



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Impacto urbano nas águas dos lagos bolonha e água preta (Belém, Pará): Um estudo de caso entre os anos de 2011 e 2022

Murylo Augusto Ribeiro Macedo¹, Adriano Joaquim Neves Souza², Talissa Gertrudes Namias Tocantins Souza³, Tatiane Priscila Bastos Bandeira⁴, Thais Deise Tocantins Souza Oliveira⁵, Karina Ferreira Castro Mesquita⁶, José Almir Rodrigues Pereira⁷, Maria de Lourdes Souza Santos⁸

¹Discente do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, Engenheiro Sanitarista pela Universidade do Estado do Pará. Discente do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais. E-mail: macedomurylo@hotmail.com Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-0179-3669>

²Discente do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, Engenheiro de Pesca pela Universidade Rural da Amazônia. Discente do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais. E-mail: ad.aga13@gmail.com Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-6512-5830>

³Discente do curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Energia Renováveis, Universidade Federal Rural da Amazônia, E-mail: tmamias@gmail.com Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-2418-1788>

⁴Discente do curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Energia Renováveis da Universidade Federal Rural da Amazônia. E-mail: tatiabastosbandeira@gmail.com Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-0093-8069>

⁵Discente do curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Energia Renováveis da Universidade Federal Rural da Amazônia. E-mail: thaisdeise25@gmail.com Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-5150-109X>

⁶Graduação em Engenharia Sanitária. Mestre em Engenharia Civil, linha de pesquisa Saneamento e Infra-estrutura Urbana. Atualmente é professora do IFPA campus Abaetetuba. E-mail: kfcmesquita@gmail.com Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-5672-5989>

⁷Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC-USP), Mestre em Recursos Hídricos (UFPA) e Engenheiro Sanitarista (UFPA). Atualmente é Professor Titular da Universidade Federal do Pará. E-mail: rpereira@ufpa.br Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-3144-1787>

⁸Graduada em Química Industrial pela Universidade Federal do Pará. Mestrado e doutorado em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: mdelssantos@yahoo.com.br Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-2797-6014>

Artigo recebido em 18/07/2023 e aceito em 08/01/2024

RESUMO

No município de Belém, capital do estado do Pará, encontra-se os Lagos Água Preta e Bolonha, utilizados como fonte de fornecimento de água para parte da população da Região Metropolitana de Belém (RMB). Apesar da importância destes mananciais, a área da bacia do rio Murucutu encontra-se antropizada, principalmente devido aos impactos causados pelo crescimento urbano. Partindo dessa premissa, este trabalho teve por objetivo realizar um levantamento bibliográfico referentes a qualidade da água dos Lagos Água Preta e Bolonha, e compreender como as ações humanas comprometem a manutenção desses recursos. Para a execução do estudo, realizou-se uma revisão bibliográfica em publicações científicas, nacionais e internacionais, indexada nas bases de dados SCIELO e Google Acadêmico, entre o período de 2011 e 2022. Foram encontrados 17 trabalhos referentes à temática proposta e pode-se notar que os lagos são fundamentais para o abastecimento público da RMB, nos entanto, próximo aos lagos bacia estão localizados vários bairros que causam pressão urbana em seu entorno, situação que causa diversos problemas, tanto sociais quanto ambientais. Falta ainda dados de um programa de monitoramento das águas dos lagos. Contudo, apesar dos fortes impactos ambientais descritos na literatura, os lagos ainda conseguem manter o abastecimento da região.

Palavras-chave: Impactos ambientais. Região Metropolitana de Belém. Expansão urbana.

Urban impact on the water of lakes bolonha and água preta (Belém, Pará): A case study between the years 2011 and 2022

ABSTRACT

In the municipality of Belém, capital of the state of Pará, there are Lakes Água Preta and Bolonha, used as a source of water supply for part of the population of the Metropolitan Region of Belém (RMB). Despite the importance of these sources, the area of the Murucutu river basin is anthropized, mainly due to the impacts caused by urban growth. Based on this premise, this work aimed to carry out a bibliographical survey regarding the water quality of Lakes Água Preta and Bolonha, and to understand how human actions compromise the maintenance of these resources. For the execution of the study, a bibliographic review was carried out in scientific, national and international publications, indexed in the SCIELO and Google Scholar databases, between the period of 2011 and 2022. It should be noted that the lakes are fundamental for the public supply of the RMB, however, close to the basin lakes are located several neighborhoods that cause urban

pressure in their surroundings, a situation that causes several problems, both social and environmental. There is still a lack of data from a lake water monitoring program. However, despite the strong environmental impacts described in the literature, the lakes still manage to supply the region.

Keywords: Environmental impacts. Metropolitan Region of Belem. Urban expansion.

Introdução

A água é recurso natural fundamental à vida e à maioria das atividades produtivas e energéticas desenvolvidas no mundo. Este recurso natural exerce um papel fundamental à vida do planeta e sua escassez pode gerar danos inimagináveis (Melo e Oliveira, 2022). Este recurso encontra-se nas formas líquida, sólida e gasosa, em oceanos, rios, lagos, calotas polares e na própria atmosfera.

Na superfície da Terra a água está distribuída entre água doce e água salgada. Aproximadamente 97,0% correspondem as águas salgadas e 3,0% águas doces, distribuídos em 2,5% de água doce congeladas em geleiras e calotas polares (água em estado sólido) e somente 0,5% em água doce disponível correspondendo a 1,39 bilhões de km³ (Melo e Oliveira, 2022).

A presença na superfície da terra se fundamenta no ciclo hidrológico, cujo resultado é o escoamento de 42.700 Km³/ano de água pelos rios, distribuídos de forma irregular, gerando áreas de notável abundância como, por exemplo, a Amazônia e outras de elevado estresse hídrico como as regiões do norte da África e da Península Arábica (Silva e Pereira, 2019).

No entanto, apesar do conhecimento da importância dos recursos hídricos para o desenvolvimento das cidades, a poluição desses recursos é uma consequência dessa expansão, isso porque o modo como as cidades são geridas produz altas cargas poluidoras geradas por esgotos domésticos e industriais. O déficit do saneamento básico aliado à expansão das cidades está ligado à degradação qualitativa dos corpos hídricos, sobretudo nas áreas mais urbanizadas do Brasil. Esse quadro resulta em uma situação de ciclo vicioso, em que quanto mais a população cresce nas cidades, maior a demanda por água e a geração de efluentes potencialmente contaminantes (Peixoto et al., 2022).

E a fim de promover ações de planejamento e manejo dos recursos hídricos no Brasil, foi criada a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH instituída pela Lei Federal Nº 9.433 de 1997, que definiu a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e a gestão dos recursos hídricos

que deve ser descentralizada e contar com participação do poder público, dos usuários e das comunidades. A bacia hidrográfica é a unidade ideal para a gestão de recursos naturais e para mitigação do impacto de desastres naturais e de origem antrópica (Carvalho, 2020).

As bacias hidrográficas envolvem explicitamente o conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes. São caracterizadas também por sua grande importância econômica para as populações em geral e em especial por serem, de alguma forma, a intersecção entre os diversos fatores que compõem o meio físico, químico, biológico e antrópico (Santos e D'Esquivel, 2022).

Nesse contexto, com a concepção que a bacia hidrográfica é a unidade de gestão e planejamento dos recursos hídricos, o manejo da bacia deve ser realizado com medidas que tenham como objetivos a implementação de estratégias conservacionistas, melhorias no saneamento ambiental, além da articulação entre todos os instrumentos existentes, logo, o manejo de bacias hidrográficas assegura a manutenção dos usos múltiplos da água e a continuidade da prestação dos serviços fornecidos pelos ecossistemas aquáticos a toda sociedade (Silva et al., 2021).

Porém, o crescimento desordenado das cidades, associado à baixa infraestrutura no saneamento básico, provoca a impermeabilização do solo, facilitando o escoamento superficial em maior intensidade, levando materiais orgânicos e inorgânicos, incluindo nutrientes, em excesso para os rios, ocasionando a degradação do recurso hídrico (Souto et al., 2019).

No município de Belém, capital do estado do Pará, encontra-se a bacia do rio Murucutu, com destaque por conter os lagos Água Preta e Bolonha, utilizados como fonte de fornecimento de água para grande parte da população da Região Metropolitana de Belém (RMB).

Esta bacia também se encontra em uma Área de Proteção Ambiental (APA) da Região Metropolitana de Belém (RMB), além de conter o Parque Estadual do Utinga (PEUt) que foi criado com o objetivo de proteger os mananciais de abastecimento de água da RMB (lagos Bolonha e Água Preta), a grande extensão e a existência de áreas urbanas ao redor do parque tornam difícil um

controle concreto e eficaz do mesmo (Brasil et al., 2021).

Dessa forma, a preocupação com a qualidade da água é constantemente ressaltada em cidades com altas taxas de expansão, infraestrutura deficiente e controle populacional reduzido. Partindo dessa premissa, este trabalho tem por objetivo realizar um levantamento bibliográfico referentes a qualidade da água dos lagos Água Preta e Bolonha, situados no município de Belém-PA, e compreender como as ações humanas comprometem a manutenção desses recursos.

Material e métodos

Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Murucutu (Figura 1) está inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) da Região Metropolitana de Belém, onde tem grande importância socioambiental por englobar o Parque Estadual do Utinga - PEUt, e os lagos Bolonha e Água Preta.

A APA Belém foi criada por meio do Decreto Estadual nº 1.551, de 03 de maio de 1993, com principais objetivos de: a) promover a recuperação das áreas degradadas, incluindo o seu reflorestamento, b) ordenar com base em critérios urbanísticos e ecológicos, o uso do solo, c) assegurar a potabilidade da água dos mananciais, através da restauração e da manutenção da qualidade ambiental dos lagos Bolonha e Água Preta, d) preservar a biodiversidade representada pelas plantas, animais e ecossistemas das florestas de várzea, igapó e terra firme, remanescentes e em estágio de sucessão, e promover sua recuperação e, e) preservar o Sítio Histórico do Engenho do Murutucu (Brasil et al., 2021).

Contudo, o processo desordenado de ocupação urbana do entorno do PEUt e as dificuldades ligadas aos aspectos jurídicos e operacionais da gestão ambiental edificam uma discussão sobre as diferentes estratégias de uso do parque urbano na região a partir da sobreposição de territórios e os impactos na paisagem (Souza et al., 2020).

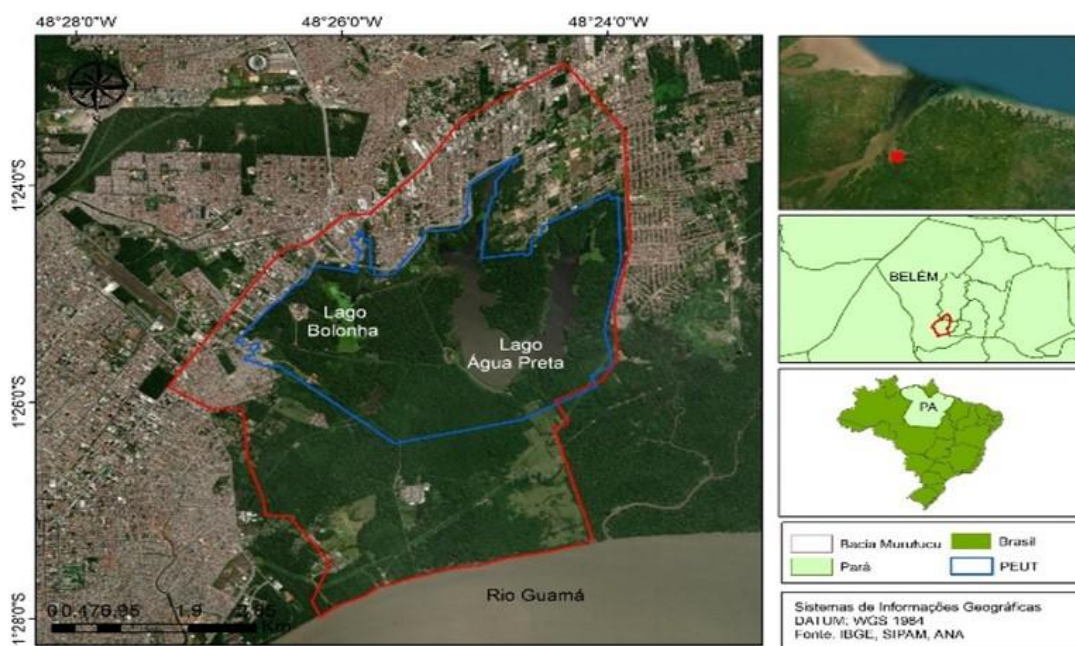


Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Murucutu, PEUt, lagos Bolonha e Água Preta (Belém, PA).

O clima na Região Metropolitana de Belém, segundo a classificação de Köppen é tropical úmido, caracterizado por chuvas abundantes durante o ano todo com precipitação média anual acima de 2000 mm, onde independentemente do mês, a precipitação mensal na região é superior a 60 mm, além da ausência de um período seco definido (Viana et al., 2020).

Varela et al. (2020) descreveram a precipitação entre os anos de 2018 e 2019 e

comparam com a série dos últimos 40 anos (Figura 2) para o município de Belém, com base nos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação pluviométrica de Belém-PA, e observaram a influência direta da sazonalidade local nos dados de temperatura e oxigênio dissolvido nas águas do rio Guamá.

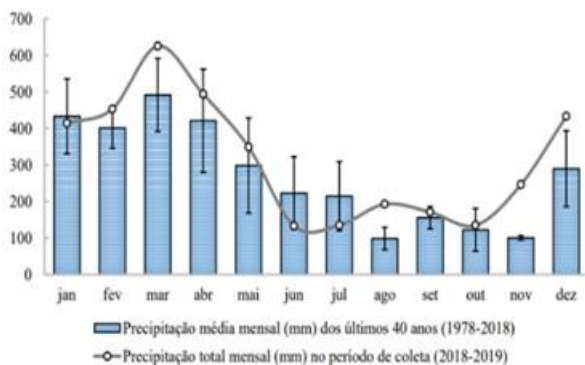


Figura 2: Precipitação pluviométrica no município de Belém, com o total mensal no período de estudo (2018 a 2019) e a média mensal dos últimos 40 anos (1978 a 2018).

Fonte: Varela et al., 2020.

A cidade de Belém está localizada na embocadura de um braço do delta Amazônico, na Baía do Guajará, próximo à linha do Equador, às margens da Baía do Guajará e do rio Guamá, distante 120 quilômetros do mar no estuário do rio Pará (Alencar et al., 2019).

A bacia hidrográfica do rio Guamá, que passa por um acentuado processo de degradação de seus recursos, ocasionados por ações antrópicas. A bacia está situada entre os paralelos 2°40'S e 0°40'S e meridianos 48°45'W e 46°45'W e inserida na Região Hidrográfica Costa Atlântica - Nordeste, segundo a resolução nº 04/2008 do Conselho de Recursos Hídricos do Estado do Pará, mostrando-se como área de grande circulação econômica, composta pela Região Metropolitana de Belém (RMB) e outros municípios com desenvolvimento voltado a indústria, mineração, comércio e agropecuária (Rocha e Lima, 2022).

O rio Capim é o principal afluente do rio Guamá, drenando uma menor área do território maranhense, e os rios Moju e Acará apresentam sua foz integrada a do rio Guamá, todos com regime de maré associado (Dias e Lima, 2019; Ferreira et al., 2020). De modo geral, a unidade hídrica que compõe a totalidade da bacia do rio Guamá é formada por um conjunto de microbacias, que dadas as suas dimensões, têm comportamento e dinâmicas próprias (Rocha e Lima, 2022).

A água bruta do rio Guamá é bombeada e aduzida para o lago Água Preta (cerca de 9.905.000.m³), seguida de descarga de água para o lago Bolonha (cerca de 1.954.000 m³) por gravidade (Oliveira et al., 2018). Além disso, o lago Bolonha também recebe água de chuva, água subterrânea e água drenada em sua bacia hidrográfica (rio Aurá, trecho dos igarapés Tucunduba e Uriboquinha, sub-bacias dos rios Murucutum e Água Preta). Juntos, estes lagos são

responsáveis pelo abastecimento de água de 70% da população de Belém e 30% da população de Ananindeua (Mourão e Pereira, 2020).

Gonçalves et al. (2015) descreveram a caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica dos lagos Bolonha e Água Preta, obtidos por técnicas de geoprocessamento (tabela 1), como:

- A microbacia hidrográfica dos lagos Bolonha e Água Preta tem configuração geométrica não circular;
- A bacia tende a ser mais alongada, o que favorece o processo de escoamento superficial;
- O índice de sinuosidade indicou que a microbacia hidrográfica dos lagos Bolonha e Água Preta apresentaram possibilidades de acúmulo de sedimentos ao fundo de seu corpo d'água;
- A baixa densidade de drenagem da bacia possibilita o menor escoamento de águas da chuva para o interior da bacia.

Os lagos são utilizados para três finalidades principais: a) armazenar água durante o período de menores precipitações pluviométricas, quando a demanda de água pela população é aproximadamente igual ao volume distribuído; b) diluir as maiores concentrações de cloreto da água do rio Guamá, se houver e c) melhorar a clarificação da água armazenada, devido à sedimentação (Rodrigues e Matos, 2018).

Os lagos Água Preta e Bolonha estão comprometidos pela eliminação desenfreada da cobertura vegetal, a qual aumenta o escoamento superficial e o carreamento de sedimentos para os lagos, a isso soma-se também o acúmulo e lançamento irresponsável de resíduos (sólidos e líquidos) pelas populações residentes dos novos bairros periféricos, surgidos às proximidades dos mananciais de abastecimento (Rodrigues e Matos, 2018). A redução da vegetação ao entorno dos lagos Bolonha e Água Preta, devido à pressão urbana, aumentou o escoamento superficial, além transportar mais sedimentos para os lagos, impactando diretamente suas qualidades (Castro, 2020).

Tabela 1: Características dimensionais da microbacia dos lagos Bolonha e Água Preta.

Parâmetros morfométricos	Resultados
Parâmetros calculados	
Coeficiente de compacidade (kc)	1,71
Fator de Forma (Ff)	0,27
Índice de circularidade (Ic)	0,34
Densidade de drenagem (Dd)	0,28
(Km/Km ²)	
Índice de sinuosidade (Is)	1,43
Dados obtidos	Valor

Área da bacia	29,42
Perímetro da Bacia (Km)	33,15
Comprimento do rio principal (Km)	14,99
Declividade máxima (%)	11,78
Declividade mínima (%)	0,65
Declividade média (%)	6,21
Altitude máxima (m)	197
Altitude mínima (m)	159
Altitude média (m)	179,56
Amplitude (m)	38
Ordem da bacia	3

Fonte: Gonçalves et al., 2015.

Apesar dos esforços institucionais para minimizar os impactos nos mananciais, várias modificações no ambiente natural próximo ao lago Bolonha foram identificadas nos últimos dez anos, sendo elas: expansão urbana desordenada, falta de infraestrutura em saneamento, extensão da Avenida João Paulo II e obras de engenharia no Parque Ambiental do Utinga (Mourão e Pereira, 2020).

Outro fator preocupante atrelado a qualidade da água dos lagos Bolonha e Água Preta é a falta de rede coletora de esgoto sanitário, pois o esgoto bruto é lançado diretamente no solo e na rede de microdrenagem de águas pluviais. Apesar de vários moradores terem cavado fossas sanitárias, a maioria das pessoas não possui nenhuma rede de eliminação de efluentes de armários ou cozinhas. O esgoto atinge frequentemente os corpos d'água da APA Belém, e a falta de coleta de esgoto sanitário também pode contaminar as águas subterrâneas com grandes riscos para os habitantes que consomem a água e para os lagos que podem ser contaminados pelo aquífero subterrâneo (Mourão e Pereira, 2020).

As concentrações de nutrientes e matéria orgânica encontradas nos sedimentos do lago Água Preta foram em áreas com o entorno intensamente urbanizado, apontando o lançamento de esgotos domésticos e industriais como a fonte de maior contribuição de nitrogênio e fósforo para o manancial (Oliveira et al., 2018).

Levantamento bibliográfico

Para a elaboração dessa pesquisa, foi realizada uma revisão sistemática das publicações científicas sobre a qualidade da água das bacias hidrográficas no estado do Pará. Foram delimitadas as bases de dados internacionais de produção científica a serem utilizadas na busca dos artigos, sendo: *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO) e *Google Scholar*. Também foi realizada uma pesquisa de literatura cinzenta, que inclui teses e dissertações, anais de conferências, boletins informativos, entre outros, além de buscar informações em livros e legislações pertinentes a temática.

Como filtro da busca, foi utilizado a data de publicação (01 de janeiro 2011 a 31 de dezembro de 2022) e o idioma (português e inglês). De todos os artigos e demais literaturas que foram retornadas, avaliaram-se também os títulos, resumo e palavras-chave, tendo como propósito a inclusão e/ou exclusão (trabalhos que não estavam relacionados com o escopo do presente estudo). Ao fim desse processo, 29 trabalhos científicos se enquadraram nos parâmetros de amostragem da revisão sistemática (Figura 3). Com base na aplicação de descritores bibliométricos em ambas as plataformas de dados – SCIELO e *Google Scholar* – foi recuperado um total de 17 artigos.

A distribuição desses documentos (ordenados por ano de publicação) é explorada na figura 4, mostrando um avanço na pesquisa desse tema ao longo dos anos. Observa-se que o maior número de publicações, foi registrado nos anos de 2015 e 2020, e artigo foi encontrado para os anos de 2016, relacionado a qualidade da água e ambiental.

Esse aumento do número de estudos sobre a qualidade dos lagos Bolonha e Água Preta, pode estar relacionado a expansão urbana desordenada no entorno dos lagos, somado também a degradação ambiental e mudanças climáticas e como estes fatores afetam a dinâmica dos mananciais que abastecem grandes regiões metropolitanas.

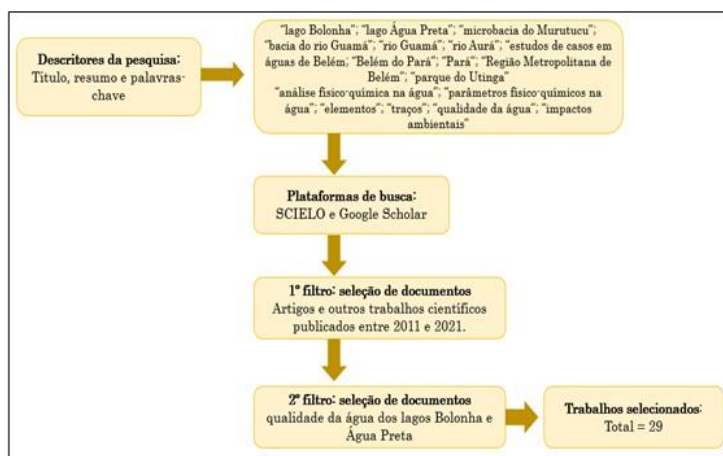


Figura 3: Procedimentos estabelecidos para executar levantamento bibliográfico sobre a qualidade da água dos Lagos Bolonha e Água Preta.

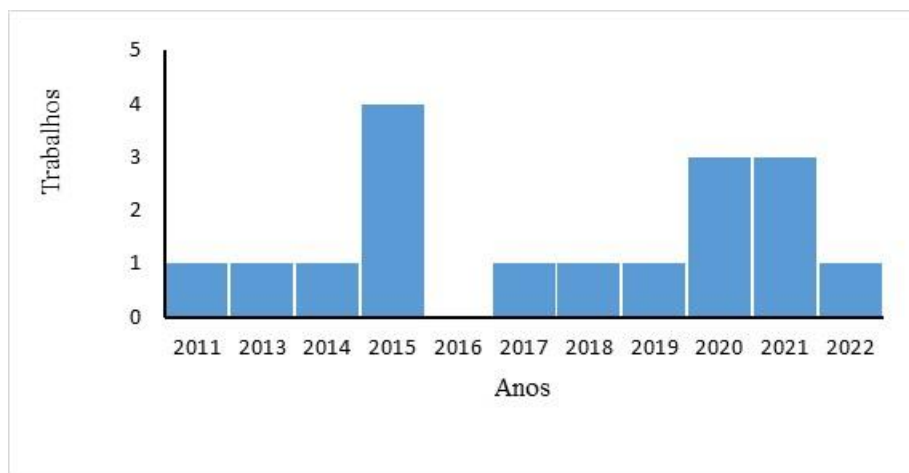


Figura 4: Evolução temporal das publicações da qualidade da água e ambiental dos lagos Bolonha e Água Preta.

Resultados e discussão

Qualidade da Água

Qualidade da água é um termo geral usado para descrever uma ampla gama de características físicas, químicas e biológicas. Estes incluem sua cor e sabor, bem como a concentração de sólidos suspensos, temperatura, pH, alcalinidade, as concentrações de nutrientes naturais, matéria orgânica e íons minerais, concentrações de metais potencialmente tóxicos e compostos orgânicos sintéticos, concentração de oxigênio dissolvido e a presença de micróbios derivados de fezes, incluindo patógenos humanos e animais (Whelan et al., 2022).

CETESB (2021) descreve o significado ambiental de variáveis físicas, químicas, biológicas e microbiológicas relacionadas a qualidade da água, e algumas variáveis são descritas abaixo:

- Cor: a cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à

presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. O problema maior de cor na água é, em geral, o estético, já que causa um efeito repulsivo na população.

- Condutividade: a condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a $100 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ indicam ambientes impactados.

- Série de sólidos: nos estudos de controle de poluição das águas naturais, principalmente nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos). Para o recurso hídrico, os sólidos podem causar danos aos

peixes e à vida aquática. Eles podem sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. Altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas.

- Temperatura: variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoeletricas.

- Transparência: a partir da medida do disco de Secchi, é possível estimar a profundidade da zona fótica, ou seja, a profundidade de penetração vertical da luz solar na coluna de água, que indica o nível da atividade fotossintética de lagos ou reservatórios.

- Turbidez: alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água.

- Alcalinidade: alcalinidade de uma amostra de água pode ser definida como sua capacidade de reagir quantitativamente com um ácido forte até um valor definido de pH. Os carbonatos e hidróxidos podem aparecer em águas onde ocorrem florações de algas (eutrofização), sendo que em período de intensa insolação o saldo da fotossíntese em relação à respiração é grande e a retirada de gás carbônico provoca elevação de pH para valores que chegam a atingir 10 unidades. A principal fonte de alcalinidade de hidróxidos em águas naturais decorre da descarga de efluentes de indústrias, onde se empregam bases fortes como soda cáustica e cal hidratada. Em águas tratadas, pode-se registrar a presença de alcalinidade de hidróxidos em águas abrandadas pela cal.

- Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO: a DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem

predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis e, ainda, pode obstruir os filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água.

- Fósforo total: o fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais.

- Oxigênio dissolvido: num corpo de água eutrofizado, o crescimento excessivo de algas pode “mascarar” a avaliação do grau de poluição de uma água, quando se toma por base apenas a concentração de oxigênio dissolvido. Sob este aspecto, águas poluídas são aquelas que apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido (devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos), enquanto que as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido elevadas, chegando até a um pouco abaixo da concentração de saturação.

- Potencial Hidrogeniônico – pH: a influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, tanto de acordo com a legislação federal, quanto pela legislação do Estado de São Paulo. Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9.

- Série de Nitrogênio (nitrogênio orgânico, amônia, nitrato e nitrito): as fontes de nitrogênio nas águas naturais são diversas. Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da ureia na água. Alguns efluentes industriais também concorrem para as descargas de nitrogênio

orgânico e amoniacal nas águas, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes. A atmosfera é outra fonte importante devido a diversos mecanismos como a biofixação desempenhada por bactérias e algas presentes nos corpos hídricos, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; a fixação química, reação que depende da presença de luz, também acarreta a presença de amônia e nitratos nas águas, pois a chuva transporta tais substâncias, bem como as partículas contendo nitrogênio orgânico para os corpos hídricos. Nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio. Também nas áreas urbanas, a drenagem das águas pluviais, associada às deficiências do sistema de limpeza pública, constitui fonte difusa de difícil caracterização.

A qualidade da água é controlada naturalmente pela quantidade e origem da precipitação e pelo contato entre a água e a vegetação, o solo e a rocha por onde ela percorre os caminhos hidrológicos até os aquíferos, córregos, rios e lagos, além de fatores antropogênicos. Estes incluem a emissão acidental e intencional de resíduos industriais e municipais e águas residuais (que podem conter uma variedade de poluentes), transferências de fontes difusas de poluentes de áreas agrícolas e urbanas e deposição atmosférica de poluentes transportados pelo ar (CETESB, 2021).

Essas influências antropogênicas variam no espaço e no tempo. No curto prazo, variam com os padrões climáticos, como chuva e evapotranspiração, que controlam a sazonalidade do déficit hídrico do solo, a magnitude e os caminhos do escoamento e a vazão do rio (que fornece diluição e influencia a temperatura da água). A médio e longo prazo, variam com o tamanho da população, tipo e intensidade da atividade industrial, provisão e tipo de tratamento de águas residuais, natureza e escala do desenvolvimento urbano, projetos de esgoto e com as práticas agrícolas ou florestais predominantes (CETESB, 2021).

Nesse contexto, os parâmetros da qualidade da água funcionam como uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos. No Brasil a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições

e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Esta resolução enquadra os corpos d'água em águas doces, salobras e salinas, conforme os valores de salinidade, e classifica em classe especial, classe 1, classe 2 e classe 3, conforme seu uso.

Lagos Bolonha e Água Preta

As águas dos lagos Bolonha e Água Preta foram enquadradas dentro da Resolução CONAMA 357/2005 como águas doces (águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰), classe II (Vasconcelos e Souza, 2011; Silva et al., 2014; Brito et al., 2020). Esta classe é descrita dentro da referida Resolução como águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

As águas dos lagos Bolonha e Água Preta se enquadram nas águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional.

O tratamento da água oriunda dos lagos é feito na Estação de Tratamento de Água - ETA Bolonha, ela foi projetada com uma capacidade nominal de 6,4 m³.s⁻¹ e é responsável pelo abastecimento da maior parte da Região Metropolitana de Belém - RMB. É uma ETA de ciclo completo e foi implantada em duas etapas. A primeira (1ª) foi inaugurada em 1986 e a segunda (2ª) em 2010, ambas com capacidade nominal de 3,2 m³.s⁻¹ (Chaves et al., 2021).

As seguintes etapas de tratamento da água são empregadas na ETA Bolonha (Fenzel et al., 2018):

- a) Unidade de mistura rápida: um coagulante, geralmente sulfato de alumínio, é misturado na água num tempo muito curto e de forma homogênea;
- b) Unidade de floculação: o coagulante transforma as impurezas que se encontram em suspensão, em estado coloidal e dissolvidas, em partículas que possam ser removidas por sedimentação ou filtração;
- c) Unidade de decantação: após passar pela câmara de floculação os flocos com densidade maior sedimentam por gravidade no fundo dos tanques de decantação;

d) Unidade de filtração: as impurezas que não são decantadas podem ser retidas nos leitos filtrantes, que geralmente são de areia, ou antracito ou outro material;

e) Unidade de Desinfecção: as bactérias patogênicas e outros microorganismos são eliminados, tornando a água potável atendendo as normas do Ministério da Saúde.

Os parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga foram caracterizados com dados obtidos entre janeiro de 2007 e setembro de 2009, em três pontos, ponto 1 às margens do rio Guamá, na estação de captação, o segundo foi retirado na parte central à esquerda do lago Água Preta, e o terceiro localizado no lago Bolonha na parte central. Os resultados obtidos mostraram que a população residente nas proximidades do lago Bolonha apresentava deficiência de atendimento em relação ao saneamento básico. Valores das variáveis cor e turbidez dos lagos Bolonha e Água Preta aumentaram nos meses de maior precipitação, e o aumento dos valores desses parâmetros foi relacionado à maior produção de resíduos sólidos, esgotos e poluentes que eram lançados no corpo d'água ou levados pelas chuvas até os lagos (Vasconcelos e Souza, 2011).

A influência da expansão urbana na qualidade da água do lago Água Preta foi avaliada com base de dados físicos e químicos e também com a aplicação do índice de estado trófico - IET. As águas superficiais foram caracterizadas como típicas de regiões tropicais, sem variações térmicas acentuadas entre os períodos sazonais da região, e com valores de pH da região Amazônica (Santos et al., 2013).

O IET tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas e cianobactérias. Três variáveis são utilizadas para o cálculo do Índice do Estado Trófico: clorofila *a* fósforo total e transparência da água. No entanto, apenas duas clorofilas *a* e fósforo total são utilizados, uma vez que os valores de transparência muitas vezes não são representativos do estado de trofia, pois esta pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos, além de muitas vezes não se dispor desses dados (CETESB, 2021).

O IET permite classificar os corpos de água nos seguintes graus de trofia (CETESB, 2021):

- $IET \leq 47$ - Ultraoligotrófico;
- $47 < IET \leq 52$ - Oligotrófico;
- $52 < IET \leq 59$ - Mesotrófico;
- $59 < IET \leq 63$ - Eutrófico;

- $63 < IET \leq 67$ - Supereutrófico;

- $IET > 67$ - Hipereutrófico.

As características do estado trófico foram descritas por Barreto et al. (2013):

- Ultraoligotrófico: Corpos de água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.

- Oligotrófico: Corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, pela presença de nutrientes.

- Mesotrófico: Corpos de água com produtividade intermediária e possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.

- Eutrófico: Corpos de água com alta produtividade e redução da transparência, afetados por atividades antrópicas, ocorrendo alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.

- Supereutrófico: Corpos de água com alta produtividade, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, com frequentes alterações indesejáveis na qualidade da água, como florações de algas e interferências nos seus múltiplos usos.

- Hipereutrófico: Corpos de água afetados pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Os resultados correspondentes ao fósforo, IET(P), devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo. A avaliação correspondente à clorofila *a*, IET(CL), por sua vez, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas que tem lugar em suas águas. Assim, o índice médio engloba, de forma satisfatória, a causa e o efeito do processo. Deve-se ter em conta que num corpo hídrico, em que o processo de eutrofização encontra-se plenamente estabelecido, o estado trófico determinado pelo índice da clorofila *a* certamente coincidirá com o estado trófico determinado pelo índice do fósforo. Já nos corpos hídricos em que o processo esteja limitado por fatores ambientais, como a temperatura da água ou a baixa transparência, o índice relativo à clorofila *a* irá refletir esse fato,

classificando o estado trófico em um nível de menor trofia àquele determinado pelo índice do fósforo (CETESB, 2021).

O lago Água Preta foi descrito como um ambiente eutrófico, e foi ressaltado que medidas como manejo e preservação através da identificação e tratamento de fontes pontuais e não pontuais de poluição eram necessárias para que as condições ambientais naturais deste recurso hídrico não fossem modificadas (Santos et al., 2013).

No processo de apropriação e uso dos recursos hídricos a sociedade acaba por alterar a qualidade da água de ecossistemas aquáticos, provocando assim, a degradação ambiental. Dentre os problemas ambientais gerados tem-se a eutrofização. O processo de eutrofização é considerado atualmente como um problema existente em diversos ecossistemas aquáticos no mundo, pois atinge lagos, represas, rios e águas costeiras de todo planeta, constitui um problema ambiental significativamente difundido. A eutrofização tem gerado inúmeras perdas da biodiversidade, redução da qualidade da água e, por sua vez, baixa disponibilidade e, consequentemente, tem provocado riscos à saúde humana e de animais (Santos e Medeiros, 2023).

Os efeitos causados pela eutrofização cultural ou artificial foram descritos por Smith e Schindler (2009), para lagos, reservatórios, rios e ecossistemas costeiros:

- Aumento da biomassa de fitoplâncton e vegetação macrófita;
- Aumento da biomassa de espécies consumidoras;
- Mudanças para espécies de algas formadoras de floração que podem ser tóxicas ou não comestíveis;
- Aumento de *blooms* de zooplâncton gelatinoso (ambientes marinhos);
- Aumento da biomassa de algas bentônicas e epífitas;
- Mudanças na composição de espécies da vegetação macrófita;
- Declínios na saúde dos recifes de coral e perda de comunidades de recifes de coral;
- Aumento da incidência de mortes de peixes;
- Reduções na diversidade de espécies;
- Reduções na biomassa de peixes e mariscos colhidos;
- Diminuição da transparência da água;
- Problemas de sabor, odor e tratamento de água potável;
- Depleção de oxigênio;
- Diminuição do valor estético percebido do corpo d'água.

No Brasil e também em grande parte dos países em desenvolvimento, a falta de saneamento básico adequado tem caracterizado um quadro de

possibilidade e contribuição para que o processo de eutrofização ocorra com mais significância. A existência de efluentes domésticos e/ou industriais lançando, diretamente, sem tratamento prévio, material nos cursos de água é um dos variados exemplos. Tais aportes de matéria orgânica e poluentes tem contribuído para a eutrofização em diversos ambientes aquáticos (Santos e Medeiros, 2023).

Entre os efeitos da eutrofização o crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas, toxicidade de algas, morte maciça de peixes e crustáceos selvagens e de criação; doenças e mortes de aves marinhas e mamíferos, mudanças de habitat e estrutura nutricional, questões estéticas e recreativas, consumo de oxigênio dissolvido, aumento de custos, redução da capacidade de transporte, além de causar a contaminação das águas para o consumo humano (Gadelha et al., 2022).

O crescimento das algas pode causar vários problemas, como gosto e odor desagradáveis, entupimento de filtros e promoção do aparecimento de precursores de subprodutos da desinfecção, ocasionando o declínio na qualidade da água potável. A remoção de algas em sistemas de tratamento de água é difícil devido ao seu tamanho pequeno e baixa densidade específica. Vários relatórios de pesquisa afirmam que o pré-tratamento com oxidantes como ozônio, cloro, permanganato de potássio e ferrato de potássio pode melhorar o processo de coagulação e remover algas e outras substâncias (Gadelha et al., 2022).

A avaliação da qualidade das águas superficiais dos lagos também foi feita com a aplicação do Índice de Qualidade da Água – IQA (Silva et al., 2014).

O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. São utilizados nove parâmetros no cálculo do IQA (oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, nitrogênio total, fósforo total e resíduo total), que refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos. É importante também salientar que este índice foi desenvolvido para avaliar a qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para o abastecimento público, considerando aspectos relativos ao tratamento dessas águas. Os valores do IQA variam entre 0 e 100 e indicam (CETESB, 2021) que a água pode ser considerada como:

- 79 a 100 - Ótima;
- 51 a 79 - Boa;

- 36 a 51 - Regular;
- 19 a 36 - Ruim;
- 0 a 19 - Péssima.

Os valores de IQA encontrados para os lagos ficaram entre aceitáveis e ótimo. No entanto parâmetros, como por exemplo, o fósforo total, as concentrações ficaram fora ao estipulado pela Resolução CONAMA 357/2005 para ambientes lênticos, águas doces, Classe 2, até 0,030 mg/L P (Silva et al., 2014).

Araújo Júnior (2015a) mostrou a partir de indicadores da qualidade da água os impactos do uso do solo nas proximidades do lago Bolonha. Segundo o autor, o espelho d'água do lago vem sendo tomado por macrófitas, a espécie encontrada no lago é predominantemente de aguapés (*Eichhornia crassipes Solms*) e seu surgimento pode estar ligado tanto a própria dinâmica do meio físico ou quanto ao aporte de nutrientes em razão da ocupação 'desordenada' as margens do lago, ou as duas atuando conjuntamente. Essa proliferação de macrófitas em altas densidades podem comprometer a qualidade das águas destes lagos, causando restrições ao seu tratamento e distribuição. Também descreveram que no período de 1960-1990 a cidade de Belém e sua região metropolitana tiveram um "progresso" em ritmo acelerado, provocando distorções na ocupação da terra, no planejamento e, mormente, nos sistemas de saneamento básico, os quais não conseguiam acompanhar este ritmo.

Mudanças no lago Bolonha, no período de 1998 a 2010, foram descritas com a utilização de técnicas de geoprocessamento e levantamentos bibliográficos, foi verificado uma alta ocorrência de macrófitas nesse lago o que evidenciou a concentração de nutrientes propiciadores à sua proliferação, os quais comprometem a rede de abastecimento hídrico, uma vez que a decomposição de matéria orgânica ocasiona a desoxigenação da água, tornando-a menos adequada a ingestão humana, pois está agora passa a ser composta por outras substâncias que em excesso podem comprometer seus consumidores (Araújo Júnior, 2015b).

O Sistema de Informação Geográfica-SIG foi utilizado na modelagem da microbacia hidrográfica dos mananciais Bolonha e Água Preta e a qualidade da água também foi avaliada para subsidiar ações eficazes no que tange o gerenciamento dessa microbacia, por meio de cálculos dos parâmetros morfométricos, da qualidade da água e do índice de estado trófico. Os índices de forma e de compacidade apontaram que a bacia não estaria propensa a enchentes, enquanto, o índice de circularidade expôs que a bacia tende a

ser mais alongada, favorecendo o escoamento superficial. Também foi detectado a partir de análises química da água, valores fora dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para oxigênio dissolvido, fósforo total e clorofila- α , salientando uma forte intervenção antrópica ao longo da bacia, que por meio do índice de estado trófico- IET indicou um ambiente hipertrófico (Gonçalves et al., 2015).

Quanto ao uso e ocupação do solo, o mapa gerado mostrou que a bacia hidrográfica dos lagos Bolonha e Água Preta possui uma área urbana somada à área desmatada equivalente a 43% da área total da bacia, o que demonstrou a pressão antrópica nos lagos (Gonçalves et al., 2015).

O comportamento do transporte de fósforo no lago Água Preta, foi analisado por meio de simulação obtida pela solução numérica da equação de advecção-difusão-reação, que é a base do modelo de transporte de poluentes, bem como outros fenômenos de transporte em ambientes hidrodinâmicos. O resultado obtido indicou a necessidade de informações mais densas para uma análise quantitativa mais precisa do processo em questão. No entanto, eles indicaram que o fósforo inserido pelo rio Guamá é consumido em uma área próxima à montante, antes que chegue à saída do reservatório. Além disso, a simulação indicou que o principal fornecedor de fósforo na água, saindo do lago, são os esgotos domésticos lançados pela população (Lima et al., 2015).

Técnicas de sensoriamento remoto e análises de qualidade de água, foram aplicadas para os anos de 1984, 1989, 1999, 2008 e 2015. A perda de cobertura hidrográfica foi observada de 1,48 Km² de 1984 a 2015, foi descrito que muitas áreas que antes apresentavam vegetação secundária em 2015 estavam ocupadas por áreas urbanizadas e vegetação primária, neste último caso consequência da regeneração (Gutierrez et al., 2017).

As transformações socioambientais na bacia hidrográfica do Utinga, com ênfase para os lagos Bolonha e Água Preta, foram observadas e relacionadas as ocupações desordenadas, um dos causadores da contaminação da referida bacia (Rodrigues e Matos, 2018).

A qualidade da água foi avaliada durante um ano, em cinco pontos distribuídos ao longo do sistema de captação do Bolonha: Ponto 1 – rio Guamá; Ponto 2 – caixa de transição onde ocorre à mudança de água de conduto forçado para livre; Ponto 3 – lago Água Preta; Ponto 4 – lago Bolonha; Ponto 5 – entrada da Estação de Tratamento de Água -ETA do Bolonha. Calcularam o IQA e o IET, e o valor da média do IQA classificou a

qualidade das águas como regulares e, os valores da média do IET entre eutrófico e supereutrófico. Apesar dos fortes impactos ambientais que ocorrem na área dos mananciais que são utilizadas no abastecimento público da RMB, observaram que a capacidade de autodepuração e renovação ainda são mantidos. No entanto, ressaltaram a necessidade dos órgãos responsáveis, juntamente com a sociedade, devem continuar trabalhando para torná-la uma fonte viável de água (Silva et al., 2019).

A quantidade da carga poluidora gerada diariamente no lago Bolonha, decorrente do recebimento do esgoto bruto sem tratamento ocasionado pelas moradias irregulares dentro do Parque do Utinga e da população do entorno do parque que não dispõe da cobertura do serviço de rede coletora de esgoto, foi estimada. Em 21 pontos de lançamento catalogados, foi observado uma carga poluidora de 1,16 toneladas DBO/dia. Também foi constatado que a menor profundidade do lago era de 0,96 metros e a máxima de 1,54 metros, com média de 1,30. Conforme o coeficiente de atenuação vertical K médio e seus limites, o lago foi enquadrado como eutrófico, pois apresentou K acima de 0,53 (Brito et al., 2020).

Dados de variáveis físico-químicas (pH, cor, turbidez, condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido e verificação da transparência e profundidade da água) das águas do lago Bolonha, comprovaram os agravantes das inferências antrópicas na qualidade da água, os resultados apontaram o estado de eutrofização devido ao lançamento indiscriminado de esgoto bruto proveniente das moradias irregulares dentro do PEUt e dos bairros do entorno que contribuem para alteração da qualidade da água bruta (Brito et al., 2020).

Os resultados das análises físico-químicas foram comparados com a Resolução CONAMA 357/2005, os parâmetros de cor estão fora do recomendado e as demais se apresentaram em conformidade legal, entretanto, há a necessidade de realizar um monitoramento constante, visto que houve disparidades entre os valores dos parâmetros analisados em horários diferentes, logo, aumentar o período de amostragem da qualidade da água é essencial para conhecer o comportamento espaço-temporal das variáveis físico-químicas. A elevada coloração nas águas superficiais indicou a presença de elementos como ferro, manganês, além de húmus (matéria orgânica mineralizada proveniente da degradação de matéria de origem vegetal). As implicações dos elevados valores de cor sobre o processo de tratamento da água foram destacadas,

que acaba sendo mais minucioso, e, consequentemente, oneroso (Brito et al., 2020).

Um dos problemas relacionados à qualidade da água é a eutrofização. Muitos ecossistemas aquáticos têm padecido desse problema que consiste em grandes aportes de fósforo e nitrogênio introduzidos no leito de rios, por exemplo, por meio de efluentes domésticos e/ou industriais. Esse contexto de alteração da qualidade da água pela ação humana desencadeia o crescimento significativo de organismos fitoplanctônicos e fitobentônicos, provocando assim, um desequilíbrio na dinâmica do ecossistema aquático, bem como prejuízos também para a sociedade (Santos e Medeiros, 2023).

A comunidade fitoplanctônica, como as macrófitas, podem ser utilizadas como um indicador da má qualidade ambiental do local, principalmente em reservatórios, onde a análise da sua estrutura permite avaliar alguns efeitos decorrentes de alterações ambientais. No lago Bolonha, a proliferação intensa de macrófitas pode ser evidenciada no processo de eutrofização artificial, o que compromete o abastecimento hídrico, uma vez que a qualidade da água pode ser afetada pelo aporte de nutrientes como fósforo e nitrogênio (Souza et al., 2020). A proliferação das macrófitas também afeta os serviços culturais dos lagos, como a recreação, por degradarem a estética paisagística (Silva et al., 2022).

Os índices ecológicos foram aplicados no reservatório Bolonha (Belém, Pará) em dois períodos sazonais da região amazônica, novembro/2018 (seco) e maio/2019 (chuvoso), em um ponto de entrada da estação de tratamento de água- ETA. O mês chuvoso apresentou a maior riqueza de espécies (80 espécies), maior densidade ($231,0 \text{ ind.L}^{-1}$), maior diversidade ($H= 2,6 \text{ bits.ind}^{-1}$), maior equitabilidade ($E=0,8$) e menor dominância ($D= 0,1$). As classes de maior representatividade de espécies para o mês seco foram Bacillariophyceae (33%), Cyanophyceae (21%), Chlorophyceae (17%), enquanto no mês chuvoso foram Chlorophyceae (27%), Cyanophyceae (19%) e Bacillariophyceae (15%). Porém, as cianobactérias (Cyanophyceae) foram mais densas em ambos os períodos com média de $167,0 \text{ ind.L}^{-1}$ e $97,0 \text{ ind.L}^{-1}$, nos meses de novembro/2018 e maio/2019, respectivamente. As cianobactérias encontradas em maior densidade e abundância foram descritas como tipicamente bentônicas e emergem para o plâncton devido à interação sedimento-água, evidenciando que o reservatório é raso e sofre movimentos de revolvimento devido a um canal de escoamento localizado no leito do reservatório Bolonha. Os

autores destacaram que o monitoramento do fitoplâncton deve ser intensificado nos meses menos chuvosos com ênfase nas cianobactérias (Souza et al., 2020).

A evolução das ações antrópicas nas proximidades do lago Bolonha, entre os anos de 2010 e 2020 foi descrita, e os resultados demonstraram que a expansão urbana reduziu a mata ciliar e ocasionou lançamento de esgoto sanitário nos lagos, o que pode comprometer a sua capacidade de autodepuração a médio e longo prazo, portanto, aumentando o risco de poluição/contaminação no lago Bolonha. Foi concluído que o poder público precisa desenvolver e intensificar ações para evitar novas ocupações irregulares, implantar sistema de esgotamento sanitário e recompor a mata ciliar na área do entorno, já que a proteção do lago Bolonha é essencial para o sistema de abastecimento de água potável de cerca de 1.000.000 habitantes dos municípios de Belém e Ananindeua que compõem a RMB (Mourão e Pereira, 2020).

A utilização do IET, classificou o lago Bolonha como um ambiente eutrófico tanto no período chuvoso, quanto no menos chuvoso. Para mitigar a eutrofização do lago foi recomendado implementar e expandir a rede coletora de esgoto e a coleta adequada de resíduos sólidos ao entorno do manancial (Oliveira et al., 2021).

A consequência na saúde pública do despejo de esgoto bruto no parque foi verificada, foi encontrada a presença de parasitos patogênicos nas amostras de água do manancial Utinga e foi ressaltado a necessidade da realização do monitoramento da qualidade da água, quanto aos parâmetros parasitológicos e adoção de medidas preventivas que reduzam os riscos de transmissão de parasitos e de agravos para a saúde pública (Fernandes et al., 2021).

A ocorrência de drogas e desreguladores endócrinos na água de abastecimento e na água para consumo humano, foi verificada com baixo risco de exposição humana a tais contaminantes através da ingestão de água tratada. Também foram descritos dados de parâmetros abióticos das águas do Bolonha, e um aumento na concentração mediana dos parâmetros cor aparente, turbidez e condutividade elétrica no período chuvoso de 112%, 85%, e 82% em relação ao período seco, foi explicado pelo aumento do escoamento superficial, com consequente carreamento de sólidos, causado

pela intensa chuvas típicas da região (Teixeira et al., 2021).

O estado trófico dos lagos Bolonha e Água Preta também por avaliado meio das concentrações de carbono inorgânico dissolvido e oxigênio e os processos heterotróficos identificados durante o estudo eram principalmente produto das contribuições de matéria orgânica da região urbana adjacente (Silva et al., 2022).

De modo geral, na avaliação dos trabalhos que estudaram a qualidade da água dos mananciais de abastecimento de água (lago Bolonha e lago Água Preta), pode-se notar que estes vêm sendo “pressionados” pela RMB, por ter que suprir com água potável de boa qualidade uma área de 2.536,888 km² da qual fazem parte os municípios de Ananindeua, Belém, Benevides, Marituba, Santa Bárbara do Pará e Santa Isabel do Pará somando uma população de 2.581.661 habitantes (IBGE, 2014).

As tabelas 2 e 3 mostram dados descritos nos artigos citados, é possível notar que ainda faltam informações da qualidade das águas dos lagos Bolonha e Água Preta, principalmente relacionados a um programa de monitoramento das águas. Também foi observado que fortes impactos ambientais ocorrem na área dos mananciais utilizadas no abastecimento público da Região Metropolitana de Belém, onde enfatiza-se a necessidade de que os órgãos responsáveis, juntamente com a sociedade, continuem trabalhando para torná-los uma fonte viável de água.

Análises de metais pesados nos lagos foram realizadas somente nos sedimentos. Oliveira et al. (2018) realizaram análises de metais nos sedimentos superficiais do lago Água Preta e descreveram que os metais com maior concentração foram o cromo (245 mg.Kg⁻¹) e o níquel (97 mg.Kg⁻¹), os quais estiveram acima do índice que determina o nível de efeito provável (*Probable Effect Level* — PEL). O trabalho evidenciou o reflexo das pressões antrópicas que o lago Água Preta vem sofrendo ao longo dos anos, mostrando que os sedimentos de fundo se encontram impactados por metais pesados, altas cargas de matéria orgânica e nutrientes.

Tabela 2: Média de dados descritos na literatura para as águas do lago Bolonha.

Parâmetros/Autores	Vasconcelos e Souza (2011) ¹	Silva <i>et al.</i> (2014) ²	Oliveira <i>et al.</i> (2021) ³	Teixeira <i>et al.</i> (2021) ⁴
OD* (mg.L ⁻¹)	2,98 (2007) 4,51 (2008) 1,49 (2009)	3,15		4,2 (CH*) 6,0 (MC'')
Dureza total (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	20,91 (2007) 14,20 (2008) 12,00 (2009)			
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,19 (2007) 0,22 (2008) 0,13 (2009)			
pH		6,68		5,9 (CH*) 6,3 (MC'')
CE** (µS.cm ⁻¹)		119,82		85,3 (CH*) 49,6 (MC'')
Fósforo total (mg.L ⁻¹)		0,95	0,33 (CH) 0,24 (MC)	
DBO*** (mg.L ⁻¹)		0,35		
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)		4,35		
AT**** (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)				11,5 (CH*) 12,4 (MC'')
Temperatura (°C)		29,70		
Turbidez (UNT)		11,05		17,00 (CH*) 13,20 (MC'')
Transparência (m)		0,97		
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)		82,19		
STD***** (mg.L ⁻¹)		49,51		
Cor aparente (uH)				84,60 (CH*) 40,10 (MC'')
Coliforme total (NMP/100 mL)	8,02 (2007) 16,83 (2008) 9,61 (2009)	7,06		288 (CH*) 386 (MC'')

OD* = oxigênio dissolvido; CE**= condutividade elétrica; DBO***= demanda bioquímica de oxigênio; STD*****= sólidos totais dissolvidos; AT****= alcalinidade total; STD*****= sólidos totais dissolvidos.

1 = dados coletados em 2007, 2008 e 2009 ;2 = dados coletados em 2013; 3 = dados coletados em 2017; 4 = dados coletados em 2018.

CH* = Chuvoso; MC''= Menos chuvoso.

Tabela 3: Média de dados descritos na literatura para as águas do lago Água Preta.

Parâmetros/Autores	Vasconcelos e Souza (2011) ¹	Santos et al. (2013)	Silva <i>et al.</i> (2014) ²	Teixeira et al. (2021) ⁴
OD* (mg.L ⁻¹)	3,65 (2007) 4,45 (2008) 2,34 (2009)	5,1 (CH*) 5,0 (MC'')	4,71	(CH*) (MC'')
Dureza total (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	18,00 (2007) 13,40 (2008) 10,57 (2009)			
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,15 (2007) 0,16 (2008) 0,18 (2009)			
pH		6,7 (CH*) 6,6 (MC'')	6,65	(CH*) (MC'')
CE** (μS.cm ⁻¹)		63,2 (CH*) 77,8 (MC'')	42,85	(CH*) (MC'')
Fósforo total (mg.L ⁻¹)		0,15 (CH*) 0,18 (MC'')	1,21	
DBO*** (mg.L ⁻¹)			0,50	
N-amoniaco (mg.L ⁻¹)		0,30 (CH*) 0,30 (MC'')		
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)			4,35	
AT**** (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)				(CH*) (MC'')
Temperatura (°C)		31,10 (CH*) 31,30 (MC'')	30,61	
Turbidez (UNT)		11,80 (CH*) 17,50 (MC'')	13,65	(CH*) (MC'')
Transparência (m)			0,64	
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)			80,71	
STD***** (mg.L ⁻¹)			17,01	
Cor aparente (uH)				(CH*) (MC'')
Coliforme total (NMP/100 mL)	12,17 (2007) 28,5 (2008) 8,68 (2009)		11	(CH*) (MC'')
Cloreto				
Silicato				
Clorofila a (mg.m ⁻³)		5,3 (CH*) 8,2 (MC'')		

OD* = oxigênio dissolvido; CE**= condutividade elétrica; DBO***= demanda bioquímica de oxigênio; STD*****= sólidos totais dissolvidos; AT****= alcalinidade total; STD*****= sólidos totais dissolvidos.

1 = dados coletados em 2007, 2008 e 2009 ;2 = dados coletados em 2013; 3 = dados coletados em 2017; 4 = dados coletados em 2018.

CH* = Chuvoso; MC''= Menos chuvoso.

Conclusão

Os estudos demonstram a relevância dos lagos Bolonha e Água Preta para o sistema de abastecimento de água para a Região Metropolitana de Belém.

Foi possível notar que ainda faltam informações da qualidade das águas dos lagos Bolonha e Água Preta, principalmente relacionados a um programa de monitoramento das águas. Também foi observado que fortes impactos ambientais ocorrem na área dos mananciais utilizadas no abastecimento público da Região Metropolitana de Belém, onde enfatiza-se a necessidade de que os órgãos responsáveis, juntamente com a sociedade, continuem trabalhando para torná-los uma fonte viável de água.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio financeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos - PPGAQRAT, da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA.

Referências

- Alencar, V.E.S.A., Rocha, E.J.P., Souza Júnior, J.A., Carneiro, B.S., 2019. Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na baía de Guajará – Belém – PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12 (02), 661-680.
- Araújo Júnior, A.C.R., 2015a. Antropogeomorfologia da Bacia Hidrográfica do Murutucu: abastecimento hídrico, uso e ocupação em Belém-PA. *Revista RA'EGA – O Espaço Geográfico em Análise*, 34, p.98-122.
- Araújo Júnior, A.C.R., 2015b. Indicadores de qualidade ambiental no lago Bolonha, Parque Estadual do Utinga, Belém-Pará. *Boletim Gaúcho de Geografia*, 42(1), 276-299.
- Barreto, L., Barros, F., Bonomo, P., Rocha, F., Amorim, J., 2013. Eutrofização em rios brasileiros. *Enciclopédia biosfera* [online], 9(16).
- Brasil, N.M.Q.X., Neto, A.B.B., Paumgartten, A.E.A., Silveira, J.M.Q.X., Silva, A.A., 2021. Análise multitemporal da cobertura do solo do Parque Estadual do Utinga, Belém, Pará. *Brazilian Journal of Development*, 7 (4), 36109-36118.
- Brito, F.S.L.; Pimentel, B.A.; Vilhena, J.C.; Rosário, K.K.L.; Moraes, M.S.; Cruz, R.H.R.; Corrêa, V.L.S., 2020. Comportamento das variáveis físico-químicas da água do lago Bolonha-Belém-PA. *Brazilian Journal of Development*, 6(1), 1738-1757.
- Carvalho, A.T.F., 2020. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, 1(42), 140-161.
- Castro, D.C.C., Rodrigues, R.S.S., Ferreira Filho, D.F., 2020. Escoamento superficial na área convergente aos lagos Bolonha e Água Preta em Belém e Ananindeua, Pará. *Research Society and Development*, 9(3), 1-30.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2021. Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wpcontent/uploads/sites/12/2022/1/Apendice-C-Significado-ambiental-e-sanitario-das-variaveis-de-qualidade-das-aguas-e-dos-sedimentos-e-metodologias-analiticas-e-de-amostragem.pdf>. Acesso em 02 de fevereiro de 2023.
- Chaves, J.R., Teixeira, L.C.G.M., Mendonça, N.M., Aquino, S.F., 2021. Investigação de cafeína, Genfibrozila, Bezafibrato, Metformina, Prometazina e Loratadina em águas de sistema de abastecimento público. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 26 (6), 1143-1154.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em 27 de janeiro de 2023.
- Dias, F.G., Lima, A.M.M., 2019. Caracterização espaço-temporal da precipitação da bacia hidrográfica do rio Acará/PA. In: Pinheiro LS, Gorayeb A, organizador. *Geografia Física e as Mudanças Globais*. Fortaleza: Editora UFC, 1-12.
- Fenzl, N.; Mendes, R.L.R.; Fernandes, L.L., 2018. A sustentabilidade do sistema de abastecimento de água. Belém: NUMAQUFPA.
- Fernandes, I.R.L., Fortes, A.P., Souza Teles, I.C., Souza, R.D., Pinto, L.C., 2021. Contaminação parasitária das águas dos mananciais do Utinga e em residências em Belém, Pará, Brasil. *Revista Destaque Acadêmico*, 13(3).
- Ferreira, S.C.G., Lima, A.M.M., Corrêa, J.A.M., 2020. Indicators of hydrological sustainability, governance and water resource regulation in the Moju river basin (PA)–Eastern Amazonia. *Journal of Environmental Management*, 263, 110354.

- Gadelha, J.E.F.S., Ferreira, K.F., Marcionilio, S.M.L.O, Castro, R.M., 2022. Consequências da eutrofização em corpos hídricos. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, 3.
- Gonçalves, E.D., Santos, M.L.S., Soares, J.A.C., Souza, P.H.N., Mourão, F.V., Castro, K.F., Sousa, A.C.S.R., 2015. Aplicação do Sistema de Informação Geográfica na Microbacia dos Lagos Bolonha e Água Preta (PA). *Boletim Técnico Científico do CEPNOR*, 15 (1), 43 – 50.
- Gutierrez, C.B.B., Ribeiro, H.M.C., Morales, G.P., Gutierrez, D.M.G., Santos, L.D., Paula, M.D., 2017. Análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo no interior da APA Belém e correlação com os parâmetros de água dos seus mananciais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(1), 521-534.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2014. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/instrumentos_de_coleta/doc3598.pdf. Acesso em 06 de setembro de 2022.
- Lima, R.C., Mesquita, A.L.A., Blanco, C.J.C., Santos, M.L.S., Secretan, Y., 2015. An Analysis of Total Phosphorus dispersion in lake used as a municipal water supply. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87(3), 1505-1518.
- Melo, J.J.S., Dia, M.J.M., Oliveira, A.U., 2022. A água e sua proteção legal no Brasil e Acre: considerações sobre as legislações dos recursos hídricos. *UÁQUIRI – PPGGEO*, 4 (1), 80-95.
- Mourão, F.V., Pereira, J.A.R., 2020. Impacto da expansão urbana no manancial superficial do sistema de abastecimento de água de Belém e Ananindeua, Brasil. *Research Society and Development*, 9(7).
- Oliveira, G.M.T.S.D., Oliveira, E.S.D., Santos, M.L.S., MELO, N.F.A.C.D., Krag, M.N., 2018. Concentrações de metais pesados nos sedimentos do lago Água Preta (Pará, Brasil). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23, 599-605.
- Oliveira, I.F., Teixeira, L.C.G.M., Mendonça, N.M., 2021. Investigação da condição trófica do reservatório de abastecimento de água Bolonha. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, 14 (1), 32-45.
- Peixoto, F.S., Soares, J.A., Ribeiro, V.S., 2022. Conflitos pela água no Brasil. *Sociedade e Natureza*, 34 (59410), 1- 13.
- Rocha, N.C.V., Lima, A.M.M.D., 2022. A sustentabilidade hídrica na bacia do rio Guamá, Amazônia Oriental/Brasil. *Sociedade e Natureza*, 32, 130-148.
- Rodrigues, F.C.C., Matos, L.O., 2018. As transformações socioambientais na bacia hidrográfica do Utinga: agravantes para os lagos Bolonha e Água Preta. *Revista Espaço Acadêmico*, 17(201), 31-42.
- Santos, E.O., Medeiros, P.R.P., 2023. A Ação Antrópica e o Processo de Eutrofização no Rio Paraíba do Meio. *Sociedade e Natureza*, 35 (66441), 1 – 13.
- Santos, J.J., D'Esquivel, K.S., 2022. Avaliação de características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Peruípe (BA). *Iniciação Científica CESUMAR*, 24 (1).
- Santos, M.L.S., Bordalo, A.O., Pereira, J.A.R.; Chira, P.A., Alves, I.C.C., Sodré, S.S.V., 2013. Influência da Expansão Urbana na Qualidade da Água em Reservatório da Região Amazônica (Belém, Pará). *Boletim Técnico Científico do CEPNOR*, 13(1), 15-22.
- Silva, C.D.M.B., Costa, D.R., Costa, H.P., Carmo, S.J.M., Ferreira, J.E.D.S.M., Dantas, D.R.S., Garcia, C.V.L.C., 2022. Avaliação da qualidade da água consumida em comunidades rurais do Brasil: revisão bibliográfica. *Estudos Interdisciplinares em Ciências da Saúde*, 6.
- Silva, F.L., Fushita, Â.T., Cunha-Santino, M.B., Júnior, I.B., Júnior, J.C.T.V., 2021. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14 (3), 1626-1653.
- Silva, J.F.A., Pereira, R.G., 2019. Panorama global da distribuição e uso de água doce. *Revista Ibero-Americana Ciências Ambientais*, 10 (3), 263-280.
- Silva, J.P., Mesquita, K.F.C., Pereira, J.A.R., Sousa, R.R., Varela, A.W.P., Sousa, P.H.C., Santos, M.L.S., 2019. Índices de qualidade da água no sistema de captação de água da região amazônica (Brasil). *Scientia Plena*, 15(12).
- Silva, K., Varona, H.L., Araujo, M., Medeiros, C., Santos, L., 2022. Characterization of dissolved inorganic carbon and dissolved oxygen in two impacted Amazonian lakes. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 17 (2), 97-109.
- Silva, L., Morales, G., Lima, A.M., 2014. Avaliação da qualidade das águas superficiais dos mananciais do Utinga e dos rios Guamá e Aurá, Belém, Pará. *Enciclopédia Biosfera*, 10 (18).
- Smith, V.H., Schindler, D.W., 2009. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology and Evolution*. 24, 201-207.

- Souto, C.K.B., Teles, A.I.L., Andrade, A.A., Xavier, B.V.M.P., Torres, E.E.S.A., Dias, E.C., Fernandes, L.L., 2019. Fatores antrópicos de poluição hídrica na bacia do Tucunduba em Belém-PA. *Brazilian Journal of Development*, 5(9), 13824-13834.
- Souza, C.B.G., Campos, A.S., Sousa, F.B.B., Santos, A.M.A., Carvalho, G.P., 2020. O uso de indicadores ambientais na avaliação de unidades de conservação: o caso do Parque Estadual do Utinga em Belém/PA (PEUT). *Nature and Conservation*, 13(1), 86-94.
- Teixeira, L.C.G.M., Chaves, J.R., Mendonça, N., Sanson, A.L., Alves, M.C., Afonso, R.J.C.F., Aquino, S.F., 2021. Occurrence and removal of drugs and endocrine disruptors in the Bolonha Water Treatment Plant in Belém/PA (Brazil). *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(246).
- Varela, A.W.P., Souza, A.J.N., Aviz, M.D., Pinfildi, G.V., Santos, R.M., Sousa, P.H.C., Santos, M.L.S., 2020. Qualidade da água e índice de estado trófico no rio Guamá, município de Belém (Pará, Brasil). *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, 9(4), 695-715.
- Vasconcelos, V.D.M.M., Souza, C.F., 2011. Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2), 605-624.
- Viana, L.S., Gomes, M.D.A., Alves, E.S., Carmo, A.P.M., Souza, V.Q., Freitas, L.S., 2022. Variabilidade temporal da evapotranspiração de referência para a mesorregião metropolitana de Belém-PA. *Irriga*, 27 (1), 111-123.
- Whelan, M.J., Linstead, C., Worrall, F., Ormerod, S.J., Durance, I., Johnson, A.C., Johnson, D., Owen, M., Wiik, E., Howden, N.J.K., Burt, T.P., Boxall, A., Brown, C.D., Oliver, D.M., Tickner, D., 2022. Is water quality in British rivers “better than at any time since the end of the Industrial Revolution”? *Science of the Total Environment*, 843, 157014.