BPBES

Plataforma Brasileira
de Biodiversidade
e Serviços Ecossistêmicos

RELATÓRIO TEMÁTICO ÁGUA

Biodiversidade, Serviços Ecossistêmicos
e Bem-Estar Humano no Brasil

Aliny P. F. Pires • Vinicius F. Farjalla • Bias Marçal • Daniel A. Rodriguez
• Eli A. T. Gomes • Eldis C. Santos • Federica N. G. A. S. 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

RELATÓRIO TEMÁTICO ÁGUA: BIODIVERSIDADE, SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS E BEM-ESTAR HUMANO NO BRASIL

O Relatório Temático “**Água: Biodiversidade, Serviços Ecosistêmicos e Bem-Estar Humano no Brasil**” é fruto da parceria entre a Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos (BPBES¹, da sigla em inglês), a Universidade Federal do Rio de Janeiro, a Universidade do Estado do Rio de Janeiro e a Associação Brasileira de Limnologia com o apoio do projeto da Cooperação Brasil-Alemanha TEEB Regional-Local. Criada em 2015, a BPBES dispõe do apoio financeiro do MCTIC², via CNPq, e da Fapesp, por intermédio do Programa Biota, além de apoio institucional da SBPC³, da ABC⁴ e da FBDS⁵.

Os relatórios temáticos da BPBES aprofundam temas urgentes levantados em reuniões com diferentes atores (governo, jornalistas, ONGs, empresários e indígenas) e apontados no Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos. A elaboração destes documentos é baseada em parcerias com diversas instituições afeitas ao tema específico do relatório.

O presente relatório congrega um grupo independente de 17 autores vinculados a instituições públicas e privadas de diversos setores relacionados à temática, e que vem trabalhando regularmente na redação do documento desde novembro de 2018. O conteúdo deste documento conta também com a revisão externa acurada de outros dois especialistas com vasta experiência no assunto. O relatório completo, bem como o respectivo Sumário para Tomadores de Decisão (STD), estão disponíveis na íntegra no website da BPBES e de instituições parceiras.

1. www.bpb.es.net.br

2. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

3. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência

4. Academia Brasileira de Ciências

5. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável

A PLATAFORMA BRASILEIRA PARA A BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

A Plataforma Brasileira para a Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos (BPBES) é uma iniciativa que visa colocar questões de conservação e uso sustentável da biodiversidade e serviços ecosistêmicos no cerne do modelo de desenvolvimento do país. A iniciativa é inspirada no Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos (IPBES), fruto da Convenção da Diversidade Biológica, e que conta com a participação de nações de todo o planeta. A BPBES é caracterizada por ajustes na sua estrutura que permitem incluir a participação explícita de setores chaves da sociedade e maior independência do governo. A BPBES possui a inclusão, a ética, a colaboração, a transparência, a integridade e o respeito à diversidade como valores estruturais desta iniciativa. A principal missão da BPBES é a produção de sínteses sobre diversos temas relacionados à biodiversidade e aos serviços ecosistêmicos, que são elaboradas a partir do conhecimento científico, técnico e tradicional sobre o tema em questão. A Plataforma reúne mais de 100 pesquisadores de diferentes instituições de pesquisa entre universidades, empresas e institutos de pesquisa dedicados aos mais diversos setores da sociedade. Este relatório é mais um produto desta iniciativa e busca integrar o conhecimento existente sobre as águas brasileiras, levando em consideração seu papel como recursos hídricos para diversos setores produtivos do país, mas também como fonte de biodiversidade e patrimônio cultural. Para saber mais sobre a BPBES, acesse o site eletrônico: <https://www.bpb.es.net.br/>

SUMÁRIO

1_ APRESENTAÇÃO 10

2_ ÁGUAS BRASILEIRAS E SUAS MÚLTIPLAS FORMAS 13

3_ PANORAMA DOS AMBIENTES AQUÁTICOS BRASILEIROS 22

3.1. Perfil das águas do Brasil 24

4_ ÁGUA E SEUS USOS 32

4.1. Serviços de suporte 36

4.2. Serviços de provisão 37

4.3. Serviços de regulação 41

4.4. Serviços culturais 47

5_ AMEAÇAS ÀS ÁGUAS BRASILEIRAS 49

5.1. Mudança no uso da terra 50

5.2. Mudanças climáticas 55

5.3. Poluição 58

5.4. Sobre-exploração de espécies 60

5.5. Invasão de espécies exóticas 62

5.6. Interações entre as ameaças 65

6_INSTRUMENTOS PARA A GESTÃO DA ÁGUA 67

- 6.1. Estrutura político-institucional 68
- 6.2. Instrumentos legais 70
- 6.3. Bancos de dados 73
- 6.4. Pagamento por Serviço Ambiental 74
- 6.5. Licenciamento ambiental 75
- 6.6. Áreas protegidas 78

7_CENÁRIOS FUTUROS PARA A ÁGUA NO PAÍS 82

8_CAMINHOS PARA A ÁGUA NO BRASIL 88

- 8.1. Lacunas e caminhos para o conhecimento 89
- 8.2. Restauração ecológica de ambientes aquáticos 91
- 8.3. Biodiversidade aquática e geração de renda no Brasil 94
- 8.4. Planejamento espacial da paisagem 96
- 8.5. Questões fronteiriças e transfronteiriças 97
- 8.6. Tecnologias para acesso e uso da água 98
- 8.7. Acordos ambientais multilaterais 99

9_ÁGUA, UMA OPORTUNIDADE BRASILEIRA 102

10_DADOS E DOCUMENTOS-CHAVE SOBRE O TEMA 106

11_REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 108

O Brasil é detentor da maior reserva de águas superficiais do planeta Terra. A economia brasileira é extremamente dependente de seus recursos hídricos e da biota aquática, através dos benefícios providos pelos ecossistemas aquáticos. Por exemplo, cerca de 65% da energia no país é gerada através de usinas hidrelétricas (EPE, 2018b) e a agricultura, que contribui com 25% do PIB nacional (ANA, 2019a), consome aproximadamente 750 mil litros de água por segundo, sem considerar o abastecimento humano e o uso da água pela indústria (Figura 1). O Brasil usa sua disponibilidade hídrica para produzir insumos para todo o planeta, colocando o país no centro da discussão sobre o uso dos recursos hídricos. Prover recursos hídricos não é, porém, a única função dos ambientes aquáticos. Esses ecossistemas 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. Em conjunto, os diversos usos e funções providas pelos ecossistemas são conhecidos como serviços ecossistêmicos ou como contribuições da Natureza para as pessoas e possuem relação direta com o bem-estar humano. A perspectiva integrada do uso da água e dos ambientes aquáticos para múltiplos fins, considerando sua importância para minimizar eventos climáticos extremos e como componente-chave para a biodiversidade, compõe o novo conceito de segurança hídrica.

Figura 1: Principais setores usuários da água no país e sua demanda por água em 2018. Cabe ressaltar a diferente relação entre retirada, consumo e retorno para os diferentes setores, onde a agricultura irrigada apresenta os maiores valores de consumo. Fonte: ANA 2019a.

Apesar de sua reconhecida importância, a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos providos pelos ambientes aquáticos e, portanto, a segurança hídrica do país, não estão garantidos. Atualmente são observadas várias ameaças a esses ambientes, como a mudança dos cursos de rios, o uso inadequado da água, as mudanças climáticas, a poluição e as mudanças no uso do solo. Diversas instituições têm produzido relatórios sobre o *status* da quantidade e qualidade da água no país; no entanto, poucos documentos buscaram integrar os múltiplos aspectos relacionados ao uso dos ambientes aquáticos brasileiros, sob a perspectiva dos serviços ecossistêmicos que estes proveem. Diante das ameaças vigentes e futuras para a manutenção desses benefícios, torna-se fundamental um esforço de síntese que ressalte os ambientes aquáticos como componente-chave para a biodiversidade, fonte de recursos hídricos, saúde e bem-estar da população brasileira.

A Plataforma Brasileira para a Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos em parceria com a Universidade Federal do Rio de Janeiro, a Universidade do Estado do Rio de Janeiro, a Associação Brasileira de Limnologia e a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável produziu o relatório temático “Água: biodiversidade, serviços ecossistêmicos e bem-estar humano no Brasil”, cujo principal objetivo é oferecer uma visão integrada da importância dos ambientes aquáticos continentais para o país. Para isso, o relatório conta com um grupo de pesquisadores e profissionais representantes de diferentes setores, regiões do país e focados nos diversos aspectos relacionados ao tema “água” para produzir um documento que busca ser referência para pesquisadores, estudantes e tomadores de decisão em todo o Brasil.

2_ ÁGUAS BRASILEIRAS E SUAS MÚTIPLAS FORMAS

A Terra possui cerca de 1.386 milhões de km³ de água⁶ em sua superfície, dos quais apenas 2,5% se referem a água doce, e destes apenas 0,3% estão em lagos e rios, podendo ser acessados diretamente pela população. A vazão média anual dos rios brasileiros é de aproximadamente 180 milhões de litros por segundo, o que corresponde a cerca de 12% da disponibilidade hídrica superficial do globo, a maior entre todos os países (Brasil, 2016; ANA, 2019a). As águas subterrâneas brasileiras possuem vazão aproximada de 15 milhões de litros por segundo (ANA, 2019a) e no Brasil está localizada grande parte do aquífero Guarani, uma das maiores reservas de água subterrânea do planeta. Considerando ainda as vazões oriundas de território estrangeiro que ingressam no país (Região Amazônica, Uruguai e Paraguai), a vazão média total atinge cerca de 18% da disponibilidade mundial (Rauber & Oliveira, 2008).

Ambientes aquáticos são habitat para diversas espécies, que são mais ou menos restritas a variedade de ambientes aquáticos presentes no país. Vale ressaltar que o termo “ambientes aquáticos” é utilizado de forma genérica para representar uma variedade de ecossistemas que abrigam fauna e flora únicos. Ambientes aquáticos podem ser classificados a partir de diferentes critérios, que incluem a velocidade de suas águas, suas características físico-químicas, sua origem e a influência da vegetação terrestre, bem como seu uso. Por exemplo, os grandes rios Amazônicos podem ser agrupados em três tipos: águas pretas, águas brancas e águas claras, que são relacionadas principalmente à área de drenagem desses rios (Tabela 1; Figura 2). Tais diferenças resumem características ecológicas e ambientais distintas, e que estão diretamente relacionadas aos serviços ecossistêmicos prestados por estes ambientes, como a produção pesqueira.

Figura 2: Açude no Nordeste brasileiro e encontro das águas do Rio Solimões e Negro. A água é naturalmente distribuída de maneira desigual entre as diferentes regiões do país e está relacionada às características hidrográficas, climáticas e geológicas de cada área, bem como os serviços prestados pelos ambientes aquáticos. Fotos: Thais Lopes e José Sabino

6. 1 km³ equivale a 1.000.000.000.000 de litros de água, ou seja 1 trilhão de litros de água.

Além de formar os ambientes aquáticos, a água também está presente em formas difíceis de serem identificadas, como no estado de vapor e na biomassa dos organismos. O vapor d'água compõe uma importante etapa do ciclo hidrológico pois seu transporte na atmosfera transfere água entre diferentes regiões. No Brasil, uma das formas mais importantes de movimentação de vapor de água na atmosfera é conhecida como '*Rios Voadores*'. Os Rios Voadores são responsáveis por transportar um volume superior ao Rio Amazonas, cerca de 200 mil m³ de água por segundo, da região Norte do país para outras regiões, como a Centro-Oeste e a Sudeste. Grande parte desta umidade é oriunda da liberação de vapor de água pela vegetação Amazônica (evapotranspiração, WWAP, 2018), ou seja, a diminuição da vegetação no Norte do país pode reduzir a "vazão" dos Rios Voadores⁷ e, promover secas em outras regiões do Brasil. Além disso, a água é o principal componente da biomassa de diversos organismos, podendo chegar a 95% da sua massa corporal total. Por exemplo, a água constitui cerca de 90% da biomassa da palma forrageira e, por isso, a planta é utilizada como uma importante fonte de hidratação para a produção animal na região Nordeste (Voltolini *et al.*, 2016). Da mesma forma, como a água é parte constituinte da biomassa dos organismos, grandes volumes de água são exportados através dos produtos do agronegócio. O Brasil exportou cerca de 84 milhões de toneladas de soja em 2018, e, conseqüentemente cerca de 8,4 trilhões de litros de água associada à biomassa dos grãos na forma de "água virtual"⁸ (Hoekstra, 2008).

Diversos instrumentos propõem formas alternativas de classificar as águas do país em seus diferentes compartimentos e formas. Destaque deve ser dado a resolução CONAMA 357/2005, que classifica os corpos hídricos e estabelece os respectivos limites para diversos parâmetros limnológicos, de acordo com o uso dos mesmos (Figura 3, Tabela 1). Cada um destes instrumentos e perspectivas tem relevância e aplicação apropriada para contextos específicos. Na Tabela 1 apresentamos as principais formas de classificação das águas, no Brasil e no mundo, destacando o mecanismo de classificação, usos e exemplos de aplicação.

7. Volume de água que passa em uma unidade de área em um dado intervalo de tempo. Medida comumente utilizada para expressar a quantidade de água em um ambiente lótico, ou seja, de águas correntes.

8. Água virtual é água usada no processo de geração de um produto do agronegócio ou na produção dos bens de consumo, desde o cultivo da sua matéria prima até a industrialização.

Tabela 1: Exemplo de classificações existentes para a água, considerando as perspectivas ecológicas e econômicas para os recursos hídricos, áreas úmidas e ambientes aquáticos.

Classificação	Critério	Uso
CONAMA 357/2005	Estabelece 5 classes para ambientes de água doce superficiais (Classe Especial, Classe I, Classe II, Classe III e Classe IV) mais 4 categorias para ambientes de águas salinas e salobras. Determina valores críticos de diversas variáveis limnológicas	Fiscalização de usos e estabelecimento de limites atrelados.
Grau de eutrofização	Refere-se ao estágio do processo de eutrofização que o corpo hídrico se encontra. Diversos parâmetros químicos, físicos e biológicos podem indicar a situação do corpo hídrico, porém variáveis relacionadas a produtividade primária do sistema são as mais comuns. São geralmente classificados em oligotrófico (águas limpas com baixa concentração de nutrientes), mesotrófico (águas moderadamente fertilizadas), eutrófico (águas em pleno processo de eutrofização, com elevadas concentrações de nutrientes) e hipertrófico (águas em estágio avançado de eutrofização).	Entendimento de processos ecológicos vigentes e viabilidade de uso do sistema avaliado.
Velocidade da água	Utilizado para diferenciar ambientes lênticos (lagos, lagoas, reservatórios), ou seja, ambientes sem correnteza; de ambientes lóticos (rios, riachos, igarapés), ou seja, ambientes com fluxo contínuo de água.	Caracterização do corpo hídrico.
Sistema brasileiro de áreas úmidas	Proposto por Junk e colaboradores (2014), o sistema foi adotado pelo MMA e classifica as áreas úmidas brasileiras em 45 classes, hierarquizadas de acordo com diferentes características, que inclui a espécie vegetal dominante, ao tipo de uso, a influência do pulso de inundação, entre outros.	Caracterização do corpo hídrico.
Pegada hídrica	Classifica as águas em virtude da transformação que sofre, considerando aspectos intrínsecos ao ciclo hidrológico, bem como aspectos relacionados ao impacto do uso antrópico. É classificado em água verde, água azul e água cinza. A água azul é a quantidade de água superficial ou subterrânea, incorporada em determinado produto, devolvida ao mar ou transferida entre bacias. A água verde trata-se dos processos referentes à água precipitada pela chuva e seu uso para a elaboração de um produto. E a água cinza é aquela necessária para diluir a poluição oriunda de um processo produtivo.	Estimativa do impacto de processos produtivos para a água em seus diferentes formatos.
Ordem do rio	Utilizado para descrever a dimensão e posicionamento do corpo hídrico lótico na estrutura da bacia hidrográfica. Rios de 1º ordem estão situados nas cabeceiras, formados a partir de uma nascente. Um rio somente muda de ordem quando encontra outro rio de mesma ordem.	Caracterização do corpo hídrico.

Figura 3: Principais usos estabelecidos para as 5 classes de ambientes de águas doces superficiais definidos pela Resolução CONAMA 357/2005. Esta resolução apresenta um gradiente entre a Classe Especial, que prevê a maior variedade de usos e serviços ecossistêmicos associados, e a Classe IV, que é focada apenas no uso para navegação e harmonia paisagística. Os parâmetros limnológicos para cada uma destas classes também se tornam menos restritivos à medida que diminui a variedade de usos.

Há grandes variações regionais entre os diferentes estoques de água, tanto em termos de quantidade como de qualidade dos recursos hídricos. No Brasil, a região Nordeste é reconhecidamente a que apresenta menor quantidade de água disponível para uso e a qualidade dos estoques é, muitas vezes, baixa (ANA, 2019a). Tendo em vista esta realidade, alguns estados da região já adotam políticas de convivência com a seca e desenvolvem ações voltadas para lidar com a escassez hídrica. Na região Norte, há maior disponibilidade, mas ainda assim há problemas relacionados a qualidade da água, devido ao uso ineficiente do recurso nos centros urbanos.

A ausência de água em forma, qualidade e quantidade adequadas afeta negativamente a segurança hídrica da população e dos diversos setores produtivos dependentes deste recurso. O termo “*segurança hídrica*” refere-se à capacidade de uma população para salvaguardar o acesso a quantidades adequadas de água, em qualidade aceitável para a manutenção da saúde humana e do ecossistema, com o referencial de bacia hidrográfica, e garantir uma proteção eficaz da vida e da propriedade contra perigos relacionados à água, tais como inundações, deslizamentos de terra e secas (Grey & Sadoff, 2007; ANA, 2019b). O Brasil, através do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), instituiu o Índice de Segurança Hídrica (ISH), que é composto por 4 dimensões: ecossistêmica, humana, econômica e de resiliência (Figura 4). A partir deste índice, o PNSH foca em identificar a necessidade de infraestrutura hídrica no país diante de cenários de mudanças climáticas. O documento ressalta a importância de integrar informações relacionadas à disponibilidade e à qualidade de água com as demandas e diversas formas de uso, considerando os aspectos particulares de cada região e garantindo o manejo adequado deste recurso (ANA, 2019b).

Figura 4: Dimensões do índice de segurança hídrica (ISH) propostos pelo Plano Nacional de Segurança Hídrica (ecossistêmica, humana, econômica e de resiliência), e mapa do ISH para o país. A inclusão do componente ambiental na caracterização da segurança hídrica representa importante passo para a discussão do tema no país e coincide com a principal mensagem deste relatório. Destaque para o nível de segurança hídrica crítico para o semiárido brasileiro, grandes centros urbanos da região Sudeste e extremo Sul brasileiro. Fonte: ANA 2019b.

Em resumo, o Brasil é um país rico em água, que está presente e se movimenta no país e para fora do país sob diversas formas (ANA, 2018). Apesar desta abundância, diferenças regionais e o mal-uso deste recurso causam escassez e baixa qualidade, que são reconhecidas e contempladas em diversos instrumentos legais. Na próxima seção, apresentamos a situação atual dos ambientes aquáticos brasileiros sob as perspectivas de uso, vulnerabilidade e conservação.

PANTANAL: UMA DAS MAIORES ÁREAS ÚMIDAS DO MUNDO!

Localizado no centro da América do Sul, o Pantanal é a sexta maior área alagável do Planeta, com área de aproximadamente 210 mil km². Cerca de 70% de sua extensão – 140 mil km² – estão em território brasileiro, e o restante se distribui pelos territórios da Bolívia e Paraguai. A vasta planície pantaneira está localizada na depressão do Alto Paraguai, delimitada a oeste pela Cordilheira dos Andes e a leste pelo Planalto Central Brasileiro. A planície pantaneira é cercada por serras e platôs, como uma gigantesca arena, que forma cenários para fantásticas apresentações da natureza. A planície se estende por aproximadamente 250 km na direção leste-oeste e 450 km no eixo norte-sul.

O Rio Paraguai é o principal eixo de drenagem. Sua nascente encontra-se no planalto dos Parecis, no Mato Grosso. Do Norte para o Sul, os principais afluentes são os rios Jauru, Bento Gomes, Cuiabá, São Lourenço-Itiquira, Piquiri, Taquari, Negro, Aquidauana-Miranda, Nabileque e Apa. A água chega à planície após se infiltrar nos planaltos de entorno e transitar pelas nascentes dos rios. A inundação pantaneira ocorre pela combinação de chuvas locais com as águas que extravasam dos rios. Devido à baixa capacidade de infiltração, as inundações são cíclicas, na forma de pulsos e não ocorrem de maneira simultânea em todo o Pantanal devido à baixa declividade da planície (com desnível topográfico de 3 a 15 cm por quilômetro no sentido norte-sul) (Alho, 2005).

O regime de inundações que o Pantanal está submetido é tido como o seu fator ecológico principal, determinando os principais processos bióticos e abióticos da planície, assim como as composições específicas de suas unidades de paisagem. Tais processos climáticos e hidrológicos conferem ciclos anuais de seca e inundação, delineados pela água, solo e biota (Junk *et al.*, 2006; Alho & Sabino, 2012). Assim, no Pantanal, as conexões entre a água e os fenômenos naturais se manifestam em diferentes planos. Ano a ano, as chuvas esculpem as formas da região.

A alternância entre cheia e seca em um curto período permite a rápida ciclagem de nutrientes, o que torna os ambientes altamente produtivos e explicam, em parte, a grande concentração

PANTANAL: UMA DAS MAIORES ÁREAS ÚMIDAS DO MUNDO!

continuação...

de organismos. Visto por imagem de satélite, o Pantanal forma um riquíssimo mosaico ambiental, incluindo formações vegetais e paisagens distintas. A heterogeneidade da vegetação está relacionada às diferentes condições ambientais, como intensidade e períodos de inundação, topografia, variações de relevo e estrutura do solo. Nesse complexo mosaico, há várias formações vegetais, tais como: florestas, capões, campos secos, campos inundáveis, baías, salinas, brejos, corixos e rios são algumas das unidades de paisagens (Alho & Sabino, 2011).

A complexidade da paisagem é marcada por uma das mais ricas concentrações de vida selvagem na Terra. A região é povoada por um espetacular agrupamento de espécies de peixes, anfíbios, répteis, aves, mamíferos e tantos outros elementos de sua biodiversidade. Todas essas características, combinadas com o alto grau de conservação, são responsáveis pela inclusão do Pantanal na Convenção de Ramsar sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional (Junk *et al.*, 2014). A região também é considerada uma das 37 maiores áreas selvagens restantes na Terra (Mittermeier *et al.*, 2004) e, não por acaso, o Pantanal é digno do título de Patrimônio da Humanidade, denominação conferida pela Unesco (Alho, 2005).

Por milhões de anos, o Pantanal tem existido de forma conservada. Durante gerações e gerações, a miríade de espécies animais e vegetais coexistem como resultado de um longo e complexo processo evolutivo. Entretanto, como tantas regiões selvagens ainda preservadas da Terra, o Pantanal parece viver um dilema: usar seus recursos de forma a gerar oportunidades de desenvolvimento ou conservar a biodiversidade do bioma de modo intocado.

3_ PANORAMA DOS AMBIENTES AQUÁTICOS BRASILEIROS

O Brasil é referência mundial na disponibilidade de recursos hídricos e produz informações sobre os ambientes aquáticos por meio de diversas instituições. No entanto, a realidade brasileira em relação aos recursos hídricos é espacialmente distinta e, portanto, é fundamental revelar as diferenças regionais quando se pensa em uso, vulnerabilidade e conservação das águas brasileiras. Diversos recortes territoriais são possíveis e incluem aspectos relacionados às bacias de drenagem, regiões hidrográficas, biomas, estados e municípios. A escolha do melhor recorte territorial deve, portanto, atender às demandas relacionadas ao uso das informações produzidas e à disponibilidade de informações espacialmente explícitas. Apresentamos abaixo a heterogeneidade espacial de diferentes aspectos das águas brasileiras, considerando diferentes características e usos dos ambientes aquáticos. As imagens produzidas consideram os recortes originais estabelecidos pelas respectivas instituições responsáveis, porém enfatizam as cinco regiões brasileiras⁹.

9. Apesar da reconhecida importância e predileção para o uso de recortes territoriais que sejam centrados na dinâmica do corpo hídrico, como é o caso das bacias hidrográficas, nesta seção decidimos enfatizar as cinco regiões brasileiras. Esta escolha deve-se ao fato da maior parte da informação disponível no tema utilizar um recorte político-administrativo (municípios, estados) e por ser um recorte mais intuitivo para a diversidade de leitores deste documento. No entanto, cabe ressaltar que o uso das informações para fins de gestão e compreensão dos corpos hídricos deve focar, preferencialmente, no recorte de regiões e bacias hidrográficas. São reconhecidas no Brasil 12 regiões hidrográficas, que estão distribuídas por todo o território nacional: Amazônica, Tocantins-Araguaia, Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, Uruguai, Paraná e Paraguai.

3.1. PERFIL DAS ÁGUAS DO BRASIL

DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL

Estimativa da disponibilidade hídrica de águas superficiais no Brasil em m³/s (ANA, 2016). 68% da disponibilidade hídrica superficial encontra-se na região Norte do país, que concentra apenas 7% da população, e apenas 13% da disponibilidade hídrica encontra-se na região Sudeste, que concentra 58% da população.

POTENCIAL EXPLORÁVEL DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Reserva potencial explorável de águas subterrâneas no Brasil em m³/s (ANA, 2017b). A região Norte apresenta o maior potencial de exploração de águas subterrâneas no país, e o aquífero Guarani se destaca nas regiões Centro-oeste, Sudeste e Sul.

ÁGUAS PROTEGIDAS

Unidades de conservação de proteção integral e uso sustentável no Brasil (MMA). O País conta com mais de 2000 unidades de conservação nacionais, estaduais ou municipais, sendo a região Norte a que apresenta a maior extensão em áreas protegidas.

AMEAÇA À BIODIVERSIDADE AQUÁTICA

Índice de ameaça à biodiversidade aquática no Brasil, que considera a incidência de diversos estressores ambientais, tais como mudanças no uso do solo e poluição. O índice para o território brasileiro, feito para este relatório, foi baseado na abordagem global realizada por Vörösmarty e colaboradores 2010, que combina 23 estressores de acordo com seus impactos sobre a biodiversidade aquática. Concluímos que cerca de 40% do território nacional apresenta níveis de ameaça de moderado a alto, sendo o Sudeste a região mais afetada¹⁰.

10. O semiárido brasileiro não foi considerado nesta abordagem, por ser classificado como região desértica, segundo os critérios do estudo. No entanto, compõe uma das regiões mais ameaçadas, tendo em vista sua vulnerabilidade climática e a baixa qualidade de seus recursos hídricos, com frequentes florações de cianobactérias. Assim, a estimativa de ameaça apresentada deve ser superior aos 40% indicados.

PRODUÇÃO DA AQUICULTURA NO BRASIL

Dados monetários referentes as principais espécies de peixe de água doce comercializadas no país, nativas e exóticas e potencial de geração de renda. Valores referem-se aos dados produzidos pelo IBGE para o ano de 2018. Contudo, os dados do IBGE apontam que nem sempre o estoque pesqueiro está atrelado ao seu potencial econômico, como é o caso de diversos estados no Norte do país

STRESS HÍDRICO

Indicador de stress hídrico por região hidrográfica em 2016 (ANA, 2019a), que consiste na proporção das retiradas de água doce em relação ao total disponível. Índice correspondente ao indicador 6.4.2 dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável¹¹. A região Nordeste apresenta os piores níveis de stress hídrico no país.

11. Ver seção “Acordos Internacionais Multilaterais” para discussão detalhada sobre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e a água e o encarte dedicado ao tema na Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2019.

BALANÇO HÍDRICO QUANTITATIVO

Balanço hídrico quantitativo por microbacia (ANA, 2016), que consiste na razão entre a vazão de retirada para os usos consuntivos (indústria, irrigação, abastecimento urbano e dessedentação animal) e a disponibilidade hídrica. A região Nordeste, assim como as áreas densamente povoadas da região Sudeste e principais zonas produtivas da região Sul, apresentam os piores indicadores para o balanço quantitativo.

BALANÇO HÍDRICO QUALITATIVO

Balanço hídrico qualitativo por trecho de rio (ANA 2015), que considera a capacidade de assimilação das cargas orgânicas domésticas pelos corpos d'água. As regiões Nordeste e Sudeste apresentam a maior quantidade de trechos de rio classificados como ruim ou péssimo.

PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO

Percentual de água perdida durante a sua distribuição. Os estados das regiões Norte e Nordeste apresentam os maiores percentuais de perda de água do Brasil (Instituto Trata Brasil, 2018a).

OCORRÊNCIA DE EVENTOS DE SECA

Registro de eventos de estiagem e seca por município, detectados entre 2003 e 2015 (ANA, 2015). 98% dos municípios da região Nordeste reportaram eventos de estiagem ou seca neste período. No entanto, cabem ressaltar os eventos de seca nos últimos anos da região Sudeste, que provocaram grandes perdas econômicas, como o ocorrido na região metropolitana de São Paulo, com a seca no sistema Cantareira (Coelho *et al.*, 2016).

OCORRÊNCIA DE CISTERNAS E OUTRAS TECNOLOGIAS DE ACESSO À ÁGUA

Dados de ocorrência e implementação de tecnologias de acesso água, em especial cisternas, para o Brasil. Apesar de possuir grande instabilidade na disponibilidade hídrica, a capacidade de estocar e acessar a água na região do Nordeste é extremamente heterogênea, com prevalência de regiões com baixo número de tecnologias.

OCORRÊNCIA DE EVENTOS DE INUNDAÇÃO

Registro de eventos de inundações, alagamentos, enchentes e enxurradas por município, detectados entre 2003 e 2015 (ANA, 2015). 92% dos municípios da região Sul reportaram algum tipo de evento de inundação neste período.

VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO

Trechos de curso d’água inundáveis, classificados de acordo com o grau de impacto e vulnerabilidade a inundações no Brasil (ANA, 2014).

MONITORAMENTO FLUVIAL

Estações de monitoramento fluviométrico operadas pela ANA e outras instituições federais e estaduais com envio de dados de forma convencional ou por telemetria (ANA, 2019a). As regiões Norte e Centro Oeste são as menos monitoradas do país.

As informações contidas nestes mapas revelam a grande heterogeneidade nas condições e nos desafios para a gestão das águas brasileiras. A região Norte possui grande disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, o maior território protegido e apenas 7% da população do país, mas sofre com os maiores índices de perda de água no abastecimento. Já a região Nordeste possui condições pluviométricas adversas, o que faz com que seja frequente a ocorrência de eventos de seca (98% dos municípios da região reportaram eventos de seca entre 2013 e 2015), porém concentra grande parte das tecnologias de acesso à água. A região Sudeste, que concentra 58% da população brasileira, possui os piores índices de qualidade da água dos corpos hídricos e sofre com eventos de seca e inundações, especialmente nos grandes centros urbanos. A região Centro-Oeste, detentora dos maiores índices de segurança hídrica do país e capaz de reverter a beleza de suas águas em geração de emprego e renda através do ecoturismo, segue ameaçada pelo uso inadequado do solo e de fertilizantes. Por fim, os ambientes aquáticos da região Sul sofrem com a presença marcante de espécies invasoras e com os riscos associados ao avanço da aquicultura. Desta forma, entender a heterogeneidade espacial da água é passo primordial para assegurar o uso sustentável deste recurso para esta e futuras gerações. As informações apresentadas nesta seção buscam apresentar esta heterogeneidade e serão discutidas detalhadamente ao longo das próximas seções.

4_ ÁGUA E SEUS USOS

A água e os ambientes aquáticos provêm uma série de benefícios fundamentais para a vida e o bem-estar humano. Estes benefícios são também conhecidos como serviços ecossistêmicos. De acordo com a Avaliação Ecossistêmica do Milênio: Áreas úmidas e Água (2005), os serviços ecossistêmicos providos pelos ambientes aquáticos são classificados em serviços de provisão (p. ex. alimentos, água, fibras e combustíveis, bioquímicos e reservas genéticas), serviços de regulação (p. ex. regulação climática, regulação hidrológica, purificação da água, controle de erosão, proteção à desastres naturais), serviços culturais (p. ex. uso cultural e espiritual, valor estético e educacional) e serviços de suporte (p. ex. formação do solo, habitat para espécies e ciclagem de nutrientes) (Tabela 2). Cabe ressaltar que algumas classificações recentes são complementares à proposta pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio, e não consideram os serviços de suporte como um tipo de serviço ecossistêmico, apesar de reconhecerem sua importância como capital natural (Costanza *et al.*, 2017). De maneira complementar, a Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos organiza os benefícios providos pela Natureza em torno do conceito de “Contribuição da Natureza para as Pessoas” e as classificam em contribuições materiais, imateriais e de regulação (Díaz *et al.*, 2018). É possível, portanto, fazer uma analogia direta das contribuições materiais, imateriais e de regulação aos serviços ecossistêmicos de provisão, cultural e de regulação, respectivamente. Este relatório utiliza a perspectiva proposta pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio, dedicado aos ambientes aquáticos para ressaltar sua importância para a população brasileira.

Tabela 2: Serviços ecossistêmicos hídricos de acordo com a classificação proposta pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio: Áreas úmidas e Água (2005). A identificação dos serviços nas diferentes categorias (provisão, regulação, cultural e suporte) pode sofrer ajustes entre setores. A retirada de água doce é tratada como um serviço de provisão neste documento, seguindo a abordagem proposta pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio.

Serviços ecossistêmicos	Comentários e exemplos
Serviços de suporte	
Formação do solo	Retenção de sedimentos e acúmulo de matéria orgânica.
Ciclagem de nutrientes	Estoque , reciclagem, processamento e aquisição de nutrientes.
Serviços de provisão	
Alimento	Produção de peixe, carne de caça, frutas e grãos.
Água doce*	Estoque e retenção de água para uso doméstico, industrial e agrícola.
Fibras e combustíveis	Extração de lenha, fibras e forragem.
Bioquímicos	Extração de produtos medicinais e outros materiais diretamente da biota.
Materiais genéticos	Genes para resistência de plantas a patógenos, espécies ornamentais.
Serviços de regulação	
Regulação climática	Fonte e sumidouro de gases de efeito estufa, influência no clima local e regional, controle da precipitação e outros processos climáticos.
Regulação hídrica	Recarga e descarga de aquíferos.
Purificação da água e tratamento de esgoto	Recuperação de condições limnológicas, remoção do excesso de nutrientes e outros poluentes.
Controle da erosão	Retenção de solo e sedimentos.
Controle de desastres naturais	Controle de inundações e proteção a tempestades.
Polinização	Habitat para polinizadores.
Serviços culturais	
Valor espiritual e inspiração	Fonte de inspiração e sítio para ritos de diferentes religiões.
Recreação	Atividades de lazer e recreação.
Valor estético	Valor paisagístico e estético.
Valor educacional	Papel na educação formal e informal.

O Brasil é um país que se destaca pela diversidade de serviços ecossistêmicos prestados pelos ambientes aquáticos, o que está explicitado na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997). Ambientes aquáticos são habitat com uma grande diversidade de organismos, incluindo muitas espécies endêmicas (Winemiller *et al.*, 2016). Esses ambientes também possuem importante papel no abastecimento, produção de energia, agricultura, navegação, transporte, pesca e recreação no país (Rebouças, 2015a). Em especial, setores como o agronegócio e o energético são altamente dependentes da manutenção dos fluxos e das vazões dos rios brasileiros (ANA, 2019a). Assim, a água, sua biodiversidade e os serviços ecossistêmicos providos pelos ambientes aquáticos têm papel fundamental para o bem-estar da população brasileira, contribuindo para a segurança hídrica, alimentar e climática, garantindo a saúde e a manutenção das boas relações sociais (Figura 5) (Buckeridge & Ribeiro, 2018).

Figura 5: Relação entre os serviços ecossistêmicos hídricos e sua relação com o bem-estar da população humana, em seus diferentes aspectos, considerando o nível de dependência dos recursos hídricos, a sensibilidade a fatores socioeconômicos e a força da interação entre cada serviço ecossistêmico e um componente do bem-estar humano. Fonte: Adaptado de Buckeridge & Ribeiro, 2018

De maneira geral, o Brasil é considerado “um país rico com consumo baixo” quando se trata de recursos hídricos, viabilizando um grande potencial competitivo. A expectativa de uso desse recurso até 2025 não supera os 10% do volume de água existente no país, enquanto na maioria dos países esse valor é superior a 40% (Rebouças, 2015a). Neste sentido, o uso da água pode aumentar

substantialmente no futuro em virtude do importante papel internacional que o país deverá desempenhar na produção de alimentos e energia. Desta maneira, os ambientes aquáticos brasileiros e os serviços ecossistêmicos prestados por eles deverão ter importância ímpar para o desenvolvimento do país, tornando-se urgente iniciativas que visem sua proteção e uso sustentável, valorizando os ambientes aquáticos e incorporando o conceito de vazão ecológica¹² nas concessões de novas outorgas (Vestena *et al.*, 2012). Abaixo estão descritos os principais serviços ecossistêmicos prestados pelos ambientes aquáticos e sua relevância para a população e biodiversidade brasileira.

4.1. SERVIÇOS DE SUPORTE

Serviços de suporte são aqueles que propiciam as condições necessárias para que os demais serviços ecossistêmicos ocorram (Avaliação Ecossistêmica do Milênio, 2005). Estão nesta categoria a biodiversidade presente nos ecossistemas e as funções ecossistêmicas dependentes desta biodiversidade e da sua interação com o meio físico, como a produção primária, a decomposição, a ciclagem de nutrientes e a formação do solo (Avaliação Ecossistêmica do Milênio, 2005), que em última análise podem subsidiar produção de alimentos, como a produção pesqueira, por exemplo.

O Brasil possui a biota de água doce mais rica do mundo (Padiál *et al.*, 2017). Os ambientes aquáticos continentais do Brasil abrigam a mais rica fauna de peixes de água doce do planeta, com mais de 3000 espécies (Sabino & Prado, 2003). Apenas para a Mata Atlântica, são estimadas 350 espécies de peixes de água doce, sendo 38% destas endêmicas¹³ (Mittermeier *et al.*, 2011). O Pantanal, uma das maiores áreas alagadas do planeta, abriga uma elevada quantidade de espécies aquáticas, com quase 300 espécies de macrófitas aquáticas (i.e.: espécies vegetais que têm alguma fase de seu ciclo de vida associado aos ambientes aquáticos), quase 300 espécies de peixes, cerca de 200 espécies de répteis e anfíbios e mais de 600 espécies entre aves e mamíferos (Alho, 2008).

Ambientes aquáticos, por estarem localizados nas partes mais baixas das bacias de drenagem, são receptores naturais de matéria orgânica e nutrientes inorgânicos transportados pela ação das chuvas e movimentações de terra nas bacias de drenagem (Esteves, 2011). Os nutrientes que chegam são rapidamente assimilados por algas microscópicas e outros microrganismos aquáticos. A matéria orgânica que entra tende a acumular-se no fundo destes

12. O termo vazão ecológica se refere a quantidade de água mínima para a manutenção das funções ecológicas e processos ecossistêmicos, bem como a conservação de sua fauna e flora.

13. Entende-se por espécies endêmicas as espécies que ocorrem restritamente em algumas áreas.

ambientes, principalmente aqueles com baixo hidrodinamismo, como lagoas e lagos. A intensa atividade dos organismos decompositores sobre esta matéria orgânica consome o oxigênio dissolvido na água, deixando o compartimento bentônico sem oxigênio (Esteves, 2011). A decomposição da matéria orgânica, quando acontece na ausência de oxigênio, libera vários compostos químicos, entre eles o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), além do dióxido de carbono (CO_2), que são os principais compostos responsáveis pelo efeito estufa (IPCC, 2014). Desta maneira, ambientes aquáticos são importantes sítios de decomposição e ciclagem de nutrientes, e possuem papel crítico para inúmeros processos, como a regulação do clima do planeta.

Além de abrigarem diversos processos e funções ecológicas próprias dos ambientes aquáticos, os mesmos são fundamentais para a integridade e a manutenção da vida no ambiente terrestre, pois uma grande variedade de organismos têm parte de seu ciclo de vida na água e quando adultos executam funções relevantes no ambiente terrestre (Knight *et al.*, 2005; Pfitzner *et al.*, 2015). Alguns organismos terrestres alimentam-se preferencialmente de espécies aquáticas e forrageiam especificamente em corpos hídricos, o que representa um intenso transporte e transformação de matéria entre ambientes aquáticos e terrestres, garantindo um vínculo explícito entre esses ambientes (Crait & Ben-David, 2007). Neste contexto, ambientes aquáticos são *hotspots* de serviços de suporte na paisagem, sejam para subsidiar os serviços nos próprios ambientes aquáticos, sejam para garantir diversas funções ecológicas nos ambientes terrestres.

A água e os ambientes aquáticos também se destacam como um componente integrador na paisagem. Por exemplo, ambientes lóticos (e.g., como os rios, riachos) conectam a paisagem através de processos que ocorrem em um gradiente montante-jusante (e.g., da nascente à foz dos rios), como previsto pela “Teoria do Rio Contínuo” (Vannote *et al.*, 1980). Da mesma forma, os ambientes aquáticos se conectam à paisagem através dos pulsos naturais de seca e cheia (e.g., pulsos de inundação anual em planícies de inundação como do Rio Amazonas), conectando ambientes lênticos (e.g. lagos) e lóticos a ambientes terrestres e entre si, processo conhecido como “Pulso de Inundação” (Junk *et al.*, 1989). Desta maneira, é fundamental entender que decisões acerca de determinados processos em escala local podem ter consequências em escalas mais amplas. Entre os exemplos mais emblemáticos deste aspecto está a construção de reservatórios, que alteram processos, funções e serviços ecossistêmicos em múltiplas escalas.

4.2. SERVIÇOS DE PROVISÃO

Serviços de provisão são aqueles relacionados aos produtos retirados diretamente dos ecossistemas e aproveitados pelo ser humano, como, por

exemplo, água, alimentos e outros produtos de origem vegetal como madeira e fibras, as quais também conhecidos como contribuições materiais (Avaliação Ecosistêmica do Milênio, 2005; IPBES, 2019). No caso dos recursos hídricos, os serviços de provisão são concentrados principalmente no uso direto da água para abastecimento humano, animal, irrigação e uso da indústria. Os serviços de provisão compreendem também o uso direto da biodiversidade aquática como alimento, fonte de fibras e combustível, como é o caso de diversas espécies de macrófitas aquáticas e a exploração de estoques pesqueiros, principal fonte de proteínas em diversas regiões do país.

Definido como um dos usos prioritários da água pela Lei da Água de 1997, o abastecimento humano é um dos mais importantes e críticos serviços de provisão dos ambientes aquáticos, correspondendo a cerca de 99 m³/s, setor responsável pelo segundo maior valor de retirada de água do país (ANA, 2019a). Apesar do grande volume de armazenamento no país, muitas áreas do Brasil apresentam uma situação entre preocupante e muito crítica para balanço hídrico quantitativo. Esta situação torna-se ainda mais preocupante quando consideramos a qualidade do recurso hídrico, principalmente em regiões de grande concentração urbana. A região semiárida do Nordeste apresenta situação crítica associada à baixa disponibilidade hídrica. A maior parte do abastecimento de água urbano é suprido pelo armazenamento em açudes, a maioria dos quais não possui capacidade de regulação interanual (ANA, 2017b), o que limita a capacidade de satisfazer a demanda em casos extremos de secas prolongadas, como a ocorrida entre 2011 e 2016 (Brito *et al.*, 2018). Na região Sudeste, apesar da presença de grandes reservatórios, eventos de seca extrema, combinados com o rápido incremento da demanda, também levaram a situações de crises hídricas nas últimas décadas (Jacobi *et al.*, 2015). Soluções estruturais que visam a gestão da oferta através da transferência de água de outras bacias têm sido implementadas com o intuito de incrementar a capacidade de regulação interanual dos sistemas hídricos (de Andrade *et al.*, 2011), como são os casos do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional, a Integração do Sistema Cantareira e Paraíba do Sul, para suprir a Região Metropolitana de São Paulo, e a transposição do Paraíba do Sul para o Sistema Guandú, que supre grande parte da demanda por água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Em áreas rurais, onde vive aproximadamente 16% da população brasileira, geralmente dispersa no território, soluções locais têm sido implementadas para garantir o abastecimento (ANA, 2017b). Dentre essas soluções destaca-se o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e outras Tecnologias Sociais, conhecido como Programa Cisternas, principalmente em regiões com déficits hídricos anuais. Desde 2003 já foram instaladas mais de 1,2 milhões de cisternas, geralmente com capacidade entre 16 e 52 mil litros

de água para consumo ou produção, somando mais de 20 bilhões de água armazenada¹⁴.

O uso da água no setor agropecuário está relacionado principalmente à irrigação de culturas e à dessedentação animal. O uso para a irrigação depende de diversos fatores, como a necessidade específica de água pela cultura, a retenção de água pelo solo, o tipo de irrigação aplicado e o clima da região (Hoekstra, 2008). Algumas culturas, como é o caso das espécies de arroz, dependem exclusivamente de ambientes inundados para seu desenvolvimento. Outras tantas, devido ao volume de sua produção, como é o caso da soja e do milho, consomem milhares de litros de água para sua manutenção. O cultivo de arroz, cana-de-açúcar e os cultivos irrigados por pivôs-centrais estão entre os que mais dependem da irrigação no país (ANA, 2016). No geral, a irrigação é o setor que mais consome água no Brasil, com média anual de cerca de 750 mil L/s, o que representou aproximadamente 67% de toda a água consumida no território nacional em 2017 (ANA, 2019a). O arroz é o líder em consumo de água, com cerca de 285 mil L/s, que equivalem a 38% do consumo geral pela irrigação e 25% do consumo total de água no país. Cultivos irrigados por pivôs-centrais (p. ex. soja, milho e feijão) consomem cerca de 150 mil L/s, que equivalem a 20% do consumo geral pela irrigação e 13,5% do consumo total de água no país. A cana-de-açúcar, apesar de ocupar a maior área irrigada no país com cerca de 2 milhões de hectares, consome cerca de 81 mil L/s que equivalem a 7,5% do consumo geral pela irrigação (ANA, 2016). Previsões indicam que há forte potencial de expansão da irrigação no país, principalmente nas regiões Centro-Oeste e Norte, devido à boa disponibilidade hídrica e baixo uso da técnica em grandes extensões de terra. Há uma expectativa de cerca de 35% de aumento na irrigação para 2030, o que resultará em mais de 1 milhão de L/s de consumo de água (ANA, 2016). Apesar de representar importante consumo de recursos hídricos no país, cabe ressaltar que a maior parte da produção agrícola não é irrigada, ou seja, depende exclusivamente da água das chuvas. O setor agrícola representa 25% do PIB nacional e é altamente dependente da água em quantidade e qualidade adequadas, reforçando a importância da manutenção do regime de chuvas e da garantia de disponibilidade desse recurso para uso em irrigação.

O abastecimento animal é responsável por pouco mais de 10% de toda a água consumida no Brasil, que equivale a cerca de 125 mil L/s (ANA, 2019a). A dessedentação do plantel brasileiro de gado de corte representa aproximadamente 58% do volume de água destinado ao abastecimento animal, ou seja, 72,5 mil L/s. Outros plantéis relevantes para o consumo de água

14. Acesso ao conteúdo e principais produtos do Programa Cisterna em: <http://mds.gov.br/assuntos/seguranca-alimentar/acesso-a-agua-1/programa-cisternas>

nacional são os de gado de leite, frango e suínos consumindo, aproximadamente 22%, 13% e 7% do volume de água destinado ao abastecimento animal, respectivamente.

A indústria também é responsável por boa parte do consumo de água e compreende um importante setor usuário, seja através do uso direto da água em seus processos, seja por meio do consumo de energia hidroelétrica, correspondendo a 9% do consumo nacional (ANA, 2019a). A dependência da água pelo setor faz com que ele seja o mais beneficiado pelas medidas de infraestrutura prevista pela PNSH, bem como o setor mais ameaçado pela não implementação da infraestrutura prevista (ANA, 2019b). Alguns setores, como a mineração, dependem da água no processo de extração e purificação mineral, construindo grandes barragens de rejeito, os quais representam riscos substanciais para a biodiversidade aquática e para os demais usos dos ambientes aquáticos. Este componente de ameaça, compõe uma das métricas presentes na dimensão ecossistêmica do ISH e reflete a preocupação nacional com o setor, tendo em vista os impactos do rompimento das barragens de Fundão (2015) e Brumadinho (2018) (ANA, 2019a).

Ambientes aquáticos são importantes fontes de alimento, cuja extração, comercialização e consumo estão relacionados, principalmente, a pesca de água doce. O Brasil possui cerca de 21% de todas as espécies de peixes presentes em águas continentais do planeta (Agostinho *et al.*, 2005) e uma pesca continental relevante, cuja produção representa cerca de 1/3 da produção pesqueira nacional. Em 2011, este montante representou um total de 250 mil toneladas (MPA, 2011). A pesca continental na região Norte é uma das mais relevantes do país, representando, em 2011, cerca de 55% da produção pesqueira extrativa continental total e 17% de toda a produção pesqueira extrativa nacional, seguida pelas regiões Nordeste, Sudeste, Centro-Oeste e Sul, que correspondem respectivamente a 9%, 3%, 2% e 1% da produção nacional (MPA, 2011). A produção pesqueira da bacia Amazônica é a mais relevante do continente sul-americano, apresentando um potencial de até 575 mil toneladas por ano (Isaac & Almeida, 2011), e é fundamental para a dieta da população local, cujo consumo diário pode alcançar cerca de 550 gramas por indivíduo (Freitas & Rivas, 2006), superior ao registrado em países do extremo oeste da Ásia. Em diversas comunidades ribeirinhas da Amazônia, o pescado é a principal fonte de proteína na alimentação, representando ainda a segunda principal fonte de calorias em algumas áreas (Adams *et al.*, 2005).

Diversas espécies de ambientes continentais são exploradas pela pesca extrativa comercial, de subsistência ou esportiva, mas três gêneros se destacam por representarem cerca de 1/3 da produção nacional. As espécies do gênero *Brachyplatystoma* (*B. vaillantii* “piramutaba”, *B. rousseauxii* “dourada” e *B. filamentosum* e *B. capapretum* “piraiba”), todas da Amazônia, representaram

13% da produção em 2011. Diversas espécies do gênero *Prochilodus*, com ampla distribuição na América do Sul, representaram 13% da produção nacional, e finalmente as espécies do gênero *Semaprochilodus*, principalmente *S. taeniurus* e *S. insignis*, todas da Amazônia, representam 7% da produção nacional (MPA, 2011). Além das espécies nativas, as espécies exóticas possuem importância na pesca continental, sendo as principais a tilápia e a carpa, que juntas representam 4% da produção nacional (MPA, 2011).

4.3. SERVIÇOS DE REGULAÇÃO

Serviços de regulação são benefícios providos por ecossistemas a partir da regulação de processos sistêmicos que geralmente ocorrem na escala da paisagem, como por exemplo, a regulação climática, regulação hidrológica, controle da poluição, manutenção da qualidade do ar e da água e polinização

(Avaliação Ecosistêmica do Milênio, 2005). Em especial no Brasil, ambientes aquáticos são responsáveis por um importante ativo para a produção de energia elétrica, no controle de enchentes e na manutenção do microclima, bem como atuam na depuração de efluentes e outros serviços de regulação.

O Brasil possui destaque global quando se trata de produção de energia elétrica por fontes hídricas, representando 65% da oferta de energia elétrica nacional em 2017 (EPE, 2018b), o que torna a matriz energética brasileira extremamente dependente de seus recursos hídricos. Cabe ressaltar que, por se caracterizar principalmente pelo uso não consuntivo da água, a produção de energia a partir dos corpos hídricos se adequa melhor a perspectiva dos serviços de regulação. Outras fontes de geração de energia como termelétricas (p. ex. carvão, nuclear) e solar fotovoltaica também possuem dependência dos recursos hídricos, mas, ao contrário das fontes hídricas, são consideradas consumidoras de água para o seu processo de geração de energia (p. ex. resfriamento de turbinas) (EPE, 2018a). O potencial remanescente, ou seja, o potencial inventariado, mas que ainda não foi explorado, representa 68 GW. Este potencial remanescente está concentrado nas regiões hidrográficas Amazônica e Tocantins-Araguaia, que representam respectivamente 64% e 15% desse potencial (EPE, 2018c). Em uma escala global, o Brasil destaca-se em relação à capacidade de armazenamento de água, possuindo em seu território algumas das maiores represas de água do mundo, como Itaipu, Serra da Mesa, Tucuruí I e II e Belo Monte.

Os regimes de vazão dos rios mostram padrões regionais que respondem em grande parte ao tamanho da bacia hidrográfica e à variação geográfica na precipitação, geologia, topografia, solos e cobertura vegetal. O regime hidrológico natural organiza e define os ecossistemas aquáticos, regula e sincroniza processos ecológicos vitais e influencia diretamente na qualidade das águas, nas fontes de energia para esses sistemas, nos habitats aquáticos e sua conectividade longitudinal e lateral, na biodiversidade e em suas interações com todos esses fatores ambientais (Poff *et al.*, 1997). Além de desempenhar papel central na manutenção da alta produtividade e diversidade desses ecossistemas complexos e frágeis (Junk *et al.*, 1989), o regime hidrológico natural dita o ritmo dos usos humanos de seus recursos, sendo considerado um dos serviços de regulação mais importantes para a proteção dos ecossistemas e de seus bens e serviços ambientais (Avaliação Ecosistêmica do Milênio, 2005).

A disponibilidade dos recursos hídricos é fortemente influenciada pela variabilidade climática, ao passo que o uso adequado dos recursos hídricos pode tamponar variações na disponibilidade destes recursos em função

do clima. A sazonalidade das precipitações define os períodos de acúmulo de água nas bacias, umidade do solo, recarga dos aquíferos e cheias nos rios. Esta sazonalidade varia muito entre as diferentes regiões brasileiras. Enquanto na Região Sul e na parte norte da Região Norte a variabilidade sazonal da precipitação é pequena, no Centro Oeste, Sudeste e Nordeste a amplitude desta variação é acentuada (Marengo & da Silva Dias, 2015). Em particular, na região semiárida do Nordeste, onde a presença de formações cristalinas no subsolo limita o armazenamento de água e a conectividade entre o sistema hídrico superficial e subterrâneo, a variabilidade climática contribui para a grande intermitência do escoamento superficial (Rebouças *et al.*, 2015a). A variabilidade climática é também responsável pela ocorrência de eventos hidrometeorológicos extremos que ocasionam inundações de grande magnitude que, por sua vez, resultam em desastres. Desde o início do século XXI, aproximadamente 50% dos municípios brasileiros entraram em emergência pelo menos uma vez como resultado das cheias extraordinárias (ANA, 2019b).

No período chuvoso, muitos ambientes aquáticos e áreas úmidas, principalmente aqueles localizados nas partes baixas da bacia hidrográfica, tendem a extravasar o excesso de água acumulada para áreas temporariamente alagáveis do entorno. Este armazenamento natural tem duas importantes funções: reter grandes volumes de água de eventos hidrometeorológicos extremos, evitando inundações de grande magnitude nas partes baixas das bacias, e manter a maior parte do fluxo de água durante o período de menores precipitações, caracterizando-se como um importante serviço ecossistêmico. O armazenamento natural pode ser potencializado a partir da implementação de algumas medidas estruturais que permitam o armazenamento artificial de água nas bacias, apesar de potencialmente comprometer outros serviços ecossistêmicos de mesma importância. Desta maneira, é fundamental que ações neste sentido levem em consideração os potenciais benefícios e custos relacionados a manutenção dos serviços ecossistêmicos providos pelos ambientes aquáticos, de maneira integrada. Atualmente, o Brasil possui uma capacidade de armazenamento em reservatórios e barragens de aproximadamente 600 trilhões de litros de água, localizada principalmente nos reservatórios destinados à produção de energia nas bacias do Paraná, Tocantins-Araguaia e São Francisco (ANA, 2017b). Porém, reservatórios e barragens não são necessariamente capazes de controlar cheias. Por exemplo, para o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) foram inventariadas 51 barragens no Brasil localizadas em áreas vulneráveis a cheias, sendo que apenas 5 foram habilitadas para o PNSH, enquanto que para outras 8 ainda são necessários estudos complementares para determinar sua inclusão (ANA, 2019b). Neste sentido, o uso de reservatórios como proteção contra desastres naturais é ainda limitado no país.

Ressalta-se que a Região Nordeste, que possui grande variação na disponibilidade hídrica, ainda carece de medidas estruturais para garantir a segurança hídrica, conforme apontado neste documento (Figura 4).

Ambientes aquáticos também são importantes no ciclo do carbono. Por se localizarem nas partes mais baixas das bacias de drenagem, ambientes aquáticos recebem grande quantidade de carbono provenientes dos ambientes terrestres. Parte deste carbono é metabolizado e transformado em dióxido de carbono e metano, que são emitidos para a atmosfera (Cole *et al.*, 1994). Neste sentido, parte do carbono fixado pelas plantas terrestres é emitido para a atmosfera pelos ambientes aquáticos (Cole *et al.*, 2007). A outra parte da matéria orgânica que entre nos ecossistemas aquáticos acumula no sedimento destes ambientes, principalmente nos ambientes lênticos (Battin *et al.*, 2009). O balanço entre o carbono que é emitido para atmosfera e o carbono que é enterrado nos sedimentos caracteriza os ambientes aquáticos enquanto fonte ou sumidouro de carbono na paisagem. No Brasil, o papel de grandes reservatórios para a dinâmica do carbono tem sido destacado recentemente em diversas publicações (Barros *et al.*, 2011; Mendonça *et al.*, 2017). Neste sentido, é particularmente alarmante o potencial impacto da construção de novas barragens na região Amazônica, já que a alteração de um ambiente lótico para um lêntico pode favorecer a emissão de gás carbônico e metano (Barros *et al.*, 2011; Fearnside, 2016b). Por outro lado, o planejamento estratégico da construção de novos reservatórios pode diminuir significativamente a emissão de gases de efeito estufa por estes empreendimentos (Almeida *et al.*, 2019).

Ambientes aquáticos possuem também papel na regulação microclimática e atuam diretamente no bem-estar da população no seu entorno. Entre os exemplos nacionais do papel dos ambientes aquáticos na manutenção de níveis mínimos de umidade relativa, destaca-se a criação do Lago Paranoá em Brasília. Formado a partir do represamento do rio Paranoá, o lago foi criado juntamente com a cidade de Brasília, a fim de garantir níveis mínimos de umidade relativa no ar na região, caracteristicamente considerada seca.

Finalmente, muitos ambientes aquáticos são habitats para diversas espécies que atuam como polinizadores e dispersores e podem, portanto, ter efeito indireto para estes serviços de regulação. Das inúmeras espécies identificadas como visitantes florais e potencialmente polinizadores, fundamentais para a produção de diversos alimentos com valor comercial no Brasil, alguns grupos de insetos possuem estreita dependência ou possuem parte do seu ciclo de vida nos ambientes aquáticos (Wolowski *et al.*, 2019).

RESERVATÓRIOS: OS PROBLEMAS E AS SOLUÇÕES AO GUARDAR A ÁGUA

A construção de usinas hidrelétricas tem sido cada vez mais questionada devido às limitações relacionados ao assoreamento, redução do escoamento disponível, impactos no meio ambiente e questões relacionadas ao uso e custo da terra (WWAP, 2018). No Brasil, os principais desafios para a instalação de novas usinas hidrelétricas estão relacionados à concentração do potencial hidrelétrico não explorado na região Norte do país, significando maior extensão das linhas de transmissão para interligar as novas usinas aos principais centros de consumo de energia e a presença de grandes áreas protegidas como unidades de conservação e terras indígenas. De maneira geral, barragens afetam a fauna aquática bloqueando migrações, fragmentando as populações em subpopulações menores e isoladas, e convertendo habitats lóticos em habitats lênticos, eliminando habitats únicos, como corredeiras e áreas rochosas, que, muitas vezes, suportam espécies endêmicas (Winemiller *et al.*, 2016). Apesar de serem chamados genericamente de empreendimentos hidrelétricos, os projetos apresentam características técnicas próprias e estão localizados em diferentes ambientes e regiões do país. Assim, a avaliação dos impactos e a aplicação de medidas devem refletir essas particularidades.

Reservatórios de regularização em períodos de estiagem, por exemplo, liberam água em intervalos determinados, atenuando os picos de cheias e secas e interrompendo os sinais naturais dos pulsos de inundação para os organismos aquáticos. Por atenuarem o pico regular das cheias anteriormente existentes, muitas espécies de peixes de importância comercial que se reproduzem em lagos de várzea são afetadas. A retenção de sedimentos e nutrientes é intensificada pela conversão de rios em reservatórios, ou seja, ambientes lóticos em lênticos. Outros impactos são relacionados à modificação físico-química da água, caracteristicamente com baixos níveis de oxigênio e com impacto devastador para organismos aquáticos localizados a jusante. Aos impactos das próprias barragens sobre os ecossistemas aquáticos, somam-se outras formas de degradação, como poluição, eutrofização, sobrepesca e mudanças climáticas (Castello *et al.*, 2013).

RESERVATÓRIOS: OS PROBLEMAS E AS SOLUÇÕES AO GUARDAR A ÁGUA

continuação...

Por outro lado, empreendimentos hidrelétricos, além de representarem uma fonte de energia renovável, apresentam características que garantem confiabilidade e segurança no fornecimento de energia elétrica, pois são capazes de armazenar energia e de atender a flutuação da demanda de energia de forma quase instantânea. Além disso, possuem competitividade econômica quando comparado a outras fontes, contribuindo para a modicidade das tarifas de energia elétrica pagas pelos consumidores. As hidrelétricas também auxiliam a entrada de outras fontes de energia renováveis no sistema, como a solar fotovoltaica e a eólica, pois sua capacidade de armazenamento e flexibilidade operativa permitem que a energia armazenada nos reservatórios seja usada nos momentos do dia que não há disponibilidade de ventos ou de irradiação solar (EPE, 2018c). De forma geral, usinas termelétricas também possuem a flexibilidade operativa como atributo, porém são economicamente desvantajosas e contribuem com a emissão de gases causadores do efeito estufa.

Assim, se por um lado, a construção e operação de hidrelétricas trazem uma série de impactos que devem ser corretamente identificados e avaliados no contexto de cada bacia hidrográfica, por outro, essas fontes contribuem para a segurança energética, a regularização dos fluxos e a provisão de outros serviços ecossistêmicos.

4.4. SERVIÇOS CULTURAIS

Ambientes aquáticos são fontes de lazer, capazes de promover o desenvolvimento social, econômico e cultural de uma região. O turismo sobressai como atividade econômica em diversas regiões brasileiras e está fortemente atrelado à presença de corpos hídricos, como rios, cachoeiras, lagos e lagoas. Uma boa parcela da biodiversidade aquática representa a maior fonte de atratividade nesses polos turísticos. Neste sentido, destacam-se os peixes, que em muitas localidades constituem elementos importantes, seja na pesca esportiva, seja na contemplação da vida aquática em práticas comumente associadas ao ecoturismo (Bessa *et al.*, 2017).

Um importante exemplo de turismo relacionado aos ambientes aquáticos é a região do Planalto da Bodoquena, MS. Esta região é conhecida por sua rica biodiversidade e por seus rios transparentes, muitos deles usados para atividades aquáticas de lazer, como flutuação, mergulho e passeios de bote (Bessa *et al.*, 2017). A região funciona como uma janela para observação de ambientes de água doce e seus organismos, em geral, desconhecidos da sociedade brasileira (Sabino & Prado, 2003). Em Bonito, aproximadamente 210 mil pessoas visitam anualmente a região e geram, em média, uma receita de R\$ 300 milhões/ano para a economia local¹⁵.

Em todo o mundo, o principal desafio da sustentabilidade no turismo tem sido acomodar e ajustar o aumento do número de visitantes sem comprometer a integridade dos ecossistemas locais (Bessa *et al.*, 2017). Assim, o uso do conceito de serviços ecossistêmicos ligados ao ecoturismo permite detectar pontos positivos e negativos desta atividade (Da Veiga Lima *et al.*, 2016). Um dos aspectos positivos é a ampliação da atividade, com aumento de iniciativas conservacionistas e benefícios para a comunidade local. Em relação aos negativos, é possível ressaltar a rapidez de seu crescimento como negócio, fato que pode levar à perda da biodiversidade derivada da deficiência de preocupação com protocolos que minimizem impactos (Sabino & Andrade, 2003). Nesse cenário, o conceito de serviços ecossistêmicos fornece ferramentas potencialmente úteis para a tomada de decisões na gestão de áreas naturais.

Ambientes aquáticos costeiros, como lagoas e lagunas, são também fortemente utilizados pela população local. Áreas costeiras são densamente povoadas, com elevados índices de urbanização, e lagos e lagoas agregam valor imobiliário e qualidade de vida à população (Esteves *et al.*, 2008). Além disso, essas regiões são tradicionalmente ocupadas por comunidades de pescadores e catadores de caranguejo que encontram seu modo de vida nos ambientes aquáticos.

¹⁵. Informações sobre a atividade turística em Bonito-MS pode ser acessada através do site do Observatório do Turismo em <https://otbonito.com.br/>

Ainda, a religiosidade e a espiritualidade também são manifestadas em associação aos ambientes aquáticos. São abundantes no Brasil, principalmente na Região Norte, lendas como a da lara, rainha das águas, do Boto, da Cobra-Grande e da Mãe-D'água. Muitas formas de manifestação religiosa são realizadas em ambientes de água corrente e cachoeiras e estes também são importantes componentes da cultura nacional. Além disso, a biodiversidade brasileira é um importante componente destes ritos, mais de 100 espécies são usadas em rituais mágicos e religiosos no Brasil, incluindo algumas de água doce, como botos, tracajás, jacarés, peixes e pitus (Alves *et al.*, 2012).

5_ AMEAÇAS ÀS ÁGUAS BRASILEIRAS

A utilização dos serviços ecossistêmicos prestados pelos ambientes aquáticos está relacionada, principalmente, às atividades humanas ligadas ao desenvolvimento urbano, ao agronegócio, uso da terra e pela crescente demanda por recursos naturais (Pelicice *et al.*, 2017). Por sua vez, essas atividades acabam por ameaçar direta e/ou indiretamente a integridade e a funcionalidade destes ambientes, comprometendo sua capacidade de prover benefícios à sociedade e desencadeando uma série de conflitos (Braga *et al.*, 2015). Por exemplo, a construção de pequenas e grandes usinas hidroelétricas altera a paisagem e bloqueia a locomoção da biota. A perda de grandes áreas florestais para cultivos altera o ciclo hidrológico, potencializando as diferenças na disponibilidade hídrica do país e aumentando a vulnerabilidade às mudanças no clima de regiões mais áridas. Estima-se que desde 1900, de 64% a 71% das áreas úmidas de todo o planeta foram perdidas (WWAP, 2018). De acordo com o relatório recente do IPBES, este número pode chegar a 85% (IPBES, 2019). A pesca excessiva e a introdução de espécies exóticas invasoras ameaçam a vida aquática e a poluição é o principal fator de degradação dos corpos hídricos, sobretudo à jusante das grandes cidades (WWAP, 2018). Como consequência, o número de espécies em extinção em ambientes aquáticos é crescente; estima-se que cerca de 10% das espécies de peixes continentais do Brasil esteja sob o risco de extinção e mais de 50% do total de espécies ameaçadas do país são de peixes e invertebrados de água doce (ICMBio, 2018). Somada a estas ameaças, a natureza dos ambientes aquáticos continentais, caracterizada pelo isolamento em uma matriz terrestre, faz com que a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos prestados por eles sejam naturalmente mais vulneráveis do que se observa em ambientes terrestres e marinhos (CDB, 2010).

Nesta seção, apresentamos como as principais ameaças à biodiversidade e aos ambientes aquáticos brasileiros podem afetar e comprometer o funcionamento desses ambientes e dos serviços que eles prestam à sociedade. Destacamos o papel das mudanças no uso do solo, mudanças climáticas, poluição, sobre-exploração de espécies e invasão de espécies exóticas para o comprometimento dos serviços ecossistêmicos providos pelos ambientes aquáticos. Estas ameaças convergem e interagem com importantes processos de desenvolvimento do país que pressionam diretamente os ambientes aquáticos (Azevedo-Santos *et al.*, 2019). A definição destes vetores de ameaça se baseia na identificação dos principais processos responsáveis pela perda de biodiversidade global, como definido pelos principais documentos no tema (Avaliação Ecossistêmica do Milênio, 2005; CDB, 2010; Joly *et al.*, 2018).

5.1. MUDANÇA NO USO DA TERRA

As alterações das condições naturais dos ecossistemas para melhorar o aproveitamento do espaço causam modificações na dinâmica e no funcionamento

dos ecossistemas. Ambientes aquáticos continentais podem passar por tais modificações de forma direta, quando ambientes aquáticos lóticos (e.g. rios, riacho) são transformados em ambientes lênticos (e.g. lagos) para formação de reservatórios, ou ainda, de forma indireta, geralmente capitaneada por alterações no uso do solo no entorno destes ambientes. Atualmente, tais modificações constituem a principal ameaça à biodiversidade brasileira (Joly *et al.*, 2018).

O Brasil tem alterado fortemente a dinâmica de seus ambientes aquáticos, considerando as demandas relacionadas a grandeza da matriz energética hídrica brasileira, a formação de reservatórios de abastecimento urbano, para atividades mineradoras ou mesmo para fins de recreação. A modificação do fluxo dos rios tem efeitos em cascata na sua integridade ecológica. Barragens, desvios e canalizações afetam rios de praticamente todos os tamanhos, os impactos do uso da terra são particularmente evidentes em rios de menor porte, e as planícies de inundação são fortemente influenciadas pelos esforços para romper a conectividade entre as planícies e os canais dos rios. Dependendo da fonte de ameaça, a alteração no regime hidrológico natural pode ocorrer através da redução ou aumento de fluxos, alteração da sazonalidade dos fluxos, alteração da frequência, duração, magnitude, sincronização, previsibilidade e variabilidade dos eventos de fluxo, alteração dos níveis de água da superfície e do subsolo e alteração da taxa de aumento ou queda de níveis de água (Poff *et al.*, 1997).

Conciliar a gestão dos recursos hídricos e a manutenção do regime hidrológico é um desafio complexo. Historicamente, a “proteção” dos ecossistemas fluviais tem tido escopo limitado, enfatizando a qualidade da água e apenas um aspecto da quantidade de água: vazão mínima ecológica. Esta é definida como a quantidade de água nas vazões remanescentes ou residuais que devem ser mantidas no rio durante as épocas de estiagem (seca). Porém, os critérios utilizados para definir as chamadas vazões ecológicas, a partir de um valor único, válido para todos os anos e para todas as estações do ano, são incongruentes com os conhecimentos atuais sobre os padrões de organização dos ecossistemas aquáticos (Poff *et al.*, 1997; Petts, 2000; Bunn & Arthington, 2002; Naiman *et al.*, 2008). Reconhecendo as limitações do conceito e avaliando que esses valores devem variar no tempo e com a bacia hidrográfica, bem como serem estabelecidos em consenso com os usos humanos, recomenda-se a busca por “hidrogramas ecológicos” como melhor alternativa. Os avanços teóricos e práticos em ecohidrologia¹⁶ viabilizaram métodos e procedimentos desenhados para conciliar as necessidades

16. Ciência que enfoca as ligações entre hidrodinâmica, geomorfologia, hidrologia e processos ecológicos em água doce, com o objetivo de combinar ciência de alto impacto e gerenciamento dos ecossistemas aquáticos

hidrológicas dos ecossistemas e dos usos humanos, e estão em uso em diversos países (Maddock *et al.*, 2013). No Brasil, o problema ambiental relacionado às vazões ecológicas é um tema ainda carente de estudos interdisciplinares (Benetti *et al.*, 2004), mas tem suporte na legislação de recursos hídricos, em especial na Lei das Águas (Lei 9433/1997).

A transformação de ambientes aquáticos com alto fluxo d'água em ecossistemas com baixo hidrodinamismo acarreta na formação de novos microhabitats, aos quais as espécies locais podem não estar adaptadas. Organismos raspadores, fragmentadores de detritos, migradores, que vivem nas áreas de correnteza aderidas às pedras ou com adaptações para vencerem a força da água são rapidamente substituídas por espécies pelágicas, muitas vezes planctívoras, ou por organismos que vivem em fundos inconsolidados, geralmente adaptadas a menores concentrações de oxigênio na água (Esteves, 2011). Claros exemplos de alterações nas comunidades de espécies aquáticas vêm de estudos com peixes, em especial com o impacto das modificações do ambiente sobre a atividade e comportamento de organismos migradores. Além disso, a produção primária, antes restrita principalmente a produtores aderidos em rios e riachos, passa a ser conduzida por produtores primários de vida planctônica em reservatórios. Assim, a construção de novos reservatórios, com destaque para os grandes afluentes do Rio Amazonas a leste do rio Madeira, pode representar grande ameaça aos demais usos e a biodiversidade que estes ambientes abrigam (Fearnside, 2015, 2016a). A construção de reservatórios e, portanto, a fragmentação dos ambientes aquáticos causada por uma diminuição massiva nos fluxos a jusante torna-se uma das principais ameaças a biodiversidade aquática no país, em especial para as grandes espécies migradoras (Grill *et al.*, 2019). No entanto, cabe ressaltar que o planejamento estratégico para a implementação destes reservatórios pode minimizar significativamente os impactos negativos em diversos processos ecológicos, tal como a emissão de gases de efeito estufa (Almeida *et al.*, 2019); e da mesma forma poderia minimizar os impactos sobre a biodiversidade aquática.

A conversão da vegetação nativa em áreas de agricultura e pecuária exerce forte influência na qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos do Brasil. A extração e queima da vegetação terrestre nativa resulta no aumento das concentrações de nutrientes inorgânicos no ambiente aquático por deposição ou lixiviação, e pode ter consequências, inclusive, para o ciclo hidrológico, uma vez que volatiliza grandes quantidades de água antes estocados na biomassa vegetal e, por alterar as condições de permeabilidade dos solos. Além disso, a queima de vegetação cultivada, como a cana de açúcar, gera cinzas que também são depositadas nos ambientes aquáticos e podem causar a mortalidade de espécies nativas de peixes (Gonino *et al.*, 2019). A vegetação ripária tem

papel fundamental para a retenção de fuligem, sedimentos e nutrientes que chegariam ao ambiente aquático, atuando como zona de transição entre o sistema terrestre e o aquático, fornecendo áreas de nidificação para diversas espécies e provendo fonte de recursos alimentares basais, em especial detritos foliares das plantas terrestres, para a biota aquática (Beltrão *et al.*, 2009). Assim, mesmo alterações em regiões terrestres mais distantes, em especial em áreas a montante, podem ser igualmente importantes para processos localizados ao longo de todo o corpo hídrico (Azevedo-Santos *et al.*, 2019).

Adicionalmente, solos compactados e pobres em matéria orgânica, característicos de sistemas agropecuários intensivos e com manejo inadequado, têm sua capacidade de infiltração e retenção de água reduzidos. Isso acarreta na redução da recarga de águas subterrâneas e no aumento do escoamento superficial, provocando escassez de água em períodos secos e inundações nos períodos chuvosos (Ellison, 2018). O aumento no escoamento superficial também acelera os processos erosivos no ambiente terrestre, que acarretam o aumento do transporte de partículas do solo, o aumento da turbidez e o assoreamento dos ambientes aquáticos (Sparovek *et al.*, 2007). O aumento de turbidez e o assoreamento dos ambientes aquáticos, por sua vez, impactam profundamente a estrutura desses ecossistemas e podem comprometer o potencial de navegação e diminuir sua capacidade de estoque, e provocar um aumento na ocorrência de eventos de inundação (Kobiyama *et al.*, 2012). Além das alterações no espaço físico citadas anteriormente, a utilização de agrotóxicos e fertilizantes, bem como o aumento de detritos orgânicos pelas culturas, correspondem a fontes difusas de poluição aos corpos d'água, principalmente nas épocas de chuva (Ye *et al.*, 2014).

Situação semelhante ocorre nos ambientes aquáticos urbanos. O processo de urbanização, principalmente nas grandes regiões metropolitanas do Brasil, tem acontecido de forma desordenada, ocupando muitas vezes áreas vulneráveis a desastres naturais. A impermeabilização, característica das áreas urbanas, diminui a infiltração e armazenamento de água no solo e prioriza a transferência rápida do excesso de água em superfície em direção aos canais. Além disso, as cidades muitas vezes ocupam vales e planícies de inundação, limitando a drenagem natural e enterrando rios em canais subterrâneos. A forma de ocupação e transformação do espaço promoveu, assim, a ocorrência de enchentes rápidas, que resultam em perdas socioeconômicas e de vidas (Haddad & Teixeira, 2015). Medidas estruturais para evitar estes desastres incorporaram, historicamente, medidas para acelerar o fluxo de água através do desenho da rede de drenagem urbana e da canalização de rios. A canalização, retificação e diminuição da rugosidade dos rios aumenta a velocidade com que a cheia é deslocada, resultando muitas vezes apenas na transferência do problema para outras localidades a jusante e intensificando os eventos de seca no período de estiagem.

Em relação às mudanças no uso do solo, a mineração tem papel crítico pois ao mesmo tempo que depende dos corpos hídricos para garantir a eficiência dos processos que permeiam suas atividades, podem causar enorme impacto através da construção de barragens de rejeito e modificação da paisagem. A mineração remove grande volume de vegetação e de solo para acessar o minério, o que causa o transporte de partículas e assoreamento dos ecossistemas aquáticos (Garcia *et al.*, 2017). O Lago Batata em Porto Trombetas - PA, por exemplo, recebeu mais de 180 milhões de m³ de rejeito entre 1979 e 1989 (Scarano *et al.*, 2018a). Com o intuito de evitar tais impactos, as mineradoras atualmente represam rios e os reservatórios formados são utilizados para contenção de rejeitos originados do solo removido para a mineração ou do beneficiamento do minério. Dois rompimentos recentes destas barragens mostram os riscos associados a esta prática. Em 2015, o Rio Doce foi devastado pelo rompimento da barragem de Fundão, comprometendo a biodiversidade e o uso do rio para cerca de 500 mil pessoas (Pires *et al.*, 2017b). No início de 2019, em Brumadinho, o rompimento de barragem do Córrego do Feijão foi responsável por causar a morte de mais de 250 pessoas, além do impacto ambiental causado pela entrada do rejeito no Rio Paraopeba. Em 2017, estimou-se a existência de mais de 700 barragens de rejeito de mineração no país, cujo monitoramento e avaliação de seu estado é fundamental para garantir a segurança hídrica do país (ANA, 2019b). O papel crítico deste componente para o uso dos ambientes aquáticos resultou na sua incorporação à dimensão ecossistêmica do Índice de Segurança Hídrica, estabelecido no PNSH (ANA, 2019b).

5.2. MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O Brasil é um país de dimensões continentais, que compreende diferentes realidades climáticas, onde as projeções das mudanças climáticas variam até mesmo dentro de um mesmo bioma. Por exemplo, para o Bioma Amazônico, previsões indicam uma diminuição da precipitação na Amazônia Oeste e um aumento na Amazônia Central e Leste (Mendes & Marengo, 2010; Marengo *et al.*, 2011; Chou *et al.*, 2014). Nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil são esperadas uma diminuição nas precipitações projetadas até o final do século (Marengo *et al.*, 2011; Chou *et al.*, 2014) e um aumento das chuvas severas, principalmente em áreas de relevo acentuado (Sorensen *et al.*, 2010; Lyra *et al.*, 2017). Tais alterações nos padrões de precipitação resultarão em mudanças na disponibilidade hídrica das diferentes bacias hidrográficas brasileiras, podendo comprometer a provisão de serviços ecossistêmicos e a biodiversidade aquática presente nestes ambientes. No geral, projeções da disponibilidade hídrica média indicam diminuição na maior parte do país, com incrementos apenas na Região Sul (Ribeiro Neto *et al.*, 2016; Von Randow *et al.*, 2019). Por exemplo, em relação ao Rio Amazonas, as projeções para aquecimento de 1,5 °C

e 2,0 °C apresentam, respectivamente, diminuições de até 15% e 25% no seu escoamento (Pearce *et al.*, 2018). Apesar da projetada diminuição da disponibilidade hídrica média, em algumas bacias é esperado um incremento das vazões máximas (Mohor *et al.*, 2015; Ribeiro Neto *et al.*, 2016), como na bacia do Paraná, onde são previstos aumentos de até 15% e 20% na vazão em relação às projeções de aquecimento de 1,5 °C e 2,0 °C (IPCC, 2018). Em especial, as bacias localizadas na costa brasileira são densamente povoadas e os aumentos das vazões máximas devem causar sérios prejuízos sociais e econômicos.

Os efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos já vêm sendo notados, antecipando em magnitude e direção, os efeitos sociais, econômicos e ambientais projetados para o final deste século. Por exemplo, o alargamento de períodos de estiagem em 2001 reduziu o fluxo de água em rios que alimentam grandes reservatórios, especialmente do Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do país. Este evento levou a um imediato déficit de produção de energia elétrica no país (Jardini *et al.*, 2002; Rosa & Lomardo, 2004) e, mais recentemente, à redução do suprimento de água potável para milhares de pessoas (Marengo, 2008). A diminuição de precipitações na Região Sudeste até o verão de 2014 (Coelho *et al.*, 2016) resultou em forte redução do volume armazenado nos reservatórios da região, principalmente no Sistema Cantareira, bacia do Rio Paraíba do Sul e cabeceiras do São Francisco, contribuindo com a crise hídrica na região mais populosa do Brasil e evidenciou deficiências nas políticas de gestão dos recursos hídricos (Kelman, 2015; Nobre *et al.*, 2016). Na Bacia do Amazonas foi registrado um incremento no número de eventos extremos de precipitação durante as últimas décadas e da amplitude anual entre extremos de cheias secas (Marengo *et al.*, 2011). Secas extremas, como aquelas observadas nos anos de 2005 e 2010, tiveram grande impacto sobre a redução da água em tributários do rio Amazonas, afetando os regimes de inundação, deixando comunidades ribeirinhas isoladas e diminuindo o fluxo do turismo ecológico na região (Marengo *et al.*, 2010; Serrão *et al.*, 2014). Eventos severos de cheias com maior duração também têm sido observados na bacia nas últimas décadas (Marengo *et al.*, 2013). Pelas suas características climáticas e socioeconômicas, a Região Nordeste do Brasil é uma das mais vulneráveis às mudanças climáticas (Ribot *et al.*, 1996). A região apresenta áreas com alta susceptibilidade à degradação ambiental que, sob a combinação dos efeitos das mudanças climáticas e de políticas inadequadas de uso do solo, devem intensificar os processos de desertificação já estabelecidos (Vieira *et al.*, 2015). Entre 2011 e 2016, a região sofreu uma seca prolongada com impactos nos sistemas naturais e socioeconômicos que não tinham sido observados em décadas anteriores (Marengo *et al.*, 2017; Brito *et al.*, 2018).

O potencial impacto das mudanças climáticas para a segurança hídrica do país está presente diretamente na dimensão de resiliência do ISH, descrito no

PNSH, que prevê a capacidade das regiões em tratar os aspectos relacionados a eventos de seca e cheia extremos (ANA, 2019b). Desta maneira, ao afetar a disponibilidade de água para o uso humano, a variabilidade climática compromete a segurança hídrica, podendo deflagrar crises durante eventos climáticos extremos e traz os potenciais impactos das mudanças climáticas para o centro da discussão do tema no país.

Os efeitos das mudanças climáticas são também observados sobre a biodiversidade aquática e a saúde humana. Alterações nos padrões climáticos ameaçam diretamente a biodiversidade aquática ao ultrapassar os limites de tolerância das espécies durante extremos de temperatura, de secas e enchentes (Phillips *et al.*, 2009), e pela alteração dos regimes meteorológicos e hidrológicos estacionais (Junk *et al.*, 1989). Dentre os ambientes tidos como particularmente vulneráveis, a biodiversidade presente nos ambientes aquáticos rasos e temporários têm recebido destaque (Roland *et al.*, 2012). Além disso, muitos patógenos são veiculados pelo consumo direto da água, através de alimentos contaminados pela água ou seus vetores passam parte de seu ciclo de vida em ambientes aquáticos (Laurance, 2015), cujo desenvolvimento é diretamente relacionado ao comportamento das variáveis climáticas. A diminuição da disponibilidade hídrica tende a forçar as populações a usarem recursos hídricos de pior qualidade, aumentando a possibilidade de contaminação e a exposição aos vetores de doenças. Por outro lado, enchentes propiciam eventos agudos de contágio pelo intenso contato entre as populações e os ambientes aquáticos contaminados (Laurance, 2015).

O Brasil possui algumas iniciativas interessantes no teste empírico dos potenciais impactos das mudanças climáticas para a biodiversidade e funcionamento dos ecossistemas aquáticos brasileiros (Figura 6). Entre estas iniciativas se destacam experimentos usando microcosmos naturais, em especial bromélias para projeções para o Sudeste brasileiro e mesocosmos artificiais *in situ* na região Amazônica (Pires *et al.*, 2016; Marino *et al.*, 2017; Scarano *et al.*, 2018b). Estes estudos apontam que o efeito de alterações na precipitação, reduzindo a coluna d'água e comprometendo a estrutura do habitat aquático, tem consequências severas para a ocorrência de diversas espécies, para a interação entre as espécies e para dinâmicas ecossistêmicas (Pires *et al.*, 2017a). Na região Sul do Brasil, Pesquisas Ecológicas de Longa Duração vem sendo desenvolvidas desde 2000, possibilitando o monitoramento das mudanças climáticas e registrando os efeitos de cheias e secas extremas sobre a biodiversidade e funcionamento de ecossistemas aquáticos (Thomaz *et al.*, 2007; Bertoncin *et al.*, 2019).

Figura 6: Experimento sobre o efeito das mudanças climáticas para a biodiversidade aquática, realizado na Lagoa da Mata, presente na FLONA de Carajás no Pará. A abordagem utiliza mesocosmos *in situ* para averiguar os efeitos da diminuição da precipitação previstas para o oeste da Amazônia até o final do século sobre os organismos aquáticos e processos ecossistêmicos. Foto: Ricardo Andrade

5.3. POLUIÇÃO

A poluição é considerada uma das principais ameaças à biodiversidade e aos usos de ambientes aquáticos continentais em todo planeta e sua importância tende a aumentar até o final do século (Avaliação Ecossistêmica do Milênio, 2005; WWAP, 2018). O termo poluição refere-se à introdução no meio ambiente de qualquer forma de matéria e energia que possa afetar negativamente o ser humano ou outros organismos, facilitando inclusive o desenvolvimento e propagação de diversos agentes patogênicos (WWAP, 2018). Pouco percebido e, por isto mesmo, muito preocupante é o fato que a poluição afeta negativamente o adequado funcionamento dos ambientes aquáticos e consequentemente afeta sua capacidade de manter o fornecimento de serviços ecossistêmicos.

Entre as principais formas de poluição, o aumento no aporte de nutrientes, em especial fósforo e nitrogênio, é o mais conhecido. Estes nutrientes advêm de fontes diversas e incluem, por exemplo, os fertilizantes utilizados na agricultura e o aporte de esgoto de origem doméstica e industrial, promovendo o processo conhecido como eutrofização artificial (Esteves, 2011). A eutrofização artificial trata-se, portanto, do processo de aceleração exacerbada do processo de produção primária, com consequente aumento na quantidade de matéria orgânica e aumento na demanda de oxigênio para a sua decomposição. A redução na quantidade de oxigênio na água resulta na mortandade de organismos aquáticos e acúmulo de gases tóxicos, com consequências negativas para o consumo dos recursos hídricos e balneabilidade dos ambientes aquáticos (Instituto Trata Brasil, 2018a). Desta maneira, a eutrofização artificial leva a alterações significativas na estrutura e funcionamento de ecossistemas aquáticos, em geral limitados por nutrientes, e caracteriza-se como o principal vetor de perda de qualidade das águas brasileiras (ANA, 2017b).

Além do aporte de nutrientes oriundo das atividades agrícolas, a urbanização e a industrialização potencializam a poluição de ambientes aquáticos, que

desempenham um papel importante no desenvolvimento socioeconômico das cidades brasileiras. Em zonas urbanas, esse processo inclui despejo de esgoto e entradas de misturas complexas de poluentes nos ambientes aquáticos, devido ao uso misto da paisagem em seus arredores. Análise de 35 bacias hidrográficas independentes, distribuídas pelo estado do Rio de Janeiro, indicou que a urbanização foi o principal vetor do aumento da concentração de nutrientes nas águas (Tromboni & Dodds, 2017), mesmo com taxas modestas da urbanização. A falta de saneamento básico e tratamento de esgotos domésticos e outros efluentes, associada ao desenvolvimento urbano desordenado com redução de zonas ripárias, resultaram na degradação dos ambientes aquáticos (Tromboni & Dodds, 2017; Quadra *et al.*, 2019c).

A poluição de águas subterrâneas é outro ponto crítico para a manutenção dos usos dos recursos hídricos do país, em especial em cenários futuros, quando estima-se um aumento de 54% da captação das águas subterrâneas no país, associadas ao aumento da variabilidade climática e demanda hídrica (ANA, 2019b). A qualidade da água subterrânea em uma região é determinada por processos naturais (litologia, cobertura vegetal, qualidade de recarga e interação com aquíferos) e atividades antropogênicas (agricultura, pecuária, indústria, urbanização e exploração crescente de recursos hídricos). As águas subterrâneas podem ser degradadas após a lixiviação de fertilizantes e produtos químicos (p. ex., pesticidas) da superfície do solo para os aquíferos a partir das atividades da agropecuária, assim como os efluentes industriais e domésticos. As mudanças nas práticas agropecuárias nos últimos 50 anos (uso de fertilizantes, pesticidas, conversão de ecossistemas naturais, intensificação da criação, mecanização, drenagem, etc.) contribuíram significativamente para aumentar as concentrações de substâncias poluentes em águas superficiais e subterrâneas brasileiras (Rebouças, 2015b). Poluentes orgânicos podem ser altamente persistentes, e serem detectados na água mesmo após 20 anos de sua aplicação. Por exemplo, o monitoramento de águas superficiais e subterrâneas da área agrícola da região de Primavera do Leste, Centro-oeste do Brasil, mostrou que a presença de pesticidas é algo comum, presumivelmente oriundos de fontes não pontuais da agricultura. Os valores máximos de pesticidas em água potável encontrados excedem os valores das diretrizes da União Europeia em até 17 vezes (Dores *et al.*, 2008). Pesquisa recente aponta que uma boa parte dos municípios brasileiros apresentam fertilizantes com potencial cancerígeno em suas águas, com destaque para o estado de São Paulo, que possui mais de 500 cidades com cerca de 27 diferentes tipos de agrotóxicos¹⁷ encontrados na água. Apesar do reconhecido potencial danoso, tanto para a qualidade ambiental quanto

17. Estudo sistematizando informações do Ministério das Cidades, executado pelas instituições Repórter Brasil, Agência Pública e a organização suíça Public Eye. Acesso: <https://reporterbrasil.org.br/2019/04/coquetel-com-27-agrotoxicos-foi-achado-na-agua-de-1-em-cada-4-municipios/>

para a saúde humana, o Brasil adotou em 2019 uma política de liberação de defensivos agrícolas, o que, segundo os dados mostrados acima, poderia intensificar os problemas existentes, além de acarretar em graves problemas de contaminação das águas superficiais e subterrâneas brasileiras.

Outro grupo importante de poluentes que tem ganhado destaque nos últimos anos, os chamados poluentes emergentes, tem também efeitos relevantes sobre o funcionamento dos ambientes aquáticos. Os poluentes emergentes são poluentes que não são comumente monitorados ou regulados, mas que apresentam riscos adversos conhecidos ou suspeitos para a saúde humana ou para o meio ambiente. Entre os poluentes emergentes, destacam-se compostos como metilmercúrio, hormônios sintéticos e naturais, medicamentos como os antibióticos, microplásticos e cafeína que afetam a fisiologia, comportamento e desenvolvimento dos organismos aquáticos, com consequências para diversas escalas ecológicas (Quadra *et al.*, 2017, 2019a b). A incorporação de técnicas de tratamento para estes poluentes e o estabelecimento de campanhas para a destinação adequada destes resíduos é passo fundamental para diminuir o potencial deste vetor de ameaça para os ambientes aquáticos.

5.4. SOBRE-EXPLORAÇÃO DE ESPÉCIES

De acordo com a Meta 6 da Convenção sobre Diversidade Biológica, até 2020 todos os estoques de peixes e invertebrados e plantas aquáticas devem ser manejados e explorados de forma sustentável, legal e aplicando a “Abordagem Ecosistêmica para o Manejo da Pesca” (Ecosystem Approach for Fisheries Management; CDB, 2010). No entanto, o cumprimento dessa meta no Brasil é incerto, mesmo considerando a importância dos recursos oriundos dos ambientes aquáticos.

No Brasil, grande parte das informações sobre a exploração excessiva de espécies aquáticas continentais vêm da região Amazônica. Nesta região, o uso excessivo de espécies aquáticas nativas é observado desde o período colonial, quando se estabeleceram os ciclos de produção que sustentaram a economia local e ajudaram a estabelecer os núcleos urbanos nas margens dos grandes rios Amazônicos. O primeiro ciclo de pesca intensiva na Amazônia foi o do peixe-boi no século XVII, que entrou no mercado internacional já consolidado de carne e gordura de baleia e de outros mamíferos aquáticos. A sobre-exploração do peixe-boi reduziu dramaticamente a população local, inviabilizando essa atividade comercial e promovendo finalmente a proteção da espécie em 1967 (Best, 1982). O segundo ciclo foi o dos quelônios, entre os séculos XVIII e XIX, cujos ovos eram coletados para produção de óleo e manteiga. Essa atividade entrou em declínio no fim do século XIX e este grupo de animais passou a ser oficialmente protegido a partir de 1975 (Smith, 1979). O terceiro ciclo se deu no final do século XIX e início do XX em decorrência da expansão da produção da borracha, quando a demanda de carne para a crescente população

recaiu sobre o pirarucu. O colapso desta atividade foi registrado no desembarque em Belém, onde as 1.600 toneladas de pirarucu salgado entre 1885-1893 caíram para menos de 100 toneladas entre 1933-1936 (Barthem & Goulding, 2007). O quarto ciclo foi caracterizado pelo ciclo de peles de animais terrestres e aquáticos para o mercado internacional. A fauna aquática se mostrou mais vulnerável à atividade de caça do que a terrestre devido principalmente à acessibilidade desse habitat, em especial nos anos de seca intensa (Antunes *et al.*, 2016).

Atualmente, estamos vivendo o quinto ciclo de sobre-exploração de espécies aquáticas nativas da Amazônia. Ao contrário dos anteriores, este ciclo se caracteriza pela intensa exploração dos diversos recursos pesqueiros. Este ciclo começou na década de 1950, com a introdução de barcos a motor, frigoríficos e redes e linhas de nylon, e foi intensificada com o aumento da população, promovida pelo estabelecimento da zona de livre comércio em Manaus e por outros programas de desenvolvimento econômico (Barthem & Goulding, 2007). Os recursos pesqueiros alcançaram grande relevância socioeconômica, onde a atividade pesqueira empregou larga parcela de mão de obra regional (Almeida *et al.*, 2001) e garantiu a segurança alimentar da população urbana e ribeirinha (Isaac & Almeida, 2011). A captura anual nos estados da Região Norte chega a mais de 130 mil toneladas de pescado (MPA, 2011) e 90% desta produção é concentrada em 30 espécies ou grupo de espécies, sendo a maioria migradora (Barthem *et al.*, 2019). Essa intensa pressão pesqueira sobre poucos recursos tem conduzindo os estoques à sobrepesca, como o do tambaqui (*Colossoma macropomum*), dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*) e piramutaba (*B. vaillantii*) (Batista & Isaac, 2012).

Embora o histórico de exploração dos recursos aquáticos na Amazônia aponte para o colapso dos mesmos, há ações voltadas para a proteção e o uso sustentável com alto potencial de reverter quadros muito negativos. Os melhores exemplos de recuperação do estoque são relacionados às espécies sedentárias submetidas a um manejo adequado, como foi o caso do pirarucu (*Arapaima gigas*) nas áreas protegidas de Pacaya-Samiria (Tello, 1997), Mamirauá (Castello *et al.*, 2009) e Piagaçu-Purus (Deus *et al.*, 2003), e do peixe ornamental acará-disco (*Symphysodon aequifasciatus*) em Piagaçu-Purus (IPI, 2010). No entanto, o manejo adequado das espécies migradoras ainda é um grande desafio. Estes recursos estão sobre grande pressão pesqueira para atender a demanda urbana por pescado e sua ampla área de vida é afetada pelos impactos de grandes projetos de infraestrutura, como a construção de barragens para geração hidroelétrica, sendo necessário uma visão integrada em larga escala para a conservação dessas espécies (Goulding *et al.*, 2019).

5.5. INVASÃO DE ESPÉCIES EXÓTICAS

Ambientes aquáticos são altamente susceptíveis à invasão por espécies exóticas, pois possuem o caráter veicular da água e consequentemente, a invasão tem causado mais impactos em ambientes aquáticos do que em terrestres (Sala *et al.*, 2000). A invasão de espécies exóticas pode causar grande impacto econômico (Perrings, 2005; Pimentel *et al.*, 2005), podendo afetar inclusive a saúde pública (Bol, 2011). No entanto, são as atividades humanas as principais causadoras de alterações ambientais que elevam o sucesso das invasões por espécies exóticas nesses ambientes (Pelicice *et al.*, 2017). O esforço de síntese produzido pelo Ministério do Meio Ambiente apresenta uma lista com 163 espécies exóticas invasoras de águas interiores do país, considerando diversos grupos taxonômicos (Latini *et al.*, 2016). Entre eles, os peixes se destacam compreendendo cerca de 100 espécies, tais como *Tilapia rendalli*, *Oreochromis niloticus* e *Cyprinus carpio*. A espécie *T. rendalli* está registrada em 43% de 77 reservatórios inventariados no país (Agostinho *et al.*, 2007). Além disso, as espécies exóticas são responsáveis por mais de 60% da produção de piscicultura em território nacional, com destaque para o estado do Paraná, onde a tilápia é responsável por cerca de 95% da produção¹⁸, tornando a aquicultura uma das maiores fontes de propágulos para invasão (Frehse *et al.*, 2016).

O processo de invasão biológica implica em diversas etapas, incluindo a quebra de barreiras geográficas naturais entre grupos de espécies. No Brasil, além da introdução de espécies oriundas de outros continentes, muitas introduções de organismos ocorrem entre as bacias sul-americanas e ainda não se tem dado a atenção necessária para controlar esse processo (Bezerra *et al.*, 2019). Por exemplo, a construção da barragem de Itaipu, em 1982, eliminou a barreira natural das Sete Quedas (Guaíra-PR), levando à invasão do alto rio Paraná por 33 espécies de peixes (Júlio-Junior *et al.*, 2009). Barreiras geográficas também podem ser superadas pelo transporte de longas distâncias por navios. Espécies como os bivalves *Limnoperna fortunei* e *Corbicula flumínea*, de origem Asiática, chegaram a América do Sul por água de lastro no rio Paraná (Argentina) e agora estão amplamente distribuídas em todo o país, causando impactos econômicos e ecológicos em toda a América do Sul (Boltovskoy & Correa, 2015). Por exemplo, *Limnoperna fortunei* pode gerar incrustações em substratos diversos, acarretando em consequências severas para a provisão de serviços ecossistêmicos, além de causar prejuízos econômicos para a geração de energia (Boltovskoy & Correa, 2015).

O declínio de populações de espécies nativas causado pela introdução de espécies exóticas é comprovado, sendo necessárias medidas urgentes para conter esse processo em território nacional. As plantas aquáticas nativas, por

18. Estimativa obtida através do banco de dados do IBGE para a Produção Pecuária Municipal. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&qt=resultados&t=o-que-e>

exemplo, vêm sofrendo declínio significativo no número de espécies e grupos funcionais em ambientes aquáticos naturais e artificiais com a introdução da gramínea africana *Urochloa arrecta* (Michelan *et al.*, 2010). Além disso, a impressionante acumulação de biomassa dessa espécie impede que os peixes nativos utilizem a área litorânea dos ambientes aquáticos como refúgio, acarretando no declínio das populações de peixes nativos nas áreas onde a gramínea exótica invade (Carniatto *et al.*, 2013). Outro caso que merece destaque é a introdução de espécies exóticas por aquariofilia. O estado de Minas Gerais se destaca como a que mais introduz espécies exóticas por aquários (Magalhães & Jacobi, 2013). Mesmo em ambientes aquáticos situados no interior de Parques Nacionais, a espécie exótica *Poecilia reticulata*, comumente comercializada em lojas de aquários, representa uma fração significativa das capturas de peixes presentes no ambiente (Oliveira *et al.*, 2014). A espécie de planta aquática submersa *Hydrilla verticillata*, originária da Ásia, muito provavelmente também foi introduzida por aquariofilia, e após seu registro em ambientes naturais no Brasil pela primeira vez em 2005, expandiu-se pela bacia do rio Paraná, originando problemas relacionados a pesca, navegação e recreação (Sousa *et al.*, 2009).

Os problemas globais acarretados pelas invasões de espécies exóticas levaram o estabelecimento da Meta 9 da Convenção sobre Diversidade Biológica, apontando a necessidade de identificar as espécies invasoras e priorizar o combate aos vetores e aos processos de invasão (CDB, 2010). Contudo, o Brasil ainda não tem empenhado esforços suficientes para atingir essa meta, e principalmente os ambientes aquáticos vem sofrendo com as políticas ambientais brasileiras ainda incipientes (Azevedo-Santos *et al.*, 2017, 2019).

INVASÕES NO SUL: UM EXEMPLO DE NEGLIGÊNCIA POLÍTICA COM O CONHECIMENTO CIENTÍFICO

O Brasil é signatário da Convenção sobre Diversidade Biológica (CBD 2010), a qual em sua meta 9 especifica a necessidade de prevenção e controle das espécies exóticas. Contudo, a política brasileira estimula a introdução de espécies exóticas (Azevedo-Santos *et al.*, 2017; Padial *et al.*, 2017; Ruaro & Mormul, 2017), principalmente de peixes de água doce. O Sul do Brasil é um expoente na criação de barragens para geração de energia, tanques de piscicultura, pesca esportiva e peixamento (Vitule *et al.*, 2017), e também não controla o comércio de espécies para aquário e soltura de iscas vivas (Magalhães & Jacobi, 2013; Ortega *et al.*, 2014; Garcia *et al.*, 2015). Dessa forma, é nítida a negligência com as invasões, visto que esses fatores podem ser considerados vetores de espécies exóticas (Frehse *et al.*, 2016; Bezerra *et al.*, 2019). Por exemplo, o rio Iguaçu no Paraná, onde se encontra uma das maiores belezas naturais do planeta, as Cataratas do Iguaçu, se conecta ao rio Paraná, fazendo parte de uma vasta bacia hidrográfica, a bacia do rio da Prata. Antes de desaguar no rio Paraná, as águas do rio Iguaçu passam por uma barreira biogeográfica, as Cataratas do Iguaçu, que impedem que as espécies do rio Paraná subam o rio Iguaçu, causando assim, uma enorme diferenciação entre as comunidades aquáticas desses dois rios. Esse isolamento das espécies fez com que cerca de 70% das espécies de peixes nativos do rio Iguaçu não possa ser encontrada em nenhuma outra área do planeta (Baumgartner *et al.*, 2012). Recentemente, a espécie *Salminus brasiliensis*, popularmente conhecida como “dourado”, foi introduzida no rio Iguaçu (Gubiani *et al.*, 2010; Ribeiro *et al.*, 2017). O dourado é um predador visual eficiente, se alimenta de uma grande variedade de presas e é extremamente apreciado na pesca (Vitule *et al.*, 2014), potencial motivo pelo qual a espécie foi introduzida nesse rio. Embora seja uma espécie nativa no rio Paraná, o dourado não é nativo do rio Iguaçu, e assim, essa introdução entre bacias, dentro do mesmo país, mostra a incapacidade governamental em regular os processos de introdução de espécies no Brasil. O declínio das espécies endêmicas do rio Iguaçu e das espécies nativas de outros rios da região vem sendo anunciado, mas esse é apenas um exemplo no Sul do Brasil, entre uma centena de espécies introduzidas no Brasil (Frehse *et al.*, 2016). Outros exemplos são a tilápia (*Oreochromis niloticus*), o black bass (*Micropterus salmoides*), o tucunaré (*Cichla* sp.), a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), e o bagre africano (*Clarias gariepinus*), introduzidos principalmente com a prerrogativa de benefício ao ser humano (Bezerra *et al.*, 2019) e muitas vezes com apoio político (Padial *et al.*, 2017).

5.6. INTERAÇÕES ENTRE AS AMEAÇAS

Apesar de terem importantes efeitos isolados sobre a manutenção da biodiversidade e funcionamento dos ecossistemas aquáticos, é a interação entre as mudanças no uso do solo, as mudanças climáticas, a poluição, a exploração excessiva de recursos naturais e a invasão de espécies exóticas que causa maior preocupação e demanda o estabelecimento de estratégias mais complexas. Usando informações de um esforço global e estabelecendo o recorte brasileiro, estima-se que cerca de 40% do território nacional apresenta níveis de moderado a elevado de ameaça aos corpos hídricos, com destaque para a região Sudeste e Nordeste do país (Vörösmarty *et al.*, 2010). A estimativa considera o papel de mais de 20 vetores, como a presença de espécies exóticas invasoras, a agricultura e as mudanças climáticas – Ver seção 4 (Vörösmarty *et al.*, 2010). Ao mesmo tempo, a interação entre estas ameaças pode permitir oportunidades de intervenção e respostas antagonônicas que, ao serem detectadas, viabilizam o estabelecimento de ações e áreas prioritárias para a tomada de decisão.

As mudanças climáticas tendem a potencializar severamente os efeitos das demais ameaças e cerca de 95% de todos os riscos associados às mudanças do clima estão relacionados à água. Isto se deve principalmente ao fato de muitos ambientes aquáticos serem altamente dependentes dos aportes pluviais para sua manutenção, e a mudança na distribuição das chuvas deve propiciar um aumento nas retiradas de água do sistema, alterando a estrutura do habitat e comprometendo uma série de mecanismos ecológicos importantes para a manutenção da biodiversidade (Avaliação Ecossistêmica do Milênio, 2005). Devido à relevância das ameaças relacionadas às mudanças climáticas e no uso do solo, a maior parte dos estudos que buscaram entender a interação entre as ameaças à biodiversidade no país tem foco nestes componentes (Joly *et al.*, 2018). Cabe ressaltar que as mudanças no uso do solo (urbanização, expansão agrícola) são um dos principais vetores de poluição para ambientes aquáticos, e alterações na distribuição das chuvas relacionadas às mudanças climáticas devem alterar a entrada de sedimentos e poluentes nos corpos hídricos, enfatizando a interação explícita destas ameaças. Estas modificações do meio podem facilitar o estabelecimento de espécies exóticas invasoras tolerantes, que tendem a suprimir a biodiversidade nativa e comprometer os serviços ecossistêmicos prestados por estes ambientes. Da mesma forma, em algumas regiões, onde é previsto um aumento da drenagem superficial em função do aumento da precipitação, o uso do solo passa a ser ainda mais importante para determinar o efeito dessas alterações climáticas para a dinâmica dos ecossistemas aquáticos (Pires *et al.*, 2017b).

Neste contexto, ambientes urbanos são os mais vulneráveis tendo em vista a forte interação entre mudanças no uso do solo, mudanças climáticas e

adensamento populacional. Atualmente mais do 84% da população brasileira vive em áreas urbanas¹⁹. As cidades têm grande demanda hídrica, e a retirada de água para consumo urbano representa aproximadamente 23% da retirada total de água no Brasil, abaixo apenas do uso para irrigação (ANA, 2017b). Variações climáticas da precipitação que podem impedir a satisfação desta demanda podem ser amenizadas através do uso de reservatórios para armazenamento de água. Não obstante, eventos de secas prolongados, políticas inadequadas de manejo, da quantidade e qualidade dos recursos hídricos podem forçar o sistema hídrico para além de sua capacidade deflagrando crises. Por outro lado, o excesso de chuva associado à impermeabilização dos solos e à falta de estrutura de drenagem adequados causam enchentes, que afetam severamente a vida e as atividades econômicas nas cidades (Haddad & Teixeira, 2015). Em estudo para a Região Metropolitana de São Paulo, onde é previsto um aumento de eventos climáticos extremos para os próximos anos, são identificados diversos mecanismos de colapso associados a mudanças na distribuição das chuvas (Coelho *et al.*, 2016). De acordo com relatório especial sobre desastres naturais do IPCC de 2012, as cidades da América Latina terão um gasto em torno de 14 e 20 bilhões de dólares para se adaptar às novas condições de seca e inundações, respectivamente (IPCC, 2012).

Portanto, apesar de ser imprescindível entender o potencial impacto destas ameaças de maneira independente, compreender a forma como interagem e a força com que potencializam ou atenuam o efeito de cada uma delas é estratégico para estabelecer ações efetivas de conservação. Isto é especialmente importante, pois os efeitos sinérgicos negativos para a biodiversidade aquática parecem ser mais consistentes que os efeitos antagônicos. Estudos futuros dedicados a entender o papel e importância relativa destas ameaças, bem como o papel da interação entre elas serão fundamentais, inclusive para o delineamento dos instrumentos de gestão, que devem seguir uma abordagem integrada e multi-setorial.

19. Dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) de 2015.

6_ INSTRUMENTOS PARA A GESTÃO DA ÁGUA

Muitas são as possibilidades para integrar a água na promoção da conservação da biodiversidade e desenvolvimento com sustentabilidade ambiental, social e econômica no país. Fortalecer mecanismos previstos em trajetórias positivas e minimizar os riscos identificados em cenários negativos são os primeiros passos para que o país utilize todo o potencial e o diferencial competitivo obtido através de seus recursos hídricos e ambientes aquáticos. O país possui legislação dedicada à questão hídrica e instituições capazes de atuar nesse processo. É importante que muitas das iniciativas já instituídas ganhem escala e promovam a água como um tema transversal, pré-requisito para o sucesso de qualquer atividade a ser implementada.

O primeiro Diagnóstico Brasileiro para Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos aponta algumas sugestões para os ambientes aquáticos, com foco em alterações nas práticas e políticas públicas, como: (i) o estabelecimento e implementação de áreas de proteção dedicadas às águas continentais; (ii) a restauração de ecossistemas de águas interiores através do restabelecimento da conectividade de habitats críticos e vazões com flutuações próximas às naturais; (iii) ações legislativas e de fiscalização que assegurem a preservação ou recomposição da vegetação riparia; (iv) a incorporação da dimensão ambiental no planejamento e nas ações de fomento de atividades de alto risco; (v) melhorias na interface entre ciência e a tomada de decisão, especialmente junto às instâncias governamentais; e (vi) reavaliação das práticas de monitoramento e manejo de ecossistemas aquáticos sob a perspectiva da conservação. A “Carta das Águas Doces do Brasil” ressalta os desafios para garantir o uso sustentável dos nossos recursos hídricos como a necessidade da reversão do quadro atual de poluição, o aumento na eficiência do uso, uso sustentável e proteção das águas subterrâneas, o planejamento e a gestão integrados, a descentralização e participação dos diversos atores interessados na gestão dos recursos hídricos, a formação de recursos humanos, a geração de tecnologia específica para solução de problemas relacionados aos recursos hídricos, a difusão do conhecimento obtido, e a harmonização com as políticas públicas desenvolvimentistas (Rebouças, 2015a).

6.1. ESTRUTURA POLÍTICO-INSTITUCIONAL

As águas superficiais e subterrâneas são consideradas recursos ambientais, pautados por normas jurídicas ambientais. Por outro lado, os múltiplos usos da água são tratados em outro documento legal, fixados como recursos hídricos. Nesse aspecto, diversas normas jurídicas, relacionadas a sua proteção e aos seus usos, tornam a gestão da água extremamente complexa. Entende-se que a gestão dos recursos hídricos cuida dos usos antrópicos da água, fixada nos usos múltiplos deste recurso. Já o cômputo ambiental, visa a preservação e conservação dos corpos hídricos. Ambas as normas jurídicas, apontam um

sistema próprio de gestão. Assim, o Brasil possui uma estrutura político-institucional para a gestão da água, que integra a atuação de diversos setores, compreendendo o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (Figura 7). Entretanto, diversas instituições que não estão inclusas dentro do SINGREH têm papel fundamental para tratar as demais dimensões da água no país. Por exemplo, o Ministério de Meio Ambiente²⁰ possui competência para explorar os aspectos relacionados à conservação da biodiversidade e ecossistemas aquáticos, mas não compõe o SINGREH. As competências estabelecidas na Constituição Federal determinam atribuições diferenciadas para os entes da Federação. De um lado, está a atribuição de todos os entes (os Municípios, por interesse local) para legislar sobre a água em seu aspecto ambiental, e de outra, na seara hídrica, está a competência instituída somente para União, Estados e Distrito Federal.

Figura 7: Estrutura política-institucional da água no Brasil descrita pelo Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGERH). Fonte: IPEA 2018

A diretriz da Política de Recursos Hídricos fixa que a gestão dos recursos hídricos deve se dar de forma integrada com a gestão ambiental. Nesse caso, a biodiversidade, sua conservação e preservação não são observados, pois ainda não há uma regulamentação que abrace com exatidão essa verificação nos pleitos e análises para a autorização do uso e lançamento dos recursos

20. Atualmente o Ministério do Meio Ambiente é um dos membros do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, constituindo uma das representações do Governo Federal.

hídricos, ficando as decisões a mercê da entidade competente, no âmbito da federação. Com o recente arranjo estabelecido, em âmbito federal, onde a Agência Nacional de Águas não estará mais vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, e sim no Ministério de Desenvolvimento Regional, a perspectiva de uma harmonização, visando à integração, é ainda mais incerta. Outros órgãos e entidades envolvidas, como o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, dentre tantos, ainda que pontualmente exerçam pautas conjuntas, não apresentam integração ideal.

As espécies da biodiversidade exploradas pela atividade pesqueira representam outra categoria de recursos naturais presentes em ambientes aquáticos continentais, e o seu uso é regulamentado por outro conjunto de normas. Atualmente cabe ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento a política nacional pesqueira e aquícola, incluindo a proposição de iniciativas, definição de estratégias e fixação de critérios, padrões e medidas de ordenamento do uso sustentável dos recursos pesqueiros e da aquicultura. No entanto, até o final de 2018 essa competência legal era exercida de forma conjunta com o Ministério do Meio Ambiente, como forma de compatibilizar o fomento à indústria pesqueira nacional com a sustentabilidade no uso dos recursos e manutenção dos ecossistemas naturais. Com a recente alteração nas competências legais dos órgãos envolvidos, o equilíbrio entre ambas as perspectivas está comprometido.

6.2. INSTRUMENTOS LEGAIS

Em relação à água enquanto recurso hídrico, a Lei 9.433/1997, conhecida como Lei da Água, estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos, prevendo diversos instrumentos de gestão integrada e participativa no âmbito de Comitês de Bacias Hidrográficas. O país conta atualmente com cerca de 225 Comitês de Bacias de rios de domínio dos Estados e 10 Comitês de Bacias de rios de domínio da União (ANA, 2019a). A Lei da Água contempla princípios, objetivos, diretrizes, instrumentos de gestão, penalidades e um Sistema Nacional de Gerenciamento. Dois incisos desta Lei determinam a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental e da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos. Visando a integração de procedimentos, ainda que frágil, a Resolução nº 65, de 2006, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos trata da articulação, mas não da integração como determina a lei, dos dois instrumentos de gestão, dos quais destacam-se o licenciamento ambiental e a outorga de direito de uso de recursos hídricos. No segundo caso, apesar de inúmeras tentativas, o termo de integração ainda não aconteceu.

A norma hídrica contempla, também, ações voltadas à articulação, seja através do planejamento dos recursos hídricos com os diferentes setores usuá-

rios, seja através da integração do planejamento regional, estadual e nacional. A Lei ainda determina a articulação entre a União e os Estados, uma vez o gerenciamento de recursos hídricos é de interesse comum. Neste sentido, há uma grande diferença no grau de implementação dos instrumentos de gestão e governança das águas brasileiras para os seus 27 estados (Figura 8), o que por sua vez pode dificultar a execução plena destes mecanismos e dificultar a gestão em escala nacional. Em relação à integração entre os usuários, comunidades e Poder Público, a Lei traçou dois momentos para a participação conjunta no ato decisório, junto aos Conselhos de Recursos Hídricos e os Comitês de Bacias Hidrográficas. Dois colegiados devem seguir o indicativo de representação, onde o número de representantes do Poder Executivo não poderá exceder metade mais um do total dos membros. Nesse caso, contrariaria a determinação constitucional que atribui à União a competência exclusiva para instituir o SINGREH. Nesse âmbito, a sugestão é fixar um pacto federativo, contemplando questões que perpassam por entendimentos eficientes entre os membros da federação, e o atendimento ao normativo princípio lógico da Lei que prevê a participação de forma equânime de todos os atores envolvidos na gestão.

Figura 8: Instrumentos de gestão e governança das águas presentes nos estados brasileiros, considerando a presença do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), o Plano de Bacias Hidrográficas (PBH), o Sistema de Informação de Recursos Hídricos, a implementação da Outorga (licença) e da Cobrança pelo uso da água, instrumentos previstos pela Lei das Águas (Lei 9433/1997) e o enquadramento e classificação dos corpos hídricos de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, visando a garantia da qualidade da água. Cabe ressaltar que a situação de cada instrumento nos diversos estados pode apresentar especificidades (*), que devem ser acessadas diretamente no sítio do Observatório da Governança das Águas²¹.

21. <http://www.observatoriodasaguas.org/publicacoes>

6.3. BANCOS DE DADOS

Um passo primordial para a gestão integrada da água, considerando os aspectos relacionados aos recursos hídricos e ao componente ambiental é a possibilidade de integrar informações de ambas as esferas de análise. O Brasil se destaca no monitoramento e sistematização de informações sobre seus corpos hídricos, sejam através dos órgãos de fiscalização e monitoramento nas esferas municipais, estaduais e federais, sejam através dos mecanismos previstos no processo de licenciamento ambiental que obrigam o monitoramento dos corpos hídricos pelo empreendedor. Uma grande quantidade de informação é produzida sobre o estado dos corpos hídricos no país, porém pouco é feito em termos de sistematizar as informações de maneira integrada considerando os diferentes aspectos relacionados aos corpos hídricos, desprezando-se o potencial de ferramentas, como a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE, criada em 2008 pelo governo federal. No entanto, algumas iniciativas focadas em determinados aspectos, como o Sistema Nacional de Informações dos Recursos Hídricos (SNIRH)²², gerenciado pela Agência Nacional das Águas (ANA) e com recortes regionais, e o Instituto Mineiro para a Gestão das Águas (IGAM)²³, que tem papel fundamental em subsidiar estudos e a tomada de decisão em temas específicos.

No entanto, algumas iniciativas merecem destaque e sua importância deve ser ressaltada. A Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil, documento publicado anualmente através dos esforços de síntese da Agência Nacional de Águas, traz um panorama sobre a condição dos corpos hídricos do país, comportamento de oferta e demanda dos recursos hídricos para cada setor usuário e elenca propostas de atuação. O documento organiza as informações dos 1.625 pontos de monitoramento da agência e divulga as informações através de uma linguagem simples, capaz de informar a tomada de decisão. Apesar da importância e da necessidade de manutenção deste instrumento, o documento não ressalta o papel e o estado da biodiversidade aquática do país.

22. O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) é um dos instrumentos de gestão previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei 9.433/1997, conhecida como Lei das Águas. Trata-se de um amplo sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos, bem como fatores intervenientes para sua gestão. O acesso aos dados pode ser feito diretamente através do sítio: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>

23. O IGAM foi criado em 17 de julho de 1997, sendo vinculado à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Minas Gerais (SEMAD). No âmbito federal, a entidade integra o Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama) e o Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNGREH). Na esfera estadual, o IGAM integra o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sisema) e o Sistema Estadual de Recursos Hídricos (SEGRH).

De fato, informações sistematizadas sobre a biodiversidade brasileira ainda são escassas, apesar dos esforços recentes como o do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira - SIBBr²⁴, desenvolvido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), que integra coleções biológicas de 112 instituições de pesquisa e museus nacionais, e cujo número está em constante atualização (Gumbricht *et al.*, 2017).

Algumas iniciativas globais de estimativa da biodiversidade e das ameaças globais vigentes sobre os corpos hídricos e que são utilizados para a produção das sínteses globais também permitem estabelecer recortes nacionais e podem complementar as iniciativas brasileiras do estabelecimento de um banco de dados. Entre estas iniciativas destaca-se o GLOBIO - Aquatic e do River Threat, pois oferecem informações especializadas sobre a biodiversidade aquática. A integração das informações existentes, que atualmente se encontram de maneira difusa em diferentes bancos de dados, nacionais e internacionais, pode fornecer informações mais acertadas para a gestão dos corpos hídricos do país. Na seção “Dados e documentos-chave no tema”, apresentamos algumas das principais bases de dados com informações sobre a classificação, estado e ameaça dos ambientes aquáticos brasileiros.

6.4. PAGAMENTO POR SERVIÇO AMBIENTAL

O Pagamento por Serviço Ambiental (PSA) constitui uma importante forma de solução baseada na Natureza, capaz de viabilizar a aplicação de estratégias que beneficiem múltiplos atores através de incentivos monetários e não-monetários. No Brasil, a grande maioria dos programas de PSA estão dedicados à conservação de corpos hídricos e seu uso. O Programa Produtor de Água da Agência Nacional de Águas visa a conservação de nascentes em propriedades privadas, com o intuito de garantir a disponibilidade hídrica na região e se expande no país como uma das principais ferramentas de PSA. No Brasil, está em discussão o Projeto de Lei 792/2007 que visa tornar o PSA um mecanismo legal para a transferência de recursos para proprietários interessados em proteger e recompor serviços ambientais (Brasil, 2016). Além disso, há diversas iniciativas em escalas estaduais e municipais, bem como está em discussão a Lei 312/2015 que estabelece a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais, destinada a ajudar produtores, indígenas, quilombolas e comunidades tradicionais a conservar áreas de preservação e que trará benefícios diretos para ambientes aquáticos. Desta maneira, o PSA configura uma das principais alternativas para a aplicação em larga escala de iniciativas

24. O Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira é uma plataforma online que integra dados sobre a biodiversidade e os ecossistemas, provenientes de fontes diversas do Brasil e do exterior. O acesso de dados sobre a biodiversidade brasileira pode ser feito diretamente através do sítio: <https://collectory.sibbr.gov.br/collectory/datasets>

de proteção com foco na provisão de serviços ecossistêmicos, capazes de gerar co-benefícios para diversos componentes como biodiversidade, sequestro e estoque de carbono. Os desafios para isto, no entanto, ainda residem na necessidade de articular os subsídios financeiros que viabilizariam sua implementação em todo o país.

6.5. LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O licenciamento ambiental é um processo crítico na avaliação de impacto ambiental para a implantação de empreendimentos no país. Apesar de ser um mecanismo extremamente valioso para proteger a biodiversidade brasileira através da emissão de licenças nas diversas etapas do empreendimento e do estabelecimento do Plano Básico Ambiental, o conceito de serviços ecossistêmicos ainda não é explicitamente tratado e o foco é dado somente nos componentes estruturais do sistema. Neste contexto, ambientes aquáticos são afetados de inúmeras maneiras pela dependência que diversos empreendimentos possuem destes sistemas, tal como a instalação de barragens para a geração de energia elétrica ou para contenção de rejeitos de mineração.

Algumas iniciativas têm sido propostas para o país, em especial para a implementação de empreendimentos do setor hidrelétrico que buscam integrar os múltiplos usos, existentes e futuros para o corpo hídrico, considerando o papel das comunidades ribeirinhas e das atividades tradicionais que características do local. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) tem buscado estabelecer as metodologias adequadas para a incorporação do conceito de serviços ecossistêmicos a este processo e faz uso de experiências de outros setores e países. O conceito de serviços ecossistêmicos é pertinente nas diferentes etapas do processo de licenciamento, seja através da avaliação direta dos impactos do empreendimento sobre eles, seja como princípio norteador das medidas compensatórias que devem ser implementadas. A aplicação do conceito de serviços ecossistêmicos no processo de licenciamento ambiental em empreendimentos que fazem uso direto dos ecossistemas e biodiversidade aquática é um importante aliado para garantir a conservação e uso adequado da água, enquanto ativo nacional.

INTEGRANDO SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NO LICENCIAMENTO DE UHES

Em função de suas características técnicas, empreendimentos hidrelétricos estão sujeitos ao processo de licenciamento ambiental no Brasil. Neste contexto, a licença prévia, emitida pelo órgão ambiental competente pelo licenciamento ambiental, aprova a localização e concepção do projeto hidrelétrico, atestando a sua viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos para as próximas fases de sua implementação (Resolução Conama 001/86). Dentre os estudos requeridos para a fase de licenciamento prévio consta o Estudo de Impacto Ambiental – EIA, que deverá (i) identificar e avaliar os impactos socioambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade; (ii) definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos; e (iii) propor medidas para evitar, controlar, mitigar ou compensar os impactos negativos causados pelo empreendimento (Resolução Conama 237/97).

A necessidade de aprimoramento dos processos de Avaliação de Impacto Ambiental – AIA é questão presente nos debates nacionais e internacionais sobre o assunto, especialmente em virtude das alterações que diferentes empreendimentos podem causar nos serviços ecossistêmicos, afetando de diversas maneiras o bem-estar humano. Apesar da AIA ser um dos instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6.983/1981) e a previsão de que essa avaliação componha os estudos ambientais no âmbito do processo de licenciamento ambiental, muitas são as críticas atribuídas à qualidade dos estudos realizados e os riscos da não identificação ou do subdimensionamento de alguns impactos para projetos hidrelétricos.

Landsberg e colaboradores desenvolveram uma metodologia que incorpora a abordagem dos serviços ecossistêmicos à AIA, visando identificar tanto os impactos do projeto sobre os beneficiários de alguns serviços ecossistêmicos como a dependência da atividade ou do projeto em relação a alguns serviços ecossistêmicos (Landsberg *et al.*, 2013). Estudos recentes têm ressaltado os potenciais benefícios da adoção dessa metodologia, independentemente da tipologia do empreendimento. Em linhas gerais, no que diz respeito aos serviços ecossistêmicos impactados, a identificação dos beneficiários impactados com a

INTEGRANDO SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NO LICENCIAMENTO DE UHES

continuação...

respectiva determinação do grau de dependência que eles possuem sobre alguns serviços ecossistêmicos possibilita inserir melhorias no dimensionamento dos impactos identificados e no direcionamento das medidas e programas socioambientais para a prevenção, mitigação ou compensação dos impactos causados. De maneira análoga, a realização de análises desde a etapa de planejamento sobre o grau de dependência que a atividade ou projeto possui sobre os serviços ecossistêmicos permite antecipar ações que visam evitar impactos ou conflitos futuros, reduzindo riscos que possam comprometer a produtividade da atividade ou do empreendimento. Além de promover maior estreitamento e integração dos aspectos físico-bióticos e sociais comumente diagnosticados em EIAs, a adoção dessa abordagem também permite uma avaliação mais abrangente e integrada da importância e da magnitude dos impactos. Adicionalmente, maior atenção à dimensão socioeconômica contribui para a antecipação de custos e benefícios do projeto e permite a identificação e engajamento das partes interessadas, que poderiam não ser identificados em outras abordagens (Rosa & Sánchez, 2016).

Dessa forma, os estudos ambientais relacionados ao licenciamento ambiental de projetos hidrelétricos podem se beneficiar do uso dessa metodologia. Atualmente, incentivos para a adoção dessa prática encontram-se refletidos nas políticas internacionais que orientam o financiamento de projetos, como é o caso dos Padrões Ambientais e Sociais do Banco Mundial (World Bank, 2017) e dos Padrões de Desempenho da International Finance Corporation (IFC, 2012) que exigem que os projetos incluam uma análise dos impactos do projeto nos serviços ecossistêmicos e seus beneficiários e da dependência do projeto desses serviços.

6.6. ÁREAS PROTEGIDAS

O estabelecimento das áreas protegidas no país tem um forte enfoque nos recortes pertinentes a dinâmica e funcionamento dos ecossistemas terrestres. Alguns trabalhos ressaltam que este recorte é suficiente para a conservação da biodiversidade e serviços ecossistêmicos aquáticos, outros trabalhos reforçam a necessidade de estabelecer outros recortes, mais apropriados a dinâmica dos ambientes aquáticos (Azevedo-Santos *et al.*, 2019). Estudos já sugerem o recorte territorial de bacia hidrográfica, como aquele que melhor se adequa a proteção das águas continentais. Neste sentido, é necessário que as áreas protegidas sejam estabelecidas com foco direto na conservação dos ambientes aquáticos e não como consequência indireta da conservação de outros tipos de ambientes. Uma razão forte para esta prioridade é pensar na variedade de tipos de ambientes aquáticos, pois algumas tipologias podem não receber proteção alguma. Assim, é necessária uma abordagem mais profunda e detalhada para entender a importância e a forma com que as áreas protegidas contribuem para a manutenção da biodiversidade aquática e provisão de serviços ecossistêmicos hídricos no país.

No entanto, algumas iniciativas no delineamento de áreas de proteção no Brasil possuem recorte dedicado aos ambientes aquáticos. Destaque para as Áreas de Preservação Permanente previstas desde 1965 pela legislação brasileira, e mantidas na Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN), também conhecida como o Novo Código Florestal de 2012. A Lei prevê a conservação e restauração da vegetação ripária em todos os corpos hídricos presentes em

propriedades privadas do país, de acordo com a largura, tipo e natureza do mesmo (Tabela 3). Alguns estudos preveem uma recomposição de milhares de hectares de vegetação nativa em biomas degradados apenas considerando as APPs hídricas. Na bacia do Rio Doce, o passivo de restauração é estimado em cerca de 720 mil hectares (Pires *et al.*, 2017b). Estima-se que o cumprimento do passivo de APP hídrica estimado para a Mata Atlântica, previsto pela LPVN seja cerca de 11 milhões de hectares (Rezende *et al.*, 2018). Apesar de ter foco no recorte dos corpos hídricos e de impactar positivamente a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos aquáticos, o Código Florestal ainda possui intervenção direta no ecossistema terrestre, desprezando processos que são intrínsecos aos ambientes aquáticos.

Tabela 3: Área de Proteção Permanente hídrica estabelecida pela Lei de Proteção a Vegetação Nativa de 2012, que estabelece valores de vegetação ripária a partir do tipo e largura do corpo hídrico para propriedades com diferentes números de módulos fiscais²⁵. Estima-se que apenas a recomposição destas áreas na Mata Atlântica possa garantir o cumprimento das metas brasileiras estabelecidas no Acordo de Paris (Rezende et al., 2018).

Número de módulos fiscais	Cursos d'água				Nascentes	Veredas	Lagos e lagoas naturais
	Menor 10m	Até 60m	Até 200m	Maior 200m			
Até 1	5	5	5	5	15	30	5
De 1 a 2	8	8	8	8	15	30	8
De 2 a 4	15	15	15	15	15	30	15
De 4 a 10	20	30	Metade da largura	100	15	50	30
Maior que 10	30	30	Metade da largura	100	15	50	30

25. Módulo fiscal é uma unidade de medida, em hectares, cujo valor é fixado pelo INCRA para cada município levando-se em conta: (a) o tipo de exploração predominante no município (hortifrutigranjeira, cultura permanente, cultura temporária, pecuária ou florestal); (b) a renda obtida no tipo de exploração predominante; (c) outras explorações existentes no município que, embora não predominantes, sejam expressivas em função da renda ou da área utilizada; (d) o conceito de “propriedade familiar”. A dimensão de um módulo fiscal varia de acordo com o município onde está localizada a propriedade. O valor do módulo fiscal no Brasil varia de 5 a 110 hectares. Fonte: Embrapa

Cientes da importância dos ambientes aquáticos para a manutenção de um número expressivo de espécies e funções ecológicas, o Brasil tornou-se, em 1993, signatário da Convenção de Ramsar²⁶, que busca promover a conservação e uso sustentável de áreas úmidas, bem como o bem-estar das populações humanas que delas dependem (Junk *et al.*, 2014). Áreas úmidas de interesse estratégico por suas características ecológicas são identificadas e declaradas como sítios Ramsar. O Brasil possui 27 sítios Ramsar, os quais, por uma decisão de gestão federal, são designados apenas para UCs já constituídas, configurando assim uma proteção e importância a mais para a unidade (Figura 9). Contudo, recentemente foram feitos avanços nas designações de sítios Ramsar, viabilizando ajustes nos recortes territoriais, como é o caso do Rio Juruá. O Brasil designou e a Convenção de Ramsar acatou dois extensos sítios Ramsar regionais, envolvendo, além de UCs, outras categorias de áreas protegidas, como terras indígenas e áreas de proteção permanente fora de UCs. O Sítio Estuários do Rio Amazonas e seus Manguezais e o Sítio Rio Negro juntos têm cerca de 15,8 milhões de hectares e tornaram o país o detentor da maior extensão de sítios Ramsar no planeta. Ao todo, os sítios Ramsar no Brasil somam cerca de 27 milhões de hectares (Figura 9). Contudo, esse total é considerado muito pequeno, uma vez que o país possui a maior extensão de áreas úmidas na região tropical e subtropical do planeta (Gumbrecht *et al.*, 2017).

26. Os sítios Ramsar são determinados em virtude da importância ecológica destes ambientes e buscam garantir a conservação e o uso sustentável das áreas úmidas. Entre os benefícios do reconhecimento de uma unidade de conservação ou região como sítio Ramsar, destacam-se o posicionamento político, o reconhecimento internacional, o estabelecimento de novas perspectivas para o desenvolvimento e uma dimensão estratégica responsável por projetar as zonas úmidas brasileiras. Levam este nome em virtude de suas diretrizes primordiais terem sido estabelecidas durante a “Convenção sobre as Zonas Úmidas de Importância Internacional”, que ocorreu na cidade iraniana de Ramsar.

Figura 9: Sítios Ramsar presentes no Brasil. Os sítios Ramsar são estabelecidos em virtude da importância destes ambientes e buscam garantir a conservação e o uso sustentável dos mesmos. 1-Parque Nacional da Lagoa do Peixe (RS); 2-Parque Nacional do Pantanal Mato-Grossense (MT); 3-Parque Nacional do Araguaia - Ilha do Bananal (TO); 4-Reserva do Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (AM); 5-Área de Proteção Ambiental das Reentrâncias Maranhenses (MA); 6-Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense (MA); 7-Parque Estadual Marinho do Parcel de Manuel Luiz e Baixios do Mestre Álvaro e Tarol (MA); 8-Reserva Particular do Patrimônio Natural SESC Pantanal (MT); 9-Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Rio Negro (MS); 10-Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (BA); 11-Parque Estadual do Rio Doce (MG); 12-Parque Nacional do Cabo Orange (AP); 13-Reserva Biológica Atol das Rocas (RN); 14-Parque Nacional do Viruá (RR); 15-Parque Nacional de Anavilhanas (AM); 16-Reserva Biológica do Guaporé (RO); 17-Estação Ecológica do Taim (RS); 18-Estação Ecológica de Guaraqueçaba (PR); 19-Lund-Warming/ APA Carste de Lagoa Santa (MG); 20-APA Cananéia-Iguape - Peruíbe (SP); 21-APA Estadual de Guaratuba (PR); 22-Parque Nacional de Ilha Grande (MS/PR); 23-Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha (PE); 24-Rio Negro (AM - Sítio Ramsar Regional); 25-Estúário do Amazonas e seus Manguezais (AP até CE-Sítio Ramsar Regional); 26-Rio Juruá (AM-Sítio Ramsar Regional); 27-Estação Ecológica Taiaimã (MT). Fonte: Ministério do Meio Ambiente.

7_ CENÁRIOS FUTUROS PARA A ÁGUA NO PAÍS

Diante das ameaças vigentes, entender como os ambientes aquáticos e a sua capacidade de provisão de serviços ecossistêmicos estarão no futuro é fundamental para estabelecer estratégias que visem sua conservação e uso sustentável. Apesar disso, o número de estudos estabelecendo trajetórias e cenários futuros para ambientes aquáticos e recursos hídricos ainda é escasso para o país. Algumas iniciativas nacionais merecem destaque, como o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), mas grande parte das informações existentes são recortes de estudos globais e com isso, perdemos a possibilidade de refinar aspectos locais, que poderiam embasar melhor a tomada de decisão. Nesta seção, ressaltamos diferentes cenários futuros relacionados à água para o Brasil, enfatizando aspectos relacionados à biodiversidade aquática, aos serviços ecossistêmicos e ao bem-estar humano no país. No entanto, é fundamental entender estes componentes de maneira integrada. Neste sentido, destaca-se a proposta da Avaliação Ecosistêmica do Milênio que propõe cenários que integram aspectos relacionados ao grau de globalização e a estratégias de manejo, e estabelecem o comportamento potencial das principais ameaças a biodiversidade no contexto dos ambientes aquáticos (Figura 10).

Figura 10: Cenários para ambientes aquáticos globais previstos na Avaliação Ecosistêmica do Milênio. O quadro apresenta o potencial comportamento dos principais vetores de ameaças aos ambientes aquáticos e áreas úmidas considerando quatro cenários distintos, considerando dois principais aspectos: o grau de globalização (mundo globalizado e mundo regionalizado) e a forma de manejo (reativo e proativo). Os resultados sugerem que a sensibilidade e o comportamento de cada um dos vetores de ameaça são dependentes do tipo de cenário e pode ocorrer compensações entre eles.

De acordo com o modelo GLOBIO – Aquatic, o Brasil é uma das regiões que apresentou maior crescimento nas ameaças aos seus corpos hídricos até o início deste século em todo o mundo (Janse *et al.*, 2015). O modelo GLOBIO-Aquatic assume três cenários distintos, os quais também foram utilizados pelos principais esforços de síntese no tema no Brasil e no mundo (Joly *et al.*, 2018; IPBES, 2019). Até 2100, são esperadas respostas variadas para a biodiversidade aquática do país. Enquanto a bacia Amazônica e o extremo sul do país apresentarão uma redução de cerca de 25% da abundância média de espécies aquáticas, a porção norte do Cerrado brasileiro deverá observar um acréscimo de mesma magnitude, o que deverá ocorrer em virtude de processos que operam em escala ecológica, tal como a mudança na distribuição de algumas espécies (Janse *et al.*, 2015). As diferenças regionais nas tendências para a biodiversidade aquática do país estão associadas principalmente à existência de diferentes padrões espaciais nos vetores de perda de biodiversidade e ameaças no país, como a agricultura e urbanização.

Estudos focados em entender o potencial futuro das águas brasileiras para provisão de serviços ecossistêmicos e impacto para o bem-estar humano são difusos e exploram diferentes aspectos desta relação. O Brasil é um dos países com maior quantidade de água do mundo, o que levou a uma cultura de uso não sustentável, seja no meio urbano como no meio rural. A maior demanda por água está no meio rural, representando 83% da demanda total brasileira, sendo 72% desse volume destinados para irrigação. Estima-se um crescimento expressivo no total de áreas irrigadas nos municípios brasileiros até 2030, em especial aqueles situados na porção central do país, com aumentos superiores a 100% (Figura 11) (ANA, 2017a). O desperdício neste setor é estimado em 50%, devido às perdas em sistemas inadequados ou vazamentos nas tubulações (Instituto Trata Brasil, 2018b). Dessa forma, o uso sustentável da água pode ser feito por meio de uma gestão mais eficiente, evitando-se perdas nos sistemas de captação e distribuição, na adoção de sistemas de irrigação mais eficientes, no aumento do tratamento dos esgotos sanitários e industriais, no reuso e armazenamento da água nos meios urbano e rural, dentre outros. A relação entre demanda e oferta de recursos hídricos no país, considerando os múltiplos usos e dimensões existentes culminou na criação do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PSH), estruturado e previsto na PNSH (ANA, 2019b). A PNSH prevê uma série de investimentos em infraestrutura para assegurar a manutenção dos recursos hídricos do país, considerando quatro diferentes aspectos:

- dimensão econômica, que compreende a importância da água para os diversos setores produtivos do país;
- dimensão humana, que trata do uso da água para abastecimento e está relacionada aos aspectos relativos ao saneamento básico;

- dimensão de resiliência, que reflete a capacidade dos sistemas em tratar as oscilações na disponibilidade hídrica e;
- dimensão ecossistêmica, que busca relacionar aspectos de segurança hídrica para a biodiversidade aquática.

Figura 11: Estimativa de crescimento na área irrigada nos municípios brasileiros para o ano de 2030, tendo como base o ano de 2015. É previsto um aumento expressivo na área irrigada de municípios brasileiros localizados na porção central do país, em virtude de uma mudança na relação demanda-oferta de recursos hídricos.

O índice de segurança hídrica (ISH), que compõe estas 4 dimensões, possui grande heterogeneidade no país e afeta drasticamente os serviços ecossistêmicos prestados pelos ambientes aquáticos. As estimativas são feitas para 2035 e preveem os benefícios econômicos da implementação do PSH para os diversos setores, bem como caracterizam os setores mais ameaçados pela sua não implementação, como por exemplo o setor industrial. Assim, o PNSH caracteriza-se como importante ferramenta para assegurar a provisão de recursos hídricos, porém seu sucesso passa também por uma ampliação da percepção da sociedade em relação ao uso adequado da água, o que requer o fortalecimento de estratégias de engajamento.

No entanto, o PNSH negligencia importantes aspectos e outros usos dos ambientes aquáticos, subestimando os potenciais benefícios da manutenção

de corpos hídricos e negligenciando setores que serão amplamente afetados por esta dinâmica. Por exemplo, estima-se que o Brasil observe um crescimento de 46,6% na produção da pesca e aquicultura entre 2016 e 2030, sendo o maior registrado para América Latina, seguido por Chile (44,6%) e México (15,1%) (FAO, 2018), sendo estes dois usos negligenciados no PNSH. Além de considerar alguns importantes serviços ecossistêmicos, o ISH não trata explicitamente dos efeitos diretos e indiretos das mudanças climáticas. Apesar da inconsistência global em relação a direção do efeito da mudança do clima, as previsões sobre as mudanças nos padrões de precipitação até o final do século convergem para a máxima: “lugares secos ficarão mais secos e lugares úmidos ficarão ainda mais úmidos”, e o Brasil não é a exceção. A região semiárida, que já passa por grande déficit hídricos, deverá ser ainda mais afetada pela mudança no padrão de distribuição das chuvas. Em contrapartida, a região Sul do país deverá ter a pluviosidade aumentada em 40% até o final do século (PBMC, 2013). Ambas as situações exigirão gastos expressivos para a adaptação às situações de seca e chuva extremos. Até 2050, cerca de 20% da população mundial estará submetida a inundações, o que poderá levar a mortes e comprometer o PIB de diversos países (WWAP, 2018).

A heterogeneidade nas condições de segurança hídrica no país é também presente em estudos em escala global. O documento “Water Futures and Solutions” prevê um aumento de 54% na captação de águas subterrâneas no Brasil até 2050. O documento foi construído a partir de três possíveis trajetórias: “Sustentabilidade” (SSP1, RCP4.5); “Meio do Caminho” (SSP2, RCP6.0) e “Rivalidade Regional” (SSP3, RCP6.0) que representam um gradiente em relação aos desafios para a água rumo à sustentabilidade. Os cenários foram construídos a partir das narrativas conjuntas dos *Shared Socio-economic Pathways* (SSPs) e *Representative Concentration Pathways* (RCPs) do clima, levando em consideração o crescimento populacional, energia, produção de alimento, disponibilidade, demanda e escassez hídrica e aspectos econômicos (Burek *et al.*, 2016). O Nordeste brasileiro, mais uma vez, aparece como uma das regiões mais críticas em termos de escassez hídrica do globo. No entanto, os cenários convergem em creditar ao Brasil uma transição de um país de baixa (HE-1) para alta (HE-2) capacidade de tratar os desafios relacionados à segurança hídrica, a partir de 2030 (Burek *et al.*, 2016) (Figura 12).

Figura 12: Framework conceitual da capacidade hidro-econômica, considerando a segurança hídrica em quatro quadrantes. O eixo x se refere a problemática hídrica esperada para uma região e é definida como complexidade hidro-climática. Quanto maior a complexidade hidro-climática, maior a probabilidade de estresse hídrico. O eixo y se refere a capacidade econômico-institucional da região e indica a capacidade desta região em tratar potenciais problemas relacionados a água. Assim, uma região está severamente ameaçada à medida que aumenta a expectativa de estresse hídrico e sua capacidade de gestão é baixa. O Brasil é considerado um país com baixo risco de estresse hídrico, mas com deficiências na gestão do mesmo (HE-1). Estima-se que as instituições de gestão se fortalecerão até 2030 e haverá uma transição do cenário HE-1 para HE-2. Fonte: Burek et al., 2016

Assim, um dos maiores desafios do país é garantir maior eficiência no processo de gerenciamento de seus recursos hídricos, maximizando os ganhos e minimizando as perdas. De acordo com o relatório do “Perdas da Água 2018”, produzido pelo Instituto Trata Brasil, o país perdeu cerca de 39% da água tratada pelos sistemas de tratamento de água e esgoto. De acordo com o mesmo estudo, assumindo uma redução no valor médio de perdas para o país para 15% até 2033 haveria um ganho líquido em torno de 37 bilhões de reais (Instituto Trata Brasil, 2018b). Esforços para determinar alternativas para o futuro das águas brasileiras serão fundamentais para estabelecer os caminhos possíveis e as ações necessárias para que a biodiversidade aquática e os recursos hídricos no país sejam promotores do desenvolvimento econômico, social e ambiental do país.

8_ CAMINHOS PARA A ÁGUA NO BRASIL

É urgente e imprescindível a inclusão do papel ecológico dos ambientes aquáticos na gestão segura e eficiente da água e de sua biodiversidade. Neste contexto o conceito de segurança hídrica traz um importante avanço ao explicitamente tratar a dimensão ecossistêmica (PNSH, 2019). A demanda por água doce no país aumentará muito nas próximas décadas. Por exemplo, estima-se que a demanda hídrica em 2030 atinja valores próximos à 2.600 m³/s no Brasil, o que representa um aumento de 2000% em 100 anos (ANA, 2019b). Neste sentido, é crítico estabelecer boas práticas para o uso da água, principalmente em relação ao manejo do recurso na produção agrícola e pecuária. Além disso, o estabelecimento de certificação para o uso sustentável dos recursos hídricos e o estabelecimento de programas de pagamento por serviços ambientais, como o “Produtor de Água”, podem render bons frutos no médio-longo prazo.

A aplicação de Soluções baseadas na Natureza (SbNs) que favoreçam e garantam a provisão de recursos hídricos em consonância com a manutenção da biodiversidade demandará um esforço intersetorial diferenciado. Uma das principais argumentações para a não aplicação de SbNs em relação às outras formas de infraestrutura para a questão hídrica está relacionada ao maior tempo de retorno do investimento. No entanto, algumas evidências sugerem que isto nem sempre é verdade, e que o tempo de retorno pode ser menor do que o obtido com uso de infraestruturas cinzas (WWAP, 2018). Este dado exemplifica como a ausência da integração e sistematização de dados pode ser limitante para a aplicação de soluções não tradicionais para a conservação e uso sustentável de ambientes aquáticos.

8.1. LACUNAS E CAMINHOS PARA O CONHECIMENTO

O papel dos ambientes aquáticos para a provisão de serviços ecossistêmicos e para o bem-estar humano é tradicionalmente sub representado na literatura ecológica nacional, quando comparado ao papel de ambientes terrestres (Pires *et al.*, 2018). Apesar do avanço no tema nos últimos anos, apenas 7% dos estudos²⁷ focam no papel de corpos hídricos (e.g. rios, poças, bacias de drenagem etc.) como parte da biodiversidade capaz de promover benefícios para a sociedade brasileira (Figura 13). Por outro lado, a água enquanto serviço ecossistêmico resultante de processos que ocorrem no ambiente terrestre já é mais representativa, estando referenciada em 16,4% dos estudos que avaliaram este serviço de maneira independente ou integrada com serviços ecossistêmicos providos por outros sistemas (Joly *et al.*, 2018; Pires *et al.*, 2018). Este fato deve-se principalmente ao fato de que grande parte dos pesquisadores

27. Para acessar a base de dados e metodologia de síntese utilizada para o levantamento desta informação, ver o artigo (Pires *et al.* 2018).

focaram em entender a água apenas como recurso hídrico e/ou desenvolveram estudos meramente descritivos ou restritos à biologia e ecologia de organismos aquáticos específicos, com pouca relevância para os demais serviços ecossistêmicos.

Figura 13: Estudos considerando diferentes ambientes aquáticos e serviços ecossistêmicos providos por eles, na revisão de Pires e colaboradores. Apenas 7% de todos os estudos exploraram explicitamente o papel dos ambientes aquáticos e aqueles que investigam os serviços ecossistêmicos relacionados à água focam principalmente no seu papel enquanto recurso hídrico e na pesca, desprezando a variedade de papeis reconhecidos pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio (Tabela 2).

O papel das áreas úmidas, por exemplo, é negligenciado na literatura sobre o tema, mesmo estas áreas sendo reconhecidamente importantes para a diminuição dos picos de enchente, alimentação de aquíferos e habitat para uma variedade de espécies (Dudgeon *et al.*, 2006; Junk *et al.*, 2014). Além disso, o relatório do IPBES aponta que mais de 85% das áreas úmidas do mundo foram perdidas desde a revolução industrial, principalmente devido ao uso irregular do solo e captação exacerbada das águas contidas nessas zonas (IPBES, 2019). Desta maneira, ainda há uma série de lacunas sobre os diversos serviços ecossistêmicos apontados pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio e pelo relatório do IPBES que devem explorar o potencial e a realidade brasileira.

8.2. RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE AMBIENTES AQUÁTICOS

A restauração ecológica de ecossistemas aquáticos continentais ainda é pouco difundida e praticada no Brasil, apesar dos avanços observados em países desenvolvidos. Trata-se de uma atividade complexa, com vários aspectos que determinam seu sucesso. Entre estes aspectos, o conhecimento ecológico consistente destes ambientes é especialmente importante, uma vez que nos trópicos a complexidade natural é elevada. Além disso, um aspecto de igual importância para garantir a implementação de projetos neste tema são os elevados custos que limitam as atividades de restauração. Não é possível simplesmente avançar com uma atividade de restauração sem antes considerar recursos disponíveis e custos projetados. Parte dessa dificuldade, se deve ao atraso no estabelecimento de iniciativas locais de base tecnológica e inovação, que permitam o desenvolvimento da restauração pouco ou nada dependente de meios importados.

Além disso, um dos grandes desafios é integrar a restauração do ambiente terrestre circundante que deverá ter papel fundamental para a restauração dos ambientes aquáticos. O efeito líquido que a restauração da vegetação nativa pode ter para a disponibilidade hídrica, recarga das águas subterrâneas e acesso à água dependerá do contexto ambiental em que se insere, e inclui fatores como o tipo, densidade, localização, tamanho e idade da vegetação (Filoso *et al.*, 2017; WWAP, 2018). De maneira geral, a restauração florestal leva a uma melhoria na qualidade da água e regularidade das vazões ao longo do ano, porém com potencial redução na quantidade de água no curto e médio prazo (Filoso *et al.*, 2017). Contudo, a restauração florestal resulta em benefícios de longo prazo como a redução do escoamento de solos e, portanto, do assoreamento, bem como o restabelecimento de habitats nos ambientes aquáticos e processos de interação com o ambiente terrestre, inerentes ao funcionamento de ambos (Tobertge & Curtis, 2013).

No Brasil há exemplos emblemáticos da importância de se integrar as perspectivas terrestres e aquáticas para a restauração de ecossistemas. No Lago Batata, por exemplo, há um processo pioneiro de restauração de ambientes aquáticos em curso, onde tem sido empregadas SbNs, como medidas baratas e de baixo impacto que auxiliam, por exemplo, a permanência de matéria orgânica e sementes em uma determinada área, favorecendo assim o processo natural de recolonização da vegetação nativa (Bozelli *et al.*, 2000). No mesmo lago, há ainda intervenções tradicionais como plantio de espécies nativas, consorciadas parcialmente com estratégias de semeadura direta e recobrimento com serapilheira para transporte de banco de sementes, matéria orgânica e biota decompositora para acelerar o restabelecimento de processos ecológicos. As intervenções diretas em mais de 100 hectares envolveram plantio de mais de 600 mil mudas, espalhamento de toneladas de serapilheira e centenas de quilos de sementes. Os resultados recentes de monitoramento das áreas de igapó em restauração têm mostrado recomposição adequada de cobertura de copa, densidade e diversidade de espécies nativas regenerantes (Scarano *et al.*, 2018a). Na parte permanentemente aquática do lago tem sido observada a melhoria da transparência da água, o aumento da matéria orgânica no sedimento e o retorno de comunidades aquáticas como peixes e macroinvertebrados bentônicos.

SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

O acesso a água sempre foi pensado como dependente de infraestruturas “cinzas”, ditas físicas ou construídas. Em contrapartida, infraestruturas “verdes” ou aquelas que fazem uso de componentes naturais tem apresentado uma possibilidade de Soluções baseadas na Natureza (SbN). O Brasil é reconhecidamente pioneiro em reforçar estratégias de SbN para a provisão de recursos hídricos. De acordo com o documento “Soluções Baseadas na Natureza para a Gestão da Água” produzido pela ONU-Águas, as SbN voltadas aos recursos hídricos podem ser entendidas como estratégias “inspiradas e apoiadas pela natureza que usam, ou simulam, processos naturais a fim de contribuir para o aperfeiçoamento da gestão da água, para melhorar a segurança hídrica e para oferecer co-benefícios vitais em todos os aspectos do desenvolvimento sustentável”. Um exemplo clássico deste tipo de iniciativa é a recomposição da vegetação marginal de corpos hídricos que tem como função regularizar os fluxos hídricos e garantir a qualidade de suas águas. Apesar do papel e potencial deste tipo de estrutura em conciliar múltiplos benefícios, menos de 1% de toda infraestrutura para a água pode ser considerada “verde”. A ausência de conhecimento pleno sobre o papel hidrológico das SbN constitui um importante limitante ao contraponto de infraestruturas “cinzas”, bem como a custo-efetividade destas soluções. Ao longo dos rios, as matas ripárias cumprem um papel fundamental na produção e manutenção da qualidade da água ao evitarem a erosão e a entrada de sedimentos e detritos nos cursos de água na região. A capacidade de depuração da vegetação torna o custo do tratamento da água cerca de 100 vezes menor em áreas florestadas que em áreas desmatadas (Aguiar *et al.*, 2015). Além disso, as SbN são consideradas fundamentais para o cumprimento da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Entre os principais benefícios oriundos das SbN, a proteção a desastres naturais, em especial eventos de inundação, terá importância significativa nas próximas décadas. O uso conjunto de infraestruturas “verdes” e “cinzas” é o que deverá ser mais eficiente para garantir o acesso à água em quantidade e qualidade adequados.

8.3. BIODIVERSIDADE AQUÁTICA E GERAÇÃO DE RENDA NO BRASIL

O conhecimento do potencial uso da biodiversidade aquática para a geração de renda no país ainda é restrito e pouco estabelecidas as múltiplas formas de dependência entre os modos de subsistência e os ambientes aquáticos brasileiros. De toda forma, diversas atividades ligadas aos ambientes aquáticos desenvolvidas por grupos extrativistas e comunidades tradicionais são fundamentais para sua subsistência e possuem valor comercial. Por exemplo, a pesca é uma atividade tradicional que possui grande importância econômica em diversas partes do país. Isso ocorre principalmente na pesca marinha, onde há grandes investimentos nacionais e internacionais para a pesca de estoques de alto valor agregado e com foco em exportação, como atum, lagosta e camarão (Ruffino *et al.*, 2016). No entanto, a importância econômica da pesca continental poder ser observada nos principais corpos d'água do Brasil, principalmente na Amazônia e no Pantanal, onde empresas de processamento de pescado e de pesca esportiva investem para explorar comercialmente estes recursos juntamente com os pescadores comerciais e de subsistência nativos (Catella, 2003; Barthem & Goulding, 2007). A pesca possui uma importância difusa no Brasil, sendo a maioria concentrados nas regiões Nordeste (47%) e Norte (37%) (MPA, 2011), e compreende a principal atividade econômica em diversos municípios do país.

A maioria dos pescadores profissionais (99%) inscritos no Registro Geral da Pesca (RGP) exerce sua atividade artesanalmente, sendo o restante empregado pelas indústrias de pesca. Em muitas regiões, a atividade não tem recebido o interesse dos mais jovens, tendo em vista que menos de ¼ dos pescadores tem menos de 30 anos, especialmente nas regiões Centro-Oeste (12%) e Sul (16%), embora a participação destes na região Norte ainda é expressiva (27%) (MPA, 2011). A manutenção do interesse pela atividade na região Norte está relacionada aos valores históricos associados à pesca. Como consequência, a pesca na região Norte gera valores de grandeza superiores às centenas de milhares de reais ao ano e incluem tanto a pesca de consumo como a ornamental (Almeida, 2006). Além dos valores gerados na cadeia produtiva direta, outros valores são gerados indiretamente, como o turismo relacionado à pesca esportiva (Cowx *et al.*, 2010), atividade bastante difundida em todas as regiões do país.

O uso de outros insumos provenientes da biodiversidade aquática é ainda mais escasso, mas reconhecidamente importante para algumas famílias no país. O uso de fibras, por exemplo, oriundas principalmente de macrófitas aquáticas para a produção de artesanato (e.g.: cestaria) é atividade que agrega além do componente econômico valor cultural em diversas regiões do país.

OPORTUNIDADES PARA O SETOR EMPRESARIAL

Um dos possíveis efeitos do aquecimento global no Brasil é a redução da vazão de águas de rios em algumas regiões, e, como consequência, da oferta de recursos hídricos para a sociedade (Marengo, 2008). Como definido pela Lei das Águas (Lei 9.433/1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos), a prioridade do uso da água é para o abastecimento humano e dessedentação animal em casos de escassez hídrica, fazendo com que cada vez mais o custo do uso de água seja um fator determinante no sucesso empresarial.

Várias indústrias já implementam em sua rotina medidas de minimização do uso da água em seus processos produtivos. Dentre estas medidas, o reuso da água, a partir da reutilização de efluentes próprios ou aquisição de águas residuais de outros agentes, diminui não só o consumo de água, mas também a geração e lançamento de efluentes em corpos aquáticos. Apesar dos números relativos ainda serem baixos, algumas empresas já demonstram expressivos resultados, como a Petrobrás em 2017, quando reutilizou 25,4 milhões de m³ de água, equivalente a 12,5% de sua demanda total por água doce.

No entanto, dentro do cenário mundial, o consumo industrial ainda é comparativamente pouco relevante. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a agricultura, incluindo a irrigação, pecuária e aquicultura é de longe a maior consumidora de água, respondendo por 69% da retirada anual de água em todo o mundo. A indústria, incluindo a geração de energia, responde por 19%, e as residências particulares por 12%. Estratégias de minimização de consumo, como o próprio reuso, devem, portanto, priorizar o setor agropecuário.

A distribuição desigual de recursos hídricos no país torna preocupante a escassez de água em grandes centros urbanos. Ainda, é preocupante a questão da qualidade da água disponível nestes centros. Segundo a própria ANA, mais de 110 mil km de trechos de rio estão com a qualidade comprometida devido ao excesso de carga orgânica, sendo que em 83.450 km não é mais permitida a captação para abastecimento público devido

OPORTUNIDADES PARA O SETOR EMPRESARIAL

continuação...

à poluição e em 27.040 km a captação pode ser feita, mas requer tratamento avançado. O setor privado é um importante parceiro no delineamento e desenvolvimento das estratégias necessárias para estabelecer as ações de conservação e recuperação dos recursos hídricos e ambientes aquáticos nos grandes centros urbanos, uma vez que pode ser diretamente afetada pela disponibilidade hídrica.

Abre-se, diante destes fatos, a oportunidade de recuperação de mananciais não como uma política pública, mas como uma oportunidade para facilitar a captação de recursos hídricos até então indisponíveis para o consumo. O desenvolvimento e aplicação de tecnologias adaptadas às condições regionais e ao uso posterior do recurso hídrico e às condições econômicas do consumidor podem gerar um mercado para empresas de tecnologias verdes, com benefícios ambientais e socioeconômicos.

8.4. PLANEJAMENTO ESPACIAL DA PAISAGEM

Abordar a conservação e a restauração da vegetação nativa no contexto da preservação de recursos hídricos é de extrema importância, uma vez que a vegetação e o solo funcionam como importantes compartimentos no ciclo da água e como barreiras naturais ao aporte de sedimentos e poluentes. O planejamento espacial da paisagem, por sua vez, permite a identificação de áreas estratégicas para a conservação, restauração e manejo do solo, otimizando a provisão de serviços ecossistêmicos e reduzindo os custos associados. Em outras palavras, o planejamento espacial potencializa os benefícios enquanto reduz os custos. Uma das estratégias básicas do planejamento é a elaboração e comparação de cenários de uso da terra, definidos como representações de panoramas possíveis, que incluem diferentes opções de políticas e manejo (IPBES, 2019). É importante que estes cenários levem em conta tanto aspectos ecológicos, tal como a importância da região para a conservação de espécies, a presença de nascentes e mananciais, bem como aspectos socioeconômicos, tal como a aptidão agropecuária e o custo da terra. Além disso, eles devem ser construídos de maneira transdisciplinar e participativa, considerando sinergias e *trade-offs* entre os resultados encontrados (Metzger *et al.*, 2017).

Os objetivos finais das intervenções devem estar bem claros, principalmente no que diz respeito à relação entre a restauração da vegetação e a oferta de recursos hídricos. A restauração, quando feita de maneira inadequada, pode agravar ainda mais o problema de escassez de água local (Honda & Durigan, 2017). Outras intervenções complementares à conservação e restauração devem ser consideradas na elaboração dos cenários, tais como a adoção de práticas sustentáveis na agricultura e pecuária, como sistemas agroflorestais, a silvicultura e sistemas de pastejo rotacionado. Essas práticas reduzem o aporte de poluentes nos corpos hídricos e auxiliam na preservação das propriedades físico-químicas do solo, favorecendo a retenção de água. Cenários futuros podem ainda considerar as previsões de mudanças climáticas, sugerindo medidas de mitigação, como por exemplo, a recuperação da vegetação nativa em áreas onde é previsto aumento nas chuvas, o que reduziria a incidência de eventos de cheia.

A elaboração e comparação de cenários pode ser feita através de modelagem, com auxílio de algumas ferramentas que avaliam a provisão de serviços ecossistêmicos de uma paisagem, como os softwares livres InVest (Johnson *et al.*, 2012), WaterWorld (Mulligan, 2013), Co\$tingNature (Mulligan *et al.*, 2015) dentre outros. Por exemplo, considerando cenários possíveis de intervenções para a bacia do Rio Paraíba do Sul em sua porção paulista, foi possível identificar que a restauração florestal pode aumentar a qualidade na água, representando uma economia de aproximadamente 5 milhões de reais ao ano em custos evitados com tratamento de água e dragagem (IIS, 2018).

8.5. QUESTÕES FRONTEIRIÇAS E TRANSFRONTEIRIÇAS

A água não reconhece os limites espaciais geopolíticos determinados e, portanto, a partição deste recurso pode ser altamente afetada por questões políticas. Ao contrário, grande parte das fronteiras do país é definida por corpos d'água. O Brasil possui 83 rios fronteirizos e transfronteirizos²⁸, além das bacias hidrográficas e aquíferos que são compartilhados por mais de uma unidade federativa. As bacias dos rios transfronteirizos ocupam cerca 60% do território brasileiro. No Brasil, um grande número de bacias hidrográficas é compartilhado por dois ou mais estados ou entre países, como é o caso do Paraná, Paraguai e Madeira (Azevedo-Santos *et al.*, 2019). Em uma escala global, a repartição dos recursos hídricos por diferentes nações já é tratada como uma questão capaz de desencadear sérios conflitos, uma vez que cerca de 200 bacias hidrográficas se localizam em áreas fronteiriças e transfronteiriças (Rebouças, 2015a). Este é um tema particularmente crítico para

28. Rio fronteiroiro é o rio que, em determinado trecho ou em toda sua extensão, forma a fronteira entre dois ou mais Estados nacionais. Rio transfronteiroiro é o rio que atravessa o território de dois ou mais Estados nacionais.

o estabelecimento de estratégias de conservação para as grandes espécies migradoras de peixes que passam parte de seu ciclo de vida em diferentes trechos da bacia, muitas vezes presentes em estados ou países distintos.

Este tema é de especial relevância à medida que o país recebe cerca de 2,6 trilhões de m³ de água de outros países e escoar cerca de 800 bilhões de m³ (ANA, 2018), através dos fluxos de seus rios. Assim, as escolhas que fazemos afetam o uso das águas pelos nossos países vizinhos, assim como somos afetados diretamente pelas escolhas e decisões feitas por eles. Por exemplo, estima-se que a construção de reservatórios nos Andes peruanos para fins de produção de energia elétrica pode comprometer severamente o aporte de sedimentos e nutrientes para as regiões de várzea da Amazônia brasileira, comprometendo a permanência e modo de vida de diversos organismos aquáticos. A mesma questão aparece no contexto nacional, onde o uso por diferentes estados de uma mesma bacia pode gerar conflitos em relação ao compartilhamento dos recursos hídricos, em especial nas áreas de grande demanda. Este foi o caso do uso da água na bacia do Rio Paraíba do Sul, durante os eventos de seca de 2016, onde o estado de São Paulo em estado crítico de abastecimento de seus reservatórios sugeriu a captação de água do Rio Paraíba do Sul, principal subsídio para o sistema Guandu que abastece a maior parte da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro. A captação de água do Rio Paraíba do Sul pelo estado de São Paulo poderia comprometer todo o abastecimento da região metropolitana do Rio de Janeiro. Por vezes, é necessária a intervenção de órgãos federais na negociação entre as diferentes unidades federativas.

8.6. TECNOLOGIAS PARA ACESSO E USO DA ÁGUA

A tecnologia terá papel crucial para garantir o acesso à água no país, em especial nas zonas urbanas e na região semiárida, onde a quantidade de água pode ser inferior a demanda existente. O uso da água do mar para consumo ainda é pouco desenvolvido no país comparada as outras formas de acesso à água, apesar de estudos recentes sugerirem um bom potencial de uso. Para cada litro de água retirado do mar para uso econômico, 2 litros são retirados de águas subterrâneas, 10 litros da captação da água da chuva e 1000 litros de águas superficiais (rios, lagos e reservatórios) (IBGE, 2018). Na região Nordeste do país, a construção de poços para armazenamento nem sempre garante o uso da água. Tal fato, ocorre em virtude da necessidade de dessalinização da água, uma vez que muitos desses poços possuem água salobra. Algumas estimativas sugerem que dos 70 mil poços abertos na região até hoje, 30 mil foram abandonados por estas razões, o que motivou a implementação de alguns programas do governo como o Programa Água Doce (Rebouças, 2015a), que beneficiou cerca de 1,2 milhões de pessoas. Os açudes possuem relevância ímpar para a manutenção da qualidade de vida dos habitantes de regiões semiáridas do país. A Agência Nacional de Águas é responsável por

monitorar os níveis destes reservatórios e a qualidade da água contida neles (Brasil, 2016; ANA, 2019a).

Assim, a transposição de bacias tem crescido no país como uma possibilidade de garantir acesso aos recursos hídricos em regiões áridas do país, apesar das diversas controvérsias em torno deste tópico. Nesse contexto, as mudanças climáticas deverão constituir um importante gatilho para o uso destas estratégias, o que poderá causar grandes mudanças na biodiversidade aquática e no uso dos recursos hídricos. De acordo com o relatório *DTecnologias para Adaptação as Mudanças Climáticas para a Água* –, as mudanças climáticas podem comprometer o uso dos recursos hídricos através de seis maneiras: (i) reduzindo a disponibilidade hídrica; (ii) causando inundações; (iii) favorecendo a poluição hídrica; (iv) aumentando o nível do mar; (v) comprometendo a habilidade de resposta a desastres e; (vi) potencializando riscos climáticos ainda desconhecidos. O relatório apresenta ainda 102 tecnologias para adaptação as mudanças climáticas. É bem provável que o país seja afetado de todas as maneiras por essas mudanças e, portanto, é fundamental que o país desenvolva localmente e faça uso dessas tecnologias (UN-Environment, 2017).

Em regiões populosas, onde a poluição é o principal limitante ao acesso e uso da água, técnicas de purificação de grandes volumes parecem ser mais promissoras, incluindo SbNs, como a recomposição de áreas úmidas e da vegetação ripária (Salati *et al.*, 2015). A própria habilidade de autodepuração dos rios é um importante aliado neste processo, capaz de garantir o uso de suas águas em consonância com o uso do solo em seu entorno (Salati *et al.*, 2015). No Brasil, ainda não existem experiência de reuso da água planejada e institucionalizada, portanto, é necessário a implementação de projetos-piloto a fim de averiguar potenciais mecanismos e desafios para a implementação plena, levando-se em consideração as diversas modalidades existentes, inclusive e em especial aquelas relacionadas ao setor agrícola.

8.7. ACORDOS AMBIENTAIS MULTILATERAIS

Acordos ambientais multilaterais têm importante papel para o estabelecimento de estratégias que visem a conservação de ambientes aquáticos e a promoção dos serviços ecossistêmicos providos por eles. Entre estes acordos destacam-se as Metas de Aichi e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), promotores de uma agenda global de conservação. Os ODS - conjunto de 17 objetivos e 169 metas a serem atingidos até 2030 e adotadas por mais de 150 países - representam um plano de ação para promover paz e prosperidade para o planeta e para as pessoas, no presente e no futuro (Reyers *et al.*, 2017). Em diversos destes objetivos podem ser observadas importantes menções a ações de conservação e uso sustentável da água e dos ambientes aquáticos. O ODS 6, por exemplo, ao tratar da disponibilidade da água e saneamento para todos, apresenta metas relacionadas ao acesso de água potável, redução da

poluição nos ambientes aquáticos, aumento na eficiência do uso deste recurso, e proteção e restauração de ambientes relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos. O Brasil tem-se dedicado, através dos esforços da Agência Nacional das Águas, em identificar a situação brasileira para o ODS 6, através da análise de diversos indicadores que tratam especificamente das metas pertinentes (Figura 14). O documento revela a grande heterogeneidade nacional quando o tema é água e saneamento para as diferentes regiões geográficas e hidrográficas do país (ANA, 2019c).

Figura 14: Metas previstas no Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 6: Água e Saneamento. Fonte: ANA 2019c.

É possível ainda estabelecer diversas relações entre a conservação e manutenção de ambientes aquáticos saudáveis e o fortalecimento de outros objetivos. Ecossistemas estáveis potencialmente reduzem o impacto de desastres ambientais como enchentes e deslizamentos de terra sobre assentamentos humanos (ODS 11). Por exemplo, o acesso à água limpa pode levar a uma diminuição nos casos de doenças transmitidas pela água (ODS 3). Além disso, ações que promovam a conservação da biodiversidade aquática (ODS 15), como evitar a introdução de espécies exóticas invasoras, contribuem para a manutenção dos estoques pesqueiros, que representam uma importante fonte de proteína animal e um meio para melhorar a segurança alimentar (ODS 2) de diversas comunidades. Para adaptar as metas globais à realidade nacional, o Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA) coordenou um estudo em 2018, que recomendou a criação de uma nova meta nacional, associada

ao ODS 15, para contemplar especificamente a conservação dos ambientes aquáticos continentais e o fortalecimento da pesca sustentável nestes ambientes, devido à importância de ambos os temas em um país como o Brasil (IPEA, ANA & PNUD, 2018).

Os temas tratados pelos ODS são também objeto de acordos internacionais dos quais o Brasil é signatário. No âmbito da Convenção da Diversidade Biológica (CDB), foram estabelecidas, em 2010, as Metas de Aichi, que buscam reduzir as pressões diretas sobre a biodiversidade, proteger os ecossistemas, espécies e diversidade genética e promover o seu uso sustentável, aumentando os benefícios dos serviços ecossistêmicos para todos (CDB, 2010). No conjunto de metas estabelecidas são encontradas previsões relacionadas ao manejo e captura sustentáveis de organismos aquáticos (Meta 6), à redução da poluição (Meta 8), ao controle de espécies exóticas invasoras (Meta 9), à redução no risco de extinção de espécies ameaçadas (Meta 12), entre outras.

Ainda em relação à conservação da biodiversidade, o país tem participação em acordos para a proteção de grupos específicos de organismos, como a Convenção sobre Comércio Internacional das Espécies da Flora e Fauna Selvagens em Perigo de Extinção – CITES²⁹ e a Convenção sobre a Conservação das Espécies Migratórias de Animais Silvestres – CMS³⁰. Além disso, o Brasil é signatário ainda da Convenção Ramsar sobre Zonas Úmidas, criada originalmente com o objetivo de promover a proteção de habitats para espécies de aves aquáticas migratórias, mas que teve seu escopo ampliado, passando a contemplar diversas ações relacionadas à gestão dos recursos hídricos e ao uso sustentável dos ecossistemas aquáticos (Ver seções anteriores). Os compromissos firmados pelo Brasil nos fóruns internacionais atuam como importante elemento orientador e motivador para a adoção de mudanças necessárias na gestão dos recursos hídricos e dos ambientes aquáticos no país, favorecendo boas práticas, aumentando a transparência e a visibilidade das ações desenvolvidas e estimulando a modernização das ferramentas de gestão disponíveis.

29. A Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Flora e da Fauna Selvagens em Perigo de Extinção (CITES), da qual o Brasil é parte desde 1975 e que já conta com 183 Estados-partes, regulamenta o comércio internacional de fauna e flora silvestres e prevê um sistema de certificados e licenças para controlar o comércio de espécies ameaçadas. As normas da CITES se aplicam somente às transações internacionais – não atingindo, portanto, outros fatores de ameaça à biodiversidade, como o comércio ilegal dentro das fronteiras nacionais. Maiores informações no sítio: <https://www.cites.org/>

30. A Convenção sobre Espécies Migratórias – CMS visa conservar as espécies que migram tanto pela via terrestre, quanto marinha e/ou aérea, desconsiderando as fronteiras físicas entre os países e demandando esforços comuns e uma efetiva cooperação entre os mesmos para a sua proteção. Trata-se de um acordo intergovernamental, concluído sob a coordenação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), preocupado com a conservação da vida selvagem e de seus habitats em escala global. Assinada em Bonn, Alemanha, a Convenção conta atualmente com 108 Estados-Partes. Maiores informações no sítio: <https://www.mma.gov.br/assuntos-internacionais/temas-multilaterais/item/887.html>

9_ ÁGUA,
UMA OPORTUNIDADE
BRASILEIRA

A água é um elemento essencial para a vida das pessoas e componente básico para a promoção do bem-estar dos brasileiros. O Brasil, por ser detentor da maior disponibilidade hídrica superficial do mundo e maior biodiversidade, possui um potencial competitivo singular, capaz de projetar o país em escala global. São as águas brasileiras que tornam o país uma das principais potências do ecoturismo, da produção de alimentos e *commodities* para todo o mundo, liderança na produção de energia limpa, fonte de biodiversidade e patrimônio cultural capaz de atrair investimentos dos mais diversos setores. A água é, portanto, o maior ativo brasileiro!

No entanto, apesar de sua abundância, este recurso necessita de ação direcionada dos tomadores de decisão para garantir segurança hídrica e gerar benefícios para a população brasileira. A distribuição heterogênea deste recurso e a ausência de estratégias que integrem as diferentes perspectivas da água colocam o país em estado de alerta. É fundamental que sejam estabelecidas estratégias para além da capacidade de provisão de recursos hídricos dos ambientes aquáticos, considerando também a biodiversidade e o valor cultural que esses ecossistemas geram para o Brasil.

Para que a água seja, portanto, este componente transformador da realidade brasileira, é necessário o uso de diferentes estratégias e ação de múltiplos setores:

Investimento em tecnologia – A tecnologia tem papel fundamental no estabelecimento das soluções que visem restaurar e conservar ambientes aquáticos, através da melhoria de sistemas de monitoramento e mapeamento dos corpos hídricos, a aplicação de tecnologias e infraestrutura para a promoção da segurança hídrica no país e integração com Soluções baseadas na Natureza, em especial nas ameaças relacionadas às mudanças climáticas.

Avanço e integração do conhecimento – A melhoria na sistematização da informação sobre os ambientes aquáticos, através da constituição de bancos de dados integrados; o desenvolvimento de estudos voltados para serviços ecossistêmicos relacionados aos ambientes aquáticos, com destaque para a construção de cenários capazes de integrar alternativas econômicas, ecológicas e de uso; o aperfeiçoamento das estratégias e políticas em curso, como a Política Nacional de Segurança Hídrica e seus mecanismos acessórios; e a valorização do conhecimento tradicional e indígena serão importantes promotores para o estabelecimento de estratégias capazes de assegurar o desenvolvimento socioeconômico do país, em consonância com a conservação dos ambientes aquáticos.

Fortalecimento de políticas públicas e cumprimento de acordos internacionais – Garantir a aplicação das leis e dos mecanismos legais vigentes que protegem os ambientes aquáticos e asseguram o uso sustentável dos recursos hídricos,

bem como promover iniciativas ainda incipientes no Brasil, como o pagamento por serviços ambientais e a criação de áreas de proteção destinadas a conservação da biodiversidade aquática devem ser bem compreendidas pela população e assim, passar a ser compromisso de governantes e tomadores de decisão nas diversas esferas do poder.

Gestão eficiente dos recursos hídricos – Difundir o conceito de serviços ecossistêmicos nas diferentes etapas dos processos de implementação de empreendimentos, tal como previsto durante o licenciamento ambiental; garantir a tomada de decisão com base em evidências técnico-científicas e não exclusivamente políticas; estabelecer ações e áreas prioritárias para a conservação dos ambientes aquáticos, entendendo os aspectos espaciais e temporais dos recursos hídricos no país.

Engajamento dos diversos setores usuários – O entendimento de que a água é um diferencial competitivo do país, capaz de assegurar o bem-estar da população e crescimento econômico é passo primordial para mobilizar os diferentes setores relacionados ao tema. Para isso, é necessário garantir maior participação social na tomada de decisão, com a participação dos múltiplos setores usuários, além da identificação de oportunidades de geração de renda com uso sustentável da biodiversidade e dos ecossistemas aquáticos. Estas ações serão críticas fundamentais para uma mudança de comportamento que incorpore a população em geral, o setor produtivo e tomadores de decisão.

10_ DADOS E DOCUMENTOS-CHAVE SOBRE O TEMA

Abastecimento urbano: http://dados.gov.br/dataset/mpog_snsa

Adaptação às mudanças climáticas: <http://www.unepdhi.org/publications>

Ameaças a biodiversidade aquática: <http://riverthreat.net/data.html>

Áreas protegidas do planeta: <https://www.protectedplanet.net/c/united-nations-list-of-protected-areas/united-nations-list-of-protected-areas-2018>

Biodiversidade aquática (GLOBIU – Aquatic): <http://atlas.freshwaterbiodiversity.eu/>

Biodiversidade aquática (SIBBr): <https://www.sibbr.gov.br/>

Contas ambientais da água (IBGE): <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/10074/64821>

Gestão da água: www.aguaemjogo.com.br

Governança da água: <http://www.observatoriodasaguas.org/>

Informações diversas correlatas a água: <http://dados.gov.br/dataset>

Pegada hídrica: <https://waterfootprint.org>

Presença de agrotóxicos na água potável: <https://portasdoalimento.info/agrotoxico-na-agua/>

Produção da aquicultura: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=resultados>

Qualidade da água para a saúde humana (VIGIAGUA): <http://sage.saude.gov.br/#>

Qualidade da água: <https://gemstat.org/>

Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos: <http://www.snirh.gov.br>

Situação global relacionada aos recursos hídricos: <http://www.unesco.org/new/pt/brasil/natural-sciences/environment/wwdr/>

11_ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams C., Murrieta R.S.S. & Sanches R.A. (2005). Agricultura e alimentação em populações ribeirinhas das várzeas do Amazonas: novas perspectivas. *Ambiente & Sociedade* 8, 65–86. <https://doi.org/10.1590/s1414-753x2005000100005>
- Agostinho A.A., Gomes L.C. & Pelicice F.M. (2007). *Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil*. Eduem, Maringá, Paraná.
- Agostinho A.A., Thomaz S.M. & Gomes L.C. (2005). Conservation of the Biodiversity of Brazil's Inland Waters. *Conservation Biology* 19, 646–652
- Aguiar L.M.S., Machado R.B., Françoso R.D., Neves A.C., Fernandes G.W., Pedroni F., et al. (2015). Cerrado: Terra incógnita do século 21. *Ciência Hoje* 55, 32–37
- Alho C.J.R. & Sabino J. (2011). A conservation agenda for the Pantanal's biodiversity. *Brazilian Journal of Biology* 71, 327–335. <https://doi.org/10.1590/s1519-69842011000200012>
- Alho C.J.R. & Sabino J. (2012). Seasonal Pantanal Flood Pulse: Implications for Biodiversity Conservation – a Review. *Oecologia Australis* 16, 958–978. <https://doi.org/10.4257/oeco.2012.1604.17>
- Alho C.J.R. (2005). The Pantanal. In: *The World's Largest Wetlands – Ecology and Conservation*. (Eds L.H. Fraser & P.A. Keddy), pp. 203–271. Cambridge University Press, New York, USA.
- Alho C.J.R. (2008). Biodiversity of the Pantanal: Response to seasonal flooding regime and to environmental degradation. *Brazilian Journal of Biology* 68, 957–966. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500005>
- Almeida O.T. (2006). *A indústria pesqueira na Amazônia*, Estudos es. IBAMA/ProVárzea.
- Almeida O.T., McGrath D.G. & Ruffino M.L. (2001). The commercial fisheries of the lower Amazon: an economic analysis. *Fisheries Management and Ecology* 8, 253–269. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2400.2001.00234.x>
- Almeida R.M., Shi Q., Gomes-Selman J.M., Wu X., Xue Y., Angarita H., et al. (2019). Reducing greenhouse gas emissions of Amazon hydropower with strategic dam planning. *Nature Communications* 10. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12179-5>
- Alves R.R.N., Rosa I.L., Léo Neto N.A. & Voeks R. (2012). Animals for the Gods: Magical and Religious Faunal Use and Trade in Brazil. *Human Ecology* 40, 751–780. <https://doi.org/10.1007/s10745-012-9516-1>
- ANA (2014). *Atlas de Vulnerabilidade a Inundações*. Brasília, Distrito Federal.
- ANA (2015). *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília, Distrito Federal.
- ANA (2016). *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília, Distrito Federal.
- ANA (2017a). *Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada*. Brasília, Distrito Federal.
- ANA (2017b). *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília, Distrito Federal.
- ANA (2018). *Contas Econômicas Ambientais da Água no Brasil*. Brasília, Distrito Federal.
- ANA (2019a). *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília, Distrito Federal.
- ANA (2019b). *Plano Nacional de Segurança Hídrica*. Brasília, Distrito Federal.
- ANA (2019c). *ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores*. Brasília, Distrito Federal.
- Antunes A.P., Fewster R.M., Venticinque E.M., Peres C.A., Levi T., Rohe F., et al. (2016). Empty forest or empty rivers? A century of commercial hunting in Amazonia. *Science Advances* 2, e1600936. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600936>
- Avaliação Ecológica do Milênio (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis*. Washington, DC.
- Azevedo-Santos V.M., Fearnside P.M., Oliveira C.S., Padial A.A., Pelicice F.M., Lima D.P., et al. (2017). Removing the abyss between conservation science and policy decisions in Brazil. *Biodiversity and Conservation* 26, 1745–1752. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1316-x>
- Azevedo-Santos V.M., Frederico R.G., Fagundes C.K., Pompeu P.S., Pelicice F.M., Padial A.A., et al. (2019). Protected areas: A focus on Brazilian freshwater biodiversity. *Diversity and Distributions* 25, 442–448. <https://doi.org/10.1111/ddi.12871>
- Barros N., Cole J.J., Tranvik L.J., Prairie Y.T., Bastviken D., Huszar V.L.M., et al. (2011). Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. *Nature Geoscience* 4, 593–596. <https://doi.org/10.1038/ngeo1211>
- Barthem R.B. & Goulding M. (2007). *Um ecossistema inesperado – A Amazônia revelada pela pesca*. Amazon Conservation Association/ Sociedade Civil Mamirauá, Lima, Peru.
- Barthem R.B., Silva-Júnior U.L. & Venticinque E.M. (2019). Bases para a conservação e o manejo dos estoques pesqueiros da Amazônia. In: *Museu Goeldi: 150 anos de ciência na Amazônia*, 1st edn. (Eds A.V. Galucio & A.L.C. Prudente), Editora MPEG, Belém.

- Batista V. da S. & Isaac V.J. (2012). *Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avaliação integrada*. IBAMA/ProVárzea, 276 p.
- Battin T.J., Luyssaert S., Kaplan L.A., Aufdenkampe A.K., Richter A. & Tranvik L.J. (2009). The boundless carbon cycle. *Nature Geoscience* 2, 598–600. <https://doi.org/10.1038/ngeo618>
- Baumgartner G., Pavanelli C.S., Baumgartner D., Bifi A.G., Debona T. & Frana V.A. (2012). *Peixes do Baixo Rio Iguçu*. Eduem, Maringá, Paraná.
- Beltrão G.B., Medeiros E.S.F. & Ramos R.T.C. (2009). Effects of riparian vegetation on the structure of the marginal aquatic habitat and the associated fish assemblage in a tropical Brazilian reservoir. *Biota Neotropica* 9, 37–43. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000400003>
- Benetti A.D., Lanna A.E. & Cobalchini M.S. (2004). Current practices for establishing environmental flows in Brazil. *River Research and Applications* 20, 427–444. <https://doi.org/10.1002/rra.758>
- Bertoncin A.P. dos S., Pinha G.D., Baumgartner M.T. & Mormul R.P. (2019). Extreme drought events can promote homogenization of benthic macroinvertebrate assemblages in a floodplain pond in Brazil. *Hydrobiologia* 826, 379–393. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3756-z>
- Bessa E., Silva F. & Sabino J. (2017). *Eco-tourism's Promise and Peril*. (Eds D.T. Blumstein, B. Geffroy, D.S.M. Samia & E. Bessa), Springer International Publishing, Cham.
- Best R.C. (1982). A salvação de uma espécie: Novas perspectivas para o peixe-boi da Amazônia. *Revista IBM* 14, 1–9
- Bezerra L.A.V., Freitas M.O., Daga V.S., Occhi T.V.T., Faria L., Costa A.P.L., et al. (2019). A network meta-analysis of threats to South American fish biodiversity. *Fish and Fisheries* 20, 620–639. <https://doi.org/10.1111/faf.12365>
- Bol P. (2011). Pathogens, Humans. In: *Encyclopedia of Biological Invasions* 2. (Eds D. Simberloff & M. Rejmanek), pp. 514–520. University of California Press, Berkeley, California.
- Boltovskoy D. & Correa N. (2015). Ecosystem impacts of the invasive bivalve *Limnoperna fortunei* (golden mussel) in South America. *Hydrobiologia* 746, 81–95. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1882-9>
- Bozelli R.L., Esteves F.A. & Roland F. (2000). *Impacto e recuperação de um lago amazônico*. (Ed. SBL/IB), Rio de Janeiro.
- Braga B., Porto M. & Tucci C.E.M. (2015). Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: *Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*, 4a edn. (Eds B. Braga, J.G. Tundisi, T.K. Tundisi & V.S.T. Ciminelli), p. 729. Escrituras Editora, São Paulo.
- Brasil (2016). *Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume III*. Brasília, Distrito Federal.
- Brito S.B., Cunha A.P.M.A., Cunningham C., Alvalá R.C., Marengo J.A. & Carvalho M.A. (2018). Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *International Journal of Climatology* 38, 517–529. <https://doi.org/10.1002/joc.5225>
- Buckeridge M. & Ribeiro W.C. (2018). *Livro branco da água: A crise hídrica na Região Metropolitana de São Paulo em 2013-2015*. Instituto de Estudos Avançados, São Paulo.
- Bunn S. & Arthington A.H. (2002). Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. *Environmental Management* 30, 492–507. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2737-0>
- Burek P., Satoh Y., Fischer G., Kahil M.T., Scherzer A., Tramberend S., et al. (2016). *Water Futures and Solution*. IIA-SA, Luxemburg, Austria.
- Carniatto N., Thomaz S.M., Cunha E.R., Fugli R. & Ota R.R. (2013). Effects of an invasive alien poaceae on aquatic macrophytes and fish communities in a neotropical reservoir. *Biotropica* 45, 747–754. <https://doi.org/10.1111/btp.12062>
- Castello L., McGrath D.G., Hess L.L., Coe M.T., Lefebvre P.A., Petry P., et al. (2013). The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conservation Letters* 6, 217–229. <https://doi.org/10.1111/cont.12008>
- Castello L., Viana J.P., Watkins G., Pinedo-Vasquez M. & Luzadis V.A. (2009). Lessons from integrating fisheries management at the mamirauá reserve, amazon. *Environmental Management* 43, 197–209. <https://doi.org/10.1007/s00267-008-9220-5>
- Catella A.C. (2003). A Pesca no Pantanal Sul: situação atual e perspectivas. *Embrapa Pantanal*, 43
- CDB (2010). *Panorama da Biodiversidade Global* 4. Montreal, Canadá.
- Chou S.C., Lyra A., Mourão C., Dereczynski C., Pilotto I., Gomes J., et al. (2014). Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. *American Journal of Climate Change* 03, 512–527. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35043>

- Coelho C.A.S., Cardoso D.H.F. & Firpo M.A.F. (2016). Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* 125, 769–784. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1540-9>
- Cole J.J., Caraco N.F., Kling G.W. & Kratz T.K. (1994). Carbon dioxide supersaturation in the surface waters of lakes. *Science* 265, 1568–1570. <https://doi.org/10.1126/science.265.5178.1568>
- Cole J.J., Prairie Y.T., Caraco N.F., McDowell W.H., Tranvik L.J., Striegl R.G., *et al.* (2007). Plumbing the global carbon cycle: Integrating inland waters into the terrestrial carbon budget. *Ecosystems* 10, 171–184. <https://doi.org/10.1007/s10021-006-9013-8>
- Costanza R., de Groot R., Braat L., Kubiszewski I., Fioramonti L., Sutton P., *et al.* (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services* 28, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Cowx I., Almeida O., Bene C., Brummett R., Bush S., Darwall W., *et al.* (2010). A valorização da pesca em águas continentais. *Novos Cadernos NAEA* 13. <https://doi.org/10.5801/ncn.v13i1.448>
- Crait J.R. & Ben-David M. (2007). Effects of river otter activity on terrestrial plants in trophically altered Yellowstone Lake. *Ecology* 88, 1040–1052. <https://doi.org/10.1890/06-0078>
- Da Veiga Lima F.A., De Almeida F.B., Torres R.P. & Scherer M.E.G. (2016). Modelo conceitual de avaliação de ameaças sobre serviços ecossistêmicos de sistemas de dunas da Ilha de Santa Catarina/SC, Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente* 38, 199–211. <https://doi.org/10.5380/dma.v38i0.46992>
- de Andrade J.G.P., Barbosa P.S.F., Souza L.C.A. & Makino D.L. (2011). Interbasin Water Transfers: The Brazilian Experience and International Case Comparisons. *Water Resources Management* 25, 1915–1934. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9781-6>
- Deus C.P., Silveira R. & Py-Daniel L.R. (2003). *u-Purus: bases científicas para a criação de uma Reserva de Desenvolvimento Sustentável*. IDSM, Manaus, Amazonas.
- Díaz S., Pascual U., Stenseke M., Martín-López B., Watson R.T., Molnár Z., *et al.* (2018). Assessing nature's contributions to people: Recognizing culture, and diverse sources of knowledge, can improve assessments. *Science* 359, 270–272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- Dores E.F.G.C., Carbo L., Ribeiro M.L. & De-Lamonica-Freire E.M. (2008). Pesticide levels in ground and surface waters of primavera do Leste Region, Mato Grosso, Brazil. *Journal of Chromatographic Science* 46, 585–590. <https://doi.org/10.1093/chromsci/46.7.585>
- Dudgeon D., Arthington A.H., Gessner M.O., Kawabata Z.-I., Knowler D.J., Lévêque C., *et al.* (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society* 81, 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
- Ellison D. (2018). *From Myth to Concept and Beyond – The BioGeoPhysical Revolution and the Forest-Water Paradigm*.
- EPE (2018a). *Análise socioambiental das fontes energéticas do PDE 2026*. Rio de Janeiro.
- EPE (2018b). *Balanco Energético Nacional - Brazilian Energy Balance* Ministério De Minas E Energia. Rio de Janeiro.
- EPE (2018c). *Flexibilidade e Capacidade: Conceitos para a incorporação de atributos ao planejamento*. Rio de Janeiro.
- Esteves F., Caliman A., Santangelo J., Guariento R., Farjalla V. & Bozelli R. (2008). Neotropical coastal lagoons: an appraisal of their biodiversity, functioning, threats and conservation management. *Brazilian Journal of Biology* 68, 967–981. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500006>
- Esteves F.A. (2011). *Fundamentos de Limnologia*, 3a edn. Interciência.
- FAO (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*. Roma, Itália.
- Fearnside P.M. (2015). *Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais na tomada de decisões sobre grandes obras*. Editora do INPA, Manaus, Amazonas.
- Fearnside P.M. (2016a). Environmental and Social Impacts of Hydroelectric Dams in Brazilian Amazonia: Implications for the Aluminum Industry. *World Development* 77, 48–65. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.08.015>
- Fearnside P.M. (2016b). Greenhouse gas emissions from Brazil's Amazonian hydroelectric dams. *Environmental Research Letters* 11, 11002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/1/011002>
- Filoso S., Bezerra M.O., Weiss K.C.B. & Palmer M.A. (2017). Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review. *Plos One* 12, e0183210. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183210>
- Frehse F. de A., Braga R.R., Nocera G.A. & Vitule J.R.S. (2016). Non-native species and invasion biology in a megadiverse country: scientometric analysis and ecological interactions in Brazil. *Biological Invasions* 18, 3713–3725. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1260-9>

- Freitas C.E.C. & Rivas A.A.F. (2006). A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Ocidental. *Amazônia*, 30–32
- Garcia D.A.Z., Hernandez M.C., Silva-Souza Â.T. & Orsi M.L. (2015). Estabelecimento de predador não nativo (Pisces, Erythrinidae) em tributário da bacia do Alto rio Paraná, sul do Brasil. *Neotropical Biology and Conservation* 10, 177–181. <https://doi.org/10.4013/nbc.2015.103.08>
- Garcia L.C., Ribeiro D.B., De Oliveira Roque F., Ochoa-Quintero J.M. & Laurance W.F. (2017). Brazil's worst mining disaster: Corporations must be compelled to pay the actual environmental costs: Corporations. *Ecological Applications* 27, 5–9. <https://doi.org/10.1002/eap.1461>
- Gonino G.M.R., Figueiredo B.R.S., Manetta G.I., Zaia Alves G.H. & Benedito E. (2019). Fire increases the productivity of sugarcane, but it also generates ashes that negatively affect native fish species in aquatic systems. *Science of the Total Environment* 664, 215–221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.022>
- Goulding M., Venticini E., Ribeiro M.L. d. B., Barthelm R.B., Leite R.G., Forsberg B., et al. (2019). Ecosystem-based management of Amazon fisheries and wetlands. *Fish and Fisheries* 20, 138–158. <https://doi.org/10.1111/faf.12328>
- Grey D. & Sadoff C.W. (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy* 9, 545–571. <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>
- Grill G., Lehner B., Thieme M., Geenen B., Tickner D., Antonelli F., et al. (2019). Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature* 569, 215–221. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9>
- Gubiani É.A., Frana V.A., Maciel A.L. & Baumgartner D. (2010). Occurrence of the non-native fish *Salminus brasiliensis* (Cuvier, 1816), in a global biodiversity ecoregion, Iguaçu River, Paraná River basin, Brazil. *Aquatic Invasions* 5, 223–227. <https://doi.org/10.3391/ai.2010.5.2.17>
- Gumbricht T., Roman-Cuesta R.M., Verchot L., Herold M., Wittmann F., Householder E., et al. (2017). An expert system model for mapping tropical wetlands and peatlands reveals South America as the largest contributor. *Global Change Biology* 23, 3581–3599. <https://doi.org/10.1111/gcb.13689>
- Haddad E.A. & Teixeira E. (2015). Economic impacts of natural disasters in megacities: The case of floods in São Paulo, Brazil. *Habitat International* 45, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.06.023>
- Hoekstra A.Y. (2008). The water footprint of food. *Water for food* 109, 49–60. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799968-5.00007-5>
- Honda E.A. & Durigan G. (2017). A restauração de ecossistemas e a produção de água. *Hoehnea* 44, 315–327. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-82/2016>
- IBGE (2018). *Contas Econômicas Ambientais da Água*. Brasília, Distrito Federal.
- ICMBio (2018). *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção*. Brasília.
- IFC (2012). *Padrões de Desempenho sobre Sustentabilidade Socioambiental*. Grupo Banco Mundial, 54 p.
- IIS (2018). *Valoração socioeconômica e ecológica dos Serviços Ecossistêmicos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Porção Paulista / SP*. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Instituto Trata Brasil (2018a). *Benefícios econômicos e sociais da expansão do saneamento no Brasil*.
- Instituto Trata Brasil (2018b). *Perdas da Água 2018 (SNIS 2016): Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico*.
- IPBES (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Alemanha.
- IPCC (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. (Ed. Intergovernmental Panel on Climate Change), Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2014). *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*. (Ed. Intergovernmental Panel on Climate Change), Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2018). Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*. (Eds V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, et al.), Cambridge University Press, Cambridge.
- IPEA, ANA & PNUD (2018). *Diálogos sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e os Desafios para a Gestão da Água e do Saneamento no Brasil*.
- IPI (2010). *Plano de gestão da reserva de desenvolvimento sustentável Piagaçu-Purus*. Instituto Piagaçu, Beruri, Anori, Tapauá e Coari.
- Isaac V.J. & Almeida M.C. (2011). *El consumo de pescado en la amazonía brasileña*. FAO, Roma, Itália.

- Jacobi P.R., Cibim J. & Leão R. de S. (2015). Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. *Estudos Avançados* 29, 27–42. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142015000200003>
- Janse J.H., Kuiper J.J., Weijters M.J., Westerbeek E.P., Jeuken M.H.J.L., Bakkenes M., *et al.* (2015). GLOBIO-Aquatic, a global model of human impact on the biodiversity of inland aquatic ecosystems. *Environmental Science and Policy* 48, 99–114. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.12.007>
- Jardini J.A., Ramos D.S., Martini J.S.C., Reis L.B. & Tahan C.M.A. (2002). Brazilian Energy Crisis. *IEEE Power Engineering Review* 22, 21–24. <https://doi.org/10.1109/MPER.2002.994845>
- Johnson K.A., Polasky S., Nelson E. & Pennington D. (2012). Uncertainty in ecosystem services valuation and implications for assessing land use tradeoffs: An agricultural case study in the Minnesota River Basin. *Ecological Economics* 79, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.04.020>
- Joly C.A., Scarano F.R., Bustamante M., Gadda T., Metzger J.P., Seixas C.S., *et al.* (2018). *Sumário para tomadores de decisão: 1º diagnóstico brasileiro de biodiversidade e serviços ecossistêmicos*. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos.
- Júlio-Junior H.F., Dei Tós C., Agostinho Â.A. & Pavanelli C.S. (2009). A massive invasion of fish species after eliminating a natural barrier in the upper rio Paraná basin. *Neotropical Ichthyology* 7, 709–718
- Junk W.J., Bayley P.B. & Sparks R.E. (1989). The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. In: *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*. pp. 110–127.
- Junk W.J., Da Cunha C.N., Wantzen K.M., Petermann P., Strüßmann C., Marques M.I., *et al.* (2006). Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Aquatic Sciences* 68, 278–309. <https://doi.org/10.1007/s00027-006-0851-4>
- Junk W.J., Piedade M.T.F., Lourival R., Wittmann F., Kandus P., Lacerda L.D., *et al.* (2014). Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 24, 5–22. <https://doi.org/10.1002/aqc.2386>
- Kelman J. (2015). Water Supply to the Two Largest Brazilian Metropolitan Regions. *Aquatic Procedia* 5, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.10.004>
- Knight T.M., McCoy M.W., Chase J.M., McCoy K.A. & Holt R.D. (2005). Trophic cascades across ecosystems. *Nature* 437, 880–883. <https://doi.org/10.1038/nature03962>
- Kobiyama M., Michel G.P. & Goerl R.F. (2012). Relação entre desastres naturais e floresta. *Revista Geonorte* 1, 17–48
- Landsberg F., Treweek J. & Henninger N. (2013). *Weaving Ecosystem Services into Impact Assessment Technical Appendix: A Step-By-Step Method*.
- Latini A.O., Resende D.C., Ferreira F.A., Tótolá M.R. & de Marco P. (2016). *Espécies Exóticas Invasoras de Águas Continentais no Brasil*.
- Laurance W.F. (2015). Emerging Threats to Tropical Forests. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 100, 159–169. <https://doi.org/10.3417/2011087>
- Lyra A., Tavares P., Chou S.C., Sueiro G., Derczynski C., Sondermann M., *et al.* (2017). Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. *Theoretical and Applied Climatology*, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2067-z>
- Maddock I., Harby A., Kemp P. & Wood P. (2013). *Ecocydraulics: An Integrated Approach*. John Wiley & Sons.
- Magalhães A.L.B. & Jacobi C.M. (2013). Asian aquarium fishes in a Neotropical biodiversity hotspot: Impeding establishment, spread and impacts. *Biological Invasions* 15, 2157–2163. <https://doi.org/10.1007/s10530-013-0443-x>
- Marengo J.A. & da Silva Dias P.L. (2015). Mudanças climáticas e os seus impactos climáticos e hidrológicos no Brasil. In: *Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*, 4a edn. (Eds B. Braga, J.G. Tundisi, T.K. Tundisi & V.S.T. Ciminelli), p. 729. Escrituras Editora, São Paulo.
- Marengo J.A. (2008). Water and Climate Change. *Estudos Avançados* 22, 83–96
- Marengo J.A., Alves L.M., Soares W.R., Rodriguez D.A., Camargo H., Riveros M.P., *et al.* (2013). Two Contrasting Severe Seasonal Extremes in Tropical South America in 2012: Flood in Amazonia and Drought in Northeast Brazil. *Journal of Climate* 26, 9137–9154. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00642.1>
- Marengo J.A., Ambrizzi T., da Rocha R.P., Alves L.M., Cuadra S. V., Valverde M.C., *et al.* (2010). Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics* 35, 1073–1097. <https://doi.org/10.1007/s00382-009-0721-6>

- Marengo J.A., Tomasella J., Alves L.M., Soares W.R. & Rodriguez D.A. (2011). The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters* 38, n/a--n/a. <https://doi.org/10.1029/2011GL047436>
- Marengo J.A., Torres R.R. & Alves L.M. (2017). Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology* 129, 1189–1200. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>
- Marino N.A.C., Srivastava D.S., MacDonald A.A.M., Leal J.S., Campos A.B.A. & Farjalla V.F. (2017). Rainfall and hydrological stability alter the impact of top predators on food web structure and function. *Global Change Biology* 23, 673–685. <https://doi.org/10.1111/gcb.13399>
- Mendes D. & Marengo J.A. (2010). Temporal downscaling: a comparison between artificial neural network and autocorrelation techniques over the Amazon Basin in present and future climate change scenarios. *Theoretical and Applied Climatology* 100, 413–421. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0193-y>
- Mendonça R., Müller R.A., Clow D., Verpoorter C., Raymond P., Tranvik L.J., et al. (2017). Organic carbon burial in global lakes and reservoirs. *Nature Communications* 8, 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01789-6>
- Metzger J.P., Esler K., Krug C., Arias M., Tambosi L., Crouzeilles R., et al. (2017). Best practice for the use of scenarios for restoration planning. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 29, 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.10.004>
- Michelan T.S., Thomaz S.M., Mormul R.P. & Carvalho P. (2010). Effects of an exotic invasive macrophyte (tropical signalgrass) on native plant community composition, species richness and functional diversity. *Freshwater Biology* 55, 1315–1326. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02355.x>
- Mittermeier R., Baião P.C., Barrera L., Buppert T., McCullough J., Langrand O., et al. (2011). O Protagonismo do Brasil no Histórico Acordo Global de Proteção à Biodiversidade. 8, 197–200. <https://doi.org/10.4322/natcon.00802017>
- Mittermeier R.A., Robles-Gil P., Hoffman M., Pilgrim J., Brooks T., Mittermeier C.G., et al. (2004). *Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*. CEMEX, Mexico City.
- Mohor G.S., Rodriguez D.A., Tomasella J. & Siqueira Júnior J.L. (2015). Exploratory analyses for the assessment of climate change impacts on the energy production in an Amazon run-of-river hydropower plant. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 4, 41–59. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.04.003>
- MPA (2011). *Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura*. Brasília, Distrito Federal.
- Mulligan M. (2013). WaterWorld: a self-parameterising, physically based model for application in data-poor but problem-rich environments globally. *Hydrology Research* 44, 748. <https://doi.org/10.2166/nh.2012.217>
- Naiman R.J., Latterell J.J., Pettit N.E. & Olden J.D. (2008). Flow variability and the biophysical vitality of river systems. 340, 629–643. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2008.01.002>
- Nobre C.A., Marengo J.A., Seluchi M.E., Cuartas L.A. & Alves L.M. (2016). Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. *Journal of Water Resource and Protection* 08, 252–262. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.82022>
- Oliveira T.D., Reis A.C., Guedes C.O., Sales M.L., Braga E.P.R., Ratton T.F., et al. (2014). Establishment of non-native guppy *Poecilia reticulata* (Peters, 1859) (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in an Municipal Park located in Minas Gerais State, Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 9, 21–30
- Ortega J.C.G., Júlio H.F., Gomes L.C. & Agostinho A.A. (2014). Fish farming as the main driver of fish introductions in Neotropical reservoirs. *Hydrobiologia* 746, 147–158. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2025-z>
- Padial A.A., Agostinho Â.A., Azevedo-Santos V.M., Frehse F.A., Lima-Junior D.P., Magalhães A.L.B., et al. (2017). The “Tilapia Law” encouraging non-native fish threatens Amazonian River basins. *Biodiversity and Conservation* 26, 243–246. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1229-0>
- PBMC (2013). Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. *Sumário Executivo do GT2*.
- Pearce W., Mahony M. & Raman S. (2018). Science advice for global challenges: Learning from trade-offs in the IPCC. *Environmental Science & Policy* 80, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.017>
- Pellicice F.M., Azevedo-Santos V.M., Vitule J.R.S., Orsi M.L., Lima Junior D.P., Magalhães A.L.B., et al. (2017). Neotropical freshwater fishes imperilled by unsustainable policies. *Fish and Fisheries* 18, 1119–1133. <https://doi.org/10.1111/faf.12228>
- Perrings C. (2005). Invasion economics. In: *Encyclopedia of Biological Invasions*. (Eds D. Simberloff & M. Rejmanek), pp. 375–378. University of California Press, Berkeley, California.

- Petts G.E. (2000). A perspective on the abiotic processes sustaining the ecological integrity of running waters. *Hydrobiologia* 422:15–27.
- Pfützner W.P., Beck M., Weitzel T. & Becker N. (2015). The Role of Mosquitoes in the Diet of Adult Dragon and Damselflies (Odonata). *Journal of the American Mosquito Control Association* 31, 187–189. <https://doi.org/10.2987/14-6476R>
- Phillips O.L., Aragao L.E.O.C., Lewis S.L., Fisher J.B., Lloyd J., Lopez-Gonzalez G., et al. (2009). Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science* 323, 1344–1347. <https://doi.org/10.1126/science.1164033>
- Pimentel D., Zuniga R. & Morrison D. (2005). Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics* 52, 273–288. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.10.002>
- Pires A.P.F., Amaral A.G., Padgurschi M.C.G., Joly C.A. & Scarano F.R. (2018). Biodiversity research still falls short of creating links with ecosystem services and human well-being in a global hotspot. *Ecosystem Services* 34, 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.10.001>
- Pires A.P.F., Leal J. da S. & Peeters E.T.H.M. (2017a). Rainfall changes affect the algae dominance in tank bromeliad ecosystems. *PLOS ONE* 12, e0175436. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175436>
- Pires A.P.F., Marino N.A.C., Srivastava D.S. & Farjalla V.F. (2016). Predicted rainfall changes disrupt trophic interactions in a tropical aquatic ecosystem. *Ecology* 97, 2750–2759. <https://doi.org/10.1002/ecy.1501>
- Pires A.P.F., Rezende C.L., Assad E.D., Loyola R. & Scarano F.R. (2017b). Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience. *Perspectives in Ecology and Conservation* 15, 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.08.003>
- Poff N.L., Allan J.D., Bain M.B., Karr J.R., Prestegard K.L., Richter B.D., et al. (1997). *The Natural Flow Regime: A Paradigm for River Conservation and Restoration*. *BioScience* 47, 769–784.
- Quadra G.R., Oliveira de Souza H., Costa R. dos S. & Fernandez M.A. dos S. (2017). Do pharmaceuticals reach and affect the aquatic ecosystems in Brazil? A critical review of current studies in a developing country. *Environmental Science and Pollution Research* 24, 1200–1218. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7789-4>
- Quadra G.R., Paranaíba J.R., Vilas-Boas J., Roland F., Amado A.M., Barros N., et al. (2019a). A global trend of caffeine consumption over time and related-environmental impacts. *Environmental Pollution*, 113343. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113343>
- Quadra G.R., Silva P.S.A., Paranaíba J.R., Josué I.I.P., Souza H., Costa R., et al. (2019b). Investigation of medicines consumption and disposal in Brazil: A study case in a developing country. *Science of the Total Environment* 671, 505–509. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.334>
- Quadra G.R., Teixeira J.R.P.V.A., Barros N., Roland F. & Amado A.M. (2019c). Water pollution: One of the main limnology challenges in the anthropocene. *Acta Limnologica Brasiliensia* 31. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x5118>
- Rauber D. & Oliveira F.A.C. de (2008). *Uma contextualização da demanda de água na indústria*.
- Rebouças A.C. (2015a). Água doce no mundo e no Brasil. In: *Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*, 4a edn. (Eds B. Braga, J.G. Tundisi, T.M. Tundisi & V.S.T. Ciminelli), p. 729. Escrituras Editora, São Paulo.
- Rebouças A.C. (2015b). Águas subterrâneas. In: *Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*, 4a edn. (Eds B. Braga, J.G. Tundisi, T.K. Tundisi & V.S.T. Ciminelli), p. 729. Escrituras Editora, São Paulo.
- Reyers B., Stafford-Smith M., Erb K.H., Scholtes R.J. & Selomane O. (2017). Essential Variables help to focus Sustainable Development Goals monitoring. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 26–27, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.05.003>
- Rezende C.L., Scarano F.R., Assad E.D., Joly C.A., Metzger J.P., Tabarelli M., et al. (2018). From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic. *Perspectives in Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002>
- Ribeiro Neto A., da Paz A.R., Marengo J.A. & Chou S.C. (2016). Hydrological Processes and Climate Change in Hydrographic Regions of Brazil. *Journal of Water Resource and Protection* 08, 1103–1127. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.812087>
- Ribeiro V.R., Silva P.R.L. da, Gubiani É.A., Faria L., Daga V.S. & Vitule J.R.S. (2017). Imminent threat of the predator fish invasion *Salminus brasiliensis* in a Neotropical ecoregion: eco-vandalism masked as an environmental project. *Perspectives in Ecology and Conservation* 15, 132–135. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.03.004>
- Ribot J.C., Magalhães A.R. & Panagides S.S. (1996). *Climate Variability, Climate Change and Social Vulnerability in the Semi-arid Tropics*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Roland F., Huszar V., Farjalla V., Enrich-Prast A., Amado A. & Ometto J. (2012). Climate change in Brazil: perspective on the biogeochemistry of inland waters. *Brazilian Journal of Biology* 72, 709–722. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000400009>
- Rosa J.C.S. & Sánchez L.E. (2016). Advances and challenges of incorporating ecosystem services into impact assessment. *Journal of Environmental Management* 180, 485–492. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.079>
- Rosa L.P. & Lomardo L.L.B. (2004). The Brazilian energy crisis and a study to support building efficiency legislation. *Energy and Buildings* 36, 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.09.001>
- Ruaro R. & Mormul R.P. (2017). Anticipated changes to environmental law may jeopardize Brazilian natural resources. *Frontiers in Ecology and the Environment* 15, 65–66. <https://doi.org/10.1002/fee.1461>
- Ruffino M.L., Lima L.H. & Sant'Ana R. (2016). *Situação Atual e Tendências da Pesca Marinha no Brasil e o Papel dos Subsídios*. WWF – Brasil, São Paulo, São Paulo.
- Sabino J. & Andrade L.P. de (2003). Uso e conservação da ictiofauna no ecoturismo da região de Bonito, Mato Grosso do Sul: o mito da sustentabilidade ecológica no Rio baía bonita (aquário natural de Bonito). *Biota Neotropica* 3, 1–9. <https://doi.org/10.1590/s1676-06032003000200002>
- Sabino J. & Prado P.I. (2003). Avaliação do estado do conhecimento da diversidade biológica do Brasil- Vertebrados. *Ministério do Meio Ambiente*, 131
- Sala O.E., Chapin F.S., Armesto J.J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., et al. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287, 1770–1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- Salati E., de Lemos H.M. & Salati E. (2015). Água e o desenvolvimento sustentável. In: *Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*, 4a edn. (Eds B. Braga, J.G. Tundisi, T.K. Tundisi & V.S.T. Ciminelli), p. 729. Escrituras Editora, São Paulo.
- Scarano F.R., Bozelli R.L., Dias A.T.C., Assireu A., Capossoli D.J., de Assis Esteves F., et al. (2018a). Twenty-Five Years of Restoration of an Igapó Forest in Central Amazonia, Brazil. In: *Igapó (Black-water flooded forests) of the Amazon Basin*. pp. 279–294.
- Scarano F.R., Santos A.S., Kahnn S., Nobre C.A., Marengo J.A., Ommeto J.P., et al. (2018b). *Potência Ambiental da Biodiversidade: um caminho inovador para o Brasil*. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas e da Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos.
- Serrão E.A. de O., dos Santos C.A. & Lima A.M.M. (2014). Avaliação da seca de 2005 na Amazônia: uma análise da calha do rio Solimões. *Estação Científica (UNIFAP)* 4, 99–109.
- Smith N.J.H. (1979). Quelônios aquáticos da Amazônia: um recurso ameaçado. *Acta Amazonica* 9, 87–97. <https://doi.org/10.1590/1809-43921979091087>
- Sorensson A.A., Menéndez C.G., Ruscica R., Alexander P., Samuelsson P. & Willén U. (2010). Projected precipitation changes in South America: a dynamical downscaling within CLARIS. *Meteorologische Zeitschrift* 19, 347–355. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2010/0467>
- Sousa W.T.Z., Thomaz S.M., Murphy K.J., Silveira M.J. & Mormul R.P. (2009). Environmental predictors of the occurrence of exotic *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle and native *Egeria najas* Planch. in a sub-tropical river floodplain: The Upper River Paraná, Brazil. *Hydrobiologia* 632, 65–78. <https://doi.org/10.1007/s10750-009-9828-3>
- Sparovek G., Correchel V. & Barretto A.G.O.P. (2007). The risk of erosion in Brazilian cultivated pastures. *Scientia Agricola* 64, 77–82. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000100012>
- Tello S. (1997). Pesca y esfuerzo de pesca en la Reserva Nacional Pacaya-Samiria y area de influencia. In: *Manejo de fauna silvestre en la Amazonia*. (Ed. U. of Florida/UNDP/GEF), pp. 229–235.
- Thomaz S.M., Bini L.M. & Bozelli R.L. (2007). Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia* 579, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0285-y>
- Tobergte D.R. & Curtis S. (2013). *Forests and Water*. (Ed. Intergovernmental Panel on Climate Change), Cambridge University Press, Cambridge.
- Tromboni F. & Dodds W.K. (2017). Relationships Between Land Use and Stream Nutrient Concentrations in a Highly Urbanized Tropical Region of Brazil: Thresholds and Riparian Zones. *Environmental Management* 60, 30–40. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0858-8>
- UN-Environment (2017). *Climate change adaptation technologies for water: a practitioner's guide to adaptation*.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K. W., Sedell J.R. & Cushing C.E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37, 130–137

- Vestena L.R., Oliveira E.D., Cunha M.C. & Thomaz E.L. (2012). Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 7, 212–227. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.840>
- Vieira R.M.S.P., Tomasella J., Alvalá R.C.S., Sestini M.F., Affonso A.G., Rodriguez D.A., *et al.* (2015). Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. *Solid Earth* 6, 347–360. <https://doi.org/10.5194/se-6-347-2015>
- Vitule J., Bornatowski H., Freire C. & Abilhoa V. (2014). Extralimital introductions of *Salminus brasiliensis* (Cuvier, 1816) (Teleostei, Characidae) for sport fishing purposes: a growing challenge for the conservation of biodiversity in neotropical aquatic ecosystems. *BioInvasions Records* 3, 291–296. <https://doi.org/10.3391/bir.2014.3.4.11>
- Vitule J.R.S., da Costa A.P.L., Frehse F.A., Bezerra L.A.V., Occhi T.V.T., Daga V.S., *et al.* (2017). Comment on 'Fish biodiversity and conservation in South America by Reis *et al.* (2016).' *Journal of Fish Biology* 90, 1182–1190. <https://doi.org/10.1111/jfb.13239>
- Voltolini T. V., Miranda J.E.C., Santos R.D., Muniz E.N., Fernandes E.N. & Magalhães V.M.A. (2016). Plantio e Manejo da Palma Forrageira no Semiárido. Embrapa, Brasília, Distrito Federal.
- Von Randow R.C.S., Rodriguez D.A., Tomasella J., Aguiar A.P.D., Kruijt B. & Kabat P. (2019). Response of the river discharge in the Tocantins River Basin, Brazil, to environmental changes and the associated effects on the energy potential. *Regional Environmental Change* 19, 193–204. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1396-5>
- Vörösmarty C.J., McIntyre P.B., Gessner M.O., Dudgeon D., Prusevich A., Green P., *et al.* (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467, 555–561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- Winemiller K.O., McIntyre P.B., Castello L., Fluet-Chouinard E., Giarrizzo T., Nam S., *et al.* (2016). Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science* 351, 128–129. <https://doi.org/10.1126/science.aac7082>
- Wolowski M., Agostini K., Rech A.R., Varassin I.G., Maués M., Freitas L., *et al.* (2019). *Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil*. Editora Cubo, São Carlos.
- World Bank (2017). *Environmental and Social Framework*. Washington, Estados Unidos.
- WWAP (2018). *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based Solutions for Water*. Paris, França.
- Ye Y., He X.Y., Chen W., Yao J., Yu S. & Jia L. (2014). Seasonal water quality upstream of Dahuofang Reservoir, China - the effects of land use type at various spatial scales. *Clean - Soil, Air, Water* 42, 1423–1432. <https://doi.org/10.1002/clen.201300600>

COORDENAÇÃO EDITORIAL DO RELATÓRIO

Aliny P. F. Pires/BPBES

Paula F. Drummond de Castro/BPBES

Vinicius F. Farjalla /UFRJ

REVISORES EXTERNOS

André Megali Amado

Angelo José Rodrigues Lima

PROJETO GRÁFICO

Lúcia Nemer

Martuse Fornaciari

FOTOGRAFIASJosé Sabino/Natureza em Foco
(www.naturezaemfoco.com.br)

Ricardo Andrade

Thais Lopes

INFOGRÁFICOS

Aliny P. F. Pires/BPBES

Copyright © 2020 Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPBES).

Todos os direitos desta obra são reservados e protegidos pela Lei 9.610, de 19/02/1998.

É permitida a reprodução total ou parcial desta publicação, para fins educacionais e sem finalidade lucrativa, desde que a fonte seja devidamente mencionada

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Relatório temático água : biodiversidade, serviços ecossistêmicos e bem estar humano no Brasil [livro eletrônico] / [organização Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos] ; coordenação Aliny P. F. Pires, Vinicius F. Farjalla. -- São Carlos, SP : Editora Cubo, 2020.
13,5 Mb ; PDF

Vários autores.

Bibliografia.

ISBN 978-65-00-00068-9

1. Água 2. Bem-estar 3. Biodiversidade
4. Conservação da natureza 5. Ecossistemas
6. Fotografias 7. Meio ambiente 8. Política ambiental
9. Sustentabilidade 10. Tomada de decisões
I. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. II. Pires, Aliny P. F. III. Farjalla, Vinicius F.

20-33761

CDD-577.6

Índices para catálogo sistemático:

1. Água : Aspectos ambientais : Ecologia : Ciências da vida 577.6

Maria Alice Ferreira - Bibliotecária - CRB-8/7964

Citação

BPBES (2020) 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. <https://doi.org/10.4322/978-65-00-00068-9>

Para mais informações, favor contatar

Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPBES)

contato@bpb.es.net.br - www.bpb.es.net.br

RELATÓRIO TEMÁTICO ÁGUA

Biodiversidade, Serviços Ecossistêmicos e Bem Estar Humano no Brasil

COORDENADORES

Aliny P. F. Pires
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro/
Fundação Brasileira para o
Desenvolvimento Sustentável

Vinicius F. Farjalla
Universidade Federal do Rio de
Janeiro/ Associação Brasileira
de Limnologia

AUTORES

Bias Marçal
CENPES/ Petrobrás

Daniel A. Rodriguez
Universidade Federal do Rio de
Janeiro/Instituto Nacional de
Pesquisas Espaciais

Eli A. T. Gomes
Biosustente/ Sociedade
Brasileira de Limnologia

Eldis C. Santos
Faculdade de Direito de Itu

Federica N. G. A. S. Sodré
Empresa de Pesquisa
Energética

José Sabino
Universidade Anhanguera/
Uniderp

Mariana A. Espécie
Empresa de Pesquisa
Energética

Mariana R. C. Pinheiro
Empresa de Pesquisa
Energética

Mauro L. Ribeiro
Instituto Brasileiro de
Geografia e Estatística

Reinaldo L. Bozelli
Universidade Federal do Rio
de Janeiro/Comitê Nacional de
Zonas Úmidas

Renata F. Panosso
Universidade Federal do Rio
Grande do Norte

Roger P. Mormul
Universidade Estadual de
Maringá

Ronaldo Barthem
Museu Paraense Emílio Goeldi

Vinicius Scofield
Ministério do Meio Ambiente

Viviane Dib
Instituto Internacional para
Sustentabilidade

REVISORES

André Megali Amado
Universidade Federal de Juiz
de Fora/Universidade Federal
do Rio Grande do Norte

Angelo José Rodrigues Lima
Observatório da Governança
das Águas

APOIO

PARCEIROS

ISBN 9786500000689

9 786500 000689