to a predominant land structure of small properties in the state.

According to the Agricultural Census 2006 (IBGE), the average area of agricultural establishments in this group is 54.02 ha, while the average in the state is 31.3 hectares. As far as the microregions involved in the Animal Production and Agriculture group are concerned, some display a higher percentage of agricultural area in the state (an average above 75%), smaller agricultural establishments (average 19 ha) and larger herd size and value of animal production. Compared to the other microregions, the herd size in this group stands above 5100 head/km<sup>2</sup>, twice as high as the state average of 2358 head/km<sup>2</sup>), according to data from the Municipal Cattle Raising Survey – IBGE.

Figures 5a and 5b illustrate respectively the Typology of Land Use/Cover and Economic Activity, considering the Microregions of Santa Catarina for the years 2000 and 2010.



**Figure 5a** | Typology of Land Use/Cover and Economic Activity by microregion – year 2000 and **Figure 5b** | Typology of Land Use/Cover and Economic Activity by microregion – year 2010.

Source: The authors.

As for the dynamics observed in the state for the period from 2000 to 2010, some inferences can be drawn, namely the overall expansion and intensification of agriculture, animal production and silviculture. In 2000, the Silviculture group emerged as a more heterogeneous group in activities while in 2010 Silviculture is observed as an activity in its own right.

Some microregions were associated with other groups, such as Xanxerê, which in 2010 was part of the "Animal Production and Agriculture" group, as a result of increased mechanization by the number of tractors indicator and by an increase in herd size of more than 41%, namely bovine, swine and poultry. Canoinhas, on the other hand, became part of the Agriculture group, the conditioning factors being the expansion of agricultural area and increased number of tractors by rural workers. São Bento do Sul, Joaçaba, Curitiba and Campos de Lages gain strength in the Silviculture group, due to the indicated area of Silviculture, for which the group presented a positive variation rate of 85%. Of the microregions making up the Urban group, in 2010, Araranguá became part of the Animal Production and Agriculture group, due to a significant increase in herd size, especially among the poultry population, with a growth of 170%, according to the Municipal Cattle Raising Survey - IBGE. Tijucas and Rio do Sul are grouped in the Agriculture category by the number of tractors indicator, which displayed an average growth of 71%, pointing to higher levels of mechanization of agricultural activity.

## 5 FINAL CONSIDERATIONS

The methodology developed in this study allows for significant considerations regarding the analysis of the dynamics of land use and landcover of Santa Catarina from 2000 to 2010, considering the 20 microregions of the state.

From the perspective of the 4 dimensions, namely Population and Socioeconomic Development, Silviculture, Animal Production and Agriculture, it is evident that agriculture, cattle raising and silviculture activities are distributed across the inland area, while the highest concentration of Urban and Native Forest are concentrated in the coastal microregions. The higher conservation levels of Forest Vegetation in this region may also be explained by a natural block, since the mountains of eastern Santa Catarina (Serra do Mar and Serra Geral) extend in the North - South direction of the State, from Joinville to Laguna

An increase from 2000 to 2010 was identified of agricultural activity of 131.1% and 64.1% for silviculture, mainly driven by the expansion of the area occupied by agriculture and silviculture, as well as high mechanization, shown by the number of tractors indicator. To the detriment of an increase in these economic activities, Forest Vegetation presented an area loss of approximately 20% (Forest and Mosaic of Forest and Agriculture). This dynamic points to two patterns of land use and cover transitions in Santa Catarina for the period under analysis, namely the agricultural intensification category and the natural-agricultural conversion category.

The findings corroborate the studies of the Floristic and Forest Inventory of Santa Catarina - IFFSC, which point to the expansion of agricultural activities and silviculture as the cause of forest loss, and also refer to the variables related to herd size, number of tractors and area occupied with the activity as being highly correlated in the land use and land cover dynamics for the period under study.

Thus, in response to the initial research question of this paper, it may be said that a considerable increase in the importance of primary market activity throughout the state (agricultural and silviculture sector) may be observed, with a direct relationship to land use and land cover changes. In the case of the coastal area, there is pressure from agriculture and loss of native vegetation; inland, urban development coexists with the growth of primary market activity (agriculture, animal production and silviculture)

The state of Santa Catarina is associated with this scenario as it reasserts itself in the agribusiness sector and international market, where constant Gross Value of Production (GVP) growth may be

observed for state agriculture, particularly the value of swine and chicken production. Additionally agribusiness was seen to increase its share of the state's total exports in 2019 to 68.3%, the main products being chicken, wood and wood products, pork, soy, tobacco, paper and cellulose and wooden furniture (EPAGRI/CEPA, 2019).

This evolution points to the need for measures to protect and regulate occupation and use, particularly in environmental terms, in order to frame economic, social and environmental development.

## REFERENCES

- ABRANTES, P. et al. Compliance of land cover changes with municipal land use planning: evidence from the Lisbon metropolitan region (1990-2007). **Land Use Policy**, v. 51, p 120-134, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.10.023>
- AQUINO, J. G. P. **Dimensões, características e desafios das cadeias agropecuárias do estado de Santa Catarina**. 93 p. 2016. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- ASNER, G. P. et al. Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 3, 033543, 2009, <https://doi.org/10.1117/1.3223675>.
- DEFRIES, R. et al. Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. **Nature Geoscience**, v. 3, p.178-181. 2010, <https://doi.org/10.1038/ngeo756>.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA/CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA. EPAGRI/CEPA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina**, 197p. Florianópolis, 2019. Disponível em: <<https://cepa.epagri.sc.gov.br/index.php/publicacoes/>>. Acesso em: 09 nov. 2020.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Planning for sustainable use of land resources**. FAO land and water bulletin 2. 67p. 1995. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 02 de abril de 2018.
- GEIST, H. et al. Causes and Trajectories of Land-Use/Cover Change. In: LAMBIN, E. F.; GEIST, H. (Ed.). **Land Use and Land Cover Change**, p. 41-70, 2006. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7\\_3](https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7_3)
- GEOAMBIENTE Sensoriamento Remoto Ltda. Projeto de Proteção da Mata Atlântica em Santa Catarina – PPMA/ SC. **Relatório Técnico do Mapeamento Temático Geral do Estado de Santa Catarina**. São José dos Campos, SP. Agosto de 2008, 90p.
- HERSPERGER, A. M.; BÜRGI, M. Going beyond landscape change description: quantifying the importance of driving forces of landscape change in a Central Europe case study. **Land Use Policy**, v. 26, n. 3, p.640-648, 2009.
- HERSPERGER, A. M. et al. Linking Land Change with Driving Forces and Actors: four conceptual models. **Ecology and Society**, v. 15, n. 4, 2010.
- HOUGHTON, R. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T. The U.S. Carbon Budget: contributions from land-use change. **Science**, v. 285, p. 5.427, p. 574-578, 1999.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mudanças na Cobertura e Uso da Terra do Brasil 2000-2010-2012-2014**, 29p. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 mar. 2018.
- LAMBIN, E. F.; GEIST, H.; RINDFUSS, R. R. Introduction: Local Processes with Global Impacts. In: LAMBIN, E. F.; GEIST, H. (Ed.), **Land Use and Land Cover Change**, p. 1-8, 2006. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7\\_3](https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7_3)
- LIPP-NISSINEN, K. H. et al. Temporal dynamics of land use and cover in Paurá Lagoon region, Middle Coast of Rio Grande do Sul (RS), Brazil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, p. 25-39, 2018, <https://doi.org/10.5894/rgci-n106>.

PADILHA, D. G. **Modelo de apoio à decisão aplicado ao planejamento territorial de silvicultura baseado em análise multicritério de redes neurais artificiais**. 2014. 285 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. Índice de Desenvolvimento Humano – IDH. (2000 e 2010). 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

RIBEIRO, M.; VALE, M. J.; REIS, R. Identificação das Principais Forças Motrizes: abordagem quantitativa. In: DGT (Ed.). **Uso e Ocupação do Solo em Portugal Continental: avaliação e cenários futuros**. Projeto Landyn, 2014. (p. 87-96). Lisboa: DGT.

ROCHA, J. **Sistemas Complexos, Modelação e Geosimulação da Evolução de Padrões de Uso e Ocupação do Solo**. 2012. 954 p. Tese de Doutoramento em Geografia, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa.

RODRIGUES, L. P.; LEITE, E. F. Dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Aquidauana, MS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** Santos, SP. p. 6817-6825, 2017. Disponível em: <<https://proceedings.galoa.com.br/sbsr?lang=en>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

SANTA CATARINA. Secretaria de Agricultura, da Pesca e do Desenvolvimento Rural. Resolução nº. 20, de 14 de agosto de 2014. Institui o Comitê Estadual de Gestão Florestal – CG Florestal. Data da resolução: 14/08/2014. **Diário Oficial**, n. 19.882, de 19 de agosto de 2014.

SANTA CATARINA. Secretaria da Agricultura, da Pesca e do Desenvolvimento Rural. Projeto Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina. **Relatório do Projeto Piloto**. Florianópolis, 2005. 170p.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Coletânea de Informações Socioeconômicas de Santa Catarina**. 2014. Documento elaborado para o Planejamento Plurianual do Sebrae/SC. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

SILVA, E. A. et al. Dinâmica do uso e cobertura da terra do município de Floresta, PE. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 4, p. 611-620, 2013. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/27931/21732>>. Acesso em: 04 jul. 2018.

SILVA, J. S. V. et al. Evolution of deforestation in the Brazilian pantanal and surroundings in the timeframe 1976 – 2008. **Geografia**, Rio Claro, v. 36, número especial, p. 35-55, 2011.

SOUZA, J. M.; COSTA, E. M. Dinâmica do uso e cobertura da terra nas microrregiões do estado de Santa Catarina, Brasil. Uma análise entre 2000 e 2010. In: XVI COLÓQUIO IBÉRICO DE GEOGRAFIA, 2018, Lisboa, Portugal. **Atas...** Lisboa: Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, 2018. p. 877-884. DOI: 10.33787/CEG20190003

TURNER II, B. L. et al. **Land use and land cover change** (LUCC). Science/Research Plan. IGBP and HDP, 133p. 1995. Disponível em: <<http://lcluc.umd.edu/>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

VALE, M. J.; REIS, R.; MENESES, B. M. A caracterização do uso e ocupação do solo de Portugal Continental. In: DGT (Ed.). **Uso e Ocupação do Solo em Portugal Continental: avaliação e cenários futuros**, p. 9-14. Projeto Landyn, 2014. Lisboa: DGT.

VERBURG, P. H. et al. Land use change modelling: current practice and research priorities. **GeoJournal**. Issue 4, v. 61: p. 309-324, 2004. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10708-004-4946-y>>. Acesso em: 24 jan. 2019.

VIBRANS, A. C. et al. **Diversidade e conservação dos remanescentes florestais**. Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, v. 1. Blumenau, 2012.

YOSHIKAWA, S.; SANGA-NGOIE, K. Deforestation dynamics in Mato Grosso in the southern Brazilian Amazon using GIS and NOAA/AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 2, p. 523-544, 2011. <https://doi.org/10.1080/01431160903475225>

# Metodologia de análise das dinâmicas do uso e cobertura da terra: o caso do estado de Santa Catarina- Brasil entre 2000 e 2010

*Methodological proposal to analyze land use and land cover changes: the case of Santa Catarina state in Brazil from 2000 to 2010*

Juliana Mio de Souza<sup>a</sup>

Eduarda Marques da Costa<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Doutorado em Geografia, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Assistente de Pesquisa da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
End. Eletrônico: julianasouza@epagri.sc.gov.br

<sup>b</sup> Doutora em Geografia, Especialista em Planejamento Regional e Urbano, Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal  
End. Eletrônico: eduarda.costa@campus.ul.pt

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.32395

Received: 05/07/2020  
Accepted: 16/11/2020

ARTICLE – VARIA

## RESUMO

Este artigo objetiva verificar a dinâmica do uso e cobertura da terra e relacioná-la com potenciais forças motrizes dessa dinâmica no estado de Santa Catarina, Brasil, para o período de 2000 a 2010. A metodologia consiste na identificação de tendências na dinâmica de uso e cobertura da terra; apontar possíveis fatores explicativos com base na análise fatorial por componentes principais e na elaboração de uma tipologia final, baseada na análise de *clusters*. Como resultados, nota-se uma forte expansão e fortalecimento da atividade agropecuária e da silvicultura pelo estado, e perda da vegetação nativa, o que aponta para a necessidade de desenvolver medidas de proteção e de regulamentação da cobertura e uso da terra nomeadamente na vertente ambiental, enquadrando o desenvolvimento de uma atividade agropecuária intensiva e mecanizada.

**Palavras-chave:** Uso e cobertura da terra. Análise fatorial de componentes principais. Forças motrizes. Ordenamento do território.

## ABSTRACT

*The objective of this paper is to verify the land use and land cover change and to relate them with the potential driving forces that have been acting in the state of Santa Catarina, Brazil, during the period from 2000 to 2010. The methodology consists in identifying trends in the land use and land cover change; indicating possible explanatory factors based in factorial analysis for main components and elaborating a final typology, based on cluster analysis. Results include a strong expansion and growing strength of agricultural activity as well as forestry throughout the state and the loss of native vegetation, which points*



to the need to develop protective actions and occupation and land use regulations, in particular, in the environmental area, encompassing the development of an intensive and mechanized agricultural activity.

Keywords: LUC. Principal component factorial analysis. Driving forces. Spatial planning.

## 1 INTRODUÇÃO

As dinâmicas de uso e cobertura da terra envolvem um conjunto de interações entre processos socioeconômicos e biofísicos, caracterizando-se por grande complexidade, o que exige uma abordagem sistêmica, na qual a identificação e compreensão das causas e efeitos das mudanças dependem do contexto histórico, social e geográfico nos quais estão inseridas (LAMBIN; GEIST; RINDFUSS, 2006).

Segundo Houghton, Hackler e Lawrence (1999), as dinâmicas territoriais refletem o impacto das atividades humanas no ambiente global e, segundo Lambin, Geist e Rindfuss (2006), independentemente dos impactos das mudanças serem positivos ou negativos, na atualidade, a maioria deles está associada à expansão da produção de alimentos, à eficiência da exploração de recursos e ao bem-estar humano, ou seja, são mudanças impulsionadas de forma a satisfazer as necessidades de indivíduos ou da sociedade.

A literatura destaca que as forças motrizes, os atores e o uso do solo são três fatores fundamentais na dinâmica territorial (HERSPERGER et al., 2010). São usualmente chamadas de forças motrizes (*driving forces*) um conjunto de variáveis que, segundo Hersperger e Bürgi (2009), pode ser subdividido em cinco categorias: política, socioeconômica, cultural, tecnológica e natural/espacial.

A análise das transformações do uso e cobertura da terra destaca-se como um tema de grande importância na atualidade, uma vez que diferentes sistemas, como os ambientais, ecológicos e socioeconômicos, são diretamente influenciados por essa dinâmica, e o conhecimento acerca desses processos e de seus impactos são imprescindíveis em diversos domínios, como monitoramento ambiental, ordenamento e planejamento territorial, em nível político e econômico, entre outros (VALE; REIS; MENESES, 2014).

Em diferentes países, como o Brasil, a dinâmica de ocupação do território vem sofrendo grandes transformações, quer pela tendência de urbanização, quer pelo crescimento que ocorre no setor primário. E é nesse contexto que se revela a importância do desenvolvimento de metodologias de análise desses fenômenos, bem como a análise de seus impactos, como forma de apoiar a elaboração e avaliação de políticas públicas.

Em Santa Catarina, de acordo com o Projeto IFFSC, o estado possui 29% de cobertura florestal e aponta para um empobrecimento dos remanescentes florestais, ameaças à biodiversidade vegetal, a continuada degradação das florestas por intervenções humanas equivocadas e as constantes mudanças de uso do solo, com o avanço do uso agropastoril e de plantações florestais, como evidência da ineficiência das ações do Estado até agora desenvolvidas para a proteção das florestas (VIBRANS et al., 2012, p. 334). Diante dessa realidade apresentada, o Governo de Santa Catarina em 2014 (SECRETARIA DA AGRICULTURA, DA PESCA E DO DESENVOLVIMENTO RURAL DE SANTA CATARINA, 2014) criou o Comitê de Gestão Florestal – CGFlorestal, no qual estabelece ser esse o espaço para discussão e formulação de políticas para a cadeia produtiva florestal, com equilíbrio entre os interesses social, econômico e ambiental.

Assim, diante do cenário apresentado pelo Projeto IFFSC, e de forma a contribuir para as discussões no âmbito do ordenamento territorial no estado é que se baseia a formulação da questão de partida proposta neste trabalho. Pergunta-se: Há uma tendência de crescimento da atividade agropecuária e da silvicultura nas microrregiões catarinenses? E esse crescimento sobrepõe-se à tendência de urbanização? Para responder a essa questão, este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta metodológica, baseada em técnicas da análise multivariada de dados, de forma a definir uma tipologia

das transformações de uso e cobertura da terra e verificar em que medida essa dinâmica acompanha as transformações socioeconômicas, verificando sua expressão espacial no estado de Santa Catarina para o período de 2000 a 2010. Para tanto, os objetivos específicos são: realizar uma análise de fluxo entre as classes de uso e cobertura da terra no estado para o período de análise, de forma a identificar tendências de transformações e tipologias das relações das dinâmicas do uso e cobertura da terra e os fatores socioeconômicos.

## 2 ESTADO DA ARTE

As informações sobre a dinâmica das formas de ocupação da terra (e sobretudo as de base geográfica, ou seja, aquelas que são suportadas pelas tecnologias de informação geográfica) são um importante subsídio aos gestores públicos envolvidos na elaboração e implementação de políticas de planejamento ambiental e ordenamento territorial. Isso porque dá a conhecer “onde” as transformações têm ocorrido; “quanto” em termos de unidade de medida, um determinado uso era e passou a ser, quer em valores absolutos, quer em valores relativos; “como” as transformações ocorrem em termos de passar de um uso para outro(s), assim como também em termos de distribuição espacial. Segundo Verburg et al. (2004, p.147), os modelos de análise de transformações do uso/cobertura da terra são ferramentas para apoiar a avaliação das causas e consequências dessa dinâmica, e a análise de cenários com modelos de uso/cobertura da terra pode apoiar o planejamento e a política sobre o território.

Nesse contexto, o impacto do processo de transição do uso e cobertura da terra vem sendo largamente estudado conforme verificado pela extensa literatura publicada nos últimos dez anos. Verificam-se diferentes propostas metodológicas, fundamentadas sobretudo em análises estatísticas (tanto em uma abordagem linear, e mais recentemente, métodos de análise não lineares) apoiadas por Tecnologias da Informação Geográfica (TIG), como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e técnicas de Sensoriamento Remoto (SR).

DeFries et al. (2010) avaliam a correlação econômica, agrícola e demográficas com a perda de floresta em florestas tropicais de 41 países (Ásia, África e América Latina) para o período de 2000 a 2005, utilizando um conjunto de possíveis indicadores dessa transformação e como métodos fazem uso da regressão linear múltipla, árvore de regressão e tabulação cruzada. Como resultados, apontam o crescimento da população urbana e exportação de produtos agrícolas como forças motrizes na perda de floresta tropical. Souza e Costa (2018) apresentam uma metodologia de análise das transformações do uso e cobertura da terra baseada em análise multivariada de dados, para o estado de Santa Catarina, Brasil, para o período de 2000 a 2010. Identificam crescimento expressivo da atividade agropecuária e da silvicultura no estado, e perda de áreas de Vegetação Florestal relacionada à expansão de área de cultivo, mecanização da atividade e crescimento do efetivo de rebanho. Yoshikawa e Sanga-Ngoie (2011) abordam o desmatamento no estado do Mato Grosso do Sul, no Brasil, avaliando uma série histórica de 1981 a 2011, com o objetivo de quantificar a área de vegetação que mudou, para quais usos e quais as causas das mudanças, com especial enfoque na relação entre atividades agropastoris e rede viária.

Utilizaram Modelos Digitais de Vegetação (*DVM Maps*); mapas de vias; hidrografia; parques e áreas indígenas; dados anuais de cabeças de gado (1974 para 2006) e áreas plantadas de soja (1990 a 2006). Baseados em técnicas de Tabulação Cruzada e Análise Espacial, apontam o desenvolvimento urbano e a produção de soja como forças indutoras do desmatamento no Mato Grosso do Sul. Silva et al. (2011) analisam a evolução do desmatamento do Pantanal brasileiro e seu entorno, no período de 32 anos (1976 a 2008), e traçam cenários para o período de 2010 a 2050, utilizando técnicas de classificação supervisionada de imagens de satélite e Taxa de Crescimento Médio Geométrico (2002-2008) para elaboração de cenários.

Os autores apontam forte tendência de conversão de áreas naturais em uso da terra (em monocultura – soja e outros grãos, cana-de-açúcar, pastagem e expansão urbana), e os cenários indicam que a

vegetação natural na região desaparecerá até 2050. Os trabalhos apresentam diferentes métodos para analisar a dinâmica do desmatamento nos diferentes territórios e se constituem como metodologias relevantes com o objetivo de buscar identificar e relacionar forças motrizes desse fenômeno, e em comum os trabalhos apontam como resultado uma tendência de conversão de áreas naturais (florestas) em uso da terra oriunda de atividades agropastoris e da expansão urbana, causada por uma demanda de mercado, tanto pelo aumento das exportações pelo Brasil de produtos de base agropecuária (como grãos e carnes) e de produtos da silvicultura, bem como para atendimento do mercado interno, denotado por um crescimento populacional.

Asner et al. (2009) apresentam um ambiente de análise integrado (ClasLite) para apoiar o mapeamento de grandes áreas de florestas tropicais mediante o uso de uma variedade de sensores de satélite. Aplicam-se diferentes tratamentos nas imagens por meio dos quais conseguem fornecer estimativas de cobertura florestal, degradação florestal e de desmatamento.

Como estudo de caso, utilizam o Brasil (*hotspot* conhecido para extração de madeira) e Peru (Bioma Amazônia) para um período de 1999 a 2002. Lipp-Nissinen et al. (2018) para analisar as alterações e seus fatores influenciadores na dinâmica do uso do solo na região de estudo (litoral do Rio Grande do Sul), utilizaram técnicas de sensoriamento remoto e observação de campo para mapear, quantificar e comparar as classes de uso e cobertura da terra de quatro mapas temáticos temporários, referentes a um período de 26 anos (1985 – 2011), e apontam alterações relevantes da paisagem ao longo do período analisado, com destaque para a ocupação das Áreas de Preservação Permanente (APP) por *Pinus sp.* Silva et al. (2013) realizaram estudos da dinâmica de uso e ocupação do solo para identificação de fatores de pressão na área florestal utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto para mapeamento do uso e cobertura da terra no município de Floresta, Brasil, no período de 1987 a 2008.

Como resultado, apontam redução considerável da cobertura florestal em detrimento da expansão urbana e das atividades agropecuárias. Rodrigues e Leite (2017) analisam a dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Aquidauana, no estado do Mato Grosso do Sul, Brasil, a partir de imagens de satélites no período de 1970 a 2014. Identificam forte pressão antrópica, cujas principais dinâmicas denotam perda florestal em função da expansão das pastagens e de áreas urbanas. Os resultados apresentados por Asner et al. (2009), Lipp-Nissinen et al. (2018), Rodrigues e Leite (2017) e Silva et al. (2013) indicam como principais conversões nas áreas analisadas a conversão natural-agrícola e a urbanização.

As metodologias propostas oferecem insumos básicos necessários para os estudos de transformação de uso e cobertura da terra, com certa rapidez, alta temporalidade e com possibilidades de diferentes resoluções espaciais e nível de detalhamento. Com base na disponibilidade de inúmeros tipos de imagens de satélites e de recursos de classificação de imagens, pode-se alinhar a elaboração de produtos específicos de acordo com a necessidade exigida no estudo.

Abrantes et al. (2016) e Rocha (2012) analisam as transformações de uso do solo em um contexto periurbano e urbano, voltados à avaliação de políticas territoriais e à simulação de cenários, respectivamente. Rocha (2012) considera uma abordagem de base não linear para análise da evolução de padrões de uso e ocupação do solo. Tem como objetivo desenvolver um modelo para simular a dinâmica de crescimento urbano para o município de Almada em Portugal.

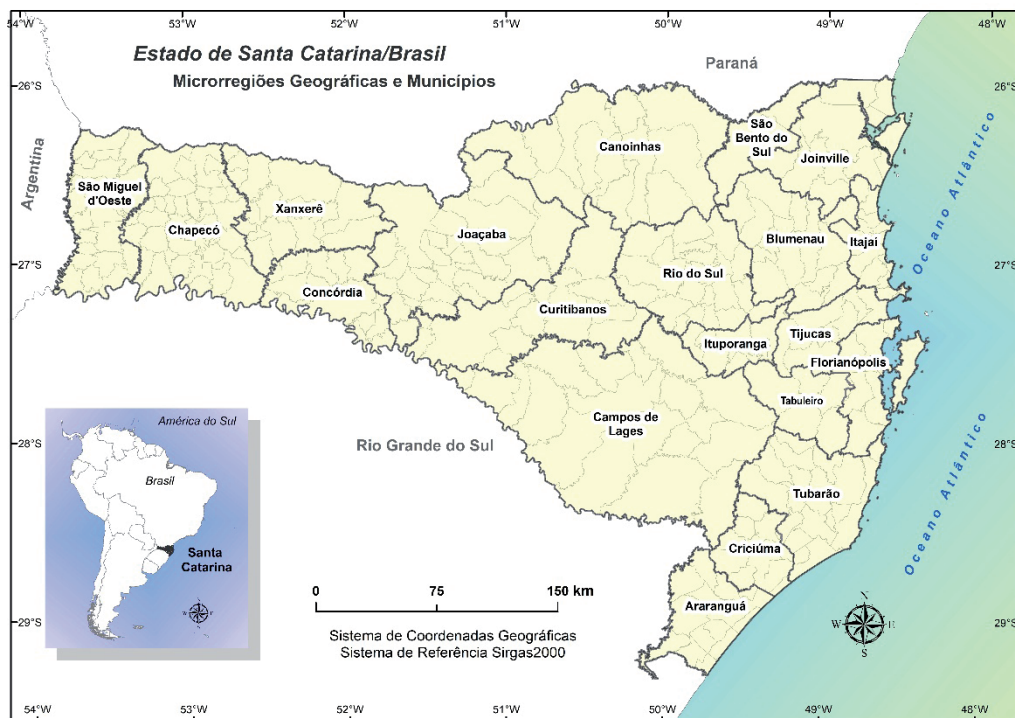
São utilizados dados de natureza urbana, ambiental e institucional (declives, densidade da rede viária, distância ao urbano, índice de atração, dinâmica construtiva, valoração do território, restrições legais e zoneamento) para um período de 1985 a 2008 e simulações que permitam construir cenários de evolução de uso do solo para 2001. Já diante de uma outra perspectiva, de avaliação, Abrantes et al. (2016) analisam as conformidades das mudanças do uso e cobertura da terra, sobretudo quanto à expansão urbana, com instrumentos de planejamento municipal para o município de Lisboa, Portugal.

O estudo é realizado para o período de 1990 a 2007 e integra a análise de tabulação cruzada, métricas espaciais e análise de gradiente. Compara os padrões de dinâmica identificados com os instrumentos que regulam o desenvolvimento da terra, e os resultados indicam áreas artificiais crescendo ao longo de um gradiente urbano-rural, a agricultura diminuindo e mais fragmentada em detrimento da ampliação de espaços periurbanos e alta conversão de terra agrícola e terras urbanas em áreas protegidas, evidenciando falta de conformidade entre os instrumentos regulatórios quanto ao uso da terra e a realidade.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado de Santa Catarina (Figura 1) está localizado na Região Sul do Brasil, possui população aproximada de 6,5 milhões de habitantes e área em torno de 95 mil km<sup>2</sup>. Faz divisa com os estados do Paraná (ao norte) e do Rio Grande do Sul (ao sul), fronteira a oeste com a Argentina e com uma costa oceânica no Atlântico de 450 km. Inteiramente ao sul do trópico de Capricórnio, localizado na zona temperada meridional do planeta, o estado possui clima subtropical e está inserido no Bioma Mata Atlântica. Sua capital e sede de governo é a cidade de Florianópolis, localizada na Ilha de Santa Catarina.



**Figura 1** | Mapa de localização do estado de Santa Catarina/Brasil, microrregiões geográficas e municípios.

Fonte: *Elaboração própria*

O estado tem como principais atividades econômicas a agricultura, pecuária, indústria transformadora, extrativismo e turismo. É o sexto estado mais rico da Federação, com uma economia diversificada e industrializada. Baseia-se na produção extrativista da erva-mate e da madeira, na produção agrícola e pastoril, possuindo também indústrias têxteis, metalúrgicas, de cerâmica, alimentícias e de material elétrico. Com apenas 13% do território nacional e 3% da população brasileira, Santa Catarina é hoje o quinto produtor de alimentos do Brasil.

Está entre os maiores produtores brasileiros de milho, mel, maçã, cebola, aves e suínos, é o maior produtor brasileiro de alho, e participa com 40% da produção nacional de fumo. Já a produção

catarinense de maçã corresponde a 60% da produção nacional, e a criação de frangos corresponde a 28% do Brasil. Conta também com intensiva atividade pesqueira, colocando o estado em primeiro lugar na produção de pescados e em terceiro lugar como produtor de crustáceos do País (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS, 2014).

O dinamismo da economia catarinense reflete-se nos elevados índices de crescimento, alfabetização, emprego e renda *per capita*, muito superiores à média nacional. Segundo dados publicados pelo Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, Santa Catarina posiciona-se dentro de uma faixa de desenvolvimento humano considerada alta pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – Pnud, onde de acordo com a publicação, em 2010, o estado alcançou um IDHM de 0,774, o terceiro maior do País, atrás somente do Distrito Federal e de São Paulo (PROGRAMA NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, 2013).

### 3.2 A INFORMAÇÃO USADA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados dados classificados como secundários, sendo todos eles de acesso público e disponíveis em diferentes bancos de dados *on-line*.

O estado de Santa Catarina é dividido em 20 microrregiões geográficas definidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com base no agrupamento de municípios com similaridades econômicas e sociais. O mapa utilizado é disponibilizado pela Secretaria de Estado do Planejamento de Santa Catarina, do ano de 2013, em formato vetorial, escala 1:500.000, Sistema de Referência SIRGAS 2000 e Sistema de Projeção UTM.

Considerando que Santa Catarina é um estado com a economia fortemente baseada na produção agrícola, pastoril e extrativista, foi levantado inicialmente um conjunto de variáveis que se apresentam como prováveis indicadores que descrevem as microrregiões quanto às suas características fundiária, de produção agrícola e pecuária, bem como suas características populacionais, de qualidade de vida e desenvolvimento econômico. Considerou-se também a disponibilidade dos dados para o período em análise. Dessa forma, foram selecionadas as seguintes variáveis: População Urbana, Índice de Desenvolvimento Humano, Número de Estabelecimentos Agropecuários, Pessoal Ocupado na Terra, Número de Tratores, Valor da Produção Animal e Efetivo de Rebanho. As bases de dados foram Censo Demográfico, Censo Agropecuário e Pesquisa Pecuária Municipal do Sistema IBGE de Recuperação Automática (Sidra)<sup>1</sup>, e Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil.

Os mapas de uso e cobertura da terra utilizados (anos 2000 e 2010) são resultados do Projeto Mudanças na Cobertura e Uso da Terra realizado e disponibilizado pelo IBGE. Encontram-se em formato vetorial, na escala 1:1.000.000, Sistema de Referência SIRGAS 2000 e Sistema de Projeção *Universal Transverse de Mercator* (UTM). No estado ocorrem 12 classes a saber: Área Artificial, Área Agrícola, Mosaico de Área Agrícola com Remanescentes Florestais, Silvicultura, Vegetação Florestal, Mosaico de Vegetação Florestal com Atividade Agrícola, Vegetação Campestre, Pastagem Natural, Mosaico de Agrícola com Remanescentes Campestres, Corpo d'Água Continental, Corpo d'Água Costeira e Áreas Descobertas.

1 | Sistema IBGE de Recuperação Automática – Sidra. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 02 mar. 2018.



Tabela 1 | Relação das bases de dados utilizadas

Dado	Formato	Escala	Ano	Fonte
Mapa de uso e cobertura da terra de Santa Catarina	vetorial	1:1000.000	2000 e 2010	IBGE
Mapa de microrregiões geográficas de Santa	vetorial	1:500.000	2013	SPG
Censo Demográfico	tabular	Microrregião	2000 e 2010	IBGE
Censo Agropecuário	tabular	Microrregião	1995/96 e 2006	IBGE
Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil	tabular	Microrregião	2000 e 2010	Pnud
PPM - Pesquisa Pecuária Municipal	tabular	Microrregião	2000 e 2010	Sidra/IBGE

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 1 apresenta a base de informação utilizada para atender ao objetivo definido neste trabalho, com indicação do formato, escala, ano e fonte. Para o ano de 2000, os dados considerados foram: Classes de uso e cobertura da terra – ano 2000; variáveis do Censo Demográfico 2000, Censo Agropecuário 1995/1996 – (IBGE, 1995), dados do Atlas do Desenvolvimento Humano 2000 e da Pesquisa Pecuária Municipal 2000. Para o ano de 2010, foram: Classes de uso e cobertura da terra – ano 2010; variáveis do Censo Demográfico 2010, Censo Agropecuário 2006, dados do Atlas do Desenvolvimento Humano 2010 e da Pesquisa Pecuária Municipal 2010.

### 3.3 METODOLOGIA

A metodologia desenvolveu-se em três etapas. A primeira consistiu em realizar, por meio da tabulação cruzada, uma análise de fluxo de classes de uso e cobertura da terra, com a finalidade de identificar e quantificar as principais transições de uso e cobertura desta; a segunda corresponde à escolha de indicadores representativos das mudanças identificadas anteriormente, relacionando-as com variáveis sociais e econômicas que procuram explicar a relação do uso e cobertura com a atividade socioeconômica a partir da análise fatorial por componentes principais; a terceira corresponde à elaboração de uma tipologia final, baseada na análise de *clusters*, identificando grupos homogêneos de microrregiões segundo as características e relações encontradas. Vejamos em detalhe.

A primeira etapa, ou seja, a Tabulação Cruzada, é considerada nesse trabalho uma fase inicial do estudo, sendo uma técnica utilizada de apoio na verificação de alterações entre as classes e como apoio na exploração das relações existentes. Assim, foi utilizada para quantificar as transições de áreas entre as classes de uso e cobertura da terra para o ano 2000 e 2010, identificando tendências de fluxo. Aliada a essa análise, foi calculada a taxa de variação das classes. Para tanto, utilizaram-se os mapas de uso e cobertura da terra em formato vetorial e ferramentas de análise espacial do SIG.

Na segunda etapa do trabalho, foi realizada a análise fatorial por componentes principais com o objetivo de descrever as mudanças da dinâmica do uso e cobertura da terra por microrregião no período de estudo e identificar alguns dos fatores que podem explicar as referidas mudanças (as forças motrizes). As análises fatoriais são uma técnica de Análise Multidimensional de Dados que estuda a relação entre o conjunto de variáveis iniciais (simultaneamente consideradas dependente e independente) e as variáveis secundárias (geralmente independentes entre si), geradas a partir do primeiro conjunto.

Anterior à análise fatorial pretendida, um tratamento preliminar dos dados precisou ser realizado para que as variáveis pudessem ser devidamente tratadas no *software* estatístico SPSS. As classes de uso

oriundas do mapa estadual de uso e cobertura da terra foram regionalizadas por microrregião, de forma a obter a área por uso e cobertura por microrregião; os dados socioeconômicos por vezes disponíveis por município foram agregados por microrregião. Ao final dessa sistematização dos dados por microrregião, as variáveis foram então relativizadas formando indicadores de forma que pudessem ser comparáveis.

Assim, como unidades de análise, foram usadas as 20 microrregiões do estado e 11 variáveis. Para ajudar a aferir a qualidade dos dados, foram calculados a Medida de *Kaiser-Meyer-Olkin* - KMO e o Teste de Esfericidade de *Bartlett*, onde o valor de KMO recomendado é acima de 0.5 e *Bartlett* menor que 0,05. O método de extração utilizado foi Análise de Componentes Principais, e o método de rotação *Varimax*.

Dessa forma, e de acordo com as tendências de mudanças identificadas na etapa anterior, as variáveis foram enquadradas nas seguintes dimensões de análise: Silvicultura/Floresta, Produção Animal e Agricultura. A essas três junta-se a quarta dimensão, a População e Desenvolvimento Socioeconômico, representativa das características urbanas e desenvolvimento social e econômico, composta por: área artificial (área de ocupação urbana, estruturada por edificações e sistema viário – %), o Índice de Desenvolvimento Humano – IDH (considera-se a expectativa de vida ao nascer, educação e renda *per capita*) e o percentual de população urbana. Na dimensão Silvicultura/Floresta foram escolhidas: áreas ocupadas por Vegetação Florestal (%) e por Silvicultura (%), como forma de medir sua evolução. Quanto à Dimensão Produção Animal, contam-se como indicadores: Efetivo de Rebanho e Valor da Produção Animal, escolha que se destina a aferir tanto a quantidade de animais quanto a valoração dessa atividade (considerou para tanto todos os tipos de rebanho: Bovino, Bubalino, Equino, Suíno – total, Caprino, Ovino, Galináceos – total, Codornas).

Por fim, para a dimensão Agricultura foram considerados: Área agrícola (% da área ocupada), Densidade de Estabelecimentos Agropecuários (como forma de aferir a estrutura fundiária), Trabalhadores Rurais (para observar sua evolução) e Número de Tratores para cada 100 trabalhadores rurais, indicadores escolhidos com o objetivo de verificar o desenvolvimento da atividade com base no nível de mecanização desta. Ressalta-se que a variável Área Agrícola se refere à soma das áreas ocupadas com Área Agrícola e Área Agrícola com Remanescentes Florestais, e Vegetação Florestal, à soma das áreas ocupadas com Vegetação Florestal e Vegetação Florestal com Área Agrícola.

A terceira e última etapa de análise refere-se à taxonomia numérica de forma a apresentar uma tipologia final de síntese. A taxonomia numérica (análise de *clusters*) refere-se às técnicas gerais de agrupamento ou de classificação de indivíduos, casos, elementos ou unidades de análise. Dizem-se numéricas porque a base do agrupamento ou classificação desses indivíduos ou unidades de análise se baseia nos valores numéricos que cada um apresenta em um ou vários indicadores. Para tanto, a metodologia de classificação utilizada foi a classificação hierárquica, com o método de agrupamento pelo vizinho mais distante e medida de distância euclidiana. Foi utilizado o método do dendograma, com corte na distância 15, obtendo quatro grupos homogêneos para os anos 2000 e 2010.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 IDENTIFICAÇÃO DE TENDÊNCIAS DE MUDANÇA DE USO E COBERTURA DA TERRA

O resultado da tabulação cruzada é apresentado em forma de tabela, a qual contém a distribuição das interseções entre as diversas classes e permite a análise numérica das mudanças ocorridas no período. Em Santa Catarina, como descrito anteriormente, ocorrem 12 classes, no entanto, para essa análise e apresentação do resultado, foram consideradas sete classes, excluindo aquelas que representam corpos-d'água (sem alteração), áreas descobertas e vegetação campestre (pouca representatividade). A Figura 2 ilustra as mudanças em km<sup>2</sup> entre as classes de uso e cobertura da terra para Santa Catarina, entre 2000 e 2010.

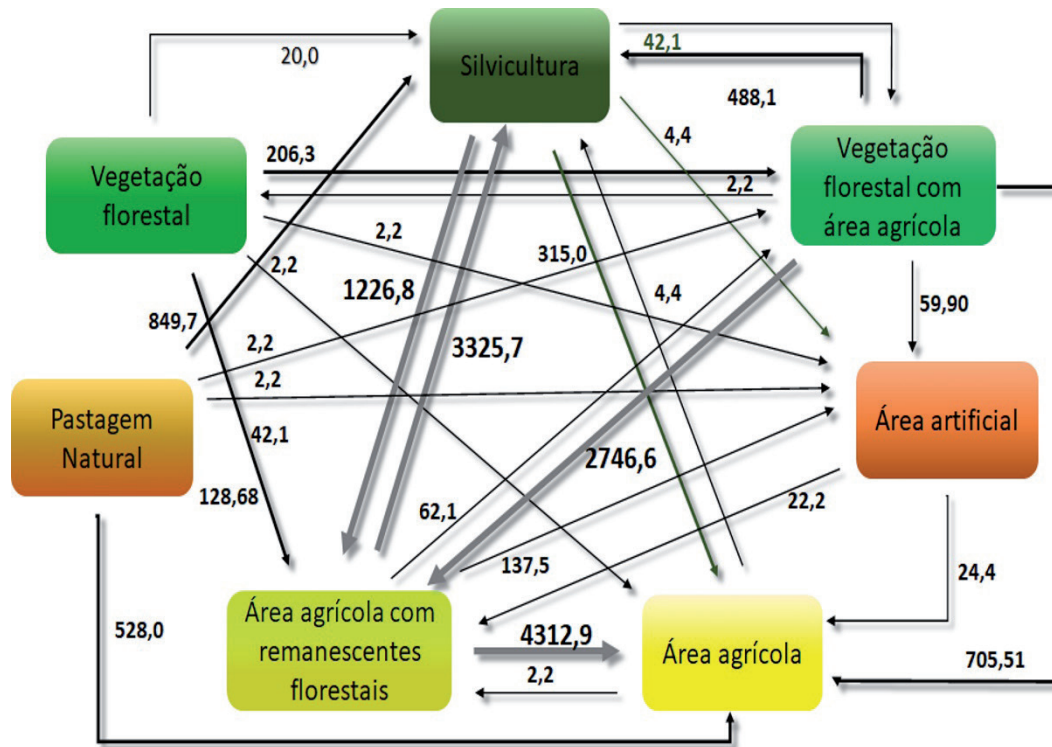


Figura 2 | Mudanças de uso e cobertura da terra 2000 a 2010 (km<sup>2</sup>).

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a Figura 2, nota-se que as transições de maior relevância para o período em análise foram de Mosaico de Área Agrícola com Remanescentes Florestais para Área Agrícola (4.312,94 km<sup>2</sup>) e Silvicultura (3.325,67 km<sup>2</sup>), de Mosaico de Vegetação Florestal com Atividade Agrícola para Área Agrícola com Remanescentes Florestais (2.746,62 km<sup>2</sup>) e de Silvicultura para Mosaico de Área Agrícola com Remanescentes Florestais (1.226,88 km<sup>2</sup>).

Vale destacar que, de acordo com a metodologia de mapeamento adotada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2016), as classes denominadas de Mosaico de Área Agrícola com Remanescentes Florestais e Mosaico de Vegetação Florestal com Atividade Agrícola são áreas que contenham mais de 50% e menos de 75% do polígono utilizado para agricultura e vegetação florestal, respectivamente, ou seja, há um predomínio de uma classe em detrimento da outra, como nesse caso, predomínio da área agrícola sobre área de floresta e ao contrário, predomínio da vegetação florestal sobre o uso agrícola.

Assim, importa dizer que a análise de transições de classe de uso e cobertura realizada para o período indica que uma classe antes considerada mosaico, podemos dizer mista, definiu-se predominantemente como Área Agrícola e como Silvicultura, como o caso da classe Mosaico de Área Agrícola com Remanescentes Florestais. Outra transição relevante se deu como uma inversão, como no caso da Mosaico de Vegetação Florestal com Atividade Agrícola para Área Agrícola com Remanescentes Florestais, isto é, ao longo do período passou a ser predominante o uso agrícola sobre a vegetação florestal e de menor ocorrência, também se destaca a área da Silvicultura, se apresentando com maior representatividade na área agrícola.

Conforme as principais categorias de transições de uso e cobertura da terra apresentadas por Geist et al. (2006) e Ribeiro, Vale e Reis (2014), em Santa Catarina, entre 2000 e 2010 duas foram as categorias de maior ocorrência: a da “intensificação agrícola” – onde acontece uma intensificação interna do uso do solo de áreas agrícolas (incluindo aqui, como atividade agrícola a floresta plantada para fins econômicos, como o caso da silvicultura), e outro processo, com menor intensidade, porém não menos

importante no contexto das principais dinâmicas, é a “conversão natural-agrícola”, preconizado pela conversão da vegetação florestal e mosaico florestal em área agrícola.

De forma complementar e de maneira a auxiliar na identificação de tendências para o período, foi calculada a variação para os dois anos, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2 |** Variação das classes de uso e cobertura da terra em Santa Catarina (2000 e 2010)

<b>Classes</b>	<b>Taxa de variação (%) 2000 - 2010</b>
Área Artificial	12,09
Área Agrícola	131,10
Área Agrícola com remanescentes florestais	-8,88
Silvicultura	64,12
Vegetação Florestal	-9,05
Vegetação florestal com área agrícola	-13,83
Pastagem Natural	-16,48

Fonte: Elaboração própria.

A variação apresentada na Tabela 2 indica que as classes relativas à Área Agrícola e Silvicultura apresentaram um incremento de 131,1% e 64,1% respectivamente. A Área Artificial também teve crescimento, no entanto, sem grande expressão comparado com o das outras. A área de Pastagem Natural apresentou a maior perda, -16,48%, seguida por Vegetação Florestal com área agrícola (-13,83%), Vegetação Florestal (-9,05%) e Área Agrícola com Remanescentes Florestais (-8,88%).

Diante da metodologia adotada, é possível perceber que, para o período em estudo, destaca-se como forte tendência o avanço das atividades agrícolas e da silvicultura e as perdas de áreas naturais (não em mesma proporção), nomeadamente Vegetação Florestal e Pastagem Natural.

As transformações identificadas no estado de Santa Catarina corroboram os estudos apresentados em DeFries et al. (2010), Silva et al. (2011), Silva et al. (2013) e Yoshikawa e Sanga-Ngoie (2011) que demonstram que há, nas mais diferentes partes do mundo, uma forte expansão de área de exploração agrícola em detrimento de áreas naturais, seja por florestas plantadas, por cultivo de grãos e da atividade pecuária, estando essas transições/conversões ocorrendo de forma a atender a uma alta demanda, principalmente do mercado externo, por produtos agropecuários. Os resultados também vão ao encontro das constatações apresentadas pelo projeto IFFSC, em que Vibrans et al. (2012) afirmam que o avanço do uso agropastoril e de plantações florestais vem sendo causa de empobrecimento das florestas nativas no estado de Santa Catarina, tanto em termos quantitativos quanto em biodiversidade.

## 4.2 IDENTIFICAÇÃO DE PROCESSOS DE MUDANÇA DE USO E COBERTURA DA TERRA USANDO ANÁLISE FATORIAL

A análise fatorial por componentes principais permitiu identificar 11 fatores, sendo que os três primeiros representam na sua totalidade 82,9% e 84,6% de explicação para os anos 2000 e 2010 respectivamente. A Tabela 3 apresenta os indicadores que assumem maior componente relacional em cada fator (negrito).



Tabela 3 | Indicadores em destaque com elevada componente explicativa (2000 e 2010).

Dimensão	Indicador	2000		
		Fator1	Fator2	Fator3
		Urbano	Produção animal e agricultura	Silvicultura
Pop. e Desenv. Socioeconômico	Área artificial (%)	<b>0,797</b>	-0,104	0,404
	IDH	<b>0,741</b>	0,203	<b>0,529</b>
	População urbana (%)	<b>0,947</b>	-0,005	-0,159
Silvicultura /Floresta	Vegetação florestal (%)	<b>0,604</b>	<b>-0,563</b>	<b>0,435</b>
	Silvicultura (%)	0,000	-0,090	<b>-0,926</b>
Produção Animal	Efetivo de rebanho	-0,067	<b>0,867</b>	0,167
	Valor da produção animal (%)	0,072	<b>0,851</b>	0,337
Agricultura	Área agrícola (%)	<b>-0,694</b>	<b>0,586</b>	0,058
	Tratores/100 trab. rurais	0,065	<b>-0,735</b>	0,202
	Densidade de estabelecimentos agropecuários	<b>-0,567</b>	<b>0,520</b>	<b>0,470</b>
	Trabalhadores rurais (%)	<b>-0,960</b>	0,080	0,073
Dimensão	Indicador	2010		
		Fator1	Fator2	Fator3
		Urbano	Produção animal e agricultura	Silvicultura
Pop. e Desenv. Socioeconômico	Área artificial (%)	<b>0,715</b>	-0,111	<b>0,538</b>
	IDH	<b>0,524</b>	0,211	<b>0,710</b>
	População urbana (%)	<b>0,969</b>	-0,001	0,006
Silvicultura /Floresta	Vegetação florestal (%)	0,470	<b>-0,601</b>	<b>0,556</b>
	Silvicultura (%)	0,130	-0,084	<b>-0,921</b>
Produção Animal	Efetivo de rebanho	0,010	<b>0,906</b>	0,110
	Valor da produção animal (%)	-0,070	<b>0,904</b>	0,167
Agricultura	Área agrícola (%)	<b>-0,646</b>	<b>0,633</b>	0,055
	Tratores/100 trab. rurais	-0,031	<b>-0,828</b>	0,137
	Densidade de estabelecimentos agropecuários	<b>-0,543</b>	<b>0,633</b>	0,402
	Trabalhadores rurais (%)	<b>-0,946</b>	0,056	-0,064

Fonte: Elaboração própria

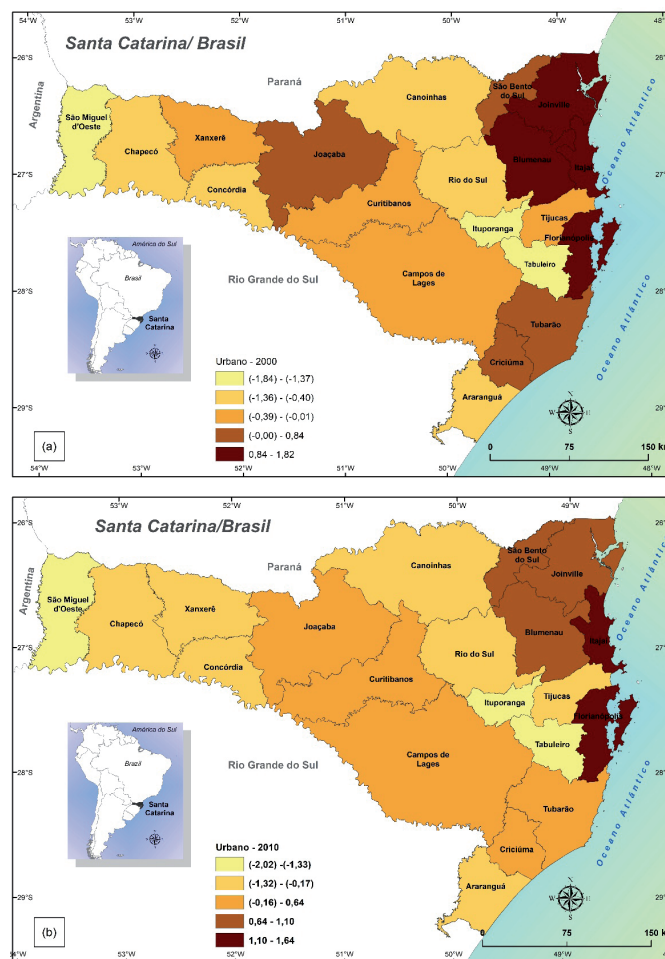
Assim, com base nos “loadings” fatoriais de cada fator, é possível construir algumas inferências sobre a extração desses fatores. O fator 1, que designamos de Urbano, reporta aos indicadores predominantemente da dimensão “População e Desenvolvimento Socioeconômico” (Área Artificial, População Urbana e Índice de Desenvolvimento Humano) apresentando também forte correlação com a área de floresta, o que aponta para o fenômeno de urbanização em detrimento das atividades agrícolas e pecuárias, remanescendo a área de floresta. O Fator relaciona os indicadores Efetivo de Rebanho e Valor



da Produção Animal e Densidade de Estabelecimentos Agropecuários, o que reporta às atividades de Produção Animal e à Agricultura. O Fator 3, que apresenta entre os três, o menor percentual explicativo, relaciona o indicador à Silvicultura (maior negativo), que se demarca como atividade.

A partir da análise dos fatores por microrregiões (matriz de *scores*), observa-se, como ilustrado nas Figuras 3a e 3b, que em relação ao Fator Urbanização, em 2000 as microrregiões Florianópolis, Itajaí, Joinville e Blumenau se destacam como os grandes centros urbanos do estado, apresentando os maiores *scores* para Urbanização (Fator 1) nesse ano. O que já era esperado, uma vez que no estado de Santa Catarina a maior concentração urbana se dá ao longo de sua faixa litorânea.

E de acordo com o censo demográfico 2000, do IBGE, comparativamente às outras microrregiões do estado, essas contam, em média, com mais de 86% dos habitantes vivendo em área urbana, bem como apresentam os maiores índices de desenvolvimento humano – IDH, com valores médios acima de 0,75, sendo superiores à média nacional que é 0,699 (PNUD, 2013). Já em 2010, Blumenau e Joinville apresentam menor representatividade, podendo ser justificado pela redução de seus *scores* nesse fator, e que, de maneira geral, ocorre enfraquecimento do fator urbanização para o ano 2010 relativamente ao ano 2000, denotadas por redução de correlação de seus indicadores.

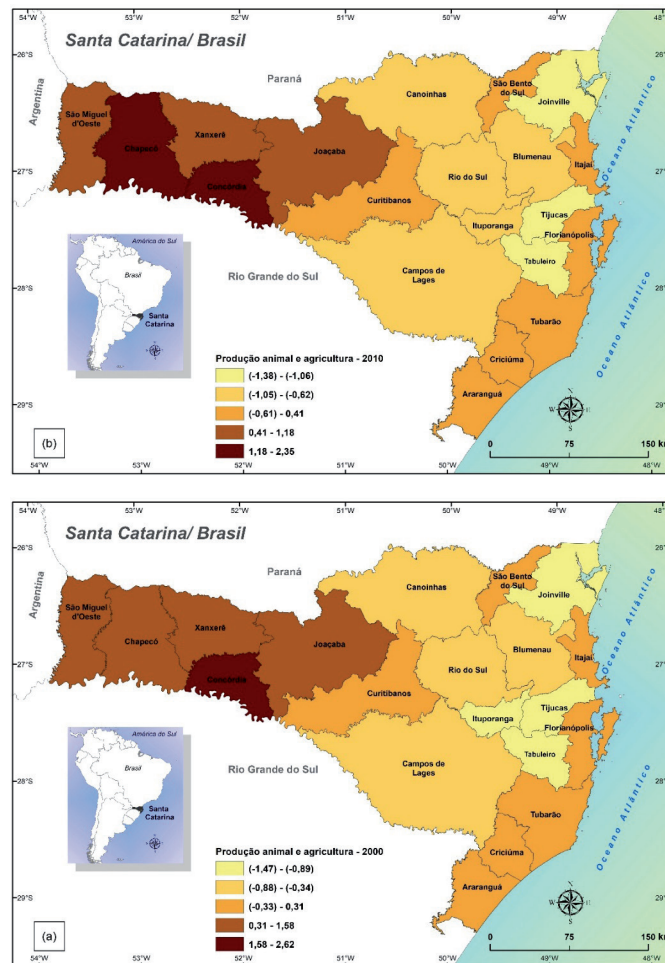


**Figura 3a | Microrregiões de Santa Catarina: Fator 1: Urbanização – 2000**  
**Figura 3b | Microrregiões de Santa Catarina: Fator 1: Urbanização – 2010.**

Fonte: Elaboração própria.

Em relação ao Fator 2 – Produção Animal e Agricultura (Figura 4a e 4b), a dinâmica foi inversa ao Fator Urbano. Evidencia-se considerável aumento do fator explicativo das variáveis desse fator para o ano 2010, sendo que, em 2000, já apresentam uma alta correlação. Em 2000, a microrregião com maior

score é Concórdia. Porém, em 2010, junta-se à Concórdia, a microrregião de Chapecó. Essa dinâmica pode ser atribuída ao elevado crescimento da produção animal, em Chapecó, cujo efetivo de rebanho para o período apresentou variação positiva de aproximadamente 72%, segundo dados da Pesquisa da Pecuária Municipal, do IBGE.



**Figura 4a |** Microrregiões de Santa Catarina: Fator 2: Produção Animal e Agricultura – 2000 e  
**Figura 4b |** Microrregiões de Santa Catarina: Fator 2: Produção Animal e Agricultura – 2010.

Fonte: Elaboração própria.

No Fator 3, o qual apresenta no geral os menores *loadings*, destaca-se a correlação com a variável, Área com Silvicultura, e, dessa forma, designando-o como Silvicultura. Em 2000, as microrregiões de São Bento do Sul, Canoinhas, Joaçaba, Curitibanos e Campos de Lages apresentam os maiores *scores* nesse fator, e em 2010 permanecem com alto valor de *score* as microrregiões de Curitibanos e Campos de Lages. Tal dinâmica pode estar associada ao fato de que, em 2010, o indicador urbano IDH e área artificial apresentaram maior correlação com esse fator em comparação com 2000 e que, também, com base no mapeamento de uso e cobertura da terra (2000 e 2010), elaborado pelo IBGE, a taxa de variação calculada da área de Silvicultura para o período, em Campos de Lages, foi de 177% e em Curitibanos de 60%, substancialmente mais elevadas em comparação com as outras microrregiões, antes associadas a esse grupo.

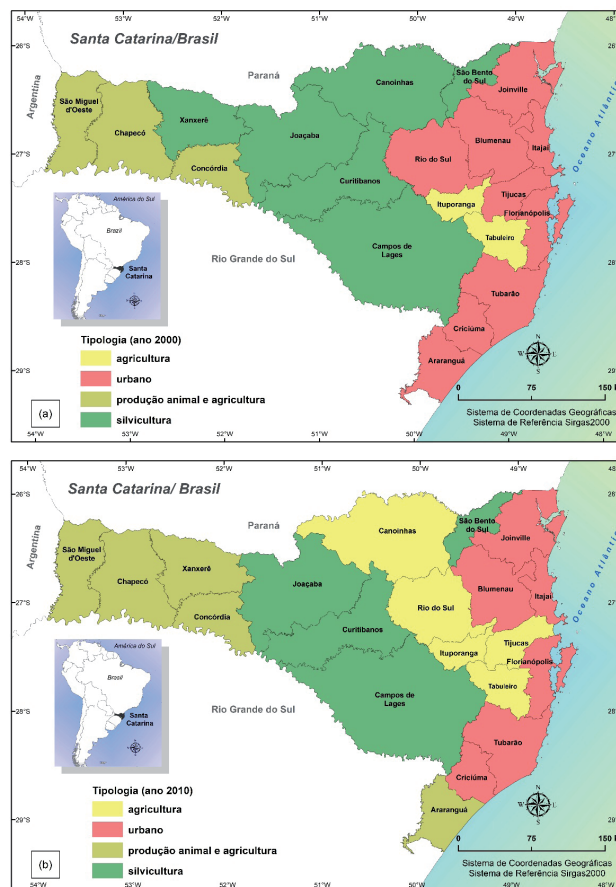
### 4.3 TIPOLOGIA FINAL

De forma a apresentar uma tipologia final de síntese, realizou-se uma análise de *clusters*, a qual identificou agrupamentos homogêneos das microrregiões, considerando os três fatores extraídos da análise fatorial: Urbano, Produção Animal e Agricultura, e Silvicultura.

O grupo designado Agricultura caracteriza-se por microrregiões com maior concentração de trabalhadores rurais e número de tratores, além da extensão de área agrícola. O grupo Urbano relaciona-se com o Fator 1, e compõe-se de microrregiões com as maiores extensões de área urbana, população urbana e o maior índice de desenvolvimento – IDH. O grupo Silvicultura, relacionado ao Fator 3, agrupa as microrregiões de maior extensão de área com silvicultura combinada a uma menor densidade de estabelecimentos agropecuários, o que remonta a uma estrutura fundiária configurada por médias e grandes propriedades, em oposição a uma estrutura fundiária predominante no estado de pequenas propriedades.

Segundo o Censo Agropecuário de 2006, do IBGE, a média de área dos estabelecimentos agropecuários nesse grupo é 54,02 ha, enquanto a média no estado é de 31,3 hectares. Ao grupo Produção Animal e Agricultura, agregam-se microrregiões com maior percentual de área agrícola no estado (média superior a 75%), menores estabelecimentos agropecuários (média 19 ha) e maior efetivo de rebanho e valor da produção animal. Comparativamente às demais microrregiões, o efetivo de rebanho nesse grupo é de mais de 5.100 cabeças/km<sup>2</sup>, superior ao dobro da média estadual, de 2.358 cabeças/km<sup>2</sup>), segundo dados da Pesquisa da Pecuária Municipal – IBGE.

As Figuras 5a e 5b ilustram, respectivamente, a Tipologia Uso/Cobertura da Terra e Atividade Econômica, considerando as Microrregiões de Santa Catarina para os anos 2000 e 2010.



**Figura 5a** | Tipologia Uso/Cobertura da Terra e Atividade Econômica por microrregião – ano 2000 e  
**Figura 5b** | Tipologia Uso/Cobertura da Terra e Atividade Econômica por microrregião – ano 2010.

Fonte: Elaboração própria.

Quanto às dinâmicas ocorridas no estado, para o período de 2000 a 2010, é possível fazer algumas inferências. De forma geral, identifica-se a expansão e o fortalecimento da agricultura, da produção animal e da silvicultura. Em 2000, o grupo Silvicultura se apresentou como um grupo mais heterogêneo em atividades e em 2010 se fortalece como atividade.

Algumas microrregiões foram associadas a outros grupos, como Xanxerê, que em 2010 foi integrado ao grupo “Produção Animal e Agricultura”, atribuindo-se a essa dinâmica o aumento da mecanização pelo indicador número de tratores e pelo aumento do efetivo de rebanho de mais de 41%, nomeadamente bovinos, suínos e aves, e Canoinhas, que passou a compor o grupo Agricultura, sendo os fatores condicionantes a expansão da área agrícola e o aumento do número de tratores por trabalhadores rurais. São Bento do Sul, Joaçaba, Curitibanos e Campos de Lages se fortalecem no grupo quanto à Silvicultura, pelo indicado na área da Silvicultura, na qual o grupo apresentou taxa de variação positiva de 85%. Das microrregiões que compunham o grupo Urbano, em 2010 Araranguá passou a integrar o grupo Produção Animal e Agricultura, devido ao grande aumento no efetivo de rebanho, sobretudo no efetivo de aves, com crescimento de 170%, segundo a Pesquisa Municipal Agropecuária do IBGE. Tijucas e Rio do Sul agrupam-se à categoria Agricultura pelo indicador “número de tratores”, pois esse item apresentou média de crescimento de 71%, indicando maior mecanização da atividade agrícola.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comprova-se que a metodologia desenvolvida neste trabalho permite que sejam feitas considerações significativas quanto à análise da dinâmica do uso e cobertura da terra de Santa Catarina de 2000 a 2010, considerando as 20 microrregiões do estado.

Sob a perspectiva das quatro dimensões, População e Desenvolvimento Socioeconômico, Silvicultura/Floresta, Produção Animal e da Agricultura fica evidente que as atividades agricultura, pecuária e silvicultura se distribuem por todo o interior, enquanto a maior concentração Urbana e de Floresta Nativa se concentram nas microrregiões litorâneas. A maior conservação de Vegetação Florestal nessa região também pode ser explicada por um bloqueio natural, pois as serras do leste catarinense (Serra do Mar e Serra Geral) prolongam-se na direção norte – sul do estado, desde Joinville até Laguna.

Identificou-se que houve um incremento de 2000 para 2010 da atividade agrícola de 131,1% e de 64,1% para a Silvicultura impulsionado principalmente pela expansão de área ocupada por agricultura e silvicultura, bem como pela alta mecanização, demonstrada pelo indicador “número de tratores”. Em detrimento ao avanço dessas atividades econômicas, a Vegetação Florestal apresentou uma perda de aproximadamente 20% de área (Vegetação Florestal e Mosaico de Vegetação Florestal com área agrícola). Essa dinâmica aponta para dois padrões de transições de uso e cobertura da terra em Santa Catarina para o período em análise: a categoria intensificação agrícola e a conversão natural-agrícola.

Os resultados alcançados corroboram os estudos do Projeto Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina – IFFSC, os quais apontam a expansão das atividades agropecuárias e da silvicultura como responsável pela perda da vegetação florestal e indicam as variáveis efetivo de rebanho, número de tratores e área ocupada com a atividade como altamente correlacionadas à dinâmica do uso e cobertura para o período.

Assim, em resposta à questão de partida elaborada neste trabalho, pode-se dizer que se observa um crescimento considerável da importância da atividade primária de mercado em todo o estado (setor agropecuário e silvícola), com direta relação nas transformações no uso e cobertura da terra. No caso do litoral, há uma pressão da agricultura e perda de vegetação nativa; no interior, o desenvolvimento urbano coexiste com o crescimento da atividade primária vocacionada para o mercado (agricultura, produção animal e silvicultura).

A esse cenário, associa-se o estado de Santa Catarina se reafirmando no setor do agronegócio e no mercado internacional, no qual se verifica constante crescimento do Valor Bruto de Produção (VBP) da agropecuária estadual com destaque para o valor da produção de suínos e frangos e que o agronegócio aumentou para 68,3% a sua participação no valor total das exportações do estado no ano de 2019,

tendo como principais produtos: carne de frango, madeira e suas obras, carne suína, soja, tabaco, papel e celulose, e móveis de madeira (EPAGRI/CEPA, 2019).

Essa evolução aponta para a necessidade de desenvolver medidas de proteção e regulamentação da ocupação e uso nomeadamente na vertente ambiental, de modo a enquadrar o desenvolvimento econômico, social e ambiental.

## REFERÊNCIAS

ABRANTES, P. et al. Compliance of land cover changes with municipal land use planning: evidence from the Lisbon metropolitan region (1990-2007). **Land Use Policy**, v. 51, p 120-134, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.10.023>

AQUINO, J. G. P. **Dimensões, características e desafios das cadeias agropecuárias do estado de Santa Catarina**. 93 p. 2016. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

ASNER, G. P. et al. Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 3, 033543, 2009, <https://doi.org/10.1117/1.3223675>.

DEFRIES, R. et al. Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. **Nature Geoscience**, v. 3, p.178-181. 2010, <https://doi.org/10.1038/ngeo756>.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA/CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA. EPAGRI/CEPA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina**, 197p. Florianópolis, 2019. Disponível em: <<https://cepa.epagri.sc.gov.br/index.php/publicacoes/>>. Acesso em: 09 nov. 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Planning for sustainable use of land resources**. FAO land and water bulletin 2. 67p. 1995. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 02 de abril de 2018.

GEIST, H. et al. Causes and Trajectories of Land-Use/Cover Change. In: LAMBIN, E. F.; GEIST, H. (Ed.). **Land Use and Land Cover Change**, p. 41-70, 2006. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7\\_3](https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7_3)

GEOAMBIENTE Sensoriamento Remoto Ltda. Projeto de Proteção da Mata Atlântica em Santa Catarina – PPMA/SC. **Relatório Técnico do Mapeamento Temático Geral do Estado de Santa Catarina**. São José dos Campos, SP. Agosto de 2008, 90p.

HERSPERGER, A. M.; BÜRGI, M. Going beyond landscape change description: quantifying the importance of driving forces of landscape change in a Central Europe case study. **Land Use Policy**, v. 26, n. 3, p.640-648, 2009.

HERSPERGER, A. M. et al. Linking Land Change with Driving Forces and Actors: four conceptual models. **Ecology and Society**, v. 15, n. 4, 2010.

HOUGHTON, R. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T. The U.S. Carbon Budget: contributions from land-use change. **Science**, v. 285, p. 5427, p. 574-578, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mudanças na Cobertura e Uso da Terra do Brasil 2000-2010-2012-2014**, 29p. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 mar. 2018.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H.; RINDFUSS, R. R. Introduction: Local Processes with Global Impacts. In: LAMBIN, E. F.; GEIST, H. (Ed.), **Land Use and Land Cover Change**, p. 1-8, 2006. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7\\_3](https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7_3)

LIPP-NISSINEN, K. H. et al. Temporal dynamics of land use and cover in Paurá Lagoon region, Middle Coast of Rio Grande do Sul (RS), Brazil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, p. 25-39, 2018, <https://doi.org/10.5894/rgci-n106>.



PADILHA, D. G. **Modelo de apoio à decisão aplicado ao planejamento territorial de silvicultura baseado em análise multicritério de redes neurais artificiais**. 2014. 285 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. Índice de Desenvolvimento Humano – IDH. (2000 e 2010). 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

RIBEIRO, M.; VALE, M. J.; REIS, R. Identificação das Principais Forças Motrizes: abordagem quantitativa. In: DGT (Ed.). **Uso e Ocupação do Solo em Portugal Continental: avaliação e cenários futuros**. Projeto Landyn, 2014. (p. 87-96). Lisboa: DGT.

ROCHA, J. **Sistemas Complexos, Modelação e Geosimulação da Evolução de Padrões de Uso e Ocupação do Solo**. 2012. 954 p. Tese de Doutoramento em Geografia, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa.

RODRIGUES, L. P.; LEITE, E. F. Dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Aquidauana, MS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** Santos, SP. p. 6817-6825, 2017. Disponível em: <<https://proceedings.galao.com.br/sbsr?lang=en>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

SANTA CATARINA. Secretaria de Agricultura, da Pesca e do Desenvolvimento Rural. Resolução nº. 20, de 14 de agosto de 2014. Institui o Comitê Estadual de Gestão Florestal – CG Florestal. Data da resolução: 14/08/2014. **Diário Oficial**, n. 19.882, de 19 de agosto de 2014.

SANTA CATARINA. Secretaria da Agricultura, da Pesca e do Desenvolvimento Rural. Projeto Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina. **Relatório do Projeto Piloto**. Florianópolis, 2005. 170p.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Coletânea de Informações Socioeconômicas de Santa Catarina**. 2014. Documento elaborado para o Planejamento Plurianual do Sebrae/SC. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

SILVA, E. A. et al. Dinâmica do uso e cobertura da terra do município de Floresta, PE. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 4, p. 611-620, 2013. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/27931/21732>>. Acesso em: 04 jul. 2018.

SILVA, J. S. V. et al. Evolution of deforestation in the Brazilian pantanal and surroundings in the timeframe 1976 – 2008. **Geografia**, Rio Claro, v. 36, número especial, p. 35-55, 2011.

SOUZA, J. M.; COSTA, E. M. Dinâmica do uso e cobertura da terra nas microrregiões do estado de Santa Catarina, Brasil. Uma análise entre 2000 e 2010. In: XVI COLÓQUIO IBÉRICO DE GEOGRAFIA, 2018, Lisboa, Portugal. **Atas...** Lisboa: Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, 2018. p. 877-884. DOI: 10.33787/CEG20190003

TURNER II, B. L. et al. **Land use and land cover change** (LUCC). Science/Research Plan. IGBP and HDP, 133p. 1995. Disponível em: <<http://lcluc.umd.edu/>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

VALE, M. J.; REIS, R.; MENESES, B. M. A caracterização do uso e ocupação do solo de Portugal Continental. In: DGT (Ed.). **Uso e Ocupação do Solo em Portugal Continental: avaliação e cenários futuros**, p. 9-14. Projeto Landyn, 2014. Lisboa: DGT.

VERBURG, P. H. et al. Land use change modelling: current practice and research priorities. **GeoJournal**. Issue 4, v. 61: p. 309-324, 2004. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10708-004-4946-y>>. Acesso em: 24 jan. 2019.

VIBRANS, A. C. et al. **Diversidade e conservação dos remanescentes florestais**. Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, v. 1. Blumenau, 2012.

YOSHIKAWA, S.; SANGA-NGOIE, K. Deforestation dynamics in Mato Grosso in the southern Brazilian Amazon using GIS and NOAA/AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 2, p. 523-544, 2011. <https://doi.org/10.1080/01431160903475225>

# Good for whom? Reactions to oil palm contract farming in the Amazonian state of Pará, Brazil

*Bom para quem? As reações à dendeicultura por contrato na Amazônia paraense*

Paula Egyto Tavares<sup>a</sup>

Dalva Maria da Mota<sup>b</sup>

<sup>a</sup> MSc. in Family Farming and Sustainable Development, Federal University of Pará, Belém, PA, Brazil  
E-mail: egytotavares@hotmail.com

<sup>b</sup> Researcher at the Brazilian Agricultural Research Corporation, Embrapa Eastern Amazonia, Belém, PA, Brazilian  
E-mail: dalva.mota@embrapa.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.31664

Received: 19/05/2020  
Accepted: 30/11/2020

ARTICLE – VARIA

## ABSTRACT

This article analyzes the acceptance of and resistance to contract oil palm cultivation in Irituia, Pará, Brazil. Research was based on an analysis of documents and secondary data sources, and included 33 interviews with family farmers, one member of the rural workers union and representatives from municipal institutions. Research findings show that initial differences regarding the activity remain until the present. Those who defend oil palm cultivation point to its potential for improving the quality of life for regional residents. Defenders include a specific group of farmers and state government agents. Critics, those from municipal institutions, argue that oil palm cultivation is not in keeping with the local reality. A distinct group of farmers shares these criticisms and show apprehension toward oil palm cultivation.

**Keywords:** Oil palm cultivation. Perception. Integrated farmers. Reactions. Irituia.

## RESUMO

O artigo analisa as reações de aceitação e resistência à dendeicultura por contrato em Irituia. A pesquisa contou com a revisão de documentos e de dados secundários, e com a realização de 33 entrevistas com agricultores familiares produtores de dendê, um sindicalista e dois representantes de órgãos municipais. As principais conclusões mostram que as divergências persistem até os dias atuais. Os defensores a têm como uma opção para a melhoria de vida dos habitantes da região, sendo estes os agentes do governo estadual e um grupo de agricultores. Os críticos - interlocutores de órgãos municipais - e um grupo de agricultores, argumentam que a dendeicultura não se adequa à realidade local. Outro grupo de agricultores absorveu as críticas dos representantes dos órgãos locais e têm medo de aderir a uma nova atividade.

**Palavras-chave:** Dendê. Percepção. Agricultores integrados. Reações. Irituia.

## 1 INTRODUCTION

Oil extracted from the fruit of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) is an important commodity traded on international markets, having the highest trade and consumption levels among all comestible oils (FOSTER et al., 2011). Indonesia and Malaysia are the largest producers and together account for 85% of the world's production, which is predominantly destined for the food industry (ABRAPALMA, 2018; BORGES; COLLICCHIO; CAMPOS, 2016; FOSTER et al., 2011).

In Brazil, under the incentive of public policies, oil palm production has tripled over the last ten years. Today, Brazil is the 5th largest producer in the world - with a total of 236,000 hectares (ABRAPALMA, 2018). Pará state leads the nation in area under oil palm cultivation, with 207,000 hectares dedicated to this crop, mainly in the Northeastern region of Pará (NEP) in the Amazon (ABRAPALMA, 2018; BRANDÃO; SCHONEVELD; PACHECO, 2018).

Based on a literature review and secondary data, Mota et al. (2019) explains that the expansion of oil palm cultivation in Pará occurred over three different phases: i) an initial experimentation period, from 1988 to 1994 when crop adaption initiatives occurred in the greater Belém metropolitan area, promoted by funding agencies and private enterprises; ii) a consolidation phase between 1995 and 2009, when plantations were established in the NEP characterized by increased production levels; and iii) an expansion period that began in 2010, marked by strong federal government support (through financial resources and research) and justified by social-environmental and inclusion arguments.

From 2015 onward, the expansion oil palm cultivation slowed due to political instability in Brazil, unfavorable economic and market conditions, and the inefficiency of agrofuel policies, which generated concerns over the competitiveness of the Brazilian oil palm industry and its future prospects (BRANDÃO; SCHONEVELD; PACHECO, 2018).

Scholars optimistic about oil palm production in Amazonia point to several positive factors, including: natural conditions that favor the edaphoclimatic needs of the palm (JÚNIOR et al., 2004; KOHLHEP, 2010), its potential for the production of agrofuels (LEVERMANN; SOUZA, 2014), and the robust experiences accrued in recent decades through public and private initiatives supported by federal government programming<sup>1</sup>. Researchers also argue that the price of palm oil is lower compared to other oilseeds due to the amount of oil produced per hectare. They also point to the potential for generating employment and stimulating the local economy (ALVES, 2011; BECKER, 2010). Thus, programs aimed at occupying deforested areas, and with the objective of social inclusion, seek to consolidate Brazil's position as an agroexporting and energy power (ALMEIDA, 2010; BACKHOUSE, 2013; FERREIRA et al., 2016; MDA, 2014).

On the other hand, researchers indicate trends of land concentration, conflicts in rural areas, environmental risk to water bodies, intensive use of herbicides, fungicides and fertilizers (NAHUM; SANTOS, 2013) and the biodiversity loss (LEES et al., 2015). Some also claim that public policies based on socio-environmental arguments are used to support the integration of new lands into international commodity markets, and are thus associated with land grabbing and green grabbing (BACKHOUSE, 2013).

This process involves transforming access to land and resources traditionally used by family farmers to sustain their livelihoods (GOMES; SILVA; MACEDO, 2016; GOMES; MAGALHÃES, 2016) and can thus threaten food security. The purchase, lease, concession, and contract of lands leads corporate investors to invest in crops, traded on national and global markets, which yield more favorable returns

1 | The National Program for Biodiesel Production and Use (PNPB, Law No. 11.097/05) launched in 2004. Its main objective was the insertion of biodiesel in the Brazilian energy matrix and posits sub-objectives focused on environmental and social issues (AZEVEDO, 2010; GEISBRECHT, 2013); the National Program for Sustainable Production of Palm Oil (PSOP, PLC 119/2013) launched in 2010 in the city of Tomé-Açu-PA; finally, the Social Fuel Seal (member of the PNPB) is coordinated by the Ministry of Agrarian Development (MDA), with policies and incentives for palm oil production through rural financing and technical assistance, which thus seeks to ensure the social inclusion of family farmers (ANDRADE; MICCOLIS, 2011).

on investments. This is an old practice that also allows farmers to access heavily state-subsidized rural credit programs (NIEDERLE; WESZ JUNIOR, 2018).

As previously stated, oil palm expansion in the NEP is permeated with controversies, stemming from different views on its potential contributions and objectives. Some groups argue that the crop is unsuitable to the ecosystem and does not serve family farmers' needs. Others argue that the activity offers a chance to improve farmers' lives. In this sense, this article analyses reactions to oil palm cultivation through contract farming and the acceptance of and resistance to this activity in municipality of Irituia, Pará, specifically related to the arrival of Archer Daniels Midland Company (ADM) in 2010<sup>2</sup>.

## 2 METHODOLOGY

Research was conducted in 2018 using a qualitative approach, characterized as a case study (BECKER, 1994). Methods of observation and primary and secondary data collection were also included. The initial stage consisted of a literature review and the analysis of public policy documents and data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (*Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*-IBGE). The second stage consisted of field research, during which thirty-three interviews with smallholders who have contracts with oil palm companies were conducted (representing 36% of all farmers integrated into the oil palm agroindustry in Irituia). Further interviews were held with the following individuals: two representatives from the Municipal Environmental Secretary (*Secretaria Municipal de Meio Ambiente* - Semma), one representative from the Secretary of Agriculture (*Secretaria de Agricultura* - Semagri), one member of the Rural Workers Union (*Sindicato dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais* - STTR) of Irituia and two representatives of Associations<sup>3</sup> for family farmers integrated into the oil palm agroindustry.

A framework was built to organize data and enable the analysis of collected information, specifically allowing us to compare the content of all interviews and identify the most repetitive discourses. Data interpretation was conducted through the content analysis of interviews in both horizontal and vertical manners (MICHELAT, 1987).

Research was conducted in the municipality of Irituia, located in the physiographic area of Guajarina, in the NEP (Map 1), the center of palm oil production<sup>4</sup>, which encompasses 37 municipalities in Pará state (CARDOSO; TOLEDO, 2014), including Irituia.

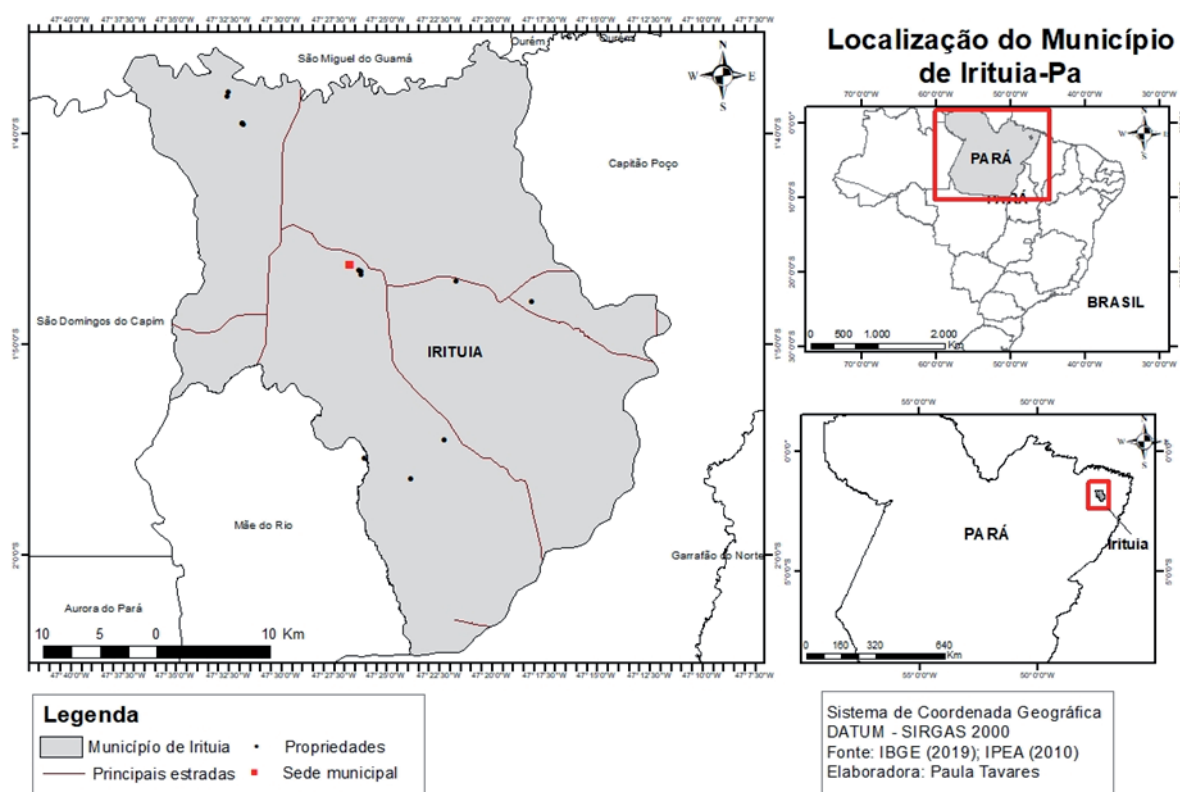
In terms of production value, oil palm production is the second most important agricultural activity in the NEP. In 2018, it yielded R\$ 377,640,000 in revenues, following açai production (*Euterpe oleracea* Mart.) which brought in R\$ 1,750,806,000 (IBGE, 2018).

In the terms of overall oil palm production, in 2019, Irituia ranked 12th in the nation and 11th in the state ranking (IBGE, 2019). In 2018, 23,205 tons were produced in an area of 1,547 hectares (IBGE, 2018a), involving 85 family farms and 4 ranches.

2 | The Archer Daniels Midland Company began its operations in Brazil in 1997. In Pará, the multinational company has a port terminal in the city of Barcarena and deals with the processing and sale of grain crops, along with the manufacturing of vegetable oils, ingredients and inputs for the food and animal feed industries and biodiesels (ADM, 2018). The company took advantage of the expansion of PNBp to integrate family farmers and recover its Social Fuel Seal (GOMES; MAGALHÃES, 2016).

3 | According to Oliveira (2020) five associations were founded to mediate the relationship between integrated farmers and the ADM company: the Association of Small Family Farmers of Vila Bangu; the Association of Family Palm Producers of Galilee Region, the Association of Small Rural Producers of the Nossa Senhora do Perpétuo Socorro Region; and the Association of Residents and Family Farmers of Igarapé-Açu de Baixo. According to Balieiro (2019), in 2015, a unified social organization called the Central das Organizações Sociais entre os Rios Guamá e Capim (Consergc) was formed in the region.

4 | The Northeastern Pará mesoregion was considered the area with the most potential for oil palm expansion due to its favorable characteristics, related to climate, soil, land availability, and logistic feasibility. Furthermore, its productive supply chain was also fairly well-constructed, contributing to its potential (SIQUEIRA, 2018).

**Map 1** | Figure showing the location of Irituia and properties where interviews were conducted

Source: IBGE (2019); IPEA (2010). Elaboration: Tavares (2020)

Irituia extends over an area of 1,379.362 km<sup>2</sup> and has an estimated population of 32,504 residents, 80% of whom live in rural areas (IBGE, 2018b). The economy is based on diversified agriculture, marked by the cultivation of food products (manioc, rice, corn, cowpea), semi-perennial and perennial crops (black pepper, coconuts, oranges, bananas, *açaí*, *cupuaçu*, *graviola*, *taperebá*, pineapple, peach palms, and more recently oil palm).

Shifting agriculture, locally called “*corte e queima*” for the production of annual crops in so-called “*roças*” or swiddens is expressive in Irituia, together with forest recuperation initiatives (CAPANEMA, 2006; CARNEIRO, 2018).

In addition to agriculture, forest collection and timber processing activities are also present in Irituia and all involve family farmers (MORAES, 2017; OLIVEIRA, 2006). Families combine such activities according to labor organization patterns to ensure social reproduction. Attention has been drawn to debates surrounding the notion of family farming (*agricultura familiar*), recognized as a social and political category in both academic debates and public policies (NEVES, 2002).

### 3 THE ARRIVAL OF THE NEW: WHO WAS AGAINST AND WHO WAS IN FAVOR OF OIL PALM PRODUCTION IN IRITUIA

In tracing the history of oil palm production in Irituia, the first stage, beginning around 2008-2009, can be clearly identified. The first activities included field research to verify the economic, social and environmental viability for crop implementation in the Polo Mãe do Rio<sup>5</sup> region (GOMES; MAGALHÃES,

5 | Refers to the set of municipalities integrated into the company. The polo Mãe do Rio includes the municipalities of Mãe do Rio, São Domingos do Capim, Aurora do Pará and Irituia with ADM (Archer Daniels Midland Company) (GOMES; MAGALHÃES, 2016).



2016). The agricultural research and extension institution of Pará state (*Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Pará - Emater*) was responsible for carrying out these tasks (FAPESPA, 2011).

In 2011, we observe the consolidation of partnerships between municipal and state agencies, institutions and oil palm companies in the municipalities of São Domingos do Capim, Aurora do Pará, Irituia and Mãe do Rio (GOMES; MAGALHÃES, 2016). Emater, for example, signed a technical cooperation agreement with the São Domingos do municipality, with the objective of “[...] expanding and strengthening the execution of technical assistance activities to [...] smallholders who are beneficiaries of the National Biodiesel Production and Use Program (PNBP)” (Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa, 2011, n.p).

The subsequent stage, occurring in March 2012, consisted of presenting the Polo Mãe do Rio Plan for oil palm cultivation in the municipalities of Mãe do Rio, São Miguel do Guamá and Irituia to family farmer communities. The goal was to present the oil palm cultivation plan to local communities in these municipalities.

By this point, the project had all its negotiation procedures in place, such as field research and agreements and partnerships - including accords related to leasing areas on Irituia properties. The only missing component was the inclusion of farmers. This was of particular importance given the value of the Social Fuel Seal (*Selo Combustível Social - SCS*) and the prestige awarded to companies who prioritized social inclusion. Companies that signed contracts with smallholder families and bought their production would receive a SCS and would be awarded differential tax treatment and access to financing with reduced PIS/Pasep fees (ALMEIDA, 2011).

In May of the same year, and as part of the last stage, the ADM company’s oil palm plantations were established on rented lands across the different municipalities of the NEP region (AGENCIA PARÁ DE NOTÍCIAS, 2012; BIODIESEL BR, 2012; FAPESPA, 2011).

### 3.1 OIL PALM: A GOOD OPPORTUNITY?

The expansion of oil palm cultivation has become a state policy, and through government actions, several institutions have been involved in programs to encourage crop expansion (FERREIRA et al., 2016). Main initiatives were supported by the Ministry of Agriculture, Livestock and Provisioning (*Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Mapa*), the Ministry of Agrarian Development (*Ministério do Desenvolvimento Agrário - MDA*), and a specific credit line (*Pronaf Eco Dendê*) with special interest rates for family farmers.

This institutional apparatus provoked surprises and different reactions to the arrival oil palm in the region. Nahum and Santos (2016) reported that in the Tomé-Açu microregion, the mere rumor of the arrival of oil palm in the Moju, Acará, Thailand, Tomé-Açu, and Concórdia do Pará municipalities was enough to foster real estate speculation and capital and labor influxes. According to these authors, even before plantations were established, hotels, supermarkets, garages and stores were opened, and new services became available. These changes preceded the search for anthropized areas for oil palm cultivation.

In Irituia, a group of representatives from state agencies delivered a speech in favor of oil palm cultivation. The group included representatives from: the Pará government, the ADM Company, Emater, the Pará State Federation of Agricultural Workers (Fetagri), the National Institute of Colonization and Agrarian Reform (Incra), Basa and some STTR members. All these actors argued that the activity was important for: improving the quality of life in the region; providing family farmers with work and income opportunities; and consolidating a production supply chain to foster economic development in the state. Moreover, public policy investments would contribute to the emergence of private sector interest

in oil palm cultivation. The success of Agropalma, one of the largest and most modern agroindustrial palm complexes in Pará state, also caught the attention of this group (REBELLO, 2012).

For representatives of public institutions, oil palm cultivation would represent the dynamization of local economies “[...] with the acquisition of inputs, fuels, seedlings, agricultural mechanization services, wages, etc., which would reflect in the improvement of people’s quality of life” (Luiz E. Barros Feio, regional superintendent of Basa no Pará, 2012, n.p.); such that:

The importance of the arrival of palm oil projects in Pará speaks to the desires of family farmers who seek a better quality of life; and it brings economic development to the state, integrating permanent activities into the rural environment. (Emater, 2012, n.p.).

In addition to the economy, the merits of the activity were related to the use of areas already considered degraded (CARDOSO; TOLEDO; VIEIRA, 2014). During the presentation of the Polo Mãe do Rio Plan for oil palm cultivation, mayors and municipal secretaries were encouraged by acting state environmental secretary to urge family farmers to adopt oil palm. He argued that it was a viable way to improve families’ living conditions. The same statement can be found in interviews granted by the secretary:

From an economic point of view, it is very interesting - being one of the best productive activities to earn money from the land, aside from using a lot of labor, both in planting and during the harvest season [...]. We believe that Pará state has an enormous potential for the dissemination of this crop in a sustainable and profitable way. (AGENCIA PARÁ DE NOTÍCIAS, 2012, n.p).

The companies, in turn, motivated by state incentives, used different strategies to guarantee the raw material, public resources and labor needed for production processes, benefiting from agroindustrial integration.

During a meeting with family farmers, the company presented oil palm cultivation as an opportunity to make a good economic return and possibly expend less labor in relation to working the land. For one farmer it was clear, “so, (oil palm) is just planted once and then it is taken care of”. Oil palm advocates delivered speeches that motivated family farmers, who were already dissatisfied with manioc farming (their traditional crop) and eager to earn more income, to sign contracts with the company - as observed in the following statement: “They said [Emater and Eco Dendê] that it was a very good thing. That it came to help a lot. My children had already seen oil palm plantings in other places and said it was very beautiful and was good. (G.P., 68, farmer from Irituia, 2018).

At the time, the director of STTR of Irituia was in favor of oil palm cultivation and encouraged farmers to attend a meeting promoted by Emater and Eco Dendê at his residence. In the end, 25 to 30 farmers interested in signing contracts with ADM attended. Under the optimism displayed by these actors, oil palm became synonymous with hope and prospects of improving one’s life; promises included development and social inclusion, employment opportunities, and increased income for rural communities (BRAZIL, 2010; RAMALHO FILHO et al., 2010). And thus, oil palm was established on family farmers’ landholdings.

### 3.2 OPPONENTS OF OIL PALM CULTIVATION CONFIRM: OIL PALM IS NOT GOOD!

During the establishment of the first oil palm areas in 2013, disagreements between state and municipal government representatives and members of the Catholic Church emerged. Interviewees stated that municipal institutions and family farmers who opposed oil palm never had the opportunity to voice their demands – and thus shape policies to better meet farmers’ current needs (related to local agricultural problems). For members of this group, oil palm was yet another project that “arrived ready”, conceived as “top down” and designed to meet government and company objectives, generating discontent and resistance from the population.

There was a meeting in São Miguel [of Guamá]. ADM, Faepa, City Hall, Sagri were there with me. The state secretary at the time said that oil palm was the solution and advised mayors to encourage the secretaries to agree [to planting] and send farmers to plant [oil palm] [...]. At the meeting, ADM arrived and said they would plant! That they had already acquired land [through leasing] and were going to plant! (Semma technician)

Municipal representatives stated that they knew the population's reality better and that oil palm was not a project designed to meet local needs and thus would not succeed. Silva and Navegantes-Alves (2017) also indicate that the process of expanding oil palm in Irituia was quite conflictive, since ADM was not in dialogue with local institutions and social organizations.

The arrival of something new always brings concern. One way to protect oneself from the unknown is to resist and there are several ways to do this – one of which is to talk among acquaintances. This form of every-day resistance (SCOTT, 2002) was exercised in the study site, where there was no direct confrontation with the oppressor. Groups of family farmers, however, refused to participate in meetings and join in establishing plantations, which was not in their interest.

According to interviewees, news spread among the representatives of the Church and municipal agencies that oil palm cultivation was not appropriate for the local reality. This reinforced feelings of fear and mistrust in the company and of oil palm cultivation in general. At stake was what was potentially good or bad for local development. Family farmers were also afraid of losing their lands and not being able to pay back financing agreements.

Marise Reis (2005) studied the effect of rumors on opponents' strategies to disarticulate and weaken a project. Regarding oil palm cultivation, opponents presented themselves as interested in the welfare of the community and sought to discourage those who might sign contracts:

There was a lot of resistance from the farmers themselves. Those who did not want to plant were critical of the project. It was necessary to make a farmers' association only for those who were involved in oil palm, as [during general meetings of] the association that already existed, members [the majority of whom did not sign contracts] did not let others deal with oil palm issues. There was resistance from the neighbors because they didn't know the palm and if it would affect their land. (E. J. C. P., 39, farmer and president of the Galilean Community Association, 2018).

This network of actors who opposed oil palm emboldened the sentiments of farmers were suspicious of oil palm cultivation. They thus encouraged them to make other demands, as a way to solving existing problems in municipality, such as problems with manioc root rotting, which affects 80% of interviewed farmers. The rotting of manioc roots interferes with production, causes losses to the farmers, and weakens the municipal economy. As a technician from the Semma explained: "We have several farmers who complain about not being able to plant manioc as they did before because it rots [...]" (Semma technician, 2017).

According to technicians, investing in initiatives to solve existing problems and in the expansion of Agroforestry Systems (SAFs) is more viable, as areas of home gardens (called *quintais*, a local form of SAFs) are both important to provisioning a diversity of goods for household consumption and sale and for recovering degraded areas. A Semagri technician reported, "I think I need to invest in SAFs because I have to consider that this is something farmers know how to do, they can produce their own foods and sell them (Semagri technician, 2018).

The Catholic Church also manifested itself against oil palm cultivation. This instigated fear among farmers, dividing them and their opinions in relation to this activity. The parish priest's vocalizations contrary to oil palm cultivation were based on his experiences in other municipalities. According to the union director:

The priest at the time did not let meetings occur here in the church. I had to hold them in my house. When the company came here, calling for people, the priest had already instilled fear in everybody, saying that this [oil palm] was not good. If it wasn't for him, the oil palm situation here in Irituia would have been much better. (Director of rural workers union, 2018).

Thus, statements made against oil palm cultivation are related to it not being viable for the following reasons: first, due to its use of a production model different from what family farmers are used to; second, because many family farmers did not participate in the discussions regarding the establishment of plantations; and lastly because there are projects more well-suited to the municipality and its population.

## 4 THE DENDEICULTURE UNDER INTEGRATION IN IRITUIA

Integration consists of a system established through a contract between the agribusiness (integrator) and the farmer (integrated), in which integrated farmers commit themselves to produce certain raw materials to be acquired and processed by the agribusiness (AQUINO, 2013; PAYÉS, 1993; ZIEBERT; SHIKIDA, 2004). As a system, integration became relevant in the 1960s and 1970s when three major processes related to Brazilian agribusinesses took place: the onset of the establishment of monocultures as a specific type of production system, establishment of the agribusiness model as a political discourse, and the integration of family farmers into production systems based in monocultures as a social relationship; this process is characterized by the consistent supply of raw material by farmers and the establishment of prices by industry (DELGADO; CONCEIÇÃO, 2012).

Oliveira (1980) states the subordination of family farmers is inherent to integration projects. Farmers become dependent on businesses for production inputs and to market products. Paulilo (1990) showed that an asymmetric relationship is established between the contracting parties, in which one of them (the farmer) is critically aware and accepts his/her position. However, being without visible alternatives, integration responds to farmers' desire for guaranteed markets, access to technical assistance and credit lines, unavailable for other crops (outside of integration projects).

This relationship is commonly criticized by authors who state that family farmers are negatively affected by integration. In the case of oil palm cultivation, companies have obligations to farmers; they must sign contracts, provide technical assistance and training to farmer, and purchase farmers' goods. However, studies point out the negative socioeconomic and environmental impacts of oil palm cultivation, including an intense workload, contamination of waterways and loss of farmer sovereignty (GOMES; SILVA; MACEDO, 2015; CASTRO; CASTRO, 2015; FERREIRA, 2016). Vieira (2015) also highlights how family farmers become indebted to financial agents.

### 4.1 "CO-OPTATION" AND INTEGRATION OF SMALLHOLDERS INTO AGRO-INDUSTRIES

The integration process in Irituia started with an action called farmer "co-optation", which consisted in mapping out farmers apt for integration. ADM relied on Eco Dendê and Emater as intermediates to host meetings in different localities. Due to local resistance to the activity, farmers in favor of oil palm cultivation met at the home of one union member in the Itabocal community. The meeting included 25 to 30 farmers interested in signing contracts with ADM to guarantee cultivation.

To be apt for signing, farmers had to meet a series of prerequisites, including conditions for credit access from Pronaf- Eco Dendê (i.e. without bank restrictions) and having access to a 25-hectare of land, of which about 10 hectares would be dedicated to oil palm cultivation (BRANDÃO; SCHONEVELD; PACHECO, 2018). Visits were then made to farmers' residences to assess their social conditions and

the characteristics of their landholdings. On such occasions the following aspects were observed: the existence of legal (forest) reserves, crops present and their yields, access to roads and distance from the company's plant, the possibility of forming clusters with other farmers, labor availability, age of the farmer wishing to sign the contract, number of children and adult family members living on the property and financial capacity for management and cultivation (BRANDÃO; SCHONEVELD; PACHECO, 2018; GUEDES, 2014).

The following step dealt with the documentation of the property. Farmers needed to have a legal land title, be in possession of the purchase, sale or lending document, have a Declaration of Aptitude issued by Pronaf (*Declaração de Aptidão ao Pronaf - DAP*), have an annual income exceeding R\$ 20,000, and be registered in the Rural Environmental Register (*Cadastro Ambiental Rural - CAR*) with ZAE-Palma. Family farmers do not generally have all these documents, which is why the company, coordinating with responsible organizations, quickly made their emission possible (BRANDÃO; SCHONEVELD, PACHECO, 2018; GUEDES, 2014).

As part of their recruiting strategy, company representatives took farmers to properties where oil palm plantations were established on family farmers' properties in Tomé-Açu – as part of Agropalma contracts. Denis Araki, biologist of Eco Dendê stated that meetings with several rural associations were held to present the oil palm establishment project to farmers. Some farmers were chosen to visit oil palm areas and learn how about the production chain in Tomé-Açu (FAPESPA, 2011).

In Irituia, 91 farmers signed contracts in 2013. At the time of this survey, according to information from Semma, there were 85 integrated farmers. This decrease stems from the abandonment of the activity by some families unable to keep up with the demands of the crop and the contractual relationship.

Of the integrated farmers interviewed, 97% are male and only 3% female. Forty-three percent are between 60 and 70 years old, 40% are between 40 and 50 years old and 17%, 30 years or younger. Families are composed of an average of four household members. In terms of landholdings, 75% of farmers are owners and 25% work on land ceded by relatives, such a parent or sibling. The average size of landholdings is 44 hectares; areas cultivated with oil palm vary from 2.5 to 10 hectares (12% have 3.3 ha, 38% have 5 ha, 17% have 6 ha to 8.5 ha and 33% have 10 ha). Despite the company's initial requirement of 10 hectares dedicated to oil palm, during the screening phase, the company allowed for smaller areas. According to one interviewee, this change occurred because few farmers initially showed interest in oil palm contracts (N.R.A., 59).

## 4.2. NEW DIVISIONS BETWEEN INTEGRATED FARMERS: (DIS)SATISFIED

Six years after the signing of oil palm integration contracts, new perceptions were constructed according to farmer experiences. Among these, two groups are privileged in this discussion

### SATISFIED AND HOPEFUL

The assessment of the first group of farmers (34%) corresponds to the main arguments made by the company and its promoters during the "co-option" phase. Results thus show how the company's discourse influenced farmers' decisions at the time of signing. One must also consider farmers' social vulnerability, their dissatisfaction with manioc cultivation, and the low price of manioc flour. According to one farmer: "For me, oil palm was a salvation. I am very satisfied because otherwise we would still be struggling with manioc! It's good, but you have to do everything right [...]" (R. M. L., 29, farmer, 2018). For another:

I say it wasn't me who found the oil palm, it was the oil palm that found me [...]. I embraced the palm as if it were my salvation. I was disappointed with manioc [due how it rots and the low market



price]; there was the oil palm passing by and I embraced it, it was the only option I had. (A. M., 45, farmer, 2018).

Similar reports were found in Silva and Navegantes-Alves (2017). Farmers stated that they chose oil palm because of the contract – where the sale of goods is guaranteed, and they have the support of the company's technical assistance. These conditions do not exist for other crops since public policies are lacking.

Studies from Bungo, Indonesia reported similar findings; here farmers' great interest in the establishment of oil palm plantations was the prospect of a regular income source that would guarantee health and education and a greater purchasing power in relation to material goods (RIST; FEINTRENIE; LEVANG, 2010).

In sum, analyzing the interviewees' testimonies and related studies, oil palm cultivation emerges as a sort of salvation. The group of farmers (34%) who maintain planting regimes according to the company's technical criteria, defends the activity, and is reporting their first earnings. They claim that when their plantings are well-cared for, following all the recommendations, harvests are good. In addition, the guaranteed sale of products, something that met their expectations, gives them satisfaction.

We are still not adjusted to it [the oil palm]; we have to leave everything to be able to focus only on it, but yes [...]. Because you go out to harvest, do the *brocada* there, and give [the palms] to the company. Look, the oldest oil palm plantation in the region is already seven years old, and the bunches are already yielding 25 kg, bunches come out every day, but [they] can't keep up with the harvest. So, this much oil palm here means a retirement for my family. (A. B. C., 61, farmer from Irituia, 2018).

The testimony above demonstrates the farmer's satisfaction with oil palm and reinforces data found by Mota et al. (2019). These authors showed that 53% of those interviewed were satisfied as producers and with their economic earnings. Farmers' satisfaction is related to obtaining income, biweekly harvests, guaranteed markets, and access to services, such as credit and technical assistance.

The situation found in Irituia was one where agriculture had many needs in terms of technical assistance. Farmers were unmotivated vis-a-vis their traditional crops, in particular manioc, and had difficulties marketing production, reporting low economic returns.

### CONCERNED AND FEARFUL

Most farmers (66%) report dissatisfaction regarding their work with oil palm. They argue that they cannot keep up with the pace of work; this was especially true for couples without children. As a result, they are fearful and concerned about the loans they must pay back in the near future.

What led you to plant oil palm? - A lot of talk from the technicians! They told a lot of lies. I told them, I only did it because they said one thing and now it's another. Oil palm is only good for the young when your family is large. Because when one is alone..., he can't stand it. And he has to have money, to have [the oil palm area] cleaned. (J. S. L., 41, farmer from Irituia, 2018).

Another farmer reported:

[I am] only in the red and can't cover my needs [...] We worked with one thing and were pushed to work with another. The resources that come are not enough. People who were supposed to be at the front are petering out. It was supposed to have re-forestation. In the fraternity [Church] campaign they are debating resources. Many are using chemical inputs that are bad for the environment and for our health. (V. R. C., 64, farmer, 2018).

Based on in-field observation and testimonies collected, we found abandoned oil palms and those that are no longer being cared for. Additionally, six interviewees interrupted their oil palm harvests after fires from neighbors' manioc fields invaded their plantings (fire is used to establish manioc fields).

Mota et al. (2019) also report this dissatisfaction. In their study, 25% of farmers say they are dissatisfied as oil palm producers and with their earnings. Nineteen percent describe themselves as particularly dissatisfied as producers. In all cases analyzed, dissatisfaction with the volume of work, technical assistance, and income earned emerged as research findings. Interviewees also expressed dissatisfaction with the failed promises of improvements to community infrastructure. During "cooption" meetings companies promised improvements in education, health, roads and safety.

If it were today, I wouldn't plant it [again]. At that time, I planted because the firm came with a very good promise and I signed it. The manager talked very nicely, promising worlds and funds [maintenance, tractor], so planted. But if it was today, I wouldn't have signed. (J. F., 52, farmer from Irituia, 2018).

Brandão; Schoneveld; Pacheco (2018) elaborated a typology according to production data from three companies that produce palm oil in Pará state. They concluded that a majority of farmers (54.8%) do not meet the companies' productivity expectations. The authors indicate that farmers are at risk of giving up the activity and thus possibly face defaulting on the loans made to finance their plantations.

Finally, one can see that from the beginning, oil palm cultivation has been accompanied by controversy. Different groups are divided into those opposing the activity and those in favor, resulting in both resistance to and acceptance of oil palm cultivation.

## 5 FINAL CONSIDERATIONS

In this article we analyzed the reactions to contract oil palm cultivation in Irituia-PA, characterized by acceptance and resistance. Oil palm cultivation is controversial, with divergences between different actors. The activity created contrasting opinions among agents from state entities (secretaries and unions) and members of local representative entities (churches and farmers' unions). There were also disagreements among farmers. Some were in favor of oil palm - moved by feelings of hope, wanting to increase their earnings. Others did not sign contracts due to fear of the unknown, among other factors. These differences show that, despite belonging to the category of family farmers and belonging the same union, perceptions and thus choices differ according to farmers' social conditions and their understandings and expectations.

The state, the oil palm company, and the rural workers union, through their representatives, were most interested in oil palm cultivation. Despite their particularities, they repeated the same discourses regarding job and income generation, improvement of farmers' quality of life and the dynamization of the local economy. These discourses were decisive in building farmers' expectations. These expectations were added to farmers' frustrations with their traditional crops and to the possibility of receiving technical assistance, bank credit, and having a guaranteed market for their products.

In the initial phase, farmers who signed integration contracts expressed the same expectations. Yet, after planting and the first harvests, opinions began to differ – even though they still hung on to hopes of improving their situations in the context of difficulties with manioc and other traditional crops. Thus, one third of respondents expressed satisfaction (i.e. the chance to work with a new crop, having a guaranteed income and improved harvest frequency), while two thirds did not have the same feeling (production is below expectations, work load is intense, and they lack labor power). Research also records the abandonment of oil palm plantings.

As a general conclusion, the reactions of acceptance and resistance to contract farming were dynamic and varied during the different stages presented here (from the promotion to production stages). Nevertheless, results allow us to conclude that there was disproportionality between initial discourses and later practices. Problematizing integration and production models based on large monocultures and a dependence on a single buyer is urgent – and should involve farmers’ representative organizations.

## REFERENCES

ABRAPALMA. Associação Brasileira de Produtores de Óleo de Palma. **Retrospecto e projeções da palma de óleo no Brasil 2018 – 2019**. ABRAPALMA: Belém, 2018. Disponível em: <[http://www.abrapalma.org/pt/wp-content/uploads/2018/12/Resumo\\_Relatorio\\_2018-2.pdf](http://www.abrapalma.org/pt/wp-content/uploads/2018/12/Resumo_Relatorio_2018-2.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2019.

ADM. Archer Daniels Midland Company (Brasil). **Negócios**. 2018. Disponível em: <<https://www.adm.com/adm-worldwide/brazil-pr/produtos-e-servi%C3%A7os>>. Acesso em: 14 out. 2018.

AGÊNCIA PARÁ DE NOTÍCIAS (Brasil). Polo de plantação de dendê será implantado no nordeste paraense. **Acessoria Contábil**, 28 mar. 2012. Disponível em: <<http://www.ctassessoriacontabil.com.br/2012/03/polo-de-plantacao-de-dende-sera-implantado-no-nordeste-paraense/>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

ALMEIDA, J. de P. Programa nacional de produção e uso do biodiesel. In: ALMEIDA, J. de P. **Biodiesel o “óleo filosofal”**: desafios para a educação ambiental no caldeirão do “desenvolvimento sustentável”. 1. ed. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2010. p. 18-45.

ALVES, S. A. O. **Sustentabilidade da agroindústria da palma no Pará**. 2011. 161 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

AQUINO, S. L. de. Contrapondo interpretações de agricultores e pesquisadores sobre possíveis problemas ambientais causados pelo cultivo de eucalipto. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 28, p. 127-143, jul./dez. 2013.

AZEVEDO, A. M. M. **Análise top-down e bottom-up de um programa de inovação tecnológica na área de energia: o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)**. 2010. 331f. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

ANDRADE, R. M. T.; MICCOLIS, A. Policies and institutional legal frameworks in the expansion of Brazilian biofuels. **WorkingPaper 71**. CIFOR, Bogor, Indonésia. 2011.

BACKHOUSE, M. A desapropriação sustentável da Amazônia. O caso de investimentos em dendê no Pará. **Fair Fuels?** WorkingPaper 6, Berlin, v. 1, n. 6, p. 1-32, jun. 2013.

BALIEIRO, M. L. A ação coletiva sob influência da dendecultura: um estudo de caso sobre a Central das Organizações Sociais entre os rios Guamá e Capim (CONSERGC). 2019. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

BECKER, H. **Observação social e estudos de caso sociais**. Métodos de pesquisa em ciências Sociais. São Paulo: Hucitec, 1994. 117-135.

BECKER, B. K. Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo (Dendê)? **Confins**, Paris, n. 10, [s.p.], 2010

BODIESELBR (Brasil). ADM inicia plantio de palma no Pará. **Biodieselbr**, 10 mai. 2012. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/materia-prima/dende/adm-inicia-plantio-palma-para-040512>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

BORGES, A. J.; COLLICCHIO, E.; CAMPOS, G. A. A cultura da palma de óleo (Elaeis guineenses Jacq.) no Brasil e no mundo: aspectos agrônômicos e tecnológicos - uma revisão. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 17, n. 17, p. 65-77, 2016.

BRANDÃO, F.; SCHONEVELD, G.; PACHECO, P. **Integração da agricultura familiar à cadeia da palma de óleo na Amazônia brasileira: análises e recomendações**. Infobrief n. 207, Março. CIFOR. 2018.

BRASIL. **Programa nacional de produção e uso de biodiesel** - Inclusão Social e Desenvolvimento Territorial. Brasília: Qualidade Gráfica, 2010. 48 p.

CAPANEMA. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Diagnóstico e planejamento de desenvolvimento do território rural do Nordeste paraense**. Capanema: Fanep, 2006.

CARDOSO, A. S.; TOLEDO, P. M. de; VIEIRA, I. C. G. Dimensão institucional da sustentabilidade e gestão ambiental no município de Moju, Pará: uma aplicação do Barômetro da Sustentabilidade. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 117-135, jan. 2014.

CASTRO, R. A.; CASTRO, E. M. R. As monoculturas e a sustentabilidade: análises de três regiões do Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 6, n. 2, p. 228-248, jun. 2015.

DELGADO, G. C; CONCEIÇÃO, J. C. P. R. Políticas de preços agrícolas e de estoques de alimentos. In: Revista de política agrícola. Ano XIV – Nº 3 – Jul./Ago./Set. 2005.p, 98-103

FAPESPA. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. Emater assina convênio para a produção de dendê em São Domingos do Capim. **Fapespa**, 24 jan. 2011. Disponível em: <<http://fapespa.pa.gov.br/noticia/466>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

FERREIRA, V. A. et al. Os fatores de repercussão da cadeia produtiva do dendê no desenvolvimento local do Baixo Tocantins. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 39, n. 1, p.173-188, dez. 2016.

FOSTER, W. A. et al. Establishing the evidence base for maintaining biodiversity and ecosystem function in the oil palm landscapes of South East Asia. **Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Sciences**, [s.l.], v. 366, n. 1582, p. 3277-3291, out. 2011.

GOMES, D. L; SILVA, F. C; MACEDO, C. O. “**EXPANSÃO TERRITORIAL DO DENDÊ E RESISTÊNCIA CAMPONESA NO NORDESTE PARAENSE**” CAMINHOS DE GEOGRAFIA - Uberlândia v. 17, n. 57 Mar/2016 p. 191–200

GOMES, L. S.; MAGALHÃES, S. B. Agricultores integrados do dendê e questões relativas ao sistema de produção no PA. **Terra Nova**, Mangaratiba, 2016. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2016/05/30/agricultores-integrados-do-dende-e-questoes-relativas-ao-sistema-de-producao-no-pa-terra-nova-por-lucinaldo-soares-gomes-e-sonia-barbosa-magalhaes/>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

GUEDES, A. C. F. **Adesão das famílias camponesas à produção da palma de óleo nos municípios de Moju e Concórdia do Pará**: estratégias de parceria das empresas Agropalma e Biopalma. 2014. 131 f. Dissertação (Mestrado em Serviço Social) – Instituto de Ciências Sociais Aplicada, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Lavouras permanentes**. IBGE: Rio de Janeiro, 2018a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/pesquisa/15/11863>>. Acesso em: 12 out. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama das cidades**. IBGE: Rio de Janeiro, 2018b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/irituia/panorama>>. Acesso em: 17 out. 2018.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010340142010000100017&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142010000100017&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 28 ago. 2019.

LEES, A. C. et al. Poor prospects for avian biodiversity in Amazonian oil palm. **Plos One**, v. 10, n. 5, 2015. Acesso em: Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4425670/>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

LEVERMANN; R. A.; SOUZA, J. P. M. Óleo de palma: o crescimento da indústria global. **Agroanalysis**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 13-15, 2014. Disponível em: <[http://www.agroanalysis.com.br/storage/2014/2/index\\_20.html#page=14](http://www.agroanalysis.com.br/storage/2014/2/index_20.html#page=14)>. Acesso em: 1 mar. 2019.

MDA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo.

**O que é o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)?** Brasília: MDA, 2014. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-biodiesel/o-que-%C3%A9-o-programa-nacional-de-produ%C3%A7%C3%A3o-e-uso-do-biodiesel-pnpb>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

MORAES, M. H. C. S. **Agrobiodiversidade dos quintais e socioeconomia dos agroecossistemas familiares da cooperativa d'Irituia**. 2017. 189 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais - Manejo de Ecossistemas Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, 2017.

MOTA, D. M. da; SCHMITZ, H.; GOMES, D. L.; SILVA, G. O. da. Does oil palm contract farming improve the quality of life for smallholders in the Brazilian Amazon? In: JEZEER, R.; PASIECZNIK, N. (ed.). **Exploring inclusive palm oil production**. Tropenbos International: Wageningen, the Netherlands, 2019. p. 78-84.

NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B. dos. Impactos socioambientais da dendeicultura em comunidades Tradicionais na Amazônia Paraense. **Acta Geográfica**, Boa Vista, Ed. Esp. Geografia Agrária, p. 63-80, 2013.

NIEDERLE, P. A.; WESZ JUNIOR, V. J. **As novas ordens alimentares**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, v. 1, 2018.

OLIVEIRA, A. U. Agricultura e indústria no Brasil. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 58, p. 5-64, 1980.

OLIVEIRA, J. S. R. **Uso do território, experiências inovadoras e sustentabilidade**: um estudo em unidades de produção familiares de agricultores/as na área de abrangência do programa PROAMBIENTE, Nordeste Paraense. 2006. 116 f. Dissertação (Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável) – Programa de Pós-Graduação em Agriculturas Amazônicas, Centro de Ciências Agrárias, Núcleo de Estudos em Agricultura Familiar, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

OLIVEIRA, K. E. H. de. **A ação coletiva de agricultores familiares integrados à dendeicultura**: um estudo de caso na Associação dos Moradores e Agricultores Familiares da Região do Igarapé-Açu de Baixo, em Irituia- Pará. 2020. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

PAULILO, M. I. S. **Produtor e agroindústria**: consensos e dissensos. O caso de Santa Catarina. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1990. 184 p.

PAYÉS, M. A. M. **O empresário familiar rural**: integração à agroindústria de fumo e diferenciação. 1993. 255 f. Tese (Doutorado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

RAMALHO FILHO, A. et al. **Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. 216 p.

REBELLO, F. K. **Da lenha ao óleo de palma a transformação da agricultura no nordeste paraense**. 2012. 321 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2012.

REIS, M. B. **Arengas & Picicas**: reações populares à Reserva de Desenvolvimento Sustentável no Estado do Amazonas. Belém: Sociedade Civil Mamirauá; Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, 2005. (Estudos do Mamirauá, v. 6).

RIST, L.; FEINTRENIE, L.; LEVANG, P. The livelihood impacts of oil palm: smallholders in Indonesia. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, n. 4, p. 1009-1024, 2010.

SCOTT, J. C. Formas cotidianas da resistência camponesa. **Raízes**, Campina Grande, v. 21, n. 1, p. 10-31, jan./jun. 2002.

SILVA, E. M.; NAVEGANTES-ALVES, L. de F. Transformações nos sistemas de produção familiares diante a implantação do cultivo de dendê na Amazônia Oriental. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 1, n. 40, p. 345-364, abr. 2017.

VIEIRA, A. C. C. **“A integração camponesa ao monocultivo de dendê: subordinação e transformação do campesinato amazônico”**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural, Programa de Pós-Graduação em Agriculturas Amazônicas, Belém, 2015.

ZIEBERT, R. A.; SHIKIDA, P. F. A. Avicultura e produção integrada em Santa Helena, Estado do Paraná: uma abordagem a partir da nova economia institucional. **Rev. Agricultura**, São Paulo, v. 51, n. 1, p. 71-86, jan./jun. 2004.



# Bom para quem? As reações à dendeicultura por contrato na Amazônia paraense

*Good for whom? Dendeiculture reactions by contract in Amazon paraense*

Paula Egyto Tavares<sup>a</sup>

Dalva Maria da Mota<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável,  
Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil  
End. Eletrônico: egytotavares@hotmail.com

<sup>b</sup> Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Amazônia Oriental,  
Belém, PA, Brasil  
End. Eletrônico: dalva.mota@embrapa.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.31664

Received: 19/05/2020  
Accepted: 30/11/2020

ARTICLE – VARIA

## RESUMO

O artigo analisa as reações de aceitação e resistência à dendeicultura por contrato em Irituia. A pesquisa contou com a revisão de documentos e de dados secundários, e com a realização de 33 entrevistas com agricultores familiares produtores de dendê, um sindicalista e dois representantes de órgãos municipais. As principais conclusões mostram que as divergências persistem até os dias atuais. Os defensores a têm como uma opção para a melhoria de vida dos habitantes da região, sendo estes os agentes do governo estadual e um grupo de agricultores. Os críticos - interlocutores de órgãos municipais - e um grupo de agricultores, argumentam que a dendeicultura não se adequa à realidade local. Outro grupo de agricultores absorveu as críticas dos representantes dos órgãos locais e têm medo de aderir a uma nova atividade.

**Palavras-chave:** Dendê. Percepção. Agricultores integrados. Reações. Irituia.

## ABSTRACT

This article analyzes the acceptance or resistance of contract oil palm cultivation in Irituia. Research was based on an analysis of documents and secondary data sources, and included 30 interviews with oil palm farmers, a farmers' union member and representatives of the municipal institutions. Research findings show that initial differences regarding the activity remain until today. Those who defend the activity cite the possibilities of improving the quality of life for regional residents; defenders include a group of farmers and state government agents. Critics, those from municipal institutions, argue that oil palm cultivation is not fitting to the local reality and a separate group of farmers absorbed these criticisms and are apprehensive regarding the new activity.

**Keywords:** Oil palm cultivation. Perception. Integrated farmers. Reactions. Irituia.

## 1 INTRODUÇÃO

O óleo vegetal extraído do fruto da palma de óleo (*Elaeis guineensis*, Jacq.) é de expressiva importância no mercado internacional e líder em comércio e consumo entre os óleos comestíveis (FOSTER et al., 2011). Indonésia e Malásia são os maiores produtores e, juntos, detêm 85% da fabricação mundial, que é destinada predominantemente à indústria alimentícia (ABRAPALMA, 2018; BORGES; COLLICCHIO; CAMPOS, 2016; FOSTER et al., 2011).

No Brasil, sob o incentivo de políticas públicas, o plantio de dendê triplicou nos últimos dez anos levando-o a ocupar a 5ª posição mundial com 236 mil hectares (ABRAPALMA, 2018). O estado do Pará é líder nacional em produção com 207.000 ha de área plantadas, localizados principalmente na mesorregião Nordeste do estado do Pará (NEP) na Amazônia (ABRAPALMA, 2018; BRANDÃO; SCHONEVELD; PACHECO, 2018).

Com base na literatura e em dados secundários, Mota et al. (2019), aponta que a expansão da dendeicultura no Pará deu-se em três fases: a inicial, de experimentação, de 1988 a 1994, referente às primeiras iniciativas de adaptação dos cultivos promovidas por instituições de fomento à produção juntamente com os primeiros empreendimentos privados próximos à região metropolitana de Belém; a de consolidação, entre 1995 e 2009, quando os plantios localizaram-se no NEP com crescente aumento da produção; e a de expansão, iniciada em 2010, com forte intervenção do governo federal (recursos e pesquisas) e sob argumentos socioambientais e de inclusão social.

A partir de 2015, houve arrefecimento da expansão dos cultivos em decorrência da instabilidade política no Brasil, condições econômicas e de mercado desfavoráveis e ineficiência das políticas de agrocombustíveis que geraram preocupações quanto à competitividade e ao futuro da indústria brasileira de óleo de palma (BRANDÃO; SCHONEVELD; PACHECO, 2018).

Entre os estudiosos, há quem manifeste otimismo quanto à dendeicultura na Amazônia pelas condições naturais favoráveis às exigências edafoclimáticas do cultivo (JÚNIOR et al., 2004; KOHLHEP, 2010), a possibilidade de produção de agrocombustíveis (LEVERMANN; SOUZA, 2014), o acúmulo de experiências em virtude da cooperação entre a iniciativa pública e privada nas últimas décadas e a intervenção do governo federal<sup>1</sup>. Argumenta-se também quanto ao menor preço do dendê quando comparado a outras oleaginosas pela quantidade de óleo produzida por ha e à geração de empregos e de dinamização da economia local (ALVES, 2011; BECKER, 2010). Assim, programas prevendo ocupar áreas desmatadas, e com o objetivo de inclusão social, buscam consolidar a posição do Brasil como potência agroexportadora e energética (ALMEIDA, 2010; BACKHOUSE, 2013; FERREIRA et al., 2016; MDA, 2014).

Em contraste, estudiosos indicam a tendência de concentração fundiária, conflitos no campo, risco ambiental sobre os corpos d'água, intenso uso de herbicidas, fungicidas e adubo (NAHUM; SANTOS, 2013) e diminuição de biodiversidade (LEES et al., 2015). Há também quem afirme que políticas públicas baseadas em argumentos de cunho socioambiental são utilizadas para apoiar estratégias de incorporação de novos estoques de terra ao mercado internacional de *commodities* e têm sido associadas aos fenômenos *land grabbing* (apropriação de terras) e *green grabbing* (apropriação verde) (BACKHOUSE, 2013).

Tal processo incide na transformação do acesso e uso dos meios de vida de produtores de base familiar que ali habitam e utilizam recursos naturais (GOMES; SILVA; MACEDO, 2016; GOMES; MAGALHÃES,

1 | Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB, Lei N°.11.097/05), lançado em 2004, possui como principal objetivo a inserção do biodiesel na matriz energética brasileira e contém objetivos voltados à questão ambiental e social (AZEVEDO, 2010; GEISBRECHT, 2013); Programa Nacional de Produção Sustentável de Óleo de Palma (PSOP, PLC 119/2013), lançado em 2010 no município de Tomé-Açu-PA; e o Selo Combustível Social (integrante do PNPB), com o qual o Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) coordena políticas e incentivos para produção de dendê através de financiamento rural e assistência técnica, buscando, dessa maneira, garantir a inclusão social da agricultura familiar (ANDRADE; MICCOLIS, 2011).

2016) e podem ameaçar à insegurança alimentar. A compra, arrendamento, concessão e contrato de fornecimento de terras levam investidores corporativos a investir em cultivos que aumentem a oferta em mercados domésticos e globais para conseguir um retorno favorável ao investimento. A prática é antiga e tem por objetivo também o acesso a políticas públicas de crédito rural fortemente subsidiadas (NIEDERLE; WESZ JUNIOR, 2018).

Como analisado a expansão do monocultivo de dendê no NEP é permeada por controvérsias pelas diferentes visões quanto aos seus propósitos. Grupos divergem quanto à adequação do cultivo ao ecossistema e às necessidades dos agricultores familiares, enquanto outros veem a atividade como uma chance de melhoria de vida para eles. Nesse sentido, o artigo analisa as reações de aceitação e de resistência à dendeicultura por contrato em Irituia com a chegada da empresa Archer Daniels Midland Company (ADM) no ano de 2010<sup>2</sup>.

## 2 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada, em 2018, por meio da abordagem qualitativa e de um estudo de caso (BECKER, 1994) com observações e levantamento de dados primários e secundários. A primeira etapa foi de consulta à literatura, documentos oficiais de políticas públicas e aos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A segunda etapa foi a pesquisa de campo com 33 entrevistas com agricultores familiares que têm contrato de integração (36% do total de agricultores integrados à agroindústria de dendê em Irituia), dois representantes da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (Semma), uma da Secretaria de Agricultura (Semagri) e um do Sindicato dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais (STTR) de Irituia e das Associações de agricultores familiares integrados à agroindústria do dendê<sup>3</sup>.

Para a sistematização dos dados, foi construído um quadro para viabilizar a análise de informações, de modo a comparar os principais conteúdos em todas as entrevistas, e os que mais se repetiam nos discursos. A interpretação dos dados foi realizada por meio da análise de conteúdo das entrevistas de forma horizontal e vertical (MICHELAT, 1987).

O campo de investigação é o município de Irituia, situado na zona fisiográfica denominada Guajarina, no NEP (Mapa 1) onde está situado o polo de produção do óleo de palma<sup>4</sup> que abrange 37 municípios paraenses (CARDOSO; TOLEDO, 2014), dentre os quais, Irituia.

Em termos de valor de produção, a dendeicultura é a segunda atividade agrícola mais importante no NEP e atingiu o montante de R\$ 377.640 mil em 2018 – senda o açaí, a primeira com R\$ 1.750.806 mil (IBGE, 2018).

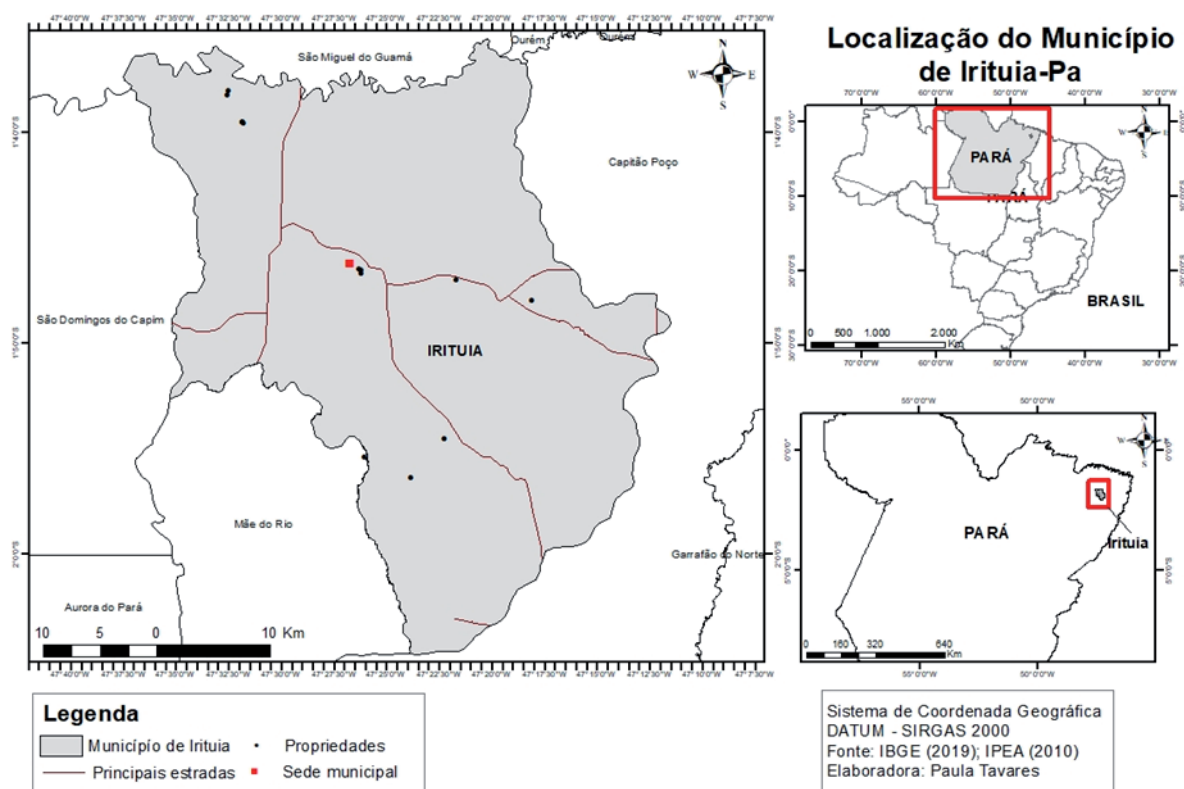
Em se tratando da dendeicultura, o município de Irituia ocupa a 12<sup>o</sup> posição nacional na produção de dendê e a 11<sup>o</sup> no ranking estadual em 2019 (IBGE, 2019). No ano de 2018, foram produzidas 23.205 toneladas, em uma área de 1.547 hectares (IBGE, 2018a) contando com 85 estabelecimentos familiares e 4 fazendas.

2 | A empresa norte-americana Archer Daniels Midland Company iniciou suas instalações no Brasil em 1997. No Pará, a multinacional possui terminal portuário no município de Barcarena e atua na comercialização e processamento de grãos; fabrica óleos vegetais, ingredientes e insumos para a indústria alimentícia e de nutrição animal e biodiesel (ADM, 2018) e aproveitou a ampliação do PNBp para a integração de agricultores familiares da região e para recuperar o Selo Combustível Social (GOMES; MAGALHÃES, 2016).

3 | Segundo Oliveira (2020) foram fundadas cinco associações para mediar a relação de agricultores integrados com a empresa ADM, quais sejam: a Associação dos Pequenos Agricultores Familiares da Vila Bangu; a Associação dos Agricultores Familiares Produtores de Palma da Região da Galileia, a Associação dos Pequenos Produtores Rurais da Região Nossa Senhora do Perpétuo Socorro; e a Associação dos Moradores e Agricultores Familiares de Igarapé-Açu de Baixo. Segundo Balieiro (2019), em 2015 foi fundada a Central das Organizações Sociais entre os Rios Guamá e Capim (Consergc).

4 | A mesorregião Nordeste Paraense foi considerada como o principal polo com potencial para expansão da palma de óleo pelas características favoráveis de clima, solo, disponibilidade de área, logística e também por contar com uma cadeia produtiva com bom avanço no processo de estruturação (SIQUEIRA, 2018).

Mapa 1 | Localização do município de Irituia e das propriedades entrevistadas



Fonte: IBGE (2019); IPEA (2010). Elaboração: Tavares (2020)

O município de Irituia possui área de 1.379,362 km<sup>2</sup>, com uma população estimada em 32.504 habitantes, dos quais 80% residem na zona rural (IBGE, 2018b). A economia é baseada na agricultura diversificada- marcada pelo cultivo de produtos alimentares (mandioca, arroz, milho, feijão-caupi), cultivos semi-perenes e perenes (pimenta-do-reino, coco, laranja, banana, açaí, cupuaçu, graviola, taperebá, abacaxi, pupunha e mais recente o dendê).

A agricultura itinerante, denominada localmente de “corte e queima” para a produção de culturas anuais nas chamadas “roças” tem grande relevância em Irituia, juntamente com iniciativas de recuperação florestal (CAPANEMA, 2006; CARNEIRO, 2018).

Para além da agricultura, o extrativismo e o beneficiamento da madeira também são praticados e todas estas atividades envolvem agricultores familiares (MORAES, 2017; OLIVEIRA, 2006) segundo os seus diversos arranjos ocupacionais no exercício de atividades para garantir à reprodução social. Chama-se a atenção para o debate em torno da noção de agricultura familiar, reconhecida como categoria social e de ação política no debate acadêmico e nas políticas públicas (NEVES, 2002).

### 3 A CHEGADA DO NOVO: QUEM ESTAVA CONTRA E QUEM ESTAVA A FAVOR DA DENDEICULTURA NO MUNICÍPIO DE IRITUIA

No histórico da dendeicultura em Irituia, constata-se que a primeira etapa ocorreu por volta dos anos 2008-2009, com pesquisas de campo para verificar a potencialidade e viabilidade econômica, social e ambiental para a implantação dos cultivos na região do Polo Mãe do Rio<sup>5</sup> (GOMES; MAGALHÃES, 2016).

5 | Trata-se de um conjunto de municípios integrados a uma empresa O polo Mãe do Rio agrupa os municípios de Mãe do Rio, São Domingos do Capim, Aurora do Pará e Irituia com a empresa ADM (Archer Daniels Midland Company) (GOMES; MAGALHÃES, 2016).

A Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Pará (Emater) e a Empresa Eco Dendê<sup>5</sup> foram as responsáveis por realizar essas tarefas (FAPESPA, 2011).

No ano de 2011, houve a consolidação de parcerias entre prefeituras, órgãos estaduais, instituições e empresas dendeicultoras nos municípios de São Domingos do Capim, Aurora do Pará, Irituia e Mãe do Rio (GOMES; MAGALHÃES, 2016). A Emater, por exemplo, firmou convênio de cooperação técnica com a prefeitura de São Domingos do Capim, com objetivo de “[...] ampliar e fortalecer a execução das atividades de assistência técnica aos [...] agricultores familiares beneficiários do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNBP)” (Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa, 2011, n.p).

A penúltima etapa, realizada em março de 2012, consistiu em finalmente apresentar o Plano de Criação do Polo Mãe do Rio para o cultivo de dendê nos municípios de Mãe do Rio, São Miguel do Guamá e Irituia, com o objetivo de comunicar as comunidades locais sobre as ações concernentes à chegada da atividade e instalação dos plantios.

Neste momento, o projeto já estava com todos os procedimentos de negociações consolidados, tais como a pesquisa de campo, concretização de convênios e parcerias, inclusive o arrendamento de terras em fazendas de Irituia. Faltava somente a adesão dos agricultores familiares ao projeto, iniciativa com particular importância no contexto de valorização do Selo Combustível Social (SCS) e do prestígio atribuído às empresas que viabilizassem a inclusão social. As empresas que firmassem contrato com as famílias e comprassem a sua produção receberiam o SCS e, por meio deste, teriam tratamento tributário e acesso a financiamentos de forma diferenciada, com redução nos impostos PIS/Pasep e Cofins (ALMEIDA, 2011).

Em maio do mesmo ano, e como parte da última etapa, foram iniciados os plantios de dendê da empresa ADM nas fazendas alugadas nos municípios da região NEP (AGÊNCIA PARÁ DE NOTÍCIAS, 2012; BIODIESEL BR, 2012; FAPESPA, 2011).

### 3.1 DENDÊ: UMA BOA OPORTUNIDADE?

A expansão da dendeicultura tornou-se uma política de estado e, por meio de ações governamentais, foram envolvidas instituições em programas de incentivo ao plantio (FERREIRA et al., 2016). As ações contaram com o apoio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), e com uma linha de crédito específica com condições de juros diferenciados (Pronaf Eco Dendê) para os agricultores familiares.

O aparato institucional provocou surpresas localmente e exerceram influência nas reações da população. Nahum e Santos (2016) relataram que na microrregião de Tomé-Açu, também no NEP, os simples rumores de que haveria a chegada da dendeicultura nos municípios de Moju, Acará, Tailândia, Tomé-Açu e Concórdia do Pará foi o suficiente para fomentar especulação imobiliária, fluxos de capital e mão de obra. Segundo os autores, antes que os plantios fossem estabelecidos nestes municípios, ocorreram mudanças na oferta de serviços no local, abertura de hotéis, supermercados, oficinas, lojas, etc., situação precedida pelo aquecimento do mercado de terras (em busca de áreas antropizadas).

Em Irituia, um grupo composto por representantes de órgãos estaduais apresentou discurso favorável ao plantio. Foram eles: o Governo do Estado, a Empresa ADM, a Emater, a Federação dos Trabalhadores na Agricultura do Estado do Pará (Fetagri), o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incrá), o Basa e alguns membros do STTR. Todos esses atores argumentavam pela importância da atividade para a melhoria da qualidade de vida; pela oportunidade de trabalho e renda para os agricultores familiares; e estruturação de uma cadeia produtiva com desenvolvimento econômico para o estado. Ademais, os investimentos das políticas públicas contribuiriam para que surgisse interesse do setor privado no cultivo. O sucesso da empresa Agropalma, um dos maiores e mais modernos complexos agroindustriais de dendê no estado do Pará, também chamou atenção desse público (REBELLO, 2012).



Para representantes de instituições públicas, a dendeicultura representaria a dinamização das economias locais “[...] com a aquisição de insumos, combustíveis, mudas, serviços de mecanização agrícola, salários etc., que refletem na melhoria da qualidade de vida das pessoas” (Luiz E. Barros Feio, superintendente regional do Basa no Pará, 2012, n.p) e também pela:

A importância da chegada de projetos de óleo de palma ao Pará vem ao encontro dos anseios dos agricultores familiares que buscam melhor qualidade de vida e trazem ao estado o desenvolvimento econômico, integrando atividade de caráter permanente ao meio rural. (EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DO PARÁ, 2012, n.p).

Para além da economia, foram indicados os méritos da atividade quanto ao uso de áreas consideradas já degradadas (CARDOSO; TOLEDO; VIEIRA, 2014). Durante a apresentação do Plano de Criação do Polo Mãe do Rio para cultivo de dendê no NEP, os prefeitos e secretários municipais foram orientados, pelo então secretário estadual de meio ambiente do Pará, a incentivar o plantio entre os agricultores familiares, pois se tratava de uma solução viável para a melhoria das condições de vida de suas famílias. A mesma afirmativa pode ser encontrada em entrevistas concedidas pelo secretário:

É muito interessante do ponto de vista econômico, sendo uma das atividades produtivas que melhor remuneram a terra, além de utilizar muita mão de obra, tanto no plantio quanto na época de safra [...] Acreditamos que o estado do Pará tem um potencial enorme para a disseminação dessa cultura de maneira sustentável e ao mesmo tempo rentável. (AGÊNCIA PARÁ DE NOTÍCIAS, 2012, n.p).

As empresas, por sua vez, motivadas pelos incentivos estatais, utilizaram diferentes estratégias para garantir matéria-prima, recursos públicos e mão de obra necessária para o processo produtivo, beneficiando-se da integração agroindustrial.

Durante a reunião com os agricultores, a empresa apresentou a dendeicultura como uma oportunidade de bom retorno econômico e possivelmente menor penosidade do trabalho em relação à roça. Para um agricultor ficou claro que: *“pois, (o dendê) só se planta uma vez e depois fica cuidando”*. O discurso, junto à insatisfação com a lavoura de mandioca e a expectativa de melhoria de renda, convenceu alguns agricultores familiares a assinarem o contrato com a agroindústria, conforme o depoimento: *“Disseram [Emater e Eco Dendê] que era uma coisa muito boa. Que vinha pra ajudar muito. Os meus filhos já tinham visto em outros lugares e disseram que era muito bonito e era bom”*. (G. P., 68 anos, agricultor de Irituia, 2018).

Na época, o diretor do STTR do município foi favorável à dendeicultura, e incentivou os agricultores a participarem de uma reunião promovida pela Emater e a Eco Dendê na sua residência, com a presença de 25 a 30 agricultores interessados em assinar contrato com a empresa ADM. Sob o otimismo desses atores, o dendê tornou-se sinônimo de esperança e melhoria de vida compatíveis com as promessas de desenvolvimento e inclusão social, oportunidade de emprego e aumento de renda para comunidades rurais (BRASIL, 2010; RAMALHO FILHO et al., 2010). E, assim, o dendê adentrou as áreas de agricultores familiares.

### 3.2 CONTRÁRIOS À DENDEICULTURA AFIRMAM: DENDÊ NÃO É BOM!

Na fase de instalação dos primeiros plantios de dendê, em 2013, ocorreram discordâncias entre os representantes do governo estadual e municipal e membros da Igreja Católica. Entrevistados afirmaram que os órgãos municipais e os agricultores contrários não tiveram oportunidade de expor suas demandas para que a política pública pudesse atender melhor às necessidades relativas aos problemas agrícolas enfrentados localmente. Para os integrantes desse grupo, a dendeicultura é mais um projeto que “chegou pronto”, pensado de “cima para baixo” para atender os objetivos do Estado e da empresa, gerando descontentamento e resistência por parte da população.

Houve uma reunião em São Miguel [do Guamá]. Estava a ADM, Faepa, prefeitura, Sagri e eu. O Secretário de Estado da época disse que o dendê era a solução, e a orientação era que os prefeitos incentivassem as secretarias a concordarem [com o plantio] e mandarem os agricultores plantarem [dendê] [...] na reunião, a ADM chegou e disse que iam plantar! Que já tinham adquirido as terras [por meio de arrendamento] e iam plantar! (Técnico da Semma)

Representantes municipais afirmaram conhecer melhor a realidade da população e que a dendeicultura não foi um projeto pensado para suprir tais necessidades, portanto, não teria sucesso no município. Silva e Navegantes-Alves (2017) já haviam indicado que o processo de expansão da dendeicultura em Irituia foi bastante conflituoso, uma vez que a empresa ADM não dialogou com as instituições e organizações sociais locais.

A chegada do novo sempre traz preocupação. Uma forma encontrada de se proteger do desconhecido é a resistência, e existem várias formas de manifestá-la, dentre as quais, a fala entre conhecidos. Exercitou-se ali a chamada resistência cotidiana (SCOTT, 2002), na qual não há confronto direto com o opressor, mas grupos de agricultores se negaram a participar das reuniões e a aderir aos plantios, uma vez que não os consideravam de seu interesse.

Segundo entrevistados, entre os representantes da Igreja e de órgãos municipais difundiu-se a notícia de que a atividade não era apropriada à realidade local, o que fortaleceu o receio e a desconfiança em relação à empresa e uma nova cultura. Em jogo, o que seria bom ou ruim para o desenvolvimento local. Os agricultores também tinham medo de perder as terras e não conseguiram pagar o financiamento.

Marise Reis (2005) estudou o reflexo dos boatos na estratégia dos opositores para desarticular e enfraquecer um projeto. No caso da dendeicultura, os opositores se apresentavam como interessados no bem-estar da comunidade e, no intuito de desencorajar aqueles que tendiam a assinar o contrato:

Teve muita resistência, por parte dos próprios agricultores. Quem não queria plantar criticava o projeto. Foi necessário fazer uma associação só para os agricultores de dendê porque na que já existia os membros [cuja maioria não aderiu ao contrato] não deixavam tratar dos assuntos do dendê nela. Teve resistência dos vizinhos porque não conheciam e não sabiam se o dendê ia afetar a terra deles, teve da Igreja que dizia que não era bom. (E. J. C. P., 39 anos, agricultor e presidente da Associação da Comunidade Galiléia, 2018).

A rede de atores contrários fomentava o sentimento dos agricultores que tinham desconfiança quanto à dendeicultura e os incentivava a reivindicar outras demandas para resolver problemas já existentes no município, tais como a podridão radicular das raízes de mandioca, que afeta 80% dos agricultores entrevistados. Tal problema interfere na produção e acarreta em prejuízos aos agricultores e à economia municipal, conforme afirmou um técnico da secretaria: “Temos vários agricultores que reclamam de não conseguir plantar mandioca como antes porque ela apodrece [...]”. (Técnico da Semma, 2017).

De acordo com os técnicos, o viável seria o investimento na solução de problemas já existentes e na expansão de Sistemas Agroflorestais (SAFs), pois os quintais possuem importância tanto para a diversidade no consumo quanto na venda dos produtos agrícolas, além de recuperar áreas degradadas. Um técnico afirmou “Eu acho que tinha que investir em SAFs porque tem que pensar que é uma coisa que os agricultores sabem fazer, podem produzir o próprio alimento e vender. (Técnico da Semagri, 2018).

A Igreja Católica também se mostrou contrária à implantação da dendeicultura, o que causou receio em parte dos agricultores, dividindo opiniões desse grupo em relação ao cultivo. As falas do pároco eram baseadas em experiências vividas em outros municípios. De acordo com o sindicalista entrevistado:

O padre da época não deixou fazer as reuniões na igreja. Eu tive que fazer na minha casa. Quando a empresa chegou aqui, chamando o pessoal, o padre já havia colocado medo no pessoal todinho

dizendo que isso [dendê] não era bom. Se não fosse isso, estava muito melhor a situação do dendê aqui em Irituia. (Atual diretor do sindicato, 2018).

Os relatos contrários ao plantio de dendê coincidem no fato de que a dendeicultura não se faz viável para os agricultores, seja pelo modelo de produção diferente do qual eles estão acostumados a lidar, seja porque esse grupo não participou das discussões sobre a implantação dos plantios ou por acharem que existem projetos melhores para o município e para a sua população.

## 4 A DENDEICULTURA SOB INTEGRAÇÃO EM IRITUIA

A integração consiste em um sistema estabelecido por meio de contrato entre a indústria (integradora) e o agricultor (integrado), na qual os agricultores integrados se comprometem a produzir determinada matéria-prima que será adquirida e beneficiada pela agroindústria (AQUINO, 2013; PAYÉS, 1993; ZIEBERT; SHIKIDA, 2004). Enquanto sistema, a integração teve relevância nas décadas de 60 e 70, quando ocorreram três grandes processos referentes ao agronegócio brasileiro: o início do monocultivo como sistema de produção, o agronegócio como discurso político empresarial e a integração dos agricultores familiares ao monocultivo como relação social, processo caracterizado pelo fornecimento regular de matéria-prima pelos agricultores e a cotação dos preços pela indústria (DELGADO; CONCEIÇÃO, 2012).

Oliveira (1980) afirma que no sistema de integração ocorre o processo de subordinação dos agricultores familiares em relação as empresas, primeiro pela dependência para adquirir os insumos para a produção, e posteriormente para comercialização do produto. Posteriormente, Paulilo (1990) analisou que entre as partes contratantes, estabelece-se uma relação assimétrica em que uma delas (o agricultor) tem, simultaneamente, consciência crítica e aceitação sem, entretanto, ver outra alternativa considerando que a integração corresponde ao desejo de ter mercado garantido, assistência técnica e crédito, indisponíveis para as demais culturas.

Essa relação é comumente criticada por autores que indicam que os agricultores familiares são afetados negativamente. No caso da dendeicultura, as empresas têm obrigações com os agricultores como assinatura de contratos, capacitação, assistência técnica e compra da matéria prima produzida. Porém, estudos apontam problemas decorrentes pelos efeitos sócio econômicos e ambientais negativos como volume de trabalho, contaminação de igarapés e perda da soberania (GOMES; SILVA; MACEDO, 2015; CASTRO; CASTRO, 2015; FERREIRA, 2016). Vieira (2015) destaca também o endividamento dos agricultores familiares junto aos agentes financeiros.

### 4.1 “COOPTAÇÃO” E INTEGRAÇÃO DE AGRICULTORES FAMILIARES ÀS AGROINDÚSTRIAS

O processo de integração no município de Irituia iniciou por uma ação denominada de “cooptação” de agricultores, que consiste no mapeamento daqueles hábeis à integração. A empresa ADM contou com os serviços de uma intermediária, a Eco Dendê e da Emater para realizar reunião nas localidades. Devido à resistência em relação à atividade, os agricultores favoráveis reuniram-se na residência de um sindicalista na comunidade Itabocal. A reunião contou com 25 a 30 agricultores interessados em assinar contrato com a empresa ADM e garantir o plantio.

Para ser apto, era necessário atender a uma série de pré-requisitos, incluindo as condições de acesso ao crédito do Pronaf Eco Dendê (não ter restrições bancárias) e um estabelecimento com 25 hectares, visto que, destes, cerca de 10 hectares seriam para o plantio de dendê (BRANDÃO; SCHONEVELD; PACHECO, 2018). Foram então realizadas visitas aos agricultores para a avaliação das condições sociais e da estrutura de seus estabelecimentos, ocasiões nas quais se observou aspectos como: existência de reserva legal, as culturas e seus rendimentos, facilidade de acesso à estrada e distância da usina da

empresa, possibilidade de formação de aglomerados de agricultores, disponibilidade da mão de obra familiar, idade do agricultor que pretendia assinar o contrato, número de filhos e familiares adultos que moravam nos imóveis, capacidade financeira de manejo e cultivos (BRANDÃO; SCHONEVELD; PACHECO, 2018; GUEDES, 2014).

A etapa subsequente tratou da documentação do imóvel. Era necessário possuir o título definitivo, documento de compra e venda ou comodato, a Declaração de Aptidão ao Pronaf (DAP) com renda anual superior a R\$ 20.000 e o Cadastro Ambiental Rural (CAR) com ZAE-Palma. Esses são documentos que normalmente os agricultores não possuem, motivo pelo qual a empresa, em articulação com as organizações responsáveis, viabilizou com rapidez a sua emissão (BRANDÃO; SCHONEVELD, PACHECO, 2018; GUEDES, 2014).

Como parte da estratégia de convencimento, os agricultores foram levados para conhecer os plantios de agricultores familiares integrados à Agropalma, em Tomé-Açu. Denis Araki, biólogo da empresa Eco Dendê afirmou que ocorreram reuniões com várias associações rurais para a apresentação do projeto de implantação do Polo de Produção do dendê e que seria também realizado o intercâmbio, entre agricultores que fossem selecionados, para conhecer o processo e o funcionamento da cadeia produtiva da oleaginosa nesse município (FAPESPA, 2011).

Em Irituia, 91 agricultores assinaram o contrato em 2013. No momento da pesquisa, entretanto, havia 85 integrados, de acordo com informações da Semma. A diminuição desse número decorre do abandono dos plantios por algumas famílias que não conseguiram manter as exigências do cultivo e da relação contratual.

Dos agricultores integrados entrevistados, 97% são do sexo masculino e apenas 3% do feminino. 43% estão na faixa etária entre 60 e 70 anos, 40% entre 40 e 50 anos e 17% têm até 30 anos. As famílias têm em média quatro integrantes. Em se tratando dos estabelecimentos, 75% são proprietários e 25% trabalham em terra cedida por familiares como pai, mãe e irmãos. O tamanho médio dos lotes é de 44 hectares e as áreas ocupadas com dendeais variam entre 2,5 a 10 hectares (12% têm 3,3 hectares, 38% têm 5, 17% têm de 6 a 8,5; e 33% têm 10 hectares). Apesar da exigência inicial de 10 hectares para plantio de dendê na fase de triagem, a empresa permitiu áreas menores, porque era pequena a quantidade de agricultores que se mostrou interessada, afirmou um dos agricultores (N. R. A., 59 anos).

## 4.2. AS NOVAS CISÕES ENTRE AGRICULTORES INTEGRADOS: (IN)SATISFEITOS

Passados seis anos da assinatura do contrato de integração para a produção de dendê, novas percepções foram construídas segundo as experiências que vivenciam. Dentre estas, privilegiaram-se aqui dois grupos.

### SATISFEITOS E ESPERANÇOSOS

Neste grupo, situam-se os agricultores (34%) cujas apreciações correspondem aos principais argumentos utilizados durante a “cooptação”, o que demonstra como o discurso da empresa influenciou na sua decisão no momento de assinatura do contrato. Como em outros casos, deve-se também considerar a situação de vulnerabilidade social vivenciada e a insatisfação com a cultura da mandioca e o preço baixo da farinha. Segundo um agricultor: “Para mim o dendê foi uma salvação, estou muito satisfeito porque senão fosse isso, nós ainda estávamos pensando com a mandioca! É bom, mas tem que fazer tudo direitinho [...]” (R. M. L., 29 anos, agricultor, 2018). Para outro:

Eu digo que não fui eu que achei o dendê, foi o dendê que me achou [...]. Eu abracei o dendê como se fosse minha tabua de salvação, eu estava desiludido com a mandioca [devido ao apodrecimento e baixo preço de mercado], aí estava passando o dendê e eu me abracei nele, era a única opção que eu tinha. (A. M. M., 45 anos, agricultor, 2018).

Relatos semelhantes foram encontrados no estudo de Silva e Navegantes-Alves (2017), em que os agricultores afirmam que optaram por produzir dendê por se tratar de uma alternativa estabelecida por contrato, em que se garante a compra e por ter o apoio da assistência técnica da empresa. As condições citadas são inexistentes para os demais pela insuficiência de políticas públicas e serviços para outros cultivos.

Em experiências em Bungo, na Indonésia, foi possível verificar semelhanças nessas afirmativas, no qual o grande interesse na implantação de dendê foi a esperança de uma fonte regular de renda que garantisse saúde e educação, e maior poder aquisitivo no tocante a bens materiais (RIST; FEINTRENIE; LEVANG, 2010).

Em suma, analisando os depoimentos destes entrevistados e estudos correlatos, percebe-se que o dendê se tornou uma “tábua de salvação”. Uma parcela dos agricultores (34%) que consegue manter o plantio segundo o itinerário técnico defende a atividade e relata os primeiros sinais de rendimentos econômicos. Eles alegam que quando o plantio é bem cuidado, seguindo todas as recomendações, a colheita tem bom rendimento. Além disso, há a garantia de venda da produção, razões que atenderam suas expectativas e lhes proporcionam o sentimento de satisfação.

Ainda não estamos adaptados com ele [o dendê], temos que deixar tudo para poder focar só nele, aí sim [...]. Porque aí você vai só colher, faz a “brocada” lá, colhe e vai botando para a empresa. Olha, o dendê mais antigo aqui da região já está com sete anos, e os cachos já estão dando 25 kg, já sai cacho todo dia que não dão nem conta de colher. Então, esse tanto de dendê que temos aqui significa uma aposentadoria para minha família. (A. B. C., 61 anos, agricultor de Irituia, 2018).

O relato acima demonstra a satisfação do agricultor com o dendê e reforça os dados encontrados por Mota et al. (2019), que mostram que 53% de seus entrevistados estão satisfeitos como produtores e com os ganhos. A satisfação dos agricultores está relacionada à obtenção de renda, colheita quinzenal, mercado garantido e o acesso a serviços como crédito e assistência técnica.

A situação encontrada em Irituia era de uma agricultura com muitas carências em termos de assistência técnica, desmotivações devido aos problemas nos plantios tradicionais, principalmente da mandioca, dificuldades de venda da produção e baixo retorno econômico.

### PREOCUPADOS E TEMEROSOS

A maioria dos agricultores (66%) relatam insatisfações em trabalhar com o dendê. Eles argumentam que não conseguem manter o ritmo de trabalho, principalmente aqueles que dispõem apenas da própria mão de obra e da esposa. Em consequência, sentem-se temerosos e preocupados com o financiamento que devem pagar no futuro próximo.

O que levou o Sr. a plantar dendê? – Muita conversa dos técnicos! Eles contaram muita mentira. Eu disse pra eles, que eu só fiz porque eles disseram uma coisa e agora é outra. O dendê só serve pra quando o cara é novo e a família é grande. Porque quando a pessoa é sozinha pra trabalhar lá, não aguenta. E tem que ter dinheiro, pra mandar limpar. (J. S. L., 41 anos, agricultor de Irituia, 2018).

Outro agricultor afirmou:

Só no vermelho e não dá para cobrir as necessidades [...] Trabalhava com uma coisa e foram empurrados para trabalhar em outra. Os recursos que vem não dá. Pessoas que eram para estar na frente estão esmorecidas. Era para ter um reflorestamento. Na campanha da fraternidade eles estão debatendo os recursos. Muitos estão usando agrotóxicos inadequados para o meio ambiente e para a nossa saúde. (V. R. C., 64 anos, agricultor, 2018).



Nas observações realizadas em campo e nos depoimentos coletados constatou-se que há dendezais abandonados e carentes de tratamentos culturais. Outra situação é que seis entrevistados interromperam as colheitas após a ocorrência de incêndios provocados, segundo eles, pela abertura de roças de vizinhos.

Mota et al. (2019) também relatam esta insatisfação. Em seu estudo, 25% dos agricultores afirmam estar insatisfeitos como produtores de dendê e com seus ganhos, e 19% descrevem se sentir insatisfeitos particularmente por serem produtores. Em todos os casos analisados, despontaram insatisfações com o volume do trabalho, assistência técnica e com os rendimentos auferidos. Outro fator de frustração é a falta de melhorias na infraestrutura de suas comunidades, objeto de promessa nas reuniões de “cooptação” em se tratando de educação, saúde, estradas e segurança.

Se fosse hoje eu não plantava. Na época eu plantei porque a firma veio com uma promessa muito boa e eu assinei. O gerente conversou muito bonito, prometendo mundos e fundos [manutenção, trator], aí eu plantei. Mas se fosse hoje eu não tinha assinado. (J. F., 52 anos, agricultor de Irituia, 2018).

Brandão; Schoneveld; Pacheco (2018) elaboraram uma tipologia com dados de produção de três principais empresas que produzem dendê no Pará e concluíram que a maioria dos agricultores (54.8%) não atendem às expectativas de produtividade das empresas. Os autores indicam riscos de ruptura com a atividade, conseqüentemente, a possibilidade de inadimplência com o financiamento.

Por fim, pode-se perceber que desde o início, a atividade foi cercada de controvérsias. Os diferentes grupos se dividem em posições contrárias e favoráveis ao plantio, resultando em momentos de resistência e aceitação à atividade.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo analisam-se as reações de aceitação e resistência à dendeicultura por contrato em Irituia-PA. O processo de implantação da dendeicultura foi controverso, com divergências entre diferentes atores. A atividade dividiu opiniões entre o apoio do Estado (secretarias e sindicatos) e a oposição de entidades representativas locais (Igrejas, membros dos sindicatos contrários). Também houve dissensos entre os agricultores, que, em parte, se mostraram favoráveis, movidos pelo sentimento de esperança com a melhoria de renda, e outros que optaram por não assinar o contrato, devido, entre outros motivos, ao medo diante da atividade desconhecida. Com tais divergências, conclui-se que não obstante o pertencimento a categoria de agricultores familiares e afiliação a uma mesma instituição sindical, as percepções e opções divergem segundo as condições objetivas, compreensões e expectativas.

O Estado, a empresa e o sindicato, por meio de seus representantes, foram os maiores interessados na implantação da atividade e, não obstante, as suas especificidades, entoaram o mesmo discurso quanto a geração de emprego e renda, melhoria da qualidade de vida dos agricultores e dinamização da economia local. Esse discurso foi determinante na construção de expectativas por parte dos agricultores somado às frustrações em relação às culturas com as quais trabalham e a possibilidade de ter assistência técnica, crédito bancário e comercialização garantida.

Se na fase inicial, os agricultores que aderiram ao contrato para à integração expressavam as mesmas expectativas, após o plantio e as primeiras colheitas, as opiniões divergem, muito embora a esperança permeie as suas falas em face das dificuldades vividas com a mandioca e outros produtos. Assim, um terço dos entrevistados expressa satisfação (chance de uma nova atividade, renda e periodicidade de colheita), enquanto dois terços não possuem o mesmo sentimento (produção abaixo do esperado, trabalho árduo e falta de mão de obra) com registro de abandono de dendezais.

Como conclusão geral, as reações de aceitação e de resistência à dendeicultura por contrato são dinâmicas e variaram nas diferentes etapas (da divulgação à produção). Não obstante, permitem concluir que há desproporcionalidade entre os discursos iniciais e as práticas posteriores. Problematizar os modelos de integração e de produção com grandes campos monocultores e a dependência de um único comprador, vislumbra-se como urgente, particularmente com o envolvimento das representações dos agricultores.

## REFERÊNCIAS

- ABRAPALMA. Associação Brasileira de Produtores de Óleo de Palma. **Retrospecto e projeções da palma de óleo no Brasil 2018 – 2019**. Abrapalma: Belém, 2018. Disponível em: <[http://www.abrapalma.org/pt/wp-content/uploads/2018/12/Resumo\\_Relatorio\\_2018-2.pdf](http://www.abrapalma.org/pt/wp-content/uploads/2018/12/Resumo_Relatorio_2018-2.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2019.
- ADM. Archer Daniels Midland Company (Brasil). **Negócios**. 2018. Disponível em: <<https://www.adm.com/adm-worldwide/brazil-pr/produtos-e-servi%C3%A7os>>. Acesso em: 14 out. 2018.
- AGÊNCIA PARÁ DE NOTÍCIAS (Brasil). Polo de plantação de dendê será implantado no nordeste paraense. **Acessoria Contábil**, 28 mar. 2012. Disponível em: <<http://www.ctassessoriacontabil.com.br/2012/03/polo-de-plantacao-de-dende-sera-implantado-no-nordeste-paraense/>>. Acesso em: 15 dez. 2018.
- ALMEIDA, J. de P. Programa nacional de produção e uso do biodiesel. In: ALMEIDA, J. de P. **Biodiesel o “óleo filosofal”**: desafios para a educação ambiental no caldeirão do “desenvolvimento sustentável”. 1. ed. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2010. p. 18-45.
- ALVES, S. A. O. **Sustentabilidade da agroindústria da palma no Pará**. 2011. 161 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- AQUINO, S. L. de. Contrapondo interpretações de agricultores e pesquisadores sobre possíveis problemas ambientais causados pelo cultivo de eucalipto. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 28, p. 127-143, jul./dez. 2013.
- AZEVEDO, A. M. M. **Análise top-down e bottom-up de um programa de inovação tecnológica na área de energia: o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)**. 2010. 331f. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- ANDRADE, R. M. T.; MICCOLIS, A. Policies and institutional legal frameworks in the expansion of Brazilian biofuels. **WorkingPaper 71**. CIFOR, Bogor, Indonésia. 2011.
- BACKHOUSE, M. A desapropriação sustentável da Amazônia. O caso de investimentos em dendê no Pará. **Fair Fuels?** WorkingPaper 6, Berlin, v. 1, n. 6, p. 1-32, jun. 2013.
- BALIEIRO, M. L.. A ação coletiva sob influência da dendeicultura: um estudo de caso sobre a Central das Organizações Sociais entre os rios Guamá e Capim (CONSERGC). 2019. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
- BECKER, H. **Observação social e estudos de caso sociais**. Métodos de pesquisa em ciências Sociais. São Paulo: Hucitec, 1994. 117-135.
- BECKER, B. K. Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo (Dendê)? **Confins**, Paris, n. 10, [s.p.], 2010
- BODIESELBR (Brasil). ADM inicia plantio de palma no Pará. **Biodieselbr**, 10 mai. 2012. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/materia-prima/dende/adm-inicia-plantio-palma-para-040512>>. Acesso em: 15 dez. 2018.
- BORGES, A. J.; COLLICCHIO, E.; CAMPOS, G. A. A cultura da palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) no Brasil e no mundo: aspectos agrônômicos e tecnológicos - uma revisão. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 17, n. 17, p. 65-77, 2016.

BRANDÃO, F.; SCHONEVELD, G.; PACHECO, P. **Integração da agricultura familiar à cadeia da palma de óleo na Amazônia brasileira: análises e recomendações.** Infobrief n. 207, Março. CIFOR. 2018.

BRASIL. **Programa nacional de produção e uso de biodiesel** - Inclusão Social e Desenvolvimento Territorial. Brasília: Qualidade Gráfica, 2010. 48 p.

CAPANEMA. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Diagnóstico e planejamento de desenvolvimento do território rural do Nordeste paraense.** Capanema: Fanep, 2006.

CARDOSO, A. S.; TOLEDO, P. M. de; VIEIRA, I. C. G. Dimensão institucional da sustentabilidade e gestão ambiental no município de Moju, Pará: uma aplicação do Barômetro da Sustentabilidade. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 117-135, jan. 2014.

CASTRO, R. A.; CASTRO, E. M. R. As monoculturas e a sustentabilidade: análises de três regiões do Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 6, n. 2, p. 228-248, jun. 2015.

DELGADO, G. C; CONCEIÇÃO, J. C. P. R. Políticas de preços agrícolas e de estoques de alimentos. In: Revista de política agrícola. Ano XIV – Nº 3 – Jul./Ago./Set. 2005.p, 98-103

FAPESPA. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. Emater assina convênio para a produção de dendê em São Domingos do Capim. **Fapespa**, 24 jan. 2011. Disponível em: <<http://fapespa.pa.gov.br/noticia/466>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

FERREIRA, V. A. et al. Os fatores de repercussão da cadeia produtiva do dendê no desenvolvimento local do Baixo Tocantins. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 39, n. 1, p.173-188, dez. 2016.

FOSTER, W. A. et al. Establishing the evidence base for maintaining biodiversity and ecosystem function in the oil palm landscapes of South East Asia. **Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences**, [s.l.], v. 366, n. 1582, p. 3277-3291, out. 2011.

GOMES, D. L; SILVA, F. C; MACEDO, C. O. “**EXPANSÃO TERRITORIAL DO DENDÊ E RESISTÊNCIA CAMPONESA NO NORDESTE PARAENSE**” CAMINHOS DE GEOGRAFIA - Uberlândia v. 17, n. 57 Mar/2016 p. 191–200

GOMES, L. S.; MAGALHÃES, S. B. Agricultores integrados do dendê e questões relativas ao sistema de produção no PA. **Terra Nova**, Mangaratiba, 2016. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2016/05/30/agricultores-integrados-do-dende-e-questoes-relativas-ao-sistema-de-producao-no-pa-terra-nova-por-lucinaldo-soares-gomes-e-sonia-barbosa-magalhaes/>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

GUEDES, A. C. F. **Adesão das famílias camponesas à produção da palma de óleo nos municípios de Moju e Concórdia do Pará**: estratégias de parceria das empresas Agropalma e Biopalma. 2014. 131 f. Dissertação (Mestrado em Serviço Social) – Instituto de Ciências Sociais Aplicada, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Lavouras permanentes.** IBGE: Rio de Janeiro, 2018a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/pesquisa/15/11863>>. Acesso em: 12 out. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama das cidades.** IBGE: Rio de Janeiro, 2018b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/irituia/panorama>>. Acesso em: 17 out. 2018.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010340142010000100017&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142010000100017&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 28 ago. 2019.

LEES, A. C. et al. Poor prospects for avian biodiversity in Amazonian oil palm. **Plos One**, v. 10, n. 5, 2015. Acesso em: Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4425670/>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

LEVERMANN; R. A.; SOUZA, J. P. M. Óleo de palma: o crescimento da indústria global. **Agroanalysis**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 13-15, 2014. Disponível em: <[http://www.agroanalysis.com.br/storage/2014/2/index\\_20.html#page=14](http://www.agroanalysis.com.br/storage/2014/2/index_20.html#page=14)>. Acesso em: 1 mar. 2019.

MDA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo.

**O que é o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)?** Brasília: MDA, 2014. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-biodiesel/o-que-%C3%A9-o-programa-nacional-de-produ%C3%A7%C3%A3o-e-uso-do-biodiesel-pnpb>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

MORAES, M. H. C. S. **Agrobiodiversidade dos quintais e socioeconomia dos agroecossistemas familiares da cooperativa d'Irituia**. 2017. 189 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais - Manejo de Ecossistemas Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, 2017.

MOTA, D. M. da; SCHMITZ, H.; GOMES, D. L.; SILVA, G. O. da. Does oil palm contract farming improve the quality of life for family farmers in the Brazilian Amazon? In: JEZEER, R.; PASIECZNIK, N. (ed.). **Exploring inclusive palm oil production**. Tropenbos International: Wageningen, the Netherlands, 2019. p. 78-84.

NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B. dos. Impactos socioambientais da dendeicultura em comunidades Tradicionais na Amazônia Paraense. **Acta Geográfica**, Boa Vista, Ed. Esp. Geografia Agrária, p. 63-80, 2013.

NIEDERLE, P. A.; WESZ JUNIOR, V. J. **As novas ordens alimentares**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, v. 1, 2018.

OLIVEIRA, A. U. Agricultura e indústria no Brasil. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 58, p. 5-64, 1980.

OLIVEIRA, J. S. R. **Uso do território, experiências inovadoras e sustentabilidade**: um estudo em unidades de produção familiares de agricultores/as na área de abrangência do programa PROAMBIENTE, Nordeste Paraense. 2006. 116 f. Dissertação (Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável) – Programa de Pós-Graduação em Agriculturas Amazônicas, Centro de Ciências Agrárias, Núcleo de Estudos em Agricultura Familiar, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

OLIVEIRA, K. E. H. de. **A ação coletiva de agricultores familiares integrados à dendeicultura**: um estudo de caso na Associação dos Moradores e Agricultores Familiares da Região do Igarapé-Açu de Baixo, em Irituia- Pará. 2020. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

PAULILO, M. I. S. **Produtor e agroindústria**: consensos e dissensos. O caso de Santa Catarina. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1990. 184 p.

PAYÉS, M. A. M. **O empresário familiar rural**: integração à agroindústria de fumo e diferenciação. 1993. 255 f. Tese (Doutorado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

RAMALHO FILHO, A. et al. **Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. 216 p.

REBELLO, F. K. **Da lenha ao óleo de palma a transformação da agricultura no nordeste paraense**. 2012. 321 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2012.

REIS, M. B. **Arengas & Picicas**: reações populares à Reserva de Desenvolvimento Sustentável no Estado do Amazonas. Belém: Sociedade Civil Mamirauá; Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, 2005. (Estudos do Mamirauá, v. 6).

RIST, L.; FEINTRENIE, L.; LEVANG, P. The livelihood impacts of oil palm: smallholders in Indonesia. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, n. 4, p. 1009-1024, 2010.

SCOTT, J. C. Formas cotidianas da resistência camponesa. **Raízes**, Campina Grande, v. 21, n. 1, p. 10-31, jan./jun. 2002.

SILVA, E. M.; NAVEGANTES-ALVES, L. de F. Transformações nos sistemas de produção familiares diante a implantação do cultivo de dendê na Amazônia Oriental. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 1, n. 40, p. 345-364, abr. 2017.

VIEIRA, A. C. C. **“A integração camponesa ao monocultivo de dendê: subordinação e transformação do campesinato amazônico”**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural, Programa de Pós-Graduação em Agriculturas Amazônicas, Belém, 2015

ZIEBERT, R. A.; SHIKIDA, P. F. A. Avicultura e produção integrada em Santa Helena, Estado do Paraná: uma abordagem a partir da nova economia institucional. **Rev. Agricultura**, São Paulo, v. 51, n. 1, p. 71-86, jan./jun. 2004





In this year-end edition, Sustainability in Debate reinforces, in its Editorial, the importance of science in the era of denialism and during pandemic times. In addition to fading into this annus horribilis, we present a dossier with relevant and consistent scientific research results. With twelve articles, the dossier “Impact, Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Brazil: an Integrated Approach”, brings studies developed within the scope of the project that subsidized the preparation of the Fourth National Communication of Brazil (4NC) to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Completing the edition, we have three articles in the Varia section, with diverse themes that broaden the much-needed debate on sustainability.

We wish you health! Have a happy New Year and a great read!

*Nesta edição de fim de ano, Sustentabilidade em Debate reforça, em seu Editorial, a importância da ciência na era do negacionismo e nos tempos de pandemia. E para fomentar o debate neste annus horribilis, apresentamos um dossiê com resultados de pesquisas científicas relevantes e consistentes. Com doze artigos, o dossiê “Impacto, Vulnerabilidade e Adaptação à Mudança do Clima no Brasil: uma Abordagem Integrada” traz estudos desenvolvidos no âmbito do projeto que subsidiou a elaboração da Quarta Comunicação Nacional do Brasil (4CN) à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC). Completando a edição, temos 3 artigos na seção Varia, que, com temas diversificados, ampliam o debate tão necessário sobre sustentabilidade.*

*Desejamos saúde, feliz Ano Novo e uma ótima leitura!*

Realização



CDS-UnB



LEA-UnB

Edição



Apoio



Fundação de Apoio à  
Pesquisa do Distrito Federal