

Oportunidades de adaptação para a segurança hídrica no Brasil

Adaptation opportunities for water security in Brazil

Vânia Rosa Pereira^a

Daniel Andrés Rodriguez^b

Sonia Maria Viggiani Coutinho^c

Diogo Victor Santos^d

José Antônio Marengo^e

^a Doutora em Geografia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil
End. Eletrônico: rosa.vania@gmail.com

^b Doutor em Meteorologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
End. Eletrônico: daniel.andres@coc.ufrj.br

^c Doutora em Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil
End. Eletrônico: scoutinho@usp.br

^d Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), Brasília, DF, Brasil
End. Eletrônico: diogo.santos@mctic.gov.br

^e 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 oportunities. 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).

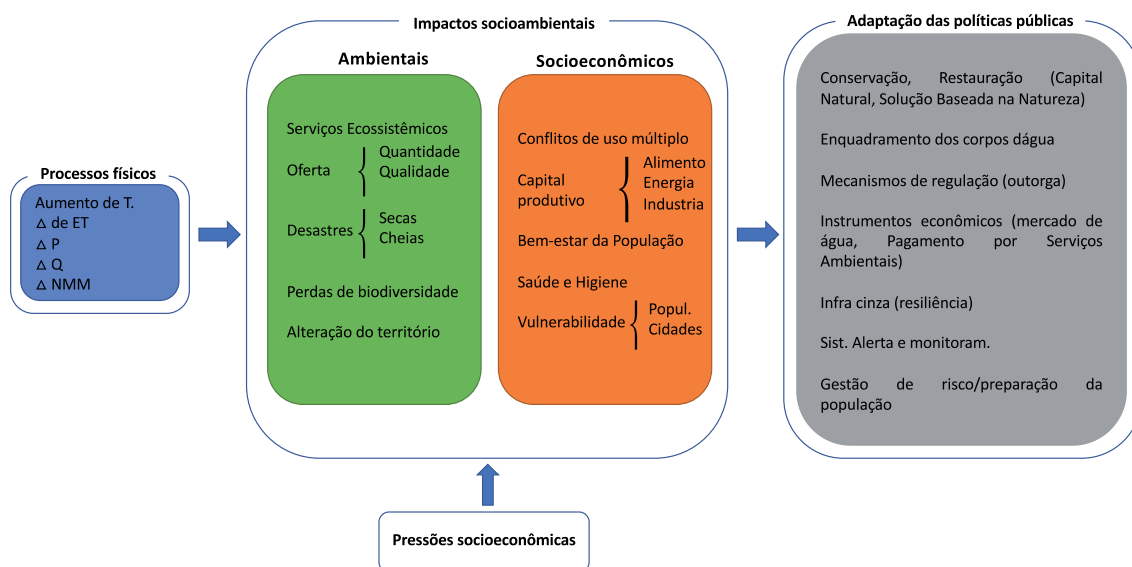


Figura 1 | Cadeia de impactos e respostas adaptativas nas políticas públicas relacionados às mudanças climáticas na segurança hídrica. Delta (Δ) representa a variação, dos processos físicos advindos das mudanças climáticas, em evapotranspiração (ET), precipitação (P), vazão (Q) e nível médio do mar (NMM).

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 inundações costeiras. 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 m³/s com meta de ampliação para 13 m³/s até 2030, enquanto em Israel é de 11 m³/s e na Califórnia a meta é de atingir em 50 m³/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/controlado 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., HOOGESTEGEER, 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., 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-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

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

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)