

# 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

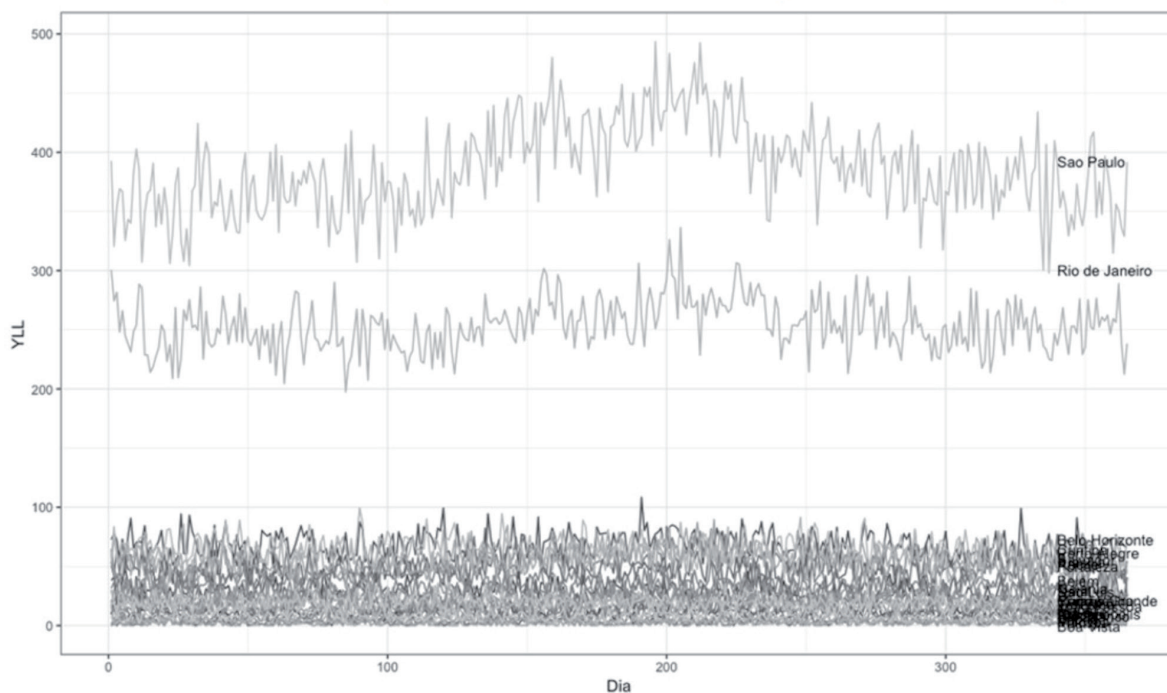
Capital/Região	YLL		Temperatura (°C) de Risco Mínimo*		Aquecimento Global Temperatura média			
	DR**	DC	DR	DC	Baseline	1.5°C	2.0°C	4.0°C
Palmas	97	749	24,0	31,2	25,9	28,5	30,2	32,7
Porto Velho	507	2347	23,4	25,5	24,8	27,1	28,9	31,7
Rio Branco	477	1425	26,4	26,4	24,3	26,8	28,5	31,4
<b>NORDESTE</b>								
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)

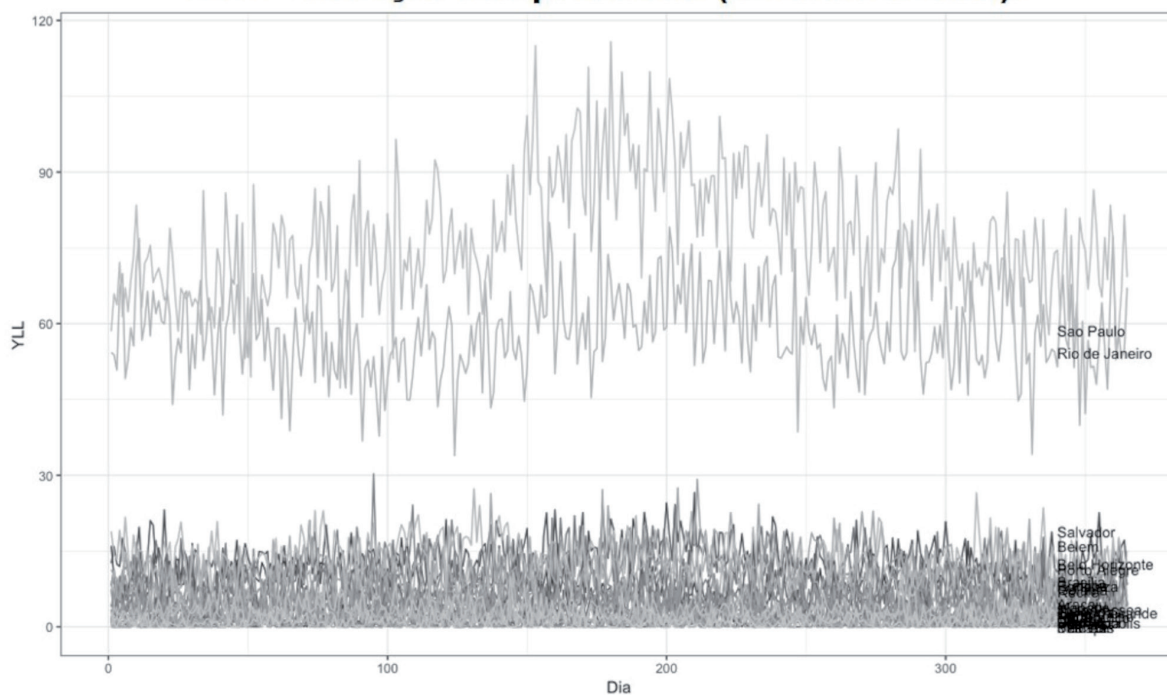
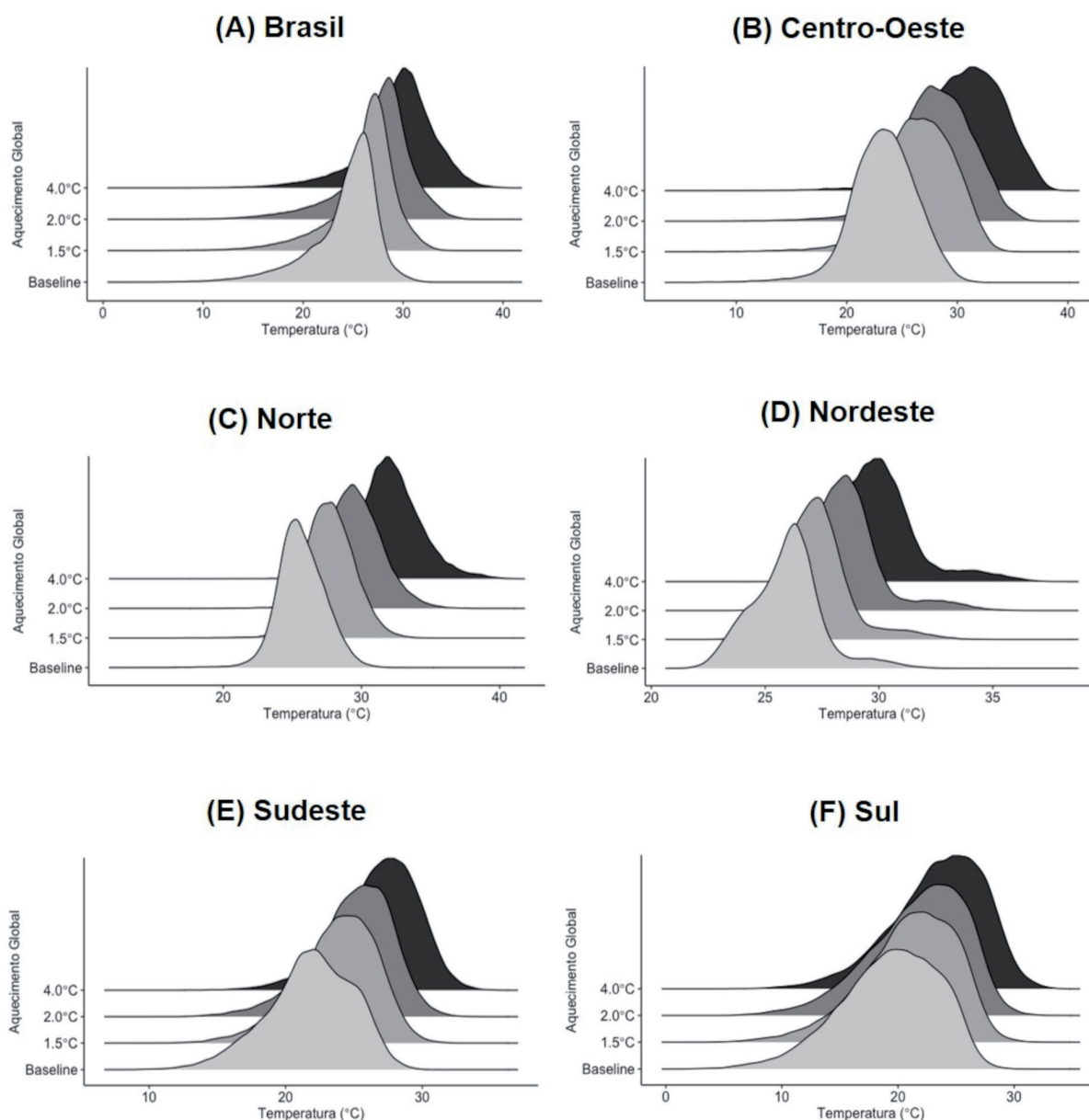


Figura 1 | Série temporal diária das médias dos Anos de Vida Perdidos (YLL) segundo a capital brasileira.

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.



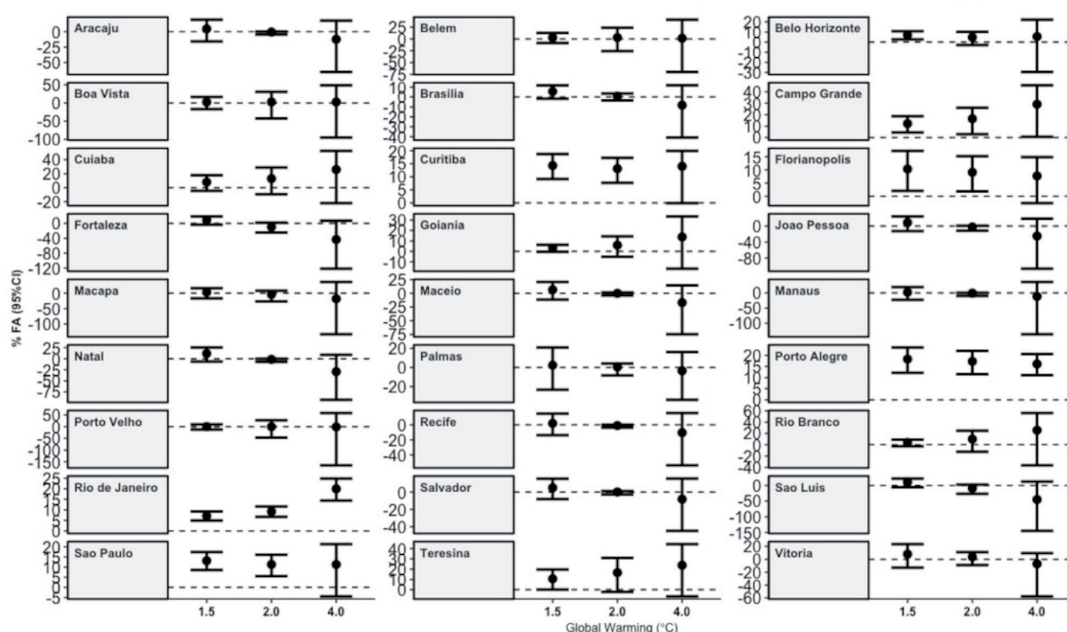
**Figura 2 |** Distribuição das projeções de temperaturas para as capitais agregadas por região, segundo cenários de aquecimento global. Brasil 1961 a 2099.

*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)

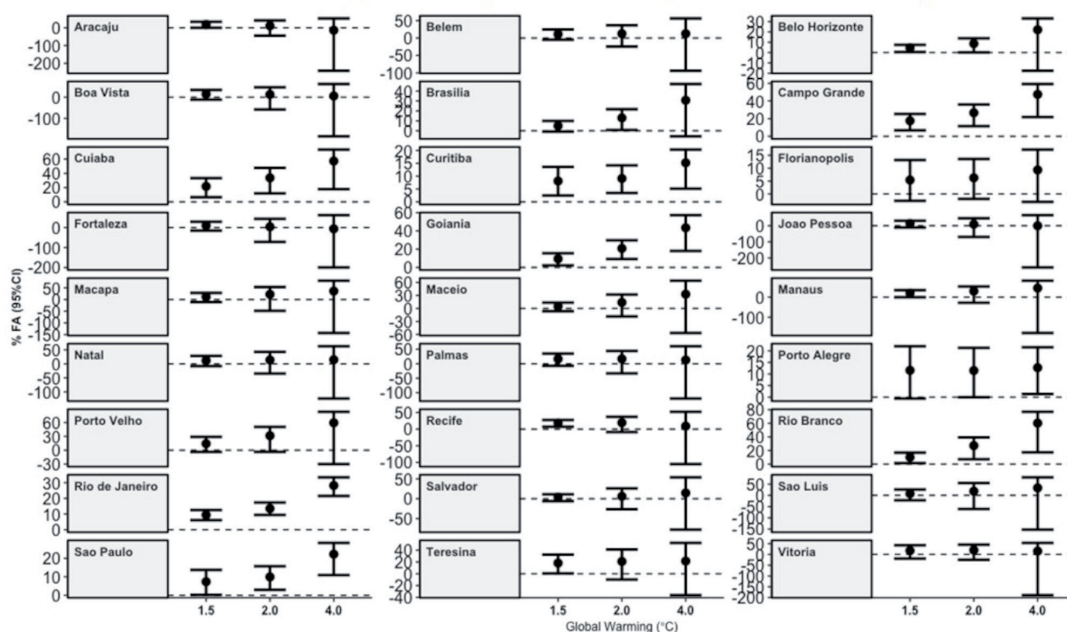


Figura 3 | Fração do YLL atribuível (Total = Frio + Calor) ao aquecimento global. Brasil, capitais.

Fonte: Elaborado pelos autores.

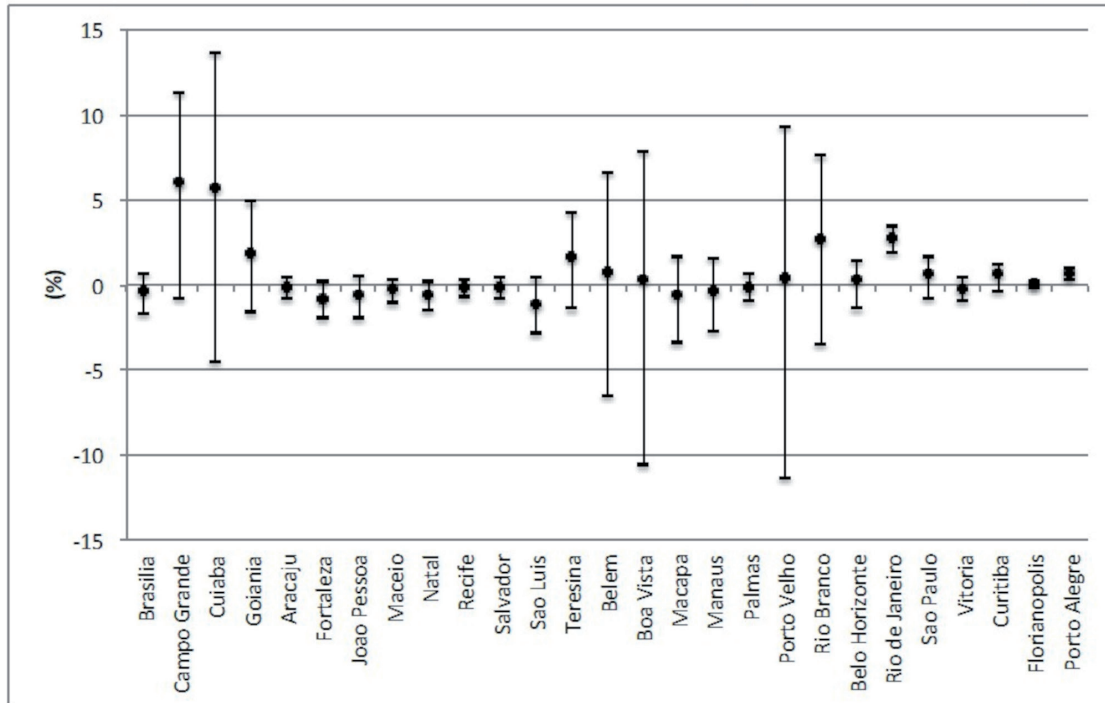
Quanto ao incremento percentual do impacto do aquecimento de 1,5°C em relação ao período *baseline* (1961 a 2005), verificou-se que Campo Grande e Cuiabá são as capitais mais impactadas tanto em relação às doenças respiratórias quanto às doenças cardiovasculares (Figura 4).

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)

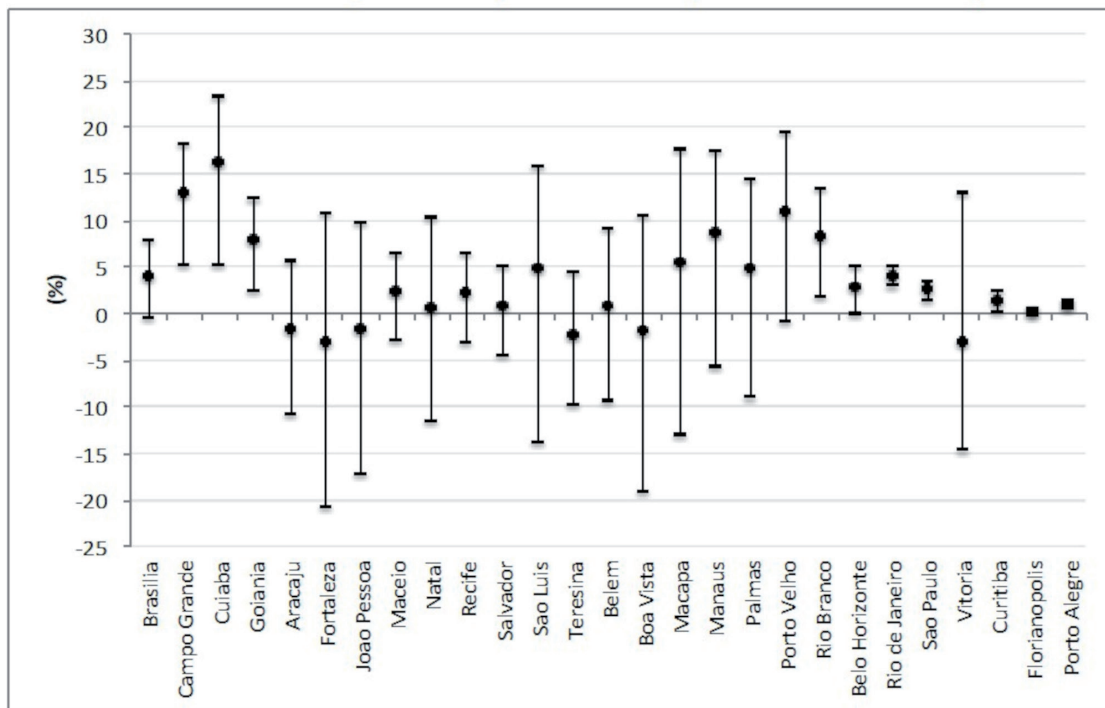


Figura 4 | Diferença relativa percentual do YLL atribuível ao aquecimento global de 1,5°C comparado ao período *baseline* (1961 – 2005), segundo as capitais do Brasil.

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.