

Qualidade da água em reservatórios e a provisão de serviços ecossistêmicos: uma abordagem qualitativa

Water quality in reservoirs and the ecosystem services provision: a qualitative approach

DOI:10.34117/bjdv8n2-358

Recebimento dos originais: 07/01/2022

Aceitação para publicação: 22/02/2022

Fabio Leandro da Silva

Doutorando em Ecologia e Recursos Naturais

Instituição: Universidade Federal de São Carlos UFSCar

Endereço: Rodovia Washington Luiz, Km 235, São Carlos - SP, CEP: 13565-905

E-mail: fabioleandro@alumni.usp.br

Ângela Terumi Fushita

Doutora em Ecologia e Recursos Naturais

Instituição: Universidade Federal do ABC UFABC

Endereço: Avenida dos Estados, 5001, Santo André - SP, CEP: 09210-580

E-mail: angela.fushita@ufabc.edu.br

Marcela Bianchessi da Cunha-Santino

Doutora em Ecologia e Recursos Naturais

Instituição: Universidade Federal de São Carlos UFSCar

Endereço: Rodovia Washington Luiz, Km 235, São Carlos - SP, CEP: 13565-905

E-mail: cunha_santino@ufscar.br

Irineu Bianchini Júnior

Doutor em Ecologia e Recursos Naturais

Instituição: Universidade Federal de São Carlos UFSCar

Endereço: Rodovia Washington Luiz, Km 235, São Carlos - SP, CEP: 13565-905

E-mail: irineu@ufscar.usp.br

RESUMO

Os reservatórios são sistemas artificiais importantes no cenário nacional, são marcados por diversos impactos socioambientais durante sua construção e por proporcionam diversos benefícios para a sociedade. Todavia, tem sido observada a perda de qualidade da água destes sistemas, o que afeta a provisão de serviços ecossistêmicos. Diante da necessidade de investigações, o presente trabalho empregou uma abordagem qualitativa para estabelecer relações entre variáveis indicadores de qualidade da água e suas relações com os serviços ecossistêmicos/benefícios proporcionados pelos reservatórios de Barra Bonita (BB), Santo Grande (SG), Itupararanga (IT) e Jaguari-Jacaré (JJ). Constatou-se que, mudanças nas variáveis limnológicas alteram os serviços ecossistêmicos proporcionados pelos reservatórios, devido aos prejuízos para a manutenção da biodiversidade e a desregulação de processos ecológicos. A abordagem qualitativa demonstrou-se robusta para a avaliação de serviços ecossistêmicos proporcionados pelos reservatórios, as informações geradas podem servir de base para a elaboração de medidas

de conservação dos recursos hídricos e tomada de decisão, visando evitar gastos com o tratamento da água e prejuízos para atividades humanas.

Palavras-chave: ecossistemas aquáticos, serviços ecossistêmicos, estrutura conceitual.

ABSTRACT

Reservoirs are an important man-made system on the national scenario. During the construction process, reservoirs generate multiple social and environmental impacts and bring multiple benefits to the society. However, the water quality loss in these systems has been observed, which affects the ecosystem services provision. Toward the need for investigations, the present work used a qualitative approach to establish relationships among water quality variables and their relationships with ecosystem services/benefits provided by the Barra Bonita (BB), Santo Grande (SG), Itupararanga (IT) and Jaguari-Jacareí (JJ) reservoirs. We verified that changes in limnological variables alter the ecosystem services provided by the reservoirs, given the damage to the biodiversity maintenance and the deregulation of ecological processes. The qualitative approach proved to be robust for the evaluation of ecosystem services provided by the reservoirs, the generated information favor the elaboration of water resources conservation measures and decision-making, aiming to avoid expenses with water treatment and damages to human activities.

Keywords: aquatic ecosystems, ecosystem services, conceptual framework.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 50 anos, ocorreu um rápido aumento do número de reservatórios ao redor do globo (50 mil > 15 metros, 17 milhões > 100 m²) (IPES, 2019), com destacada importância para o cenário brasileiro; pelo seu papel na geração de energia elétrica e no abastecimento público. Na última década, tem sido vivenciada uma crise hídrica que afeta diversos setores econômicos e a manutenção dos ecossistemas naturais. Porém, a situação tende a se agravar em razão das mudanças climáticas, que influencia diretamente no volume dos reservatórios (RAULINO; SILVEIRA; LIMA-NETO, 2021).

Apesar de possuírem diversos impactos socioambientais associados à sua construção (ARANTES; SOUZA, 2021; SOARES; OLIVEIRA, 2021) e contribuírem com a emissão de gases de efeito estufa (GRUCA-ROKOSZ; CIESLA, 2021), os reservatórios podem fornecer diversos benefícios para a sociedade, tais como provisão de água, retenção de nutrientes, atividades recreativas, entre outros. Estes benefícios podem ser entendidos como serviços ecossistêmicos, que são os benefícios proporcionados aos seres humanos por meio do funcionamento dos ecossistemas e manutenção do capital natural (MEA, 2005; KUMAGAI et al., 2021).

Todavia, quando a integridade dos ecossistemas é alterada em seu funcionamento e em sua estrutura, a provisão de serviços ecossistêmicos pode ficar comprometida (BURKHARD et al., 2012). Quando ocorre a degradação da qualidade da água destes sistemas e as variações em seu fluxo, perdas e prejuízos podem ser observados nos benefícios e serviços ecossistêmicos proporcionados pelos reservatórios.

Emerge, assim, a necessidade de se realizar uma avaliação destes serviços, considerando as ações (vetores) envolvidas, as mudanças na qualidade da água e a sua relação com as mudanças nos serviços ecossistêmicos/benefícios. Os vetores podem ser compreendidos como "fatores naturais ou induzidos pelo ser humano que direta ou indiretamente ocasionam uma mudança em um ecossistema" (MEA, 2005). A avaliação monetária de serviços ecossistêmicos acaba sendo empregada para comunicar os valores proporcionados pelo capital natural, mas existem dimensões que não são passíveis de serem avaliadas (SUKHDEV; WITTMER; MILLER, 2014). Na literatura, avaliações têm sido realizadas para a valoração dos serviços ecossistêmicos prestados por ambientes lênticos (e.g. PERIOTTO; TUNDISI, 2013; ZHAO; LIU, 2015; REYNAUD; LANZANOVA, 2017), mas não existe um consenso acerca da valoração destes serviços ecossistêmicos (REYNAUD; LANZANOVA, 2017). Muitas vezes, a adoção de métodos qualitativos acaba sendo indicada, dada a influência socioeconômica que as avaliações podem sofrer (SILVA et al., 2019).

Informações desta natureza contribuem com a tomada de decisão (WANG et al., 2021). A utilização eficiente dos reservatórios deve ser propiciada e; estes sistemas necessitam que seus benefícios e eventuais interferências sejam considerados (TUNDISI; MATSURA-TUNDISI; TUNDISI, 2008). Neste sentido, os índices de qualidade da água e as suas variáveis constituintes podem ser de grande valia para a verificação de relações entre parâmetros limnológicos e serviços ecossistêmicos (KEELER et al., 2012; VAN HOUTVEN et al., 2014) em reservatórios, oferecendo subsídios para a tomada de decisão e reforçando a importância do manejo adequado destes ambientes.

Os reservatórios de Barra Bonita (BB), Itupararanga (IT), Jaguari-Jacareí (JJ) e de Salto Grande (SG) estão localizados no interior do Estado de São Paulo, em uma das regiões mais populosas e industrializadas do Brasil. Estes reservatórios são influenciados por diversas atividades antropogênicas, recebem descargas de efluentes com maior ou menor intensidade, são eutróficos ou hipereutróficos, além de desempenharem um importante papel provendo água para grandes regiões metropolitanas ou mesmo gerando energia elétrica (SOTERO-SANTOS, 2006; MARTINS et al., 2011; MORAES

PEDRAZZI et al., 2013; GAZONATO-NETO et al., 2014). Dado o contexto brasileiro, uma avaliação dos serviços ecossistêmicos proporcionados por estes sistemas pode trazer implicações práticas para a tomada de decisão.

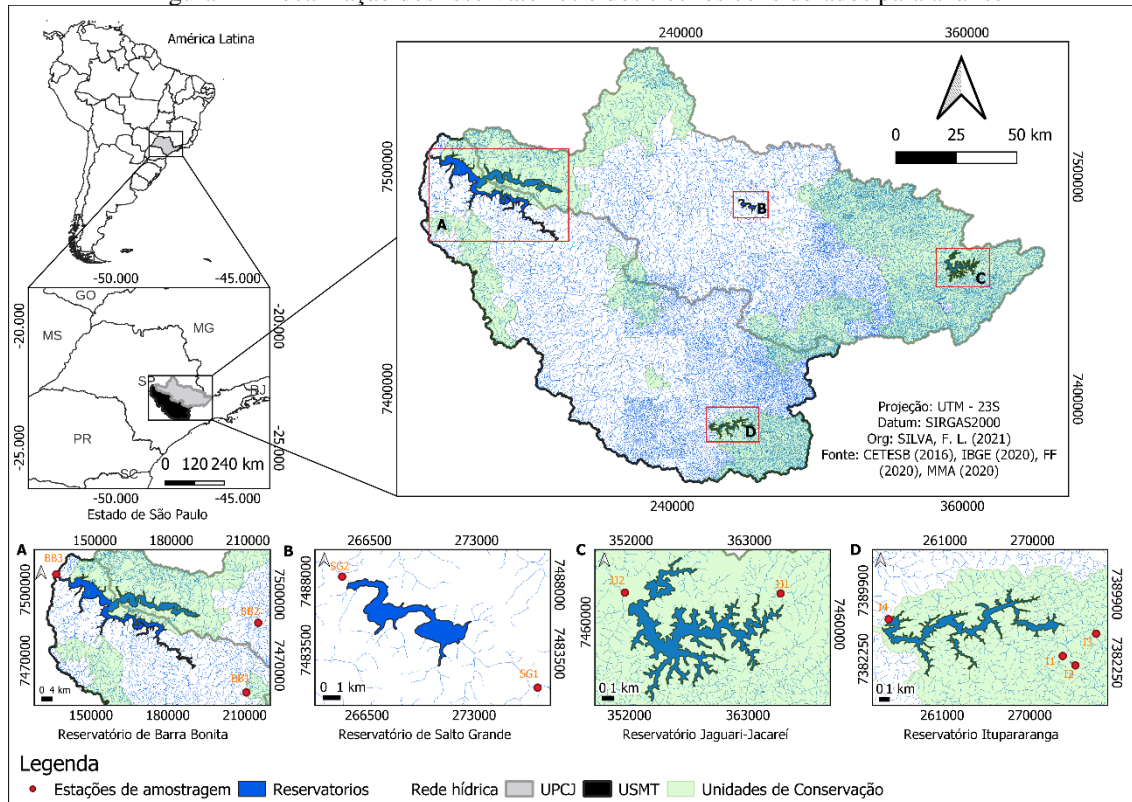
Diante do exposto, o presente trabalho tem como premissa que a perda da qualidade da água em reservatórios compromete a provisão de serviços ecossistêmicos. Assim, o objetivo foi estabelecer uma abordagem qualitativa para a análise das relações entre as variáveis constituintes de um indicador de qualidade da água com mudanças nos serviços ecossistêmicos/benefícios proporcionados pelos reservatórios citados, apontando possíveis mudanças de valor e salientando estratégias de manejo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os reservatórios BB, SG, IT e JJ estão inseridos nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos Piracicaba/Capivari/Jundiá e Sorocaba Médio Tietê (Figura 1). BB possui uma área de 310 km², foi criado mediante o represamento dos rios Tietê e Piracicaba, sua construção ocorreu para a geração de energia elétrica, mas seus usos também envolvem o turismo, a recreação e navegação (MATSURA-TUNDISI; TUNDISI, 2005; TUNDISI; MATSURA-TUNDISI; ABE, 2008). IT tem uma área de aproximadamente 30 km², fica localizado no município de Votorantim - SP, o abastecimento público da região de Sorocaba - SP é a sua principal finalidade (SMITH; PETRETE, 2007; BEGHELLI et al., 2014). JJ localiza-se na região de Bragança Paulista - SP, contribui para o abastecimento da região metropolitana de São Paulo (SANTOS et al., 2018), possui uma área de 42,4 km² (ZORZAL-ALMEIDA et al., 2018), além de ser formado pelos rios Jaguari e Jacaré. SG é formado pelo rio Atibaia, fica inserido na região de Americana - SP, possui uma área de 13,25 km² e desempenha um papel relevante na geração de energia elétrica, bem como abastecimento público (FONSECA; MATIAS, 2014; ZORZAL-ALMEIDA et al., 2018).

Neste trabalho, foram considerados para análise da qualidade da água trechos a montante dos reservatórios de BB (rio Tietê - BB1, rio Piracicaba - BB2), SG (rio Atibaia - SG1), IT (rio Una - I1, rio Sorocabuçu - I2, rio Sorocamirim - I3) e JJ (rio Jaguari - JJ1). Por outro lado, trechos a jusante também foram considerados nos reservatórios de BB (rio Tietê - BB3), SG (rio Atibaia - SG2), IT (próximo a barragem do RI - I4) e JJ (rio Jaguari - JJ2).

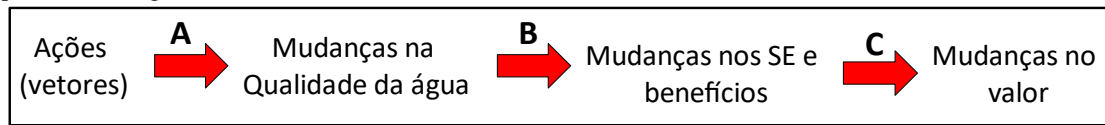
Figura 1 – Localização dos reservatórios e dos trechos considerados para análise



Fonte: Os autores

Buscando realizar a avaliação dos serviços ecossistêmicos proporcionados pelos reservatórios alvo de análise (BB, SG, IT e JJ), uma abordagem qualitativa foi adotada. Para tanto, empregou-se a estrutura proposta por Keeler et al. (2012), para avaliação dos serviços relacionados à qualidade da água, assim como a integração de aspectos socioeconômicos e biofísicos (Figura 2). O levantamento dos serviços ecossistêmicos ocorreu com base em MEA (2005) e IPBES (2019), o que possibilitou o levantamento dos benefícios proporcionados pelos reservatórios. Além disso, foram obtidos dados sobre a qualidade da água dos trechos a jusante e a montante dos reservatórios elencados, disponibilizados pela CETESB para os anos de 2010 a 2019 (CETESB, 2022). Uma discussão foi realizada enfatizando os serviços ecossistêmicos (*sensu* citação), considerando as variáveis que compõem o Índice de Qualidade da Água (IQA) e a sua relação com os serviços ecossistêmicos, assim como eventuais mudanças de valores que podem decorrer da alteração destes serviços.

Figura 2 – Estrutura para avaliação dos vetores e valores dos serviços ecossistêmicos (SE) ligados à qualidade da água em reservatórios



Fonte: Adaptado de Keeler et al. (2012)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme evidenciado na Tabela 1, SG1 (rio Atibaia) e BB1 (rio Tietê) apresentam o maior comprometimento da qualidade da água temporalmente, dado que os valores do Índice de Qualidade da Água (IQA) correspondem majoritariamente a categoria regular (36-51) e ruim (19-36), principalmente em BB1. Nos demais trechos, especialmente naqueles a jusante dos reservatórios (SG2, BB3, I4, JJ1) a qualidade da água apresenta melhora em relação aos trechos a montante, visto a maior frequência das categorias boa (51-79) e ótima (79-100). Ao longo do período analisado, não foram observadas grandes oscilações nos valores médios do IQA.

Os pontos à jusante dos reservatórios têm maior IQA, ou seja, é possível verificar a provisão do serviço de regulação da qualidade da água. Sabe-se que, reservatórios em cascata regulam as concentrações de variáveis limnológicas (CUNHA-SANTINO; FUSHITA; BIANCHINI JR, 2017), situação que pode ser observada no rio Tietê, dada a depuração dos elementos provenientes da região metropolitana de São Paulo (RODGHER et al., 2005).

Tabela 1 - Valores médios do IQA a montante e a jusante dos reservatórios avaliados

Trecho	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
SG1	45	48	48	45	38	43	48	47	55	52
SG2	60	67	64	68	64	62	65	64	70	72
BB1	28	33	33	27	24	28	35	39	32	34
BB2	40	42	50	44	43	44	51	45	47	48
BB3	71	74	72	66	63	63	64	71	71	70
I1	47	50	46	48	48	46	51	51	46	45
I2	65	67	65	62	67	61	65	63	62	63
I3	64	65	70	65	66	63	69	64	66	66
I4	89	85	91	88	89	88	88	88	92	87
JJ1	56	62	67	64	69	62	59	62	58	55
JJ2	78	79	78	81	79	77	71	79	82	82

Fonte: Cetesb (2022). Categorias do IQA: Ótima: 79 - 100; Boa: 51 - 79; Regular: 36 - 51; Ruim: 19 - 36; Péssima: ≤ 19

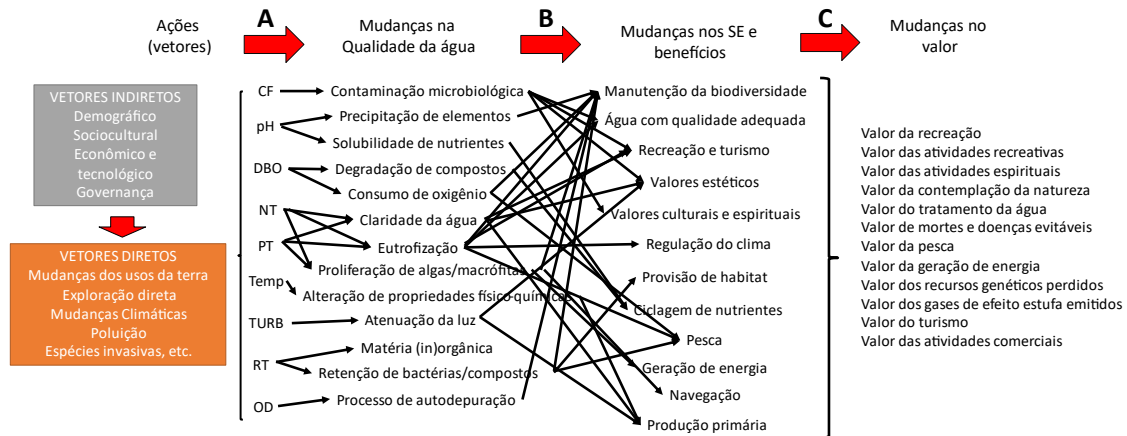
Durante crise hídrica, que aconteceu entre os anos de 2014 e 2015, foi observada a redução nos valores do IQA em todos os reservatórios, situação menos pronunciada naqueles cujo entorno estão unidades de conservação ou estão em áreas de mananciais,

como IT e JJ. A situação constatada pode ser um indicativo que a capacidade de autoregulação do sistema e a resiliência estão menos comprometidos, ou seja, quanto mais intenso for a influência dos usos da terra maior o comprometimento na provisão dos serviços ecossistêmicos. Os pontos dos reservatórios na porção “alta” (mananciais) das bacias (JJ) tem os maiores valores de IQA com menores variações ao longo do tempo, demonstrando que: (i) o impacto das atividades antrópicas ao longo da bacia interferem diretamente nos serviços ecossistêmicos prestados pelos ecossistemas aquáticos (vide os valores de IQA de BB1); e (ii) as estratégias de conservação das áreas de mananciais (e.g. o pagamento por serviços ambientais – PSA) podem ajudar a manter a provisão de serviços dos ecossistemas aquáticos.

Os ambientes aquáticos alvo de análise são marcados por apresentarem forte influência dos usos da terra, despejo irregulares de efluentes domésticos/industriais e pelo carreamento de compostos das áreas antropogênicas agrícolas, o que acarreta um processo acelerado de eutrofização e alteração das variáveis limnológicas (fósforo total, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, nitrito), implicando na perda de qualidade da água. Tal situação foi evidenciada por diversos estudos (MATSUMURA-TUNDISI; TUNDISI, 2005; BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013; CUNHA et al., 2013; CUNHA; SABOGAL-PAZ; DODDS, 2016; WATANABE et al., 2016; ZORZAL-ALMEIDA et al., 2017; DE-CARLI et al., 2018; RIETZLER et al., 2018; COLADELLO et al., 2020; CARDOSO-SILVA et al., 2021).

Considerando as variáveis que fazem parte do IQA, verifica-se que alterações nos valores das concentrações afetam negativamente a provisão de serviços ecossistêmicos e benefícios proporcionados pelos reservatórios, gerando uma série de gastos e impossibilitando os usos múltiplos da água, situação atrelada a mecanismos diretos e indiretos (Figura 3). Conforme evidenciado, as alterações das variáveis limnológicas constituintes do IQA influenciam diretamente em serviços ecossistêmicos de diferentes categorias (i.e., regulação, suporte, cultural).

Figura 3 - Relações entre as variáveis constituintes do IQA e os serviços/benefícios proporcionados pelos reservatórios. Onde: CF = Coliformes Termotolerantes; DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio; NT = Nitrogênio Total; PT = Fósforo Total; Temp = Temperatura; TURB = Turbidez, RT = Resíduo Total, OD = Oxigênio Dissolvido; SE = serviços ecossistêmicos



Fonte: Baseado em: MEA (2005), Keeler et al. (2012), IPBES (2019), Cetesb (2022)

Altos valores de coliformes termotolerantes indicam contaminação microbiológica da água, bem como a possibilidade da presença de patógenos (SETTY et al., 2018) e o desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica, cujo desfecho pode resultar em internações e óbitos. Diante disto, atividades que envolvam diretamente o contato com a água e recreação acabam sendo impossibilitadas nos reservatórios. Elevadas concentrações de coliformes termotolerantes possui relação direta com efluentes não tratados, como também se associa com o aumento das concentrações de nutrientes (fósforo e nitrogênio total) e a ocorrência de eutrofização. Juntos, estes fatores afetam diretamente os serviços ecossistêmicos, dado os prejuízos diretos e indiretos à biodiversidade (e.g., produção de toxinas por algas), impossibilidade de usos consuntivos e não consuntivos da água (RINKE et al., 2019), bem como atividades econômicas (e.g., pesca). No caso do SG e BB, que apresentaram os maiores valores de coliformes, há comprometimento nos serviços de regulação, provisão e cultural. Neste caso, podem ocorrer o impedimento de recreação de contato primário e o crescimento excessivo de macrófitas, como observado em BB e SG. Neste caso, sabe-se que o crescimento demasiado de macrófitas pode impactar diretamente no funcionamento de hidrelétricas, além de demandarem a alocação de recursos para sua retirada e manejo.

O fósforo total advindo de atividades antropogênicas pode interferir de forma negativa nos serviços ecossistêmicos de provisão e culturais, dada a degradação da qualidade da água e por afetar a biodiversidade (MACDONALD et al., 2016). Agricultura e efluentes domésticos/industriais são importantes fontes de nitrogênio total e altas concentrações ocasionam alterações nos mecanismos de regulação e retroalimentação dos

ecossistemas, mas a capacidade de retenção dos reservatórios pode contribuir para a redução das concentrações a jusante, visto o favorecimento da ciclagem de nutrientes (LI et al., 2019; PHAM et al., 2019). Deve-se atentar que o excesso da produtividade primária e o aumento na velocidade da ciclagem da matéria podem contribuir para a emissão de gases de efeito estufa. Os reservatórios funcionam como sistemas que regulam variáveis limnológicas, como as concentrações de fósforo total, dada a sua capacidade de retenção (BIANCHINI JR; FUSHITA; CUNHA-SANTINO, 2019). A concentração destas variáveis é influenciada pelo entorno, composto por atividades ligadas ao agronegócio e áreas urbanizadas, principalmente no caso de SG e BB.

Variações nos valores de pH acabam sendo influenciadas pela sazonalidade e atividades antropogênicas, como também essas oscilações ocorrem em razão do volume de água e excesso de produção primária; quando os valores estão em desacordo os *guidelines*, efeitos prejudiciais podem ser evidenciados (ATIQUE; AN, 2019; WOLDEAB et al., 2018). O pH afeta diretamente processos fisiológicos e de ciclagem, dada a sua relação com nutrientes, a adsorção/dessorção de metais e interferências na manutenção de processos biológicos, levando a prejuízos na provisão de serviços ecossistêmicos. Por outro lado, valores de pH nas faixas que favorecem a manutenção da vida podem contribuir para a continuidade da provisão destes benefícios.

A demanda bioquímica de oxigênio reflete a quantidade de matéria orgânica bioquimicamente degradável existente em uma amostra de água, relaciona-se diretamente com a formação de substâncias húmicas e frações recalcitrantes do carbono (SILVA et al., 2017; WOLDEAB et al., 2018). Tal variação possui associação com a ciclagem de nutrientes, todavia, altos valores desta variável refletem poluição orgânica e maior consumo de oxigênio dissolvido, que dependendo das condições de degradação da matéria, pode gerar um ambiente anóxico e criar condições inadequadas para a manutenção e persistência de espécies, favorecendo a ocorrência de espécies tolerantes e levando a perda de recursos genéticos.

Quanto a temperatura, este parâmetro exerce influência direta nos processos que ocorrem nos reservatórios, acaba influenciando sua hidrodinâmica, na concentração de variáveis limnológicas (e.g. oxigênio dissolvido), nos processos bioquímicos, na produção primária/secundária e nas teias alimentares, refletindo diretamente na produção de serviços ecossistêmicos (TRANMER et al., 2020). Em um cenário de aumento das temperaturas em função das mudanças climáticas, profundas mudanças ecológicas podem

ocorrer nestes sistemas (AZADI; ASHOFTEH; LOÁICIGA, 2019), podendo modificar a estrutura de base dos reservatórios em análise.

Turbidez é uma variável dependente da sazonalidade e também das condições do entorno, quando a água não possui condições adequadas, prejuízos podem ocorrer para os seres humanos e para a biota, já que o aumento das concentrações e a redução do volume de reservatórios afetam a capacidade de diluição (MARTINS et al., 2019). Essa variável está associada com a abundância e organização de comunidades, seu aumento associa-se com o aporte de elementos para os corpos hídricos (MOURA et al., 2021), sendo assim, relaciona-se diretamente com os resíduos totais. Por sua vez, o valor de resíduos totais possui relação direta com o transporte de sedimentos e de outras substâncias no ambiente aquático, devido suas propriedades, sendo que alguns efeitos deletérios podem ser observados para a biodiversidade, visto que os resíduos totais podem ocupar localidades, como as utilizadas para desova da ictiofauna e prejudicar a manutenção da biodiversidade (CUNHA-SANTINO; BIANCHINI JR, 2010; SILVA et al., 2016; SMITH; SILVA; BIAGIONI, 2019).

Sabe-se que, os reservatórios podem prover milhares de dólares anuais na forma de serviços ecossistêmicos (PERIOTTO; TUNDISI, 2013). Todavia, a deterioração dos ecossistemas acaba prejudicando a manutenção de serviços ecossistêmicos essenciais para os seres humanos, sendo que alguns deles são insubstituíveis (IPES, 2019). Diante de questões econômicas, nem todos os serviços ecossistêmicos proporcionados acabam sendo considerados (SUKHDEV; WITTMER; MILLER, 2014). Os usos múltiplos dos sistemas aquáticos necessitam de um manejo adequado, da mesma forma como é preciso um fluxo mínimo para a manutenção dos ecossistemas (RINKE et al., 2019). O desenvolvimento das atividades antropogênicas contribui para a alteração das variáveis limnológicas e perda da qualidade da água de reservatórios (ATIQUE; AN, 2019).

Os vetores de mudanças das variáveis limnológicas e dos serviços ecossistêmicos se relacionam com ações antropogênicas (PHAM et al., 2019), influenciados por aspectos indiretos de ordem socioeconômica e tecnológica. Neste caso, os valores dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos reservatórios acabam sendo alterados, já que gastos acabam sendo necessários para o tratamento da água, da mesma forma como atividades socioeconômicas (e.g. turismo, recreação, lazer, contemplação da natureza, atividades espirituais) sofrem prejuízos ou mesmo restrições. Por exemplo, os custos associados com o tratamento da água acabam aumentando devido alterações das variáveis limnológicas, contaminação/poluição e perda de qualidade da água (CUNHA; SABOGAL-PAZ;

DODDS, 2016; DANELON; AUGUSTO; SPOLADOR, 2021). A falta de saneamento implica em gastos com internações ocasionadas por doenças evitáveis veiculadas à água (e.g. diarreia, cólera, etc.), bem como traz prejuízos para o mundo do trabalho e escolar, vistos os dias perdidos em razão das internações (PAIVA; SOUZA, 2018).

Os diferentes elementos que fazem parte da composição das paisagens são responsáveis pela provisão de serviços ecossistêmicos e interferem nos sistemas aquáticos (HACKBART et al., 2017). Certamente, os padrões da paisagem influenciam na provisão de serviços ecossistêmicos e na qualidade da água, quanto maior a complexidade, maior pode ser a provisão destes benefícios (DUARTE et al., 2018). O controle de nutrientes é um aspecto fundamental para a manutenção da saúde dos ecossistemas (VAN HOUTVEN et al., 2014).

O estabelecimento de estruturas que possibilitem a avaliação dos serviços ecossistêmicos proporcionados pelos ambientes aquáticos é de grande valia para os gestores e tomadores de decisão, suas informações possibilitam o direcionamento de investimentos e o estabelecimento de ações conservacionista (KEELER et al., 2012). Sendo assim, a manutenção dos benefícios proporcionados pelos reservatórios avaliados depende da promoção do seu manejo adequado, bem como de avaliações regulares para a correção de eventuais deficiências.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Limitações são reportadas acerca dos métodos de valoração destes serviços, mas a adoção de métodos qualitativos permite a obtenção de um panorama dos serviços ecossistêmicos proporcionados pelos sistemas, bem como eventuais relações entre variáveis limnológicas e mudanças nestes serviços/benefícios. As informações geradas são úteis para a promoção do manejo e tomada de decisão acerca dos reservatórios. Em trabalhos futuros, recomenda-se a consideração de mais variáveis limnológicas, o que possibilita um maior número de relações e maior representação da complexidade dos sistemas aquáticos. A adoção de medidas que visem salvaguardar a qualidade da água dos reservatórios BB, SG, IT e JJ são essenciais, já que a alteração das variáveis limnológicas implicam em mudanças nos serviços ecossistêmicos/benefícios proporcionados e resultam de forma direta em maiores gastos para o tratamento da água e atendimento das necessidades da população, além de afetar adversamente a biodiversidade.

AGRADECIMENTO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo n°-158927/2018-4), pelo auxílio fornecido.

REFERÊNCIAS

ARANTES, E. P.; SOUZA, M. L. Problemas ambientais nas margens do trecho inferior do Reservatório UHE Rosana SP/PR: percepção dos moradores lindeiros. *Revista Geografar*, v. 16, n. 1, p. 71-91, 2021.

ATIQUE, U.; AN, K. Reservoir Water Quality Assessment Based on Chemical Parameters and the Chlorophyll Dynamics in Relation to Nutrient Regime. *Polish Journal of Environmental Studies*, v. 28, n. 3, 2019.

AZADI, F.; ASHOFTEH, P.; LOÁICIGA, H. A. Reservoir water-quality projections under climate-change conditions. *Water Resources Management*, v. 33, n. 1, p. 401-421, 2019.

BALKANLOU, K. R.; MÜLLER, B.; CORD, A. F.; PANAH, F.; MALEKIAN, A.; JAFARI, M.; EGLI, L. Spatiotemporal dynamics of ecosystem services provision in a degraded ecosystem: A systematic assessment in the Lake Urmia basin, Iran. *Science of the Total Environment*, v. 716, p. 137100, 2020.

BEGHELLI, F. G. S.; SANTOS, A. C. A.; URSO-GUIMARÃES, M. V.; CALIJURI, M. C. Spatial and temporal heterogeneity in a subtropical reservoir and their effects over the benthic macroinvertebrate community. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 26, n. 3, 306-317, 2014.

BIANCHINI JR, I.; FUSHITA, A. T.; CUNHA-SANTINO, M. B. Evaluating the retention capacity of a new subtropical run-of-river reservoir. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 191, n. 3, p. 1-15, 2019.

BURKHARD, B.; KROLL, F.; NEDKOV, S.; MÜLLER, F. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological indicators*, v. 21, p. 17-29, 2012.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. *Revista Ambiente & Água*, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.

CARDOSO-SILVA, S.; FRASCARELI, D.; SILVA, D. C. V. R.; FIGUEIRA, R. C. L.; BITTENCOURT, D.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPÊO, M. An abiotic typology and reference conditions for nutrients and chlorophyll-a in subtropical reservoirs (São Paulo State, Brazil). *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 13, p. 16029-16041, 2021.

COLADELLO, L. F.; GALO, M. L. B.; SHIMABUKURO, M. H.; IVÁNOVA, I.; AWANGE, J. Macrophytes' abundance changes in eutrophicated tropical reservoirs exemplified by Salto Grande (Brazil): Trends and temporal analysis exploiting Landsat remotely sensed data. *Applied Geography*, v. 121, p. 102242, 2020.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. Publicações e relatórios. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em 03 de janeiro de 2022.

COSTANZA, R. Valuing natural capital and ecosystem services toward the goals of efficiency, fairness, and sustainability. *Ecosystem Services*, v. 43, 101096, 2020.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C.; LAMPARELLI, M. C.; MENEGON JR., N. CONAMA Framework Resolution 357/2005: spatial and temporal analysis of water quality legal compliances in rivers and reservoirs from São Paulo state, Brazil (2005-2009). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, p. 159–168, 2013.

CUNHA, D. G. F.; SABOGAL-PAZ, L. P.; DODDS, W. K. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). *Ecological Engineering*, v. 94, p. 516-524, 2016.

CUNHA, D. G. F.; SABOGAL-PAZ, L. P.; DODDS, W. K. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). *Ecological Engineering*, v. 94, p. 516-524, 2016.

CUNHA-SANTINO, M B., BIANCHINI JR, I, 2010. *Ciências do ambiente: conceitos básicos em ecologia e poluição*. São Carlos: EdUFSCar, 2010, 179 p.

CUNHA-SANTINO, M. B.; FUSHITA, A. T.; BIANCHINI JR, I. A modeling approach for a cascade of reservoirs in the Juquiá-Guaçu River (Atlantic Forest, Brazil). *Ecological Modelling*, v. 356, p. 48-58, 2017.

DANELON, A. F.; AUGUSTO, F. G.; SPOLADOR, H. F. S. Water resource quality effects on water treatment costs: An analysis for the Brazilian case. *Ecological Economics*, v. 188, p. 107134, 2021.

DE-CARLI, B. P. et al. Comunidade zooplancônica e sua relação com a qualidade da água em reservatórios do Estado de São Paulo. *Iheringia. Série Zoologia*, v. 108, e2018013, 2018.

DUARTE, G. T.; SANTOS, P. M.; CORNELISSEN, T. G.; RIBEIRO, M. C.; PAGLIA, A. P. The effects of landscape patterns on ecosystem services: meta-analyses of landscape services. *Landscape Ecology*, v. 33, n. 8, p. 1247-1257, 2018.

FONSECA, M. F.; MATIAS, L. F. Análise do uso da terra e do componente clinográfico por meio de geoprocessamento: o entorno do reservatório de Salto Grande - SP. *Boletim de Geografia*, v. 32, n. 3, p. 48 - 60, 2014.

GAZONATO, A. J.; SILVA, L. C.; SAGGIO, A. A.; ROCHA, O. Zooplankton communities as eutrophication bioindicators in tropical reservoirs. *Biota Neotropica*, v. 14, 2014.

GRUCA-ROKOSZ, R.; CIEŚLA, M. Sediment methane production within eutrophic reservoirs: The importance of sedimenting organic matter. *Science of The Total Environment*, v. 799, p. 149219, 2021.

HACKBART, V. C. S.; LIMA, G. T. N. P.; SANTOS, R. F. Theory and practice of water ecosystem services valuation: Where are we going?. *Ecosystem services*, v. 23, p. 218-227, 2017.

IPBES. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 2019. 1148 pp.

KEELER, Bonnie L. et al. Linking water quality and well-being for improved assessment and valuation of ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 109, n. 45, p. 18619-18624, 2012.

KUMAGAI, J. et al. Natural capital for nature's contributions to people: the case of Japan. *Sustainability Science*, p. 1-36, 2021.

LI, Z. et al. Water quality trends in the Three Gorges Reservoir region before and after impoundment (1992–2016). *Ecohydrology & Hydrobiology*, v. 19, n. 3, p. 317-327, 2019.

MACDONALD, G. K.; JARVIE, H. P.; WITHERS, P. J. A.; DOODY, D. G.; KEELER, B. L. Guiding phosphorus stewardship for multiple ecosystem services. *Ecosystem Health and Sustainability*, v. 2, n. 12, p. e01251, 2016.

MARTINS, D.; MARCHI, S. R.; COSTA, N. V.; CARDOSO, L. A.; RODRIGUES-COSTA, A. C. Levantamento de plantas aquáticas no reservatório de Salto Grande, Americana-SP. *Planta Daninha*, v. 29, n. 1, p. 231-236, 2011.

MARTINS, V. S. et al. Remote sensing of large reservoir in the drought years: Implications on surface water change and turbidity variability of Sobradinho reservoir (Northeast Brazil). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 13, p. 275-288, 2019.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J.G. Plankton richness in a eutrophic reservoir (Barra Bonita Reservoir, SP, Brazil). *Hydrobiologia*, v. 542, p. 367–378, 2005.

MEA - MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. *Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005, 137 pp.

MORAES PEDRAZZI, F. J.; CONCEIÇÃO, F. T.; SARDINHA, D. S.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPEO, M. Spatial and temporal quality of water in the Itupararanga Reservoir, Alto Sorocaba Basin (SP), Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, v. 5, n. 01, p. 64, 2013.

MOURA, L. C. S. et al. Phytoplankton richness and abundance in response to seasonality and spatiality in a tropical reservoir. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 33, e13, 2021.

PAIVA, R. F. P. S.; SOUZA, M. F. P. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 34, n. 1, e00017316, 2018.

PERIOTTO, N.A.; TUNDISI, J. G. Ecosystem services of UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa): a new approach for management and planning of dams multiple-uses. *Brazilian Journal of Biology*, v. 73, n. 3, p. 471-482, 2013.

PHAM, H. V.; TORRESAN, S.; CRITTO, A.; MARCOMINI, A. Alteration of freshwater ecosystem services under global change—A review focusing on the Po River basin (Italy) and the Red River basin (Vietnam). *Science of the Total Environment*, v. 652, p. 1347-1365, 2019.

RAULINO, J. B. S.; SILVEIRA, C. S.; LIMA-NETO, I. E. Assessment of climate change impacts on hydrology and water quality of large semiarid reservoirs in Brazil. *Hydrological Sciences Journal*, p. 1321-1336, 2021.

REYNAUD, A.; LANZANOVA, D. A global meta-analysis of the value of ecosystem services provided by lakes. *Ecological Economics*, v. 137, p. 184-194, 2017.

RIETZLER, A. C.; BOTTA, C. R.; RIBEIRO, M. M.; ROCHA, O.; FONSECA, A. L. Accelerated eutrophication and toxicity in tropical reservoir water and sediments: an ecotoxicological approach. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, n. 14, p. 13292-13311, 2018.

RINKE, K.; KELLER, P. S.; KONG, X.; BORCHARDT, D.; WEITERE, M. Ecosystem services from inland waters and their aquatic ecosystems. In: SCHRÖTER M., BONN A., KLOTZ S., SEPPELT R., BAESSLER C. (eds). *Atlas of Ecosystem Services*. Springer, Cham, 2019. p. 191-195.

RODGHER, S.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; ROCHA, O.; FRACÁCIO, R.; PEREIRA, R. H. G.; RODRIGUES, M. H. S. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê river (São Paulo, Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, v. 65, p. 697-710, 2005.

SANTOS, L. G.; MACHADO, L. S.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPEO, M. Os grupos funcionais fitoplancônicos nos reservatórios do Sistema Cantareira, São Paulo, Brasil. *Iheringia Serie Botânica*, v. 73, n. 2, p. 135 - 145, 2018.

SETTY, K. E.; ENAULT, J.; LORET, J.; SERRA, C. P.; MARTIN-ALONSO, J.; BARTRAM, J. Time series study of weather, water quality, and acute gastroenteritis at Water Safety Plan implementation sites in France and Spain. *International journal of hygiene and environmental health*, v. 221, n. 4, p. 714-726, 2018.

SILVA, F. L.; MOITAS, M. L.; BIANCHINI JR., I.; CUNHA-SANTINO, M. B. Qualidade dos sedimentos do rio Monjolinho: índice de geoacumulação. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, v. 4, 79-87, 2016.

SILVA, F. L. et al. Qualidade das águas e hemerobia da bacia do córrego do Mineirinho, São Carlos, SP. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 10, n. 6, p. 1921-1933, 2017.

SILVA, F. L.; SMITH, W. S.; CUNHA-SANTINO, M. B.; BIANCHINI JR, I. Método não monetário para a avaliação dos serviços ecossistêmicos prestados pelas áreas úmidas em áreas urbanas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 1, p. 1-8, 2019.

SMITH, W. S.; PETRERE JR.; M. Fish, Itupararanga Reservoir, Sorocaba River Drainage, São Paulo, Brazil. *Check List*, v. 3, n. 2, p. 131-136, 2007.

SMITH, W. S.; SILVA, F. L.; BIAGIONI, R. C. Desassoreamento de rios: quando o poder público ignora as causas, a biodiversidade e a ciência. *Ambiente & Sociedade*, v. 22, 2019.

SOARES, F. L. C.; OLIVEIRA, A. M. Análise dos impactos ambientais da construção da Barragem Fronteiras nas comunidades rurais do Distrito de Poti do Município de Crateús-CE. *Pensar Geografia*, v. 5, n. 1, p. 55-72, 2021.

SOTERO-SANTOS, R. B.; SILVA, C. R. S. E.; VERANI, N. F.; NONAKA, K. O.; ROCHA, O. Toxicity of a cyanobacteria bloom in barra bonita reservoir (middle tietê river, Sao Paulo, Brazil). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 64, n. 2, p. 163-170, 2006.

SUKHDEV P.; WITTMER, H.; MILLER, D. The Economics of Ecosystems and biodiversity (TEEB): Challenges and Responses. In: Helm, D.; Hepburn, C. (eds). *Nature in the Balance: The Economics of Biodiversity*. Oxford University Press: Oxford, 2014.

TRANMER, A. W. et al. Coupled reservoir-river systems: Lessons from an integrated aquatic ecosystem assessment. *Journal of environmental management*, v. 260, p. 110107, 2020.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ABE, D. S. The ecological dynamics of Barra Bonita (Tietê River, SP, Brazil) reservoir: implications for its biodiversity. *Brazilian Journal of Biology*, v. 68, n° 4, p. 1079 - 1098, 2008.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. E. M. Reservoirs and human well being: new challenges for evaluating impacts and benefits in the neotropics. *Brazilian Journal of Biology*, v. 68, p. 1133-1135, 2008.

VAN HOUTVEN, G.; MANSFIELD, C.; PHANEUF, D. J.; VON HAEFEN, R.; MILSTEAD, B.; KENNEY, M. A.; RECKHOW, K. H. Combining expert elicitation and stated preference methods to value ecosystem services from improved lake water quality. *Ecological Economics*, 99, 40–52, 2014.

WANG, R.; BAI, Y.; ALATALO, J. M.; YANG, Z.; YANG, Z.; YANG, W.; GUO, G. Impacts of rapid urbanization on ecosystem services under different scenarios—A case study in Dianchi Lake Basin, China. *Ecological Indicators*, v. 130, p. 108102, 2021.

WATANABE, F.; RODRIGUES, T.; BERNARDO, N.; ALCÂNTARA, E.; IMAI, N. Drought can cause phytoplankton growth intensification in Barra Bonita reservoir. *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 2, n. 3, p. 1-7, 2016.

WOLDEAB, B. et al. Seasonal and spatial variation of reservoir water quality in the southwest of Ethiopia. *Environmental monitoring and assessment*, v. 190, n. 3, p. 1-13, 2018.

ZHAO, D.; LIU, J. A new approach to assessing the water footprint of hydroelectric power based on allocation of water footprints among reservoir ecosystem services. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, v. 79, p. 40-46, 2015.

ZORZAL-ALMEIDA, S.; SOININEN, J.; BINI, L. M.; BICUDO, D. C. Local environment and connectivity are the main drivers of diatom species composition and trait variation in a set of tropical reservoirs. *Freshwater Biology*, v. 62, n. 9, p. 1551 - 1563, 2017.