



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS  
BACHARELADO ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL**

**CAMILA VIANA DE OLIVEIRA  
GABRIEL VITOR DA SILVA COELHO**

**QUALIDADE DA ÁGUA E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DE LAGOS  
ASSOCIADOS AO BAIXO RIO TAPAJÓS, AMAZÔNIA, BRASIL**

**SANTARÉM – PA  
2023**

**CAMILA VIANA DE OLIVEIRA  
GABRIEL VITOR DA SILVA COELHO**

**QUALIDADE DA ÁGUA E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DE LAGOS  
ASSOCIADOS AO BAIXO RIO TAPAJÓS, AMAZÔNIA, BRASIL**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Federal do Oeste do Pará, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Reinaldo Pacheco Peleja.

Coorientador (a): Msc. Marcelia Castro Cardoso.

**SANTARÉM – PA  
2023**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação  
(CIP) Sistema Integrado de Bibliotecas –  
SIBI/UFOPA**

- 
- C672q Coelho, Gabriel Vitor da Silva  
Qualidade da água e índice de estado trófico de lagos associados ao baixo Rio Tapajós, Amazônia, Brasil./ Gabriel Vitor da Silva Coelho, Camila Viana de Oliveira.- Santarém, 2023.  
59 p. : il.  
Inclui bibliografias.
- Orientador: José Reinaldo Pacheco  
Peleja. Coorientadora: Marcelia Castro Cardoso.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental.
1. Sustentabilidade. 2. Eutrofização. 3. Hidrografia fluvial. 4. Monitoramento ambiental. I. Oliveira, Camila Viana de. II. Peleja, José Reinaldo Pacheco, orient. III. Cardoso, Marcelia Castro, coorient. IV. Título.

---

CDD: 23 ed. 628.16209811

Bibliotecária - Documentalista: Cátia Alvarez – CRB/2 843

**CAMILA VIANA DE OLIVEIRA  
GABRIEL VITOR DA SILVA COELHO**


**QUALIDADE DA ÁGUA E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DE LAGOS  
ASSOCIADOS AO BAIXO RIO TAPAJÓS, AMAZÔNIA, BRASIL**

Trabalho de Conclusão do Curso Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Federal do Oeste do Pará, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Reinaldo Pacheco Peleja.


Coorientadora: Marcelia Castro Cardoso

Data de Aprovação: 29/06/2023

Documento assinado digitalmente  
 JOSE REINALDO PACHECO PELEJA  
Data: 12/07/2023 18:47:53-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Prof. Dr. José Reinaldo Pacheco Peleja- Orientador  
Universidade Federal do Oeste do Pará

Documento assinado digitalmente  
 ANDREIA CAVALCANTE PEREIRA  
Data: 10/07/2023 10:30:02-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dra. Andreia Cavalcante Pereira  
Universidade Federal do Oeste do Pará

Documento assinado digitalmente  
 ISRAEL NUNES HENRIQUE  
Data: 10/07/2023 19:42:50-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Israel Nunes Henrique  
Universidade Federal do Oeste do Pará

## **AGRADECIMENTO**

Agradecemos a Deus pela força e inspiração. Nosso muito obrigado Senhor!

À Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA), pela concessão da bolsa de iniciação científica. A Fundação de Integração Amazônica (FIAM – UFOPA), assistência a pesquisa.

Agradecemos ao projeto de doutorado do Programa de Pós Graduação Doutorado em Sociedade Natureza e Desenvolvimento PPGSND e ao CNPQ, conduzido pela nossa querida e amiga Marcelia, que cedeu parte dos dados para construção desta monografia, pelo cuidado conosco e pela orientação na elaboração desta pesquisa!

Ao nosso querido orientador Dr. José Reinaldo Pacheco Peleja pela orientação, paciência, apoio e pelos momentos de conversa, as quais discutimos inúmeras ideias para contribuição deste trabalho.

À equipe do Laboratório de Biologia Ambiental, aos técnicos Edvaldo e Flavia por nos ajudar nas análises físico, química e microbiológica. Ao parceiro de Laboratório Brendson Brito por nos socorrer inúmeras vezes em outras análises do laboratório. Agradecemos aos nossos familiares (família Viana de Oliveira, pela paciência e cuidado com o bem mais precioso chamado Carlos Henrique) e (família Silva Coelho) por todo incentivo e apoio.

Nosso muito obrigado!

## RESUMO

Os graus de antropização são causados pelo desmatamento, despejo de efluentes, que compromete os recursos hídricos, nas cidades amazônicas. Em virtude dos diferentes tipos de degradação em ambientes lacustres, estudos sobre a qualidade da água e as classes de trofia de lagos ainda são incipientes. Na cidade de Santarém, Oeste do Pará, os lagos estão conectados com o rio Tapajós e são margeados por areias brancas e águas límpidas, atrativos para o lazer e turismo. Dessa forma, este estudo teve como objetivo avaliar os Índices de Qualidade da Água e Estado Trófico dos lagos Juá e Taparí, associados ao baixo rio Tapajós, município de Santarém-PA, levando em consideração as fases da hidrógrafa fluvial (águas altas e águas baixas) e a intensidade de antropização. Para este estudo foram determinados 4 pontos amostrais para cada lago, sendo realizado coletas mensais no ano de 2021, de janeiro a junho (águas altas) e julho a dezembro (águas baixas). Foram realizadas análises dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos em campo e em laboratório e determinou-se os Índices de Qualidade da Água (IQA) e Índice de Estado Trófico (IET). Os resultados demonstraram que as condições de qualidade da água superficial estão em conformidade com a legislação ambiental vigente em ambos os lagos. Os IQAs dos lagos Juá e Taparí ponderaram suas águas na classe de qualidade boa, independente da hidrógrafa fluvial. O índice médio foi melhor no lago Taparí (IQA 74) e independente do ambiente lacustre os valores de IQA foram melhores nas águas altas. Quanto ao IET os lagos foram classificados em “ultraoligotróficos”, os valores de IET reportaram para diferenças significativas entre as fases do regime fluvial e interação entre lagos e fase, com valores maiores nas águas altas, principalmente no lago Juá. Ainda que os parâmetros físico-químicos e microbiológicos avaliados na pesquisa estejam em conformidade com a legislação ambiental pertinente e a classificação final dos índices tenham sido satisfatórias, o resultado global permitiu constatar uma maior deterioração de qualidade da água do lago Juá; mais antropizado; do que no lago Taparí.

**Palavras-chave:** Índices. Eutrofização. Hidrógrafa fluvial. Monitoramento Ambiental.

## ABSTRACT

The degrees of anthropization are caused by deforestation, effluent discharge, which compromises water resources, in Amazonian cities. Due to the different types of degradation in lacustrine environments, studies on water quality and trophic classes of lakes are still incipient. In the city of Santarém, west of Pará, the lakes are connected to the Tapajós river and are bordered by white sands and clear waters, attractive for leisure and tourism. Thus, this study aimed to evaluate the Water Quality and Trophic State indices of the Juá and Taparí lakes, associated with the lower Tapajós river, in the municipality of Santarém-PA, taking into account the phases of the fluvial hydrograph (high water and low water ) and the intensity of anthropization. For this study, 4 sampling points were determined for each lake, with monthly collections being carried out in the year 2021, from January to June (high waters) and July to December (low waters). Analyzes of the physical, chemical and microbiological parameters were carried out in the field and in the laboratory and the Water Quality Index (WQI) and Trophic State Index (TEI) were determined. The results showed that the surface water quality conditions are in accordance with current environmental legislation in both lakes. The IQAs of Lakes Juá and Taparí weighted their waters in the good quality class, regardless of the fluvial hydrograph. The average index was better in Lake Taparí (IQA 74) and regardless of the lake environment, IQA values were better in high waters. As for the TSI, the lakes were classified as “ultraoligotrophic”, the TSI values reported significant differences between the phases of the fluvial regime and interaction between lakes and phase, with higher values in high waters, mainly in Lake Juá. Although the physical-chemical and microbiological parameters evaluated in the research are in accordance with the relevant environmental legislation and the final classification of the indices was satisfactory, the overall result allowed us to observe a greater deterioration in the quality of the water in Lake Juá; more anthropized; than on Lake Taparí.

**Keywords:** Indexes. Eutrophication. River Hydrography. Environmental monitoring.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização dos pontos de coleta estudados no Lago Juá e Lago Taparí.....	11
Figura 2-Localização dos quatro pontos de coleta no Lago Juá.....	13
Figura 3 – Localização dos quatro pontos de coleta no Lago Taparí.....	14
Quadro 1 – Classificação do IQA.....	18
Quadro 2 – Classificação do Estado Trófico a partir do índice proposto por Lamparelli.....	19
Figura 4 – Concentrações médias de Turbidez entre os pontos nos períodos de águas altas e águas baixas nos lagos.....	23
Figura 5 – Concentrações médias de pH entre os pontos nos períodos de águas altas e águas baixas nos lagos.....	24
Figura 6 – Concentrações médias de Oxigênio Dissolvido entre os pontos nos períodos de águas altas e águas baixas nos lagos.....	26
Figura 7 - Concentrações médias de Demanda Bioquímica de Oxigênio entre os pontos nos períodos de águas altas e águas baixas nos lagos.....	27
Figura 8 – Concentrações médias de Coliformes Termotolerantes entre os pontos nos períodos de águas altas e águas baixas nos lagos.....	28
Figura 9 – Concentrações médias de Sólidos Totais entre os pontos nos períodos de águas altas e águas baixas nos lagos.....	29
Figura 10 – Valores médios de IQA entre os lagos independente de fase da hidrógrafa fluvial.....	32
Figura 11 - Valores médios de IQA entre as fases da hidrógrafa fluvial, independente de lagos.....	33

Figura 12 – Valores médios de IET evidenciando interação significativa entre lago e fase da hidrógrafa fluvial.....36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Localização Geográfica dos pontos amostrais .....	12
Tabela 2 - Parâmetros de qualidade da água, métodos e equipamentos de análise.....	15
Tabela 3 – Valores médio e desvio padrão referente as variáveis físico químico da hidrógrafa fluvial dos dois lagos.....	21
Tabela 4 – Índice de Qualidade da Água – IQA por lago e hidrógrafa fluvial.....	31
Tabela 5 – Índice de Estado Trófico – IET por lago e hidrógrafa fluvial.....	35

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA - Área de Proteção Ambiental

AA: Águas altas

AB: Águas baixas

ANOVA: Análise de Variância

APHA: American Public Health Association

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

CF: Coliformes fecais

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

DP: Desvio padrão

GPS: Sistema de Posicionamento Global

IET: Índice de Estado Trófico

IQA: Índice de Qualidade da Água

mg/L: Miligrama por litro

NMP: Número mais provável

OD: Oxigênio Dissolvido

pH: Potencial Hidrogeniônico

UNT: Unidade Nefelométrica de Turbidez

µg/L: Micrograma por litro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Índice da Qualidade da Água e a importância dos parâmetros para o monitoramento de águas superficial.....	3
2.2 Eutrofização de Lagos e Índice de Estado Trófico.....	6
2.3 Impactos Ambientais em corpos hídricos da Amazônia.....	7
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
3.1 Objetivo Geral.....	9
3.2 Objetivo Específico.....	9
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
4.1 Área de estudo.....	10
4.2 Métodos de campo.....	11
4.3 Métodos de coleta.....	14
4.4 Métodos de Laboratório.....	16
4.5 Índice de Qualidade da Água.....	18
4.6 Índice de Estado de Trófico.....	19
4.7 Métodos Estatísticos.....	20
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>21</b>
5.1 Aspectos Limnológicos do Lago Juá e Lago Taparí.....	21
5.2 Concentrações de Fósforo e Clorofila -a.....	29
5.3 Índice de Qualidade da Água.....	31
5.4 Índice de Estado Trófico.....	35
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>39</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais importantes para o equilíbrio da vida, sendo utilizada para diversos usos múltiplos como higiene, lazer, recreação, agricultura, indústria e abastecimento público (PIRATOBA et al., 2017), e por ser um recurso essencial à vida, está inserida nas discussões de saneamento das cidades.

No Brasil as principais bacias hidrográficas estão localizadas próximas às áreas urbanas e por vezes encontram-se impactadas em decorrência do destino impróprio de resíduos compostos por nutrientes, metais pesados e microrganismos patogênicos (ARCOS; CUNHA, 2020).

A busca do controle sanitário-ambiental em proporcionar qualidade vida da população, são estabelecidas pela Política Nacional de Saneamento Básico, aprovada pela Lei nº 14.026 de 2020 (BRASIL, 2020). No estado do Pará o saneamento básico é ineficiente, cerca de 5,9% da população total tem acesso a rede de esgoto (SNIS, 2019). A falta de um sistema de informações que articule e integre os dados de saneamento básico no Estado contribui na precariedade do acesso, o que dificulta a elaboração políticas públicas (CONDURÚ; PEREIRA, 2017).

Nas últimas duas décadas, o município de Santarém tem demonstrado uma típica tendência de crescimento demográfico e extensão urbana devido aos seus recursos naturais e aos ciclos econômicos impulsionados pela política de desenvolvimento do governo federal (BENTES; NETO; MESCHEDE, 2020). Segundo esse autor é inevitável o aumento da urbanização e crescimento nas cidades da Região Oeste Paraense, ainda que o aspecto sanitário-ambiental não acompanhe a infraestrutura e serviços demandados pela população. A ineficiência do serviço de saneamento e as más condições sanitárias acarretam em impactos ambientais com danos irreversíveis aos corpos hídricos, além destes, estão inseridos os problemas sociais, uma vez que a saúde e bem-estar são comprometidos devido à má qualidade ambiental (SILVA et al., 2021).

O aumento da população na cidade tem gerado o uso e ocupação do solo das margens dos corpos hídricos de forma desordenada (SANTOS et al.,

2020; OLIVEIRA et al., 2021). Neste sentido, os recursos aquáticos que circundam a cidade de Santarém são fortemente afetados pelos diversos usos múltiplos e que muitas vezes facilitam a entrada de resíduos líquidos e sólidos nesses ambientes (OLIVEIRA et al., 2021). À medida que as atividades antrópicas se intensificam compromete a qualidade da água de rios, córregos, lagos e reservatórios (ARCOS; CUNHA 2020).

O despejo de efluentes sem tratamento tem como consequência a eutrofização, o que leva à deterioração dos corpos hídricos (MIRANDA et al., 2016). Desse modo, enfatiza-se o monitoramento da qualidade da água por meio de indicadores utilizados para gestão e de avaliação das condições da água em seus aspectos físico-químicos e biológicos. Os Índices de Qualidade da Água (IQA) e de Estado Trófico (IET) são ótimas ferramentas nesse sentido, uma vez que demonstram aspectos relacionados ao comprometimento dos corpos hídricos como por exemplo o enriquecimento por nutrientes relacionados ao crescimento excessivo das algas ou proliferação de macrófitas aquáticas causado pelo despejo de efluentes domésticos não tratados (ARCOS; CUNHA, 2020; BALEM, 2018).

No Brasil, existem estudos como os de Andrietti et al. (2016) que avaliaram a qualidade da água superficial do rio Caiabi, MT. Cadoná et al. (2020) avaliou a contaminação por nitrogênio e fósforo total em águas destinadas para o consumo humano no Rio Coruja em Santa Catarina. Piratoba et al. (2017) caracterizou parâmetros da qualidade da água na zona portuária de Barcarena – Pa. Oliveira et al. (2021) visou criar indicadores de qualidade de água na zona portuária de Belém- Pa. Monte et al. (2022) avaliaram a influência antrópica na qualidade da água do rio Tapajós, na cidade de Santarém -PA. Observa-se que estes estudos são importantes fontes de informações para elucidar características e efeitos de ações naturais e antrópicas exercidas nos corpos d'água.

Devido às problemáticas ambientais que envolvem os lagos Juá e Taparí com o uso e ocupação predominante da expansão da malha urbana, o Índice de Qualidade da Água (IQA) e o Índice de Estado trófico (IET) foram escolhidos nesta pesquisa por representar em um único número e escala qualitativa correspondente o estado da água de forma eficaz e que traz uma profunda

reflexão sobre a avaliação das variações sazonais e espaciais da qualidade da água superficial.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Índice da Qualidade da Água e sua importância para o monitoramento de águas superficiais**

A qualidade da água é um conceito relativo a depender de seu uso e destinação como balneabilidade, consumo humano, irrigação, transporte e manutenção da vida aquática, existindo um padrão de qualidade para cada tipo de uso preponderante, de acordo com a resolução CONAMA n° 357/2005 (SOUZA et al., 2014).

Um dos métodos utilizados para avaliar a qualidade da água superficial é o IQA (Índice de Qualidade da Água), estabelecido por estudos da *National Sanitation Foudantion nos Estados Unidos*, adaptado no Brasil pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Trata-se de uma ferramenta baseada nas características físicas, químicas e biológicas da água, envolvendo nove parâmetros indicadores de qualidade. Por meio dessas matrizes é possível estabelecer níveis de qualidade que devem ser enquadradas em categorias conforme as diferentes possibilidades de uso (CETESB, 2019; MERTEM; MINELLA, 2002).

A maioria dos parâmetros do IQA são indicadores de contaminação causadas por despejos de efluentes domésticos e indústrias não tratados, estes indicadores são: oxigênio dissolvido - uma das variáveis mais importantes na dinâmica e caracterização de ecossistemas aquáticos, responsável pelo equilíbrio e ciclo de vida dos organismos. Águas límpidas apresentam valores de oxigênio dissolvido superiores a 5 mg/L; por outro lado, baixas concentrações geram prejuízos aos processos bioquímicos e biológicos como oxidação da matéria orgânica, fatores relacionados à descarga de efluentes que resultam no processo de eutrofização em razão da drenagem urbana (ALVES; MORAES, 2016; LIMA et al., 2020; Rodrigues, et al., 2021).

No que se refere aos coliformes termotolerantes, estes são bactérias que ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente, sendo a

*Escherichia coli*, de origem fecal, o principal indicador desse parâmetro (SANTOS et al., 2020). A presença desses microrganismos patogênicos oferece risco à saúde humana quando ingeridos em alimentos líquidos e sólidos. A ausência de infraestrutura e serviços sanitários bem como lançamentos de esgotos e altas taxas de lixiviação de matéria orgânica de origem florestal contribui para a poluição hídrica e proliferação de patógenos (ABREU; CUNHA 2017).

. Segundo a resolução CONAMA 357/05 o parâmetro químico potencial hidrogeniônico (pH) tem influência direta em diversos equilíbrios químicos e metabólicos para as espécies dos ecossistemas aquáticos a faixa ideal de pH está entre 6 e 9; estes valores estão relacionados a fontes naturais como a dissolução de rochas, oxidação da matéria orgânica, fotossíntese e absorção de gases atmosféricos e se deve também a ações antropogênicas nos cursos d'água (ALVES; MORAES, 2016; VON SPERLING, 2005).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é uma variável que indica a quantidade de oxigênio necessária para biodegradar a matéria orgânica; quanto maior for os valores desse parâmetro, mais rapidamente o oxigênio dissolvido tende a ser reduzido, comprometendo a vida aquática (ALVES; MOREAES, 2016; SANTOS et al., 2020).

Outro parâmetro muito aplicado nos estudos de qualidade da água, que influencia em diversos indicadores físico-químicos, é a temperatura. A resolução CONAMA 357/05 não define valores limites, porém esta matriz faz a medição da intensidade calor, cuja a relação está entre o grau de aquecimento das águas e da radiação solar, relacionada com os fatores bióticos como clima, tipo de vegetação, composição geológica e balanço hídrico. Além disso, este parâmetro permite determinar se há poluição por efluentes, mudanças climáticas, desmatamento e urbanização (PIRATOBA et al., 2017). Elevadas temperaturas podem ocasionar reações físicas, químicas e biológicas e tende a ser responsável pela diminuição da solubilidade dos gases (RODRIGUES et al., 2021).

Em função das reações químicas no ecossistema aquático o nitrogênio pode estar nas formas orgânica ou amoniacal ou se apresentar como nitrito e nitrato. O controle da concentração de nitrato é essencial, pois altos valores

geram prejuízos ambientais e oferecem riscos à saúde da população, por exemplo o desencadeamento de doenças como a síndrome do bebê azul. A concentração desse íon em águas superficiais se deve ao fato do nitrogênio estar disponível no solo devido aos processos de mineralização e decomposição da matéria orgânica, contudo os valores podem ser atenuados devido ao uso de fertilizantes (PINHEIRO et al., 2013).

O principal nutriente indicador de eutrofização dos corpos hídricos é o Fosforo Total, que tem sido associado à origem natural proveniente dos processos de intemperismo das rochas e ação antrópica devido a erosão do solo e condições insatisfatórias das descargas de esgotos sanitários (ALVES; MORAES, 2016). O excesso de fósforo contribui para o “bloom” de algas, que muitas vezes impedem a passagem da luz solar para dentro dos corpos hídricos e causam a mortandade de organismos aquáticos que, ao serem decompostos, consomem o oxigênio disponível (CADONÁ et al., 2018).

Os processos erosivos que circundam as bacias hidrográficas e os canais fluviais afetam o parâmetro da turbidez, uma vez que os elementos químicos são transportados e se associam ao material em suspensão na forma dissolvida ou coloidal como partículas de argila, silte, areia e fragmentos de rocha (LUÍZ; PINTO; SCHEFFER, 2012). A ação dos ventos e as chuvas também provocam a ressuspensão de sedimentos que contribui para a circulação dos nutrientes. Diante disso, os valores de turbidez referem-se à atenuação da luminosidade solar ao atravessar a coluna d’água pela absorção e espalhamento da luz causada pelos sólidos em suspensão (ABREU; CUNHA, 2017; RODRIGUES et al., 2021).

O parâmetro sólido total representa a medida da quantidade total de substâncias dissolvidas contidas em água ou efluente, incluindo sais e componentes não iônicos; processos de intemperismo geram produtos que são encontrados nos corpos d’água na forma iônica são os principais constituintes dos sólidos totais dissolvidos (PEREIRA et al., 2013; PIRATOBA et al., 2017). O excesso de sólidos totais altera a incidência luminosa na água e interfere na realização da fotossíntese de organismos autotróficos, reduzindo o oxigênio dissolvido na água (Lima et al., 2020). Este resíduo é aferido no que resta na

cápsula após a evaporação em banho-maria de uma porção de amostra e sua posterior secagem em estufa a 103-105°C até peso constante (ANA, 2012).

## **2.2 Eutrofização de corpos hídricos e Índice de Estado Trófico (IET)**

Um dos impactos globais mais graves relacionados com a conservação da água, é o processo de eutrofização (WIEGAND; PIEDRA; ARAUJO, 2016). Esse fenômeno ocorre em lagos e reservatórios e pode ser de origem natural ou antrópica, devido ao aumento de concentrações de nutrientes, como fósforo e nitrogênio no corpo d'água, o que favorece o crescimento excessivo do fitoplâncton, macrófitas aquáticas e principalmente cianobactérias, que são tóxicas à saúde humana (ARAUJO; MENDONÇA; REIS, 2018).

Estudos de qualidade da água demonstraram que mudanças climáticas, regime hidrológico, uso do solo e cobertura vegetal são fatores que afetam as características limnológicas dos ambientes (MANOEL; CARVALHO, 2018). As atividades antrópicas contribuem para eutrofização artificial e desencadeia desequilíbrios nos ecossistemas, consistindo em produção de matéria orgânica maiores do que a capacidade de consumo e decomposição (SOUSA et al., 2018). Para Tundisi, J. G. e Tundisi, T. M (2008) as principais causas da eutrofização produzida pelas atividades humanas estão relacionadas com as entradas de águas residuárias, drenagem superficial, erosão do solo e uso excessivo de detergentes não-biodegradáveis, que geram uma série de consequências para os ambientes aquáticos como a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, mortalidade de peixes e invertebrados e redução acentuada na biodiversidade e no número de espécies de plantas e animais.

Tratando-se das características limnológicas, a temperatura, transparência da água e nutrientes são responsáveis pela produtividade primária das águas, avaliada pelas concentrações de clorofila-a, o enriquecimento por nutrientes dos ecossistemas aquáticos, também se deve a fatores limitantes como o fósforo e nitrogênio (WIEGAND; PIEDRA; ARAUJO, 2016).

Para monitorar a qualidade ambiental do corpo hídrico, o Índice de Estado Trófico (IET) permite classificar os ambientes lacustres com relação aos seus estados de trofia, classificando-os em níveis que variam de ultraoligotrófico, indicando que o corpo hídrico apresenta baixas concentrações de nutrientes, a hipereutrófico, grau máximo de trofia e concentração de nutrientes (ABREU; CUNHA, 2017; LAMPARELLI, 2004).

Esse índice foi desenvolvido por Carlson (1977), resultado das análises de regressão linear, baseado na profundidade do disco de Secchi e concentrações de fósforo total e clorofila-a, proposta modificada por Toledo Jr et al. (1983), também aplicando a análise de regressão linear, para adaptação do modelo em ambientes subtropicais, considerada necessária para reduzir distorções nos valores finais de classificação, haja vista as diferenças em relação às condições climáticas de regiões temperadas, tropicais e subtropicais (BEM; RODRIGUES; BRAGA, 2009).

A proposta mais recente foi desenvolvida por Lamparelli (2004). Este, por sua vez, modificou os modelos de Carlson (1977) e Toledo Jr (1983), aplicando novamente a regressão linear, com o objetivo de melhor refletir os resultados para ambientes lênticos subtropicais, sendo proposto também equações para determinação de índice de estado trófico para ambientes lóticos (BEM, RODRIGUES; BRAGA, 2009; SOUSA et al., 2018).

A aplicação de um IET funciona como um registro das atividades humanas, além de oferecer subsídios para a formulação de planos de manejo e gestão de ecossistemas aquáticos, adotando estratégias que visem à sustentabilidade dos corpos d'água, garantido seus usos múltiplos em médio e longo prazo (FIA et al., 2009).

### **2.3 Impactos ambientais em corpos hídricos da Amazônia**

As bacias hidrográficas brasileiras, em especial as amazônicas, apresentam-se como fundamentais para o gerenciamento dos recursos hídricos e para o planejamento ambiental, sendo extremamente sensíveis aos efeitos antrópicos experimentado nos últimos anos e à perda de sua biodiversidade em decorrência da crescente necessidade da sociedade por

água e demais recursos proporcionados pela natureza (GORAYEB; LOMBARDO; PEREIRA, 2009). Independente da boa resiliência dos corpos hídricos amazônicos, a capacidade de dispersão, diluição ou autodepuração de cada corpo d'água é uma característica particular e altamente variável, daí a importância do monitoramento constante dos recursos aquáticos (CUNHA et al., 2004).

No estado do Pará, região norte do Brasil, constata-se um crescimento progressivo da exploração dos recursos naturais, reflexo do modelo de desenvolvimento adotado pela região amazônica desde a década de 1970, que priorizou o crescimento econômico em detrimento da preservação ambiental e do bem-estar social (GORAYEB; LOMBARDO; PEREIRA, 2009). Essa política socioeconômica deixou como vestígios graves impactos ambientais, entre os quais o desmatamento, a perda da biodiversidade, e consequente desequilíbrio na qualidade dos recursos hídricos, já que a redução da cobertura original do solo imprime uma considerável carga de poluentes e contaminantes ao leito de corpos aquáticos (PEREIRA et al., 2016; SOUSA et al., 2012). Esse contexto somado ao cenário atual é bastante inseguro quanto à manutenção dos ecossistemas. Segundo Zimmerman, Guimarães e Peralta-Zamora (2008) a poluição das águas se dá principalmente pelo conjunto de atividades humanas, e os poluentes alcançam as águas superficiais e subterrâneas de diversas formas.

Estudos em microbacias amazônicas como o de Miranda et al. (2017), que sugeriram maior atenção aos esgotos domésticos e industriais na região, independente do grande volume hídrico das bacias que atenuam os impactos e o de Silva, Andrade e Webler (2019), os quais chamam atenção para as pequenas microbacias urbanizadas, que sofrem impacto de forma mais intensa devido às fontes difusas de poluição que atingem o corpo hídrico com maior abrangência, dão suporte e margem para a investigação dos recursos aquáticos na Amazônia, uma vez que constituem ecossistemas sensíveis aos impactos ambientais.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar os Índices de qualidade da água e Estado trófico dos lagos Juá e Taparí, município de Santarém-Pará.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- a) Investigar situação de parâmetros indicadores de qualidade da água, considerando a diferença de antropização entre os lagos e a flutuação natural do nível das águas.
- b) Confrontar os resultados encontrados; por parâmetro indicador de qualidade; frente aos seus respectivos valores padrões de referência estabelecidos pela Resolução N° 357 do CONAMA, para águas doces classe 2.
- c) Avaliar o grau de trofia de cada lago utilizando a ferramenta do Índice de Estado Trófico (IET).

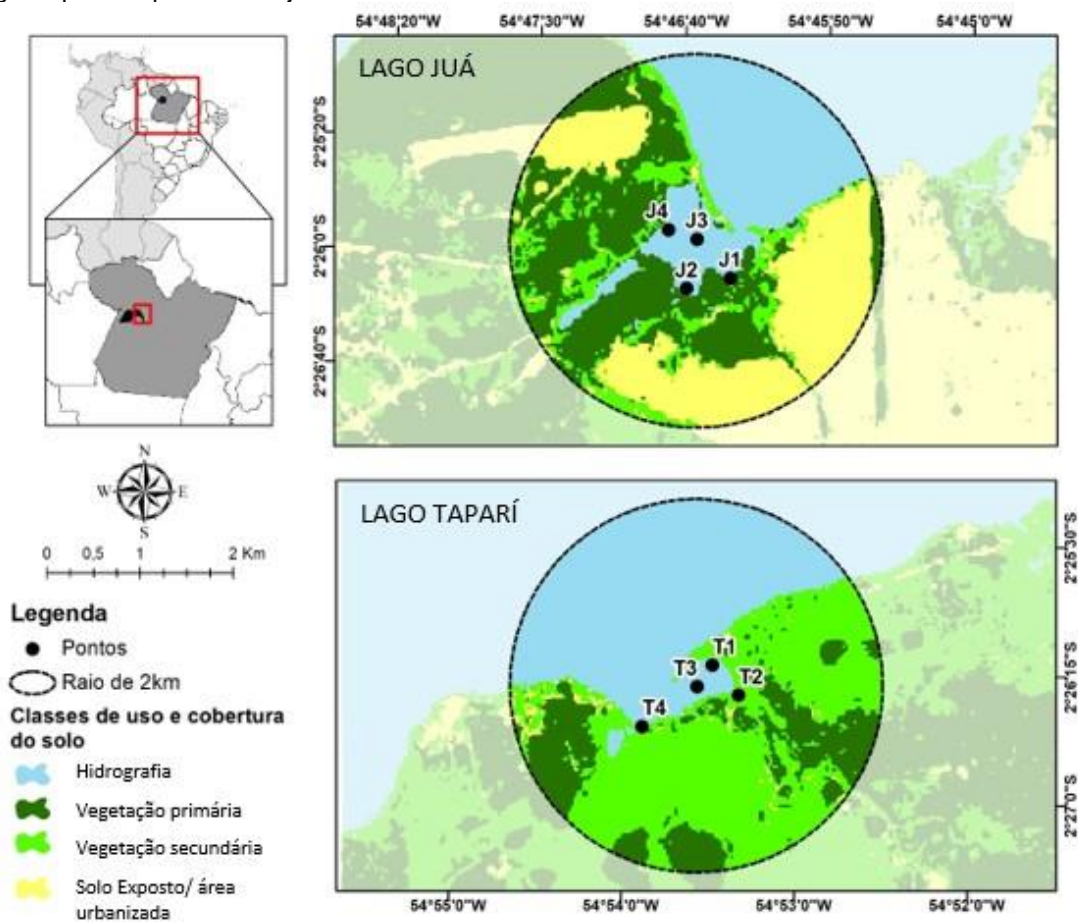
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

Na região do município de Santarém e na bacia do rio Tapajós, o lago Taparí, está situado próximo a praia turística de Ponta de Pedras, e seu acesso é facilitado por meio da rodovia PA – 457 (Everaldo Martins), a área deste ecossistema é formada por fragmentos de floresta de várzea e parte com características de Savana Amazônica (gramíneas e vegetação arbustiva) (FRÓIS et al., 2021).

Outro lago mais próximo da urbanização de Santarém com aproximadamente 7 km de distância do centro da cidade, é o Lago do Juá, é um ambiente tipicamente de várzea, classificado como lago redondo, com transparência Secchi típico de águas claras, pH ácido (PENA, 2016) sua formação vegetal é composta por florestas de várzea e manchas de savanas amazônicas (gramíneas e arbustos) (SUEMITSU; NOVAIS; VARGAS, 2013). É um lago periurbano, situado próximo as margens da rodovia Fernando Guilhon, cuja área de influência do lago, parte foi desmatada para instalação de empreendimentos imobiliários e ocupações habitacionais irregulares (SERRÃO et al., 2022), além disso, o Lago do Juá possui confluência com igarapé do Cucurunã. A seguir localização geográfica dos Lagos Juá e Taparí (figura 1).

**Figura 1** – Mapa com a localização dos pontos de coleta estudados no Lago Juá e Lago Taparí no período de janeiro a dezembro de 2021.



Fonte: IMBIRIBA, (2022)

## 4.2 Métodos de Campo

As coletas foram realizadas de janeiro a dezembro de 2021, sendo os meses de janeiro a junho correspondendo ao período de águas altas e julho a dezembro, período de águas baixas. A tabela 1, faz referência aos pontos georreferenciados com as suas localizações geográficas através de um GPS da marca Garmin.

**Tabela 1** - Localização geográfica dos pontos amostrais

<b>Lagos</b>	<b>Pontos</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
<b>Juá</b>	J1	S: 02°26'12.3"	W: 054°46'23.4"
	J2	S: 02°26'14.4"	W: 054°46'39.8"
	J3	S: 02°25'57.2"	W: 054°46'36.2"
	J4	S: 02°25'53.9"	W: 054°46'46.1"
<b>Tapari</b>	T1	S: 02°26'10.9"	W: 054°53'28.6"
	T2	S: 02°26'24.2"	W: 054°53'15.6"
	T3	S: 02°26'18.4"	W: 054°53'33.8"
	T4	S: 02°26'32.3"	W: 054°53'53.0"

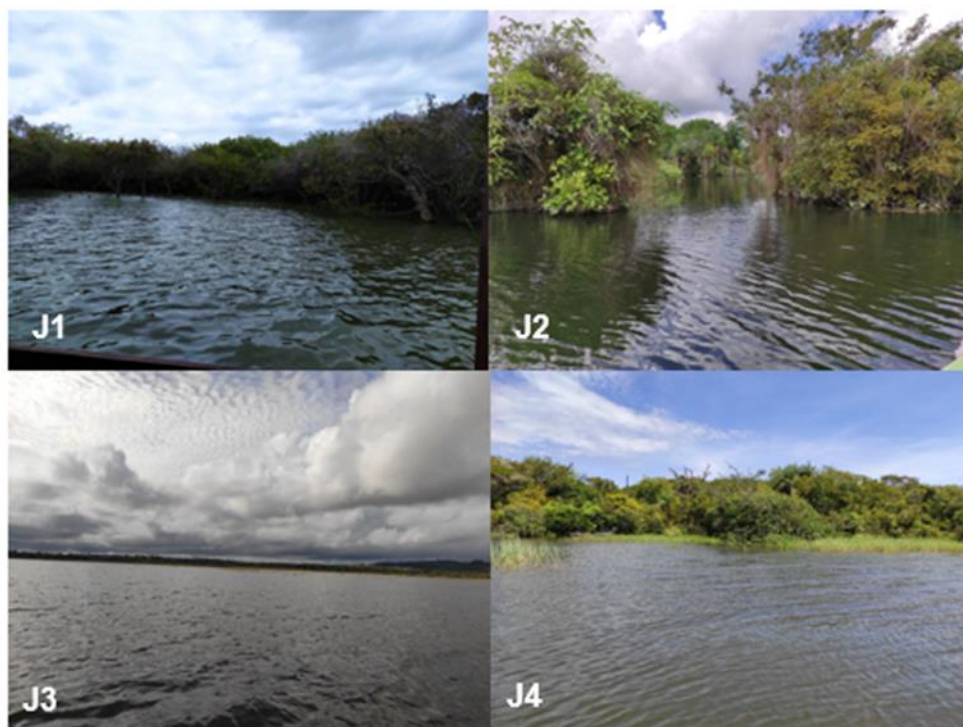
**Fonte:** Autores (2023)

A partir de informações sobre a antropização do lago Juá, conforme SUEMITSU; NOVAIS; VARGAS, (2013), Pena (2016) e Cardoso et al. (2017) foram escolhidos 4 pontos em trechos distintos, com base em critérios fisionômicos como a cobertura vegetal e ações antrópicas ocorridas próximas ao ponto de amostragem. Portanto, para definição dos pontos de coleta de água, foi considerada a redução da mata ciliar, a influência da ação antrópica nos lagos, procurando caracterizar a atual integridade de dois ambientes lacustres, observando as alterações ocasionadas na qualidade da água, com especial atenção para área utilizada pelos pescadores.

Dessa forma, no lago do Juá (figura 2), o primeiro trecho (J1) localiza-se a jusante do esgoto de empreendimentos imobiliários. Neste ponto a sua margem possui extensão considerável de cobertura vegetal, e no leito deste evidenciou-se parcial cobertura de macrófitas aquáticas e vegetação submersa. No segundo trecho (J2), identificou-se desembocadura do Igarapé do

Cucurunã. Neste ponto constatou-se em sua margem vegetação natural, típica de floresta de igapó. O terceiro trecho (J3), Centro do Lago e o quarto segmento (J4) – Jusante da Galeria de águas pluviais. No leito deste ponto, foi possível evidenciar parcialmente a presença de macrófitas aquáticas, em suas margens e mata ciliar secundária. Além disso, notou-se presença de resíduos sólidos e líquidos, devido a descarga de águas pluviais.

**Figura 2** – Localização dos quatro pontos de coleta no Lago Juá. Onde: Jusante do esgoto de empreendimentos imobiliários – J1, Desembocadura do Igarapé do Cucurunã – J2, Centro do Lago – J3 e J4 Jusante da Galeria de Águas Pluviais.



**Fonte:** Autores (2023)

Considerado neste estudo o ambiente menos antropizado, foram realizadas coletas no lago Taparí (figura 3). O ponto (T1) localizou-se às proximidades de residências, sendo evidenciado faixas de areia que fazem divisa entre o lago e o rio Tapajós. A lâmina d'água deste ponto possui parcialmente presença de macrófitas aquáticas. Para o ponto (T2) denominou-se Desembocadura do Igarapé do Taparí, neste, evidenciado floresta úmida, típica de igapó, ambiente íntegro. Determinou-se o (T3) – Centro do Lago e logo o (T4), identificado como canal de ligação com Lago Negro, sendo um ponto amostral que recebe contribuição hídrica do referido lago.

**Figura 3** – Localização dos quatro pontos de coleta no Lago Taparí. Onde: Próximo de residências – T1, Desembocadura do Igarapé do Taparí – T2, Centro do Lago – T3 e T4 Canal de ligação do Lago Negro.



**Fontes:** Autores (2023)

### 4.3 Métodos de Coleta

Os procedimentos de coleta, conservação, transporte e análise das amostras de água seguiram as recomendações indicadas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WPCF (2005) e NBR 9898- Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.

As medições de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), condutividade elétrica ( $\mu\text{S/L}$ ), oxigênio dissolvido ( $\text{mg/L}$ ) e pH, foram realizadas no momento da coleta, utilizando-se sondas do aparelho multiparâmetro. Para a aferição de desaparecimento de campo visual (transparência) foi utilizado o disco de Secchi.

Para a determinação das características físico-químicas e biológicas, foram analisados os parâmetros: Turbidez (UNT – Método Nefelométrico – Turbidímetro); Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO ( $\text{mg/L}$  -

Incubação/Eletrodo de membrana – Estufa de incubação); Nitrato (mg/L-N-(1-naftyl)-etilenodiamina - Espectrofotômetro); Fósforo total (mg/L - Redução com Ácido Ascórbico – Espectrofotômetro); Coliformes fecais (UFC - Membrana filtrante - Meio Endo - Estufa bacteriológica); Clorofila-a (mg/L - Método Tricromático, Acetona 90% - Espectrofotômetro) e Sólidos totais (mg/L - Secagem em estufa entre 103 a 105 °C/24 h peso constante – Espectrofotômetro).

As amostras foram coletadas em frascos de polipropileno âmbar autoclavável com volume de 250 mL utilizados para as análises microbiológicas e amostras destinadas às análises físicas e químicas coletadas em frasco de polipropileno 1000 mL. Todos os recipientes previamente lavados e etiquetados com data e pontos de coleta.

As variáveis limnológicas e de qualidade da água dos lagos Juá e Tapará foram comparadas com os indicadores do padrão de qualidade das águas superficiais no âmbito da Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces Classe 2. A seguir está a discriminação do método analítico (Tabela 2), segundo APHA Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater (APHA, 2012).

**Tabela 2** – Parâmetros de qualidade da água, métodos e equipamentos de análise.

Parâmetros Físicos, Químicos e Microbiológicos	Método / Código <i>Standard Methods</i> (2012).	Equipamentos
Temperatura da água	Sonda termométrica digital (Cód.: 2550 B)	Sonda termométrica digital
Transparência ao Disco de Secchi	Aferição de desaparecimento de campo visual	Disco de Secchi
Potencial hidrogeniônico – pH	Medição <i>in situ</i> – Potenciometria (Cód.: 4500-H B).	pHmetro
Condutividade elétrica	Medição <i>in situ</i> – Condutivimetria (Cód.: 2510 A)	Condutímetro
Turbidez	Nefelométrico (Cód.: 2510 A)	Turbidímetro

Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO	Incubação/Eletrodo de membrana (Cód.: 5210 B)	Estufa de incubação
Oxigênio dissolvido	Medição <i>in situ</i> – Eletrodo (Cód.: 4500-OG)	Sonda Multiparâmetro
Nitrato	Colorimetric Method (Cód.: 4500 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Espectrofotômetro
Fósforo total	Redução com Ácido Ascórbico (Cód.: 4500- PE)	Espectrofotômetro
<i>Coliformes fecais (Escherichia coli)</i>	Membrana filtrante – Meio Endo (Cód.: 9222 D)	Estufa bacteriológica
Coliformes totais	Membrana filtrante – Meio Endo (Cód.: 9222 D)	Estufa bacteriológica
Clorofila <i>a</i>	Método Tricromático, Acetona 90% (Cód.: 10200 H).	Espectrofotômetro
Sólidos Totais	Secagem em estufa entre 103 a 105 °C/24 h peso constante (Cód.:2540 B)	Espectrofotômetro

**Fonte:** Autores (2023)

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em caixa térmica sob refrigeração e transportadas até o Laboratório de Biologia Ambiental na Universidade Federal do Oeste do Pará-UFOPA para a realização das análises pertinentes.

#### 4.4 Métodos de Laboratório

Para análise de DBO utilizou-se um frasco âmbar de 250 ml para cada amostra bruta, adicionando 120 ml e completando com água destilada. Em seguida utilizou-se de um oxímetro calibrado com ar saturado a 100% e aferiu-se o oxigênio inicial. As amostras foram incubadas por 5 dias sob refrigeração a 20°C e após foi realizada a aferição final do oxigênio.

Para a determinação dos sólidos totais lavou-se previamente um becker de 250 ml, como maneira de retirar qualquer impureza para não afetar os resultados. Em seguida, aqueceu-se por uma hora em uma estufa (103-105

°C). Após esse procedimento as amostras foram resfriadas à temperatura ambiente em um dessecador. Ao atingir a temperatura ideal realizou-se o peso seco. As amostras foram homogeneizadas, em seguida aferiu-se 100 ml da amostra transferindo-a para um becker. Através do processo de evaporação em banho maria (103-105°C) as amostras são resfriadas para assim realizar o peso das cápsulas.

Para determinação do nitrato utilizou-se um espectrofotômetro de absorção molecular da marca Biospectromodelo SP 220 (Figura 3), por meio do método da N- (1- naftyl) -etilenodiamina, previamente filtradas em filtros de fibra de vidro (0,45 µm de poro, GelmanSciences).

Para coliformes termotolerantes seguiu-se o método da membrana filtrante-meio Endo, que consiste em filtrar 100 mL de amostra de água por meio de membrana filtrante de acetato de celulose com porosidade de 0,45µm e posterior cultura em meio seletivo em placa de petri. A amostra foi incubada por 24 horas a 37°C em estufa bacteriológica para a formação das colônias, após este período foi realizada a contagem das colônias formadas, com auxílio de um microscópio estereoscópico e o resultado expresso em unidades formadoras de colônias (UFC/mL).

As análises de Clorofila-a seguiram o método tricromático de Strickland & Parsons (1968) por meio da maceração dos filtros até sua total fragmentação, utilizando-se como solvente acetona 90% à frio, baixa iluminação e em temperatura ambiente. O extrato obtido foi armazenado em tubos de ensaio graduados com capacidade de 15 ml. Os tubos foram mantidos em geladeira à temperatura de -18°C, por 24 horas a fim de se extrair o referido pigmento. Após esse período, centrifuga-se e após é realizada as respectivas leituras de absorbâncias dos extratos em um espectrofotômetro de absorção molecular, modelo UV1201-Shimadzu. As concentrações de fósforo total são obtidas em espectrofotômetro de absorção molecular, modelo UV1201-Shimadzu, pelo método do ácido ascórbico seguindo das medidas das absorbâncias.

#### 4.5 Índice de Qualidade da Água (IQA)

O IQA foi obtido a partir das formulações adaptadas por Von Sperling (2007) e SEMAD (2005) que utilizam 9 parâmetros (Demanda Bioquímica de Oxigênio, pH, Oxigênio Dissolvido, Turbidez, Temperatura, Fósforo Total, Nitrato Total, Sólidos Totais e Coliformes Termotolerantes) para determinar a qualidade das águas brutas conforme fórmula a seguir:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas (variando de 0 a 100);

$q_i$ : qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, variando de 0 a 100, obtido através da curva média da variação de qualidade, em função de sua concentração ou medida;

$w_i$ : peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função de sua importância para a qualidade;

$n$ : número de variáveis que entram no cálculo do IQA;

A partir do cálculo efetuado se determina a qualidade das águas brutas, variando em uma escala de 0 a 100, classificada em categorias (Quadro 1).

**Quadro 1** – Classificação do IQA

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>PONDERAÇÃO</b>
ÓTIMA	$80 \leq IQA \leq 100$
BOA	$52 \leq IQA < 80$
ACEITÁVEL	$37 \leq IQA < 52$
RUIM	$20 \leq IQA < 37$
PÉSSIMA	$IQA < 20$

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007)

#### 4.6 Índice de Estado Trófico (IET)

O Índice de Estado Trófico foi calculado a partir da metodologia criada por Carlson (1977) e modificada por Lamparelli (2004) para ambientes lênticos subtropicais, na qual utiliza as concentrações de fósforo total e clorofila-a para determinar o grau de trofia de lagos (Equações 1 e 2):

$$(1) \quad IET (PT) = 10 \times \left( 6 - \frac{(1,77 - 0,42 \times (\ln PT))}{\ln 2} \right)$$

$$(2) \quad IET (Cl - a) = 10 \times \left( 6 - \frac{(0,92 - 0,34 \times (\ln Cl - a))}{\ln 2} \right)$$

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água em  $\mu\text{g.L}^{-1}$

Cl-a: concentração de clorofila-a medida à superfície da água em  $\mu\text{g.L}^{-1}$

ln: logaritmo natural

Para classificação de trofia dos lagos (Quadro 2) é obtido o IET médio final que consiste na média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila-a (Equação 3):

**Quadro 2** – Classificação do Estado Trófico a partir do índice proposto por Lamparelli (2004)

CLASSIFICAÇÃO	PONDERAÇÃO
ULTRAOLIGOTRÓFICO	$IET \leq 47$
OLIGOTRÓFICO	$47 < IET \leq 52$
MESOTRÓFICO	$52 < IET \leq 59$
EUTRÓFICO	$59 < IET \leq 63$
SUPEREUTRÓFICO	$63 < IET \leq 67$
HIPEREUTRÓFICO	$IET > 67$

Fonte: Adaptado de CETESB (2019) e Lamparelli (2004)

#### **4.7 Métodos Estatísticos**

Para as análises estatísticas utilizou-se a descritiva para verificar os valores médios e o desvio padrão das variáveis analisadas e, a partir desses, quadros e tabelas para apresentação dos resultados. No intuito de verificar a existência de diferenças significativas aplicou-se o teste estatístico de Análise de Variância (ONE-WAY ANOVA) com Nível de Significância ( $p = 0,05$ ), o qual permitiu gerar gráficos para efeito de comparação dos dois ambientes estudados. As análises estatísticas foram processadas com o auxílio do software Statistica 7.0.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Aspectos Limnológicos do Lago Juá e Lago Taparí

As paisagens dos ambientes lacustres estão sujeitas a mudanças temporais em função do regime pluviométrico e fluvial, por isso a hidrógrafa fluvial é designada por período de água altas e águas baixas, sendo que no período águas altas ocorre a interligação dos canais hídricos (LEMOS, 2019). Nesse contexto, diferentes padrões de distribuição temporal podem ser observados para os parâmetros de qualidade da água e estados tróficos avaliados, na tabela 3 são apresentados resultados de estatística descritiva referentes às variáveis analisadas para os lagos Juá e Taparí de acordo com as fases da hidrógrafa fluvial.

**Tabela 3** - Valores médios e desvio padrão dos resultados dos parâmetros de qualidade da água por fase da hidrógrafa fluvial dos dois lagos.

Parâmetros	Hidrógrafa Fluvial	Juá	Taparí
		Média/DP <sup>3</sup>	Média/DP
Temperatura (°C)	Águas Altas	29,3±0,9	29,6±0,8
	Águas Baixas	29,2±0,7	30,2±0,8
Potencial Hidrogeniônico (pH)	Águas Altas	5,5±0,7	5,7±0,6
	Águas Baixas	4,7±0,5	5,4±0,5
Transparência ao Disco de Secchi (m)	Águas Altas	1,6±0,5	1,6±0,5
	Águas Baixas	1,4±0,8	1,6±0,9
Turbidez (UNT)	Águas Altas	22,8±5,8	21,4±2,7
	Águas Baixas	23,6±8,7	18,2±5,4
Condutividade Elétrica (µS/L)	Águas Altas	12,5±2,0	11,7±1,3
	Águas Baixas	13,0±0,9	10,6±3,9
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Águas Altas	5,5±0,6	5,7±0,5
	Águas Baixas	5,8±0,9	6,0±0,3
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	Águas Altas	1,9±2,0	1,1±0,7
	Águas Baixas	1,3±0,3	1,2±0,6
Coliformes Termotolerantes (UFC)	Águas Altas	91,7±138,4	4,2±10,2
	Águas Baixas	345,8±184	133,3±112,5
Nitrato (mg/L)	Águas Altas	0,52±0,10	0,62±0,09
	Águas Baixas	0,43±0,25	0,32±0,18
Sólidos Totais (mg/L)	Águas Altas	48,3±26,6	41,5±47,7
	Águas Baixas	72,0±62,8	26,3±16,7
Fósforo Total (mg/L)	Águas Altas	0,0006±0,001 2	0,0006±0,001 1
	Águas Baixas	0,0003±0,000 2	0,0004±0,000 3

Clorofila- <i>a</i> (mg/L)	Águas Altas	0,0052±0,004 1	0,0023±0,001 7
	Águas Baixas	0,0020±0,000 7	0,0021±0,000 5

**Fonte:** Autores (2023)

No lago Juá, a temperatura entre os períodos variou de 27,6 a 30,4°C e 26,8 a 31,4°C no lago Taparí em valores absolutos. De acordo com Miranda et al. (2009) a temperatura é uma variável que depende da hora da coleta e da estação sazonal, que no período de maior precipitação na região amazônica esse parâmetro dificilmente ultrapassa os 30°C. Segundo Arcova e Cicco (1999) altas temperaturas estão relacionadas com o tamanho do canal do corpo hídrico e degradação da mata ciliar, que impedem o sombreamento da lâmina d'água, independente da presença ou ausência, o que interfere diretamente na temperatura do ambiente aquático.

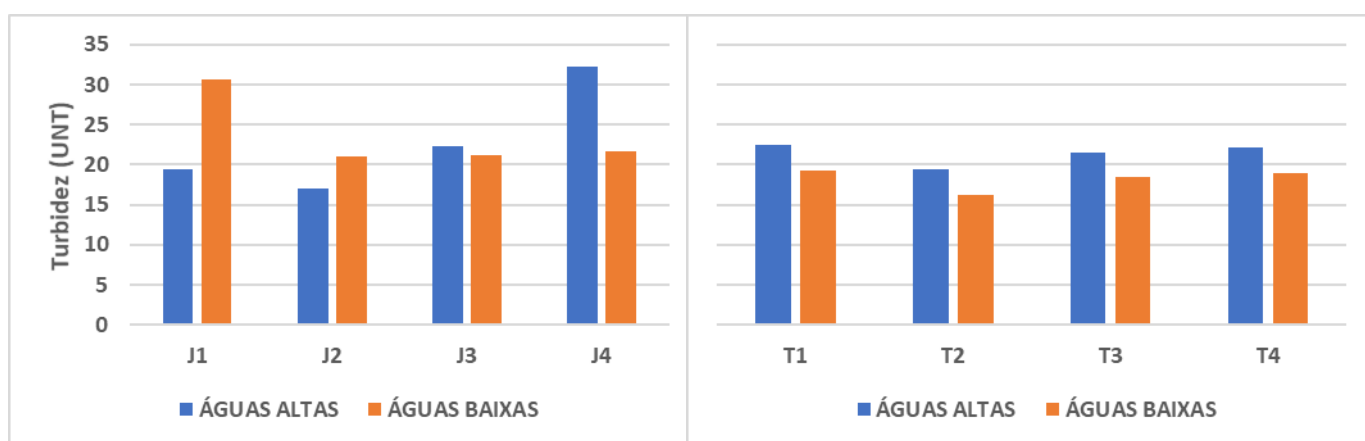
Em lagos Amazônicos, elevadas transparências são típicas de águas claras, para esse estudo, as médias de transparência ao disco Secchi dos lagos corresponderam a 1,6±0,5 m para águas altas e 1,4±0,8 para águas baixas no Lago Juá; enquanto que no lago Taparí a transparência média não diferiu em ambos períodos e apresentou águas límpidas.

Observou-se ainda, nos lagos investigados, que as médias de turbidez estão em conformidade com a Resolução CONAMA 357/05, a qual estabelece condições ideais para corpos hídricos de água doce classe 2 de até 100 UNT, porém, o maior valor absoluto registrado foi 78,1 UNT, no ponto J4 que faz referência a descarga de águas pluviais do aeroporto municipal, esse valor encontrado influenciou na menor transparência disco Secchi das águas com 0,77 m, podendo tal valor ter sido atribuído pelo fenômeno de floração de algas observado no ponto de coleta. Segundo Castro e Moser (2012) o aumento da biomassa de microalgas reduz a transparência da água e eleva os valores de turbidez (SILVA, 2020).

Vale ressaltar, que as maiores médias de turbidez foram obtidas no lago Juá de 22,8 ± 5,8 águas altas e 23,6±8,7 águas baixas. Neste estudo, os dados de turbidez mostraram-se elevados em água altas no J4 (figura 4) devido a

canalização de águas pluviais, e nas águas baixas no ponto J1 referente a contribuição do despejo in natura no ponto de coleta. A expressiva turbidez do rio Tapajós é influenciada historicamente pelo carreamento de sedimentos do rio Amazonas, que adentram ao Tapajós em época de cheia, através de canais que conectam ambos rios (DINIZ, et al., 2022). Para Lemos (2019) O período chuvoso carrega material particulado em suspensão a qual é responsável pela turvação da água e pela entrada de compostos dissolvidos, podendo ser intensificado por atividades antrópicas. Em relação ao lago Taparí, a turbidez demonstrou um perfil mais homogêneo em ambos períodos, não sendo observado picos deste parâmetro para os pontos estudados.

**Figura 4** – Concentrações médias de Turbidez obtidas entre os pontos nos períodos de águas altas e águas baixas nos lagos.

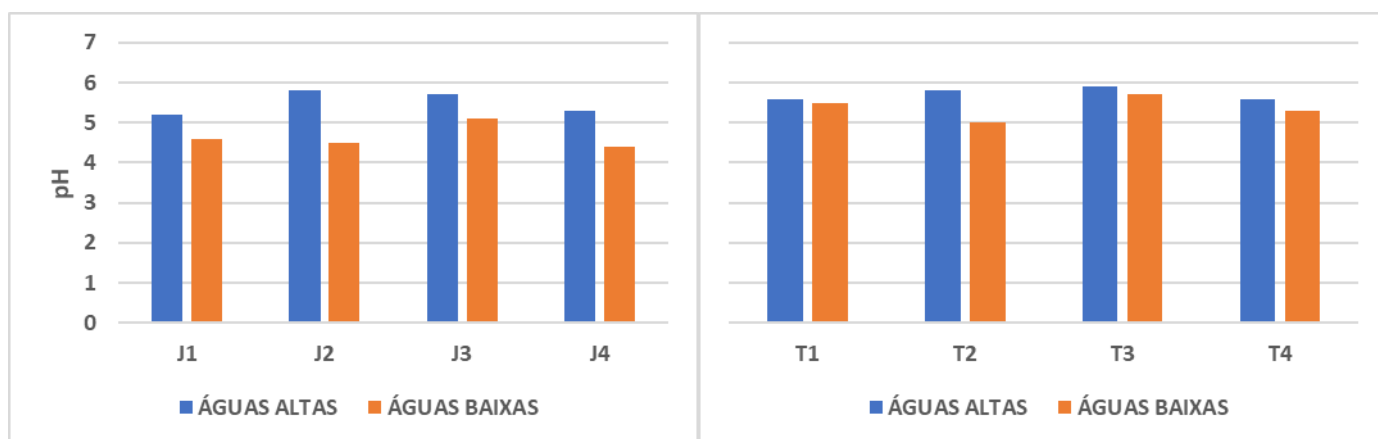


**Fonte:** Autores, (2023).

As concentrações de espécies iônicas dissolvidas e inorgânicas estão relacionadas com os teores de condutividade elétrica (VITÓ et al., 2016). Assim, o lago Juá apresentou concentrações levemente mais altas com média de  $12,5 \pm 2,0$  para águas altas e  $13,0 \pm 0,9$  águas baixas, em comparação ao lago Taparí, que registrou média  $11,7 \pm 1,3$  águas altas e  $10,6 \pm 3,9$  águas baixas. A presença de fontes poluidoras também é um fator determinante para elevação da condutividade elétrica, no ponto J1 do lago Juá, o resultado pode estar associado ao assoreamento e descarga de matéria orgânica, onde é possível notar o carreamento de material argiloso em função do uso e ocupação do solo, o que justifica a concentração de íons (SOUSA et al., 2018; MONTE et al., 2021).

Os lagos amostrados apresentaram águas levemente ácidas, a média de pH entre os períodos variou de  $4,7 \pm 0,5$  a  $5,5 \pm 0,7$  no Juá e de  $5,4 \pm 0,5$  a  $5,7 \pm 0,6$  no lago Taparí, abaixo do que estabelece a Resolução CONAMA 357/05 para águas doces (classe 2), cuja faixa padrão na legislação é entre 6 a 9. Devido a intensas chuvas, no mês de março, em ambos os lagos, e no mês de dezembro, no lago Taparí, apresentou-se próximo à neutralidade. Segundo Carvalho, Schlittler e Tornisielo (2000), com o aumento da pluviosidade, há maior lavagem do solo e com isso mais diluição de compostos dissolvidos, que somados ao volume e à velocidade da água (escoamento mais rápido) resulta em um aumento do pH, que se aproxima da neutralidade. Neste estudo verificou-se um aumento do pH, conforme a elevação do nível da água, onde a tendência a acidez foi designada aos pontos que recebem algum tipo de impacto antrópico com J1 e J4 (figura 5).

**Figura 5** – Concentrações médias de pH obtidas entre os pontos nos períodos de águas altas e águas baixas nos lagos.



Fonte: Autores, (2023).

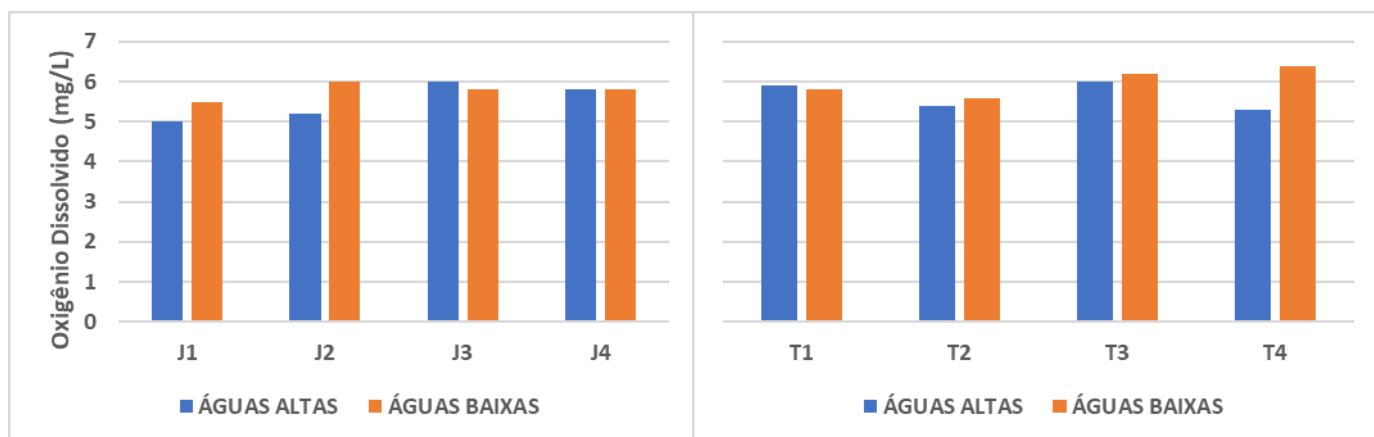
No estudo de Santos et al. (2021) encontraram comportamento semelhante do pH em uma microbacia localizada no município de Santarém-PA, para os autores, as nascentes com integridade ambiental mais preservadas apresentaram menores valores de pH, uma vez que representa condição natural dos corpos hídricos amazônicos. Para Monte et al. (2021) os valores de pH podem sofrer variações a depender de interferências antrópicas no corpo hídrico ou mesmo pelo fator de diluição, que influencia nos resultados

de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos. É válido destacar que é comum nas águas amazônicas, especialmente para águas pretas e eventualmente para as águas claras, o predomínio do pH mais ácido, o que não necessariamente reflete desconformidade com a legislação em vigência, mas condições naturais da própria região, demonstrando a necessidade de adequação da legislação para ecossistemas amazônicos (AGUIAR; PELEJA; SOUSA, 2014; SILVA et al., 2008; SIQUEIRA; APRILE; MIGUÉIS, 2012).

Os teores médios de oxigênio dissolvido estiveram dentro do estabelecido pelo CONAMA (figura 6) e sofreram influência dos valores de DBO observados nos períodos. Ainda que, com a chegada da estação chuvosa, período de maior volume de água nos lagos, haja maior diluição da matéria orgânica lixiviada das margens, as maiores médias de OD foram obtidas no período de águas baixas. Ao analisar as estações de amostragem do lago Juá o (J1) apresentou menor valor absoluto de OD no mês de março, 4 mg/L, dado semelhante ao encontrado por Pena (2016) que registrou OD com valor de 4,72 mg/L. Neste ponto amostral há maior acúmulo de material sedimentado devido o aporte de esgotos e erosão dos empreendimentos imobiliários, o que pode contribuir para o consumo de oxigênio na água devido à maior demanda provocada pelo aumento de matéria orgânica no ambiente aquático. No lago Taparí, o menor valor absoluto de OD foi encontrado no ponto (T4), 3,8 mg/L (janeiro) o respectivo ponto recebe contribuições de nutrientes do lago Negro, o que pode justificar a redução de OD nesse período da hidrógrafa fluvial. A baixa concentração de OD está associado ao consumo de oxigênio na decomposição da matéria orgânica por organismos aeróbicos (SANTOS et al., 2021). No estudo de Silva et al. (2019) foi observado o mesmo comportamento do OD, ao estudarem a qualidade da água dos lagos Bolonha e Água Preta, Região Metropolitana de Belém-PA. As maiores concentrações de OD no período de seca é devido ao menor aporte de sólidos neste período e, conseqüentemente, maior penetração de luz e aumento da produtividade primária (SILVA, 2012) . Segundo Darwich et al. (2005) a variação de OD em ambientes lênticos é grande e estreitamente relacionada com a área do lago, a fase do ciclo hidrológico, a hora do dia e a profundidade da coluna d'água, devendo considerar também a influência de fatores antagônicos como a

difusão atmosférica e a produtividade primária, não desconsiderando, porém, a contribuição de pequenos igarapés que fluem da terra firme para os lagos que no período de maior afluência apresentam elevados teores de OD e escassez de eletrólitos e nutrientes.

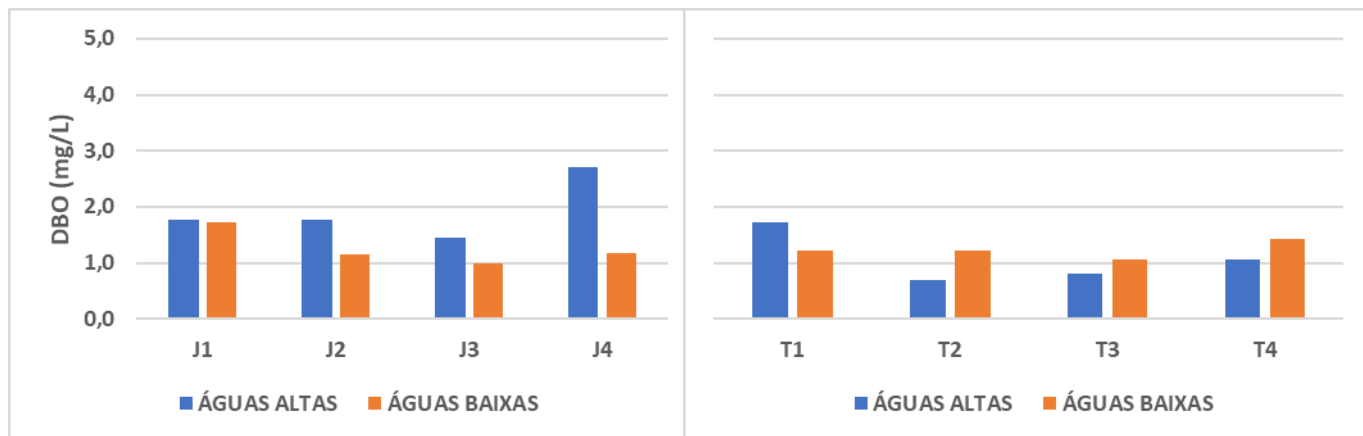
**Figura 6**– Concentrações médias de Oxigênio Dissolvido obtidas entre os pontos nos períodos de águas altas e águas baixas nos lagos.



**Fonte:** Autores (2023)

Ao avaliar a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) dos ambientes lacustres, as médias obtidas em ambos os períodos sazonais (figura 7), apresentaram-se dentro dos limites permitidos pelo CONAMA n°357/05, até 5 mg/L. Foram observadas as maiores concentrações absolutas de DBO no ponto (J4) do lago Juá nas coletas do mês de janeiro (7,8 mg/L) e fevereiro (5,4 mg/L), período de águas altas. Neste ponto as características lênticas em sua margem favorecem a proliferação de macrófitas aquáticas, podendo tal fator estar relacionado à descarga de matéria orgânica (SANTOS et al., 2020). Tal ponto amostral também recebe contribuição do escoamento superficial de águas pluviais da galeria do aeroporto da cidade, que está atrelado à entrada de nutrientes e conseqüentemente na floração de algas. Segundo CETESB (2019) aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados pelo lançamento de cargas orgânicas.

**Figura 7** – Concentrações médias de DBO obtidas entre os pontos nos períodos de águas altas e águas baixas nos lagos.



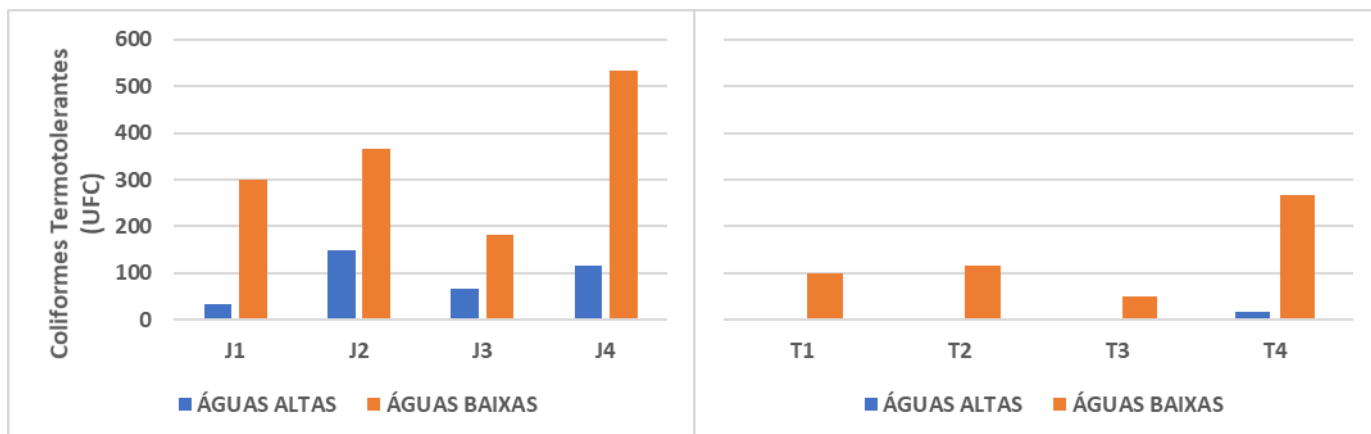
Fonte: Autores (2023)

Na análise de coliformes termotolerantes ao comparar a densidade desses organismos com a legislação, não foi observado desconformidade para os períodos. Os coliformes termotolerantes são microrganismos patogênicos e que incluem bactérias de contaminação fecal, representados pelo gênero *E. coli* (BRASIL, 2006). Os valores máximos permitidos desses organismos segundo o CONAMA 357/05 são de 1000 UFC em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras no período de um ano.

Em relação aos pontos amostrais, foram encontrados coliformes termotolerantes em ambos períodos da cota fluvial (figura 8). No lago Juá, tal resultado demonstra que os pontos em estudo estão recebendo despejos de águas residuais devido à ocupação desordenada na área de influência do lago (SANTOS et al., 2020), Oliveira et al. (2021), ao estudarem a qualidade da água superficial da Zona Portuária de Belém, registraram presença de microrganismos patogênicos associados ao lançamento de esgoto doméstico.

Já no lago Taparí houve pontos em que não se detectou a presença desses organismos durante a fase de águas altas. A distribuição no gráfico mostra ainda que durante a estação menos chuvosa, a presença dos coliformes termotolerantes na água foi maior em ambos os lagos.

**Figura 8** – Concentrações médias de Coliformes Termotolerantes obtidas entre os pontos nos períodos de águas altas e águas baixas nos lagos.



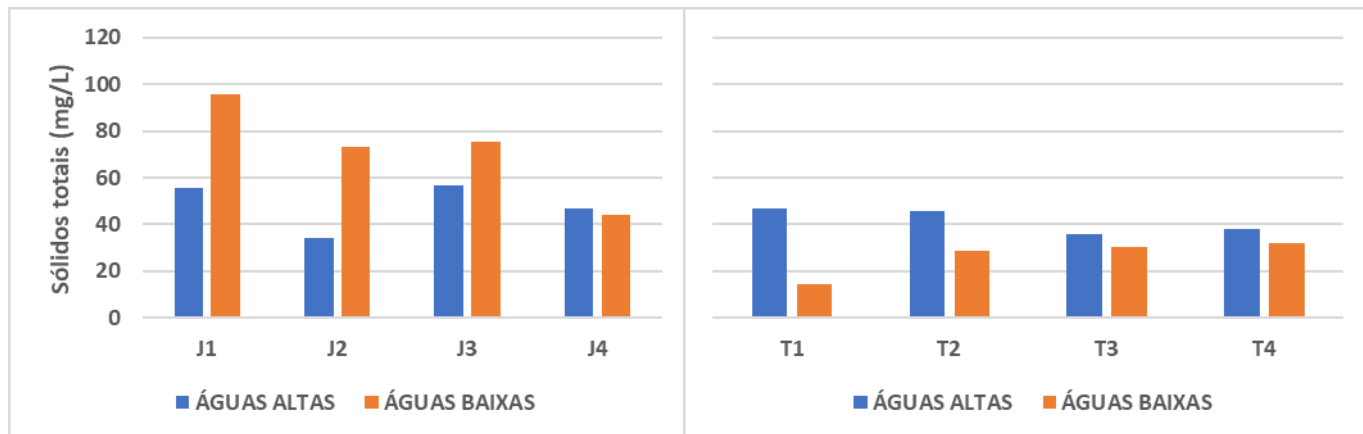
Fonte: Autores (2023)

Levando em consideração a distribuição dos coliformes termotolerantes nas diferentes fases da hidrógrafa fluvial percebe-se que a redução da precipitação e conseqüentemente a diminuição do efeito de diluição contribuiu para o aumento nas concentrações desses organismos. No trabalho de Bentes et al. (2020) cerca de 3% das amostras apresentaram crescimento de coliformes termotolerantes e *E. coli* no período menos chuvoso na cidade de Santarém-PA em águas subterrâneas. Arcos e Cunha (2020) também evidenciaram maiores densidades de coliformes no período de água baixas na praia da Lua, cidade de Manaus- AM, (36 a 960 NMP/CF). A presença de coliformes termotolerantes em todos os pontos de coleta do lago Juá, e em maiores concentrações, pode ser indicativo de possíveis alterações em virtude de ações antropogênicas nesses ambientes.

Quanto aos sólidos totais, as maiores médias ocorreram no lago Juá, e se deram principalmente nas águas baixas,  $72,0 \pm 62,8$  mg/L, destaque para o ponto (J1), que apresentou a maior média entre os pontos amostrados, (figura 9). No estudo de Alves et al. (2012), Rio Arari, Ilha do Marajó, as maiores concentrações foram encontradas na estação seca. Miranda et al. (2016) também encontraram maiores valores de sólidos totais no período menos chuvoso no estuário da Ilha de Mosqueiro, Belém-PA. Desse modo, elevadas

concentrações de sólidos totais interferem na intensidade luminosa na água e na realização da fotossíntese pelos organismos autotróficos (LIMA et al., 2020).

**Figura 9** – Concentrações médias de Sólidos Totais obtidas entre os pontos nos períodos de águas altas e águas baixas nos lagos.



Fonte: Autores (2023)

Os níveis de nitrato para ambos períodos da hidrógrafa fluvial, nos dois lagos, revelaram concentrações significativamente baixas e inferiores ao limite de  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ . Para este nutriente obteve-se média de  $0,52 \pm 0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ , águas altas e  $0,43 \pm 0,25 \text{ mg.L}^{-1}$ , águas baixas para Lago Juá. No Taparí a maior média se deu no período de águas altas  $0,62 \pm 0,18 \text{ mg.L}^{-1}$ ; nas águas baixas o valor médio registrou  $0,32 \pm 0,18 \text{ mg.L}^{-1}$ . Esses valores foram superiores aos obtidos por Aguiar et al., (2014), com valores nitrato de  $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$  em estudo realizado nas microbacias dos municípios de Santarém-PA, Belterra-PA e Mojuí-PA. Este ânion é utilizado pelas plantas como fonte de nitrogênio e suas concentrações estão relacionadas com as características do solo, sofrendo influência de variações hidrológicas, podendo se intensificar com as ações antrópicas (SANTOS et al., 2021; VIEIRA et al., 2021).

## 5.2 Concentrações de Fósforo Total e Clorofila-a

De acordo com a Resolução CONAMA 357/05 que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos e diretrizes para seu enquadramento, estabelecendo condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005) as concentrações máximas permitidas de fósforo são de até  $0,030 \text{ mg/L}$  e de clorofila-a até  $30 \text{ } \mu\text{g/L}$ , para ambientes lânticos, considerando neste

estudo o enquadramento para águas doces de classe 2. As concentrações médias dos parâmetros em ambos os lagos estiveram em conformidade com a legislação nas duas fases da cota fluvial e as maiores médias tanto para fósforo total quanto para clorofila-a foram observadas nas águas altas. Na pesquisa de Pinheiro, Saldanha e Monte (2019) em uma microbacia amazônica os resultados apontaram para tendência de aumento nas concentrações de fósforo e clorofila-a no período de maior pluviosidade na região, apesar da menor incidência de luz. A clorofila-a é um fator limitante para os estudos de qualidade de água. Sendo esse pigmento um dos principais responsáveis pela fotossíntese, o conhecimento de sua concentração pode dar indicações da biomassa fitoplanctônica em ambientes aquáticos (ESTEVES, 1998). Sousa et al. (2018) ao estudarem a trofia de lagos de águas claras associados ao Baixo rio Tapajós, verificaram maiores concentrações de clorofila-a no período seco. Corroborando com o comportamento natural nesse período, uma vez que há maior disponibilidade de luz na zona eufótica e menor profundidade, contribuindo para a elevação da produtividade primária. Os resultados de Rodrigues et al. (2021), ao estudarem a qualidade da água em um rio amazônico, reportaram para uma normalidade dos valores de fósforo total no período chuvoso e em desconformidade no período seco.

Apesar da relativa transparência das águas e os baixos teores de turbidez constantes nas duas fases da pesquisa, a pouca presença de nutrientes pode ter correlacionado para menores concentrações de clorofila nos lagos e maiores médias no período de águas altas, quando os corpos d'água recebem maior aporte de material alóctone por escoamento superficial, ainda que haja menor disponibilidade de fonte luminosa. Apesar da conformidade dos parâmetros, é importante salientar que o despejo de efluentes domésticos e industriais podem aumentar os níveis de concentração dos compostos de fósforo nos corpos hídricos, que é um dos principais responsáveis pelo desenvolvimento de organismos autotróficos fotossintetizantes como algas e cianobactérias (LIMA, 2018; RAMOS, 2015). Assim como o fósforo, a clorofila-a constitui o índice de estado trófico (IET) e é uma importante variável nos ecossistemas aquáticos, sendo o principal pigmento responsável pelo processo

de fotossíntese, atingindo maiores concentrações à medida que há maior penetração de energia radiante no meio aquático (SOUSA et. al., 2018).

### 5.3 Índice de Qualidade da Água

A tabela 4 apresenta valores médios de IQA e a classificação qualitativa da água dos lagos Juá e Taparí por período da hidrógrafa fluvial.

**Tabela 4** - Índice de Qualidade da Água – IQA por lago e hidrógrafa fluvial

Lagos	Hidrógrafa Fluvial	IQA	Classificação
Juá	Águas altas	71	Boa
	Águas baixas	62	Boa
Tapari	Águas altas	76	Boa
	Águas baixas	71	Boa

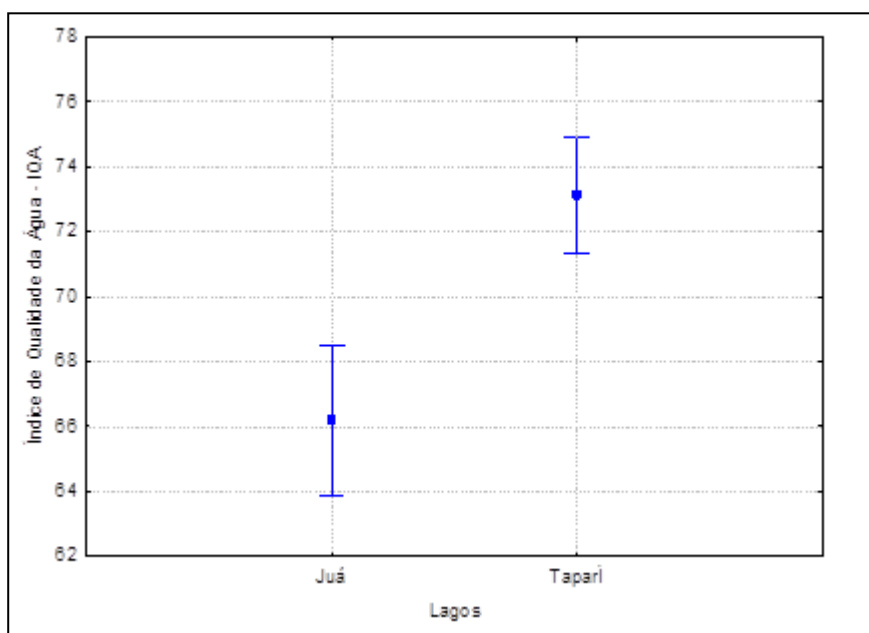
Fonte: Autores (2023)

As águas dos lagos Juá e Taparí foram classificadas como “Boa” tanto no período de águas altas quanto nas águas baixas. O estudo de Andrietti et al. (2016) classificou as águas do rio Caiabi – MT como “Boa”, indicando melhores índices no período chuvoso, atribuindo à presença de vegetação nativa, à conservação da mata ciliar e ao efeito de diluição motivado pelo acréscimo de tributários ao longo do trecho do rio. Na região sudeste do Brasil, estudos sobre o índice de qualidade da água têm indicado águas mais comprometidas, atribuídas principalmente à influência antrópica. Lima (2018) avaliou o IQA na Lagoa do Gambá, Ouro Preto, Minas Gerais, o qual classificou trechos em regular e ruim, justificado pela presença de bactérias do gênero *E. Coli* e elevada turbidez, possivelmente oriundos de contaminação por esgotos domésticos e resíduos despejados na lagoa. Na pesquisa de Amâncio et al. (2018) sobre a qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos rios Capivari e Mortes, Minas Gerais, o IQA mostrou-se comprometido em todos os pontos analisados, classificados como ruim, devido principalmente às atividades ao entorno da bacia e poluições pontuais, além da influência da sazonalidade.

Os melhores índices quantitativos do lago Taparí (71 a 76) em relação ao lago Juá (62 a 71) se deve ao fato de ser um ambiente com menor grau de antropização. Rodrigues et al. (2019) estudaram a qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho, Estado de São Paulo, concluindo que a água da bacia pode ser classificada como boa (IQA entre 52 e 79). No entanto, análises laboratoriais apontaram a presença de pontos na área com contaminação, sendo identificado impacto na qualidade das águas da bacia por dezenas de quilômetros a jusante da zona de lançamento de efluentes, aferindo a presença de fósforo acima dos limites permitidos. Além disso, os autores constataram que a bacia se encontra em desequilíbrio ambiental, oriundo do processo inadequado de ocupação por pastagem e culturas, apresentando baixa cobertura de vegetação arbórea.

Quando se comparou os valores médios de IQA entre os lagos houve diferença significativa ( $F(1, 92) = 31,209$ ,  $p = 0,000$ ), independente de fase da hidrógrafa fluvial (figura 11).

**Figura 10:** Valores médios de IQA entre os lagos, independente de fase da hidrógrafa fluvial.



**Fonte:** Autores (2023)

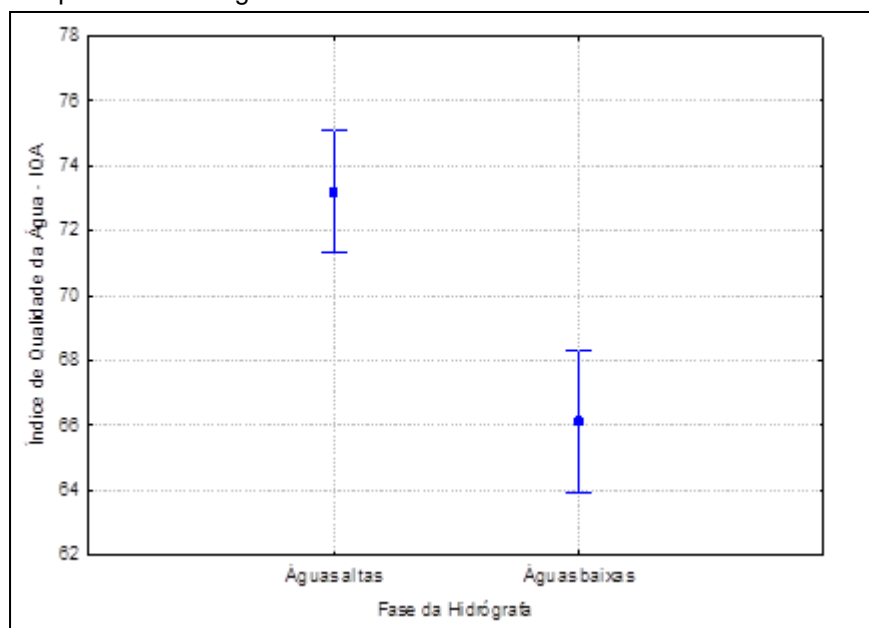
Os melhores índices quantitativos do lago Taparí em relação ao lago Juá se deve ao fato de ser um ambiente ainda pouco antropizado, de boa integridade ambiental e preservação das suas margens, enquanto que o lago Juá é um corpo hídrico situado na zona de expansão urbana do município de

Santarém-PA, vivenciando de perto os impactos pela ocupação desordenada às proximidades e o avanço de empreendimentos imobiliários.

Em relação às fases da hidrógrafa fluvial houve diferença significativa ( $F(1, 92) = 32,727, p = ,00000$ ), independente de lagos (figura 12). No entanto, quando se testou a interação entre os fatores lago e fases da hidrógrafa fluvial, não houve interação significativa ( $F(1, 92) = 2,8710, p = ,09357$ ).

Independente de lago, o IQA diferenciou-se significativamente entre as fases de águas baixas e águas altas ( $F(1, 92) = 32,727, p = ,00000$ ) (figura 12), com melhores valores nesta última. No entanto, quando se testou a interação entre os fatores lago e fases da hidrógrafa fluvial, não houve interação significativa ( $F(1, 92) = 2,8710, p = ,09357$ ).

**Figura 11** – Valores médios de IQA entre as fases da hidrógrafa fluvial, independente de lagos.



**Fonte:** Autores (2023)

Quanto ao regime pluvial, o IQA no presente estudo apresentou melhores valores na estação mais chuvosa (águas altas). No estado do Amapá, Souza, Sá-Oliveira e Silva (2015) encontraram diferenças significativas no IQA do Alto rio Pedreira entre os períodos de seca e cheia, sofrendo variações determinadas pela pluviometria. Rodrigues et al. (2021) observaram influência da sazonalidade da região na qualidade da água do rio Pará,

Prainha/PA, que apresentou os melhores índices no inverno amazônico, podendo estar relacionado à alta taxa de diluição no rio que ocorre nesta estação.

Segundo Souza, Sá-Oliveira e Silva (2015), quando ocorrem as chuvas, a qualidade da água em rios sofre declínio em virtude de um escoamento superficial mais intenso, descarregando diversos tipos de partículas que vão desde matéria orgânica e inorgânica, à nutrientes e metais pesados. Tal fato pode ser explicado pelo efeito de diluição em função do aumento da vazão dos rios durante o período de chuvas, com redução na concentração de partículas suspensas e dissolvidas. De acordo com Alencar et al. (2019), no período menos chuvoso os sólidos dissolvidos estão mais concentrados, influenciado pela dissolução de materiais presentes no leito dos rios, já no período chuvoso esses sólidos tendem a estar em menor concentração, pois estão sob maior diluição devido às chuvas e a maior vazão. No presente estudo os parâmetros pH, temperatura e coliformes termotolerantes foram os mais relevantes para as variações quantitativas do índice, águas mais ácidas ou menos ácidas são determinantes na avaliação da qualidade de um sistema hídrico e a temperatura possui forte correlação com a densidade de microrganismos, principalmente os coliformes termotolerantes. Segundo Esteves (1998) o pH possui estreita interdependência entre comunidades vegetais, animais e o meio aquático, interferindo de diversas maneiras no metabolismo destas comunidades, assim como a temperatura, que influencia diretamente os processos vitais dos ecossistemas lacustres como produtividade primária e decomposição da matéria orgânica, normalmente apresentando em lagos tropicais concentrações mais elevadas

## 5.4 Índice de Estado Trófico

A tabela 5 demonstra os valores médios quantitativos para o IET dos lagos Juá e Taparí e a classificação quanto ao nível de trofia dos mesmos para cada fase da hidrógrafa fluvial.

**Tabela 5 - Índice de Estado Trófico – IET por lago e hidrógrafa fluvial**

Lagos	Hidrógrafa Fluvial	IET	Classificação
Juá	Águas altas	43	Ultraoligotrófico
	Águas baixas	40	Ultraoligotrófico
Taparí	Águas altas	41	Ultraoligotrófico
	Águas baixas	41	Ultraoligotrófico

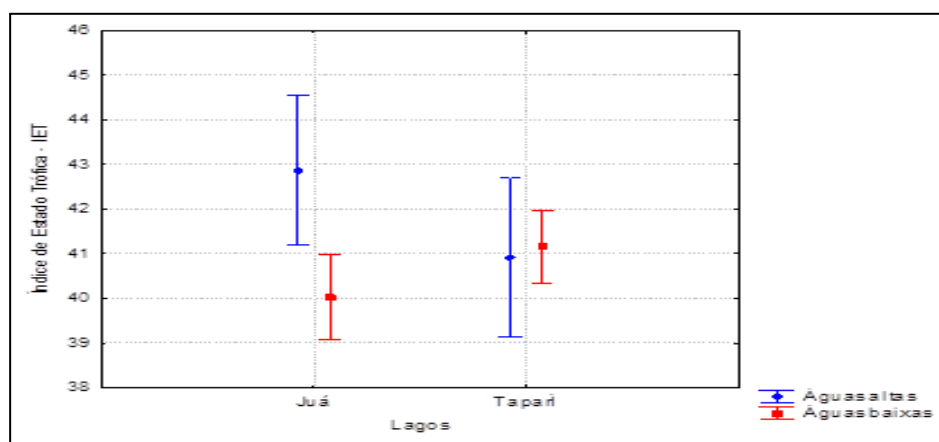
**Fonte:** Autores (2023)

De acordo com os índices gerados a partir da classificação proposta por Lamparelli (2004), os lagos estudados foram classificados em ultraoligotróficos, corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam prejuízos aos usos da água.

Sousa et al. (2018) classificaram lagos de águas claras associados ao Baixo rio Tapajós em ultraoligotróficos. Por outro lado, Silva et al. (2019) classificou os lagos Bolonha e Água Preta, Região Metropolitana de Belém-PA, em graus de trofia que variaram de eutrófico a supereutrófico. De acordo com os autores, os valores elevados dos índices de estado trófico desses lagos foram decorrentes principalmente pela alta concentração de fósforo total, consequência da entrada de esgotos nesses reservatórios, resultado do processo de ocupação desordenada às proximidades. Santos, Zarzar e Sousa (2018) classificou as águas do reservatório da Usina Hidrelétrica de Curuá-Una-PA em ultraoligotrófico e mesotrófico. No estudo de Queiroz et al. (2019) no reservatório da Usina Hidrelétrica de Sá Carvalho-MG, o grau de trofia predominante foi a oligotrófica.

Quando se comparou os valores médios de IET entre os lagos não se evidenciou diferença estatisticamente significativa entre estes ( $F_{1, 94} = 0,36747$ ,  $p = 0,545$ ). Por outro lado, houve diferença significativa quando se comparou os valores de IET entre as fases da hidrógrafa fluvial ( $F(1, 92) = 3,8027$ ,  $p = 0,05422$ ) e interação entre lago e fase ( $F(1, 92) = 5,4171$ ,  $p = 0,02213$ ), sendo os valores de IET aumentados principalmente nas águas altas no lago Juá (figura 13).

**Figura 12** - Valores médios de IET evidenciando interação significativa entre lago e fase da hidrógrafa fluvial.



Fonte: Autores (2023)

Aguiar, Peleja e Sousa (2014) reportaram valores de IET para 27 microbacias hidrográficas na região de Santarém-PA e Belterra-PA, com índices de estado trófico ligeiramente menores no período chuvoso. Segundo os autores, a estação chuvosa contribui significativamente para o aumento das concentrações de fósforo total, o que difere da estação seca, que contribui para elevações de clorofila-a em águas superficiais devido a influência de áreas antropizadas.

No presente estudo, o comportamento da trofia dos lagos em relação às fases da hidrógrafa fluvial seguiu o mesmo padrão do observado na pesquisa de Sousa et al. (2018) em lagos na mesma área de drenagem do rio Tapajós, para esses autores, a diminuição dos índices de estado trófico em determinados períodos do ano nos lagos pode estar associada ao aumento da taxa de precipitação, redução da intensidade luminosa e elevação do nível da

água dos lagos. No estudo de Pinheiro, Saldanha e Monte (2019) em uma microbacia amazônica, os resultados reportaram uma tendência de aumento nas concentrações de fósforo e clorofila-a na estação chuvosa, com predomínio de classes mais baixas de IET na estação seca (ultraoligotrófico e mesotrófico) e piores índices no período de maior precipitação, predominando a classe eutrófica nos pontos estudados. Segundo os autores, as análises de fósforo total evidenciaram o lançamento de efluentes dentro do corpo d'água, além de atividade de agricultura de subsistência, que refletiu em desconformidade do parâmetro, sobretudo no período chuvoso.

Na literatura, pesquisas aplicando o IET estão disponíveis principalmente na avaliação da qualidade da água de ambientes lóticos e lagos artificiais. No trabalho de Miranda et al. (2016) o IET na ilha de Mosqueiro-PA variou de ultraoligotrófico a eutrófico, classificação que refletiu a influência da sazonalidade e da maré na área de estudo. A aplicação do índice no estudo de Araújo Júnior (2020) revelou águas com características mesotróficas no rio Maracaípe, litoral sul do estado de Pernambuco, observando também a influência da variação sazonal no comportamento dos parâmetros fósforo total e clorofila-a. Anjinho et al. (2020) analisaram a qualidade das águas de cursos hídricos afluentes ao reservatório do Lobo, estado de São Paulo, os quais predominou a classe mesotróficas, caracterizando ambientes de estado intermediário de trofia.

A deterioração da qualidade da água por falta de tratamento de efluentes tem gerado potenciais riscos ao abastecimento da população, destaque ao mais crítico dos cenários, a ocupação das áreas de contribuição de reservatórios de abastecimento urbano quando eutrofizados, produzindo riscos à saúde da população (TUCCI, 2008).

Segundo Aguiar, Peleja e Sousa (2014), nas áreas tropicais o uso desordenado do solo tem promovido alterações físicas, químicas e biológicas nas águas superficiais e subterrâneas, sendo a eutrofização um dos principais impactos oriundos da má gestão dos efluentes que podem prejudicar os

ecossistemas aquáticos, daí a importância do monitoramento dos mananciais para a preservação e manutenção dos recursos hídricos.

O lago Juá faz parte de um ecossistema que envolve meio biótico e abiótico, com diversidade e abundância, principalmente na área pesqueira, sendo a pesca artesanal praticada por mais da metade dos pescadores residentes no entorno como atividade de subsistência, primariamente para o autoconsumo e em seguida na distribuição, troca ou venda em pequena escala (CARDOSO et al., 2017; CORRÊA et al., 2018). Segundo Monte et al. (2021) o aumento demográfico que a cidade passou nas últimas décadas e consequente urbanização, não foi acompanhado da implementação de infraestrutura. De acordo com Cardoso et al. (2017) o uso e ocupação das áreas sem planejamento acarreta em problemáticas de âmbito social e ambiental, uma vez que a apropriação de determinados territórios está estreitamente ligada à manutenção dos recursos naturais em diferentes ecossistemas, impactados pela expansão urbana crescente, principalmente em relação à ocupação desordenada das margens de corpos hídricos urbanos.

## 6 CONCLUSÃO

Embora os parâmetros físico-químicos e microbiológicos avaliados na pesquisa estejam em conformidade com a legislação ambiental pertinente e a classificação final dos índices de qualidade da água e de estado trófico tenham sido satisfatórias, a análise dos dados permitiram constatar uma maior deterioração da qualidade da água do lago Juá em relação ao Lago Taparí, sugerindo que fatores como supressão florestal da área de captação dinâmica, sistemas de drenagem e saneamento precários, falta de políticas públicas incisivas no tocante ao ordenamento do uso e ocupação de áreas de proteção permanente, avanço de loteamentos e expansão da malha urbana e de ocupações irregulares contribuem para a degradação de tão importantes mananciais amazônicos. As alterações nos parâmetros indicadores de qualidade da água estão ocorrendo de forma lenta, diminuindo a capacidade de resiliência dos corpos d'água. No futuro, a intensa pressão antropogênica pode gerar danos irreversíveis a estes ecossistemas aquáticos, afetando principalmente os recursos pesqueiros. Dessa forma, este estudo ressalta a importância do monitoramento destes lagos a fim de que políticas públicas de gestão sejam desenvolvidas para a melhor gestão ambiental e preservação dos mesmos.

## 7 REFERÊNCIAS

ABREU, Carlos Henrique; CUNHA, Alan. **Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, p. 45-56, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016144803>. Acesso em: 12 de outubro de 2022.

AGUIAR, Christiane; PELEJA, José Reinaldo; SOUSA, Keid. **Qualidade da Água em Microbacias Hidrográficas com agricultura nos municípios de Santarém e Belterra, Pará**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.38, n.6, p.983-992, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/M8cCtgPVkzkJ8Ct8VMNCnbS/?lang=pt>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

ALENCAR, Vívian; ROCHA, Edson; JÚNIOR, José; CARNEIRO, Bruno. **Análise de Parâmetros de Qualidade da Água em Decorrência de Efeitos da Precipitação na Baía de Guajará–Belém–PA (Analysis of water quality parameters as a result of the effects of the rainfall on the Guajará bay-Belém-PA)**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 2, p. 661-680, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/238413>. Acesso em: 12 de outubro de 2022.

ALVES, Igor; EL-ROBRINI, Maamar; SANTOS, Maria de Lourdes; MONTEIRO, Sury; BARBOSA, Leandro; GUIMARÃES, José. **Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil)**. Acta Amazonica, v. 42, p. 115-124, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/zDKXq9g5Cbcf7jfdn7hkpjw/?lang=pt>. Acesso em: 22 de novembro de 2022.

ALVES, Wellmo; MORAES, Wilker. **Qualidade e Estado Trófico da Água do Córrego Barrinha Localizado no município de Rio Verde, Sudoeste de Goiás, Brasil**. Revista Eletrônica do Curso de Geografia – GEOAMBIENTE ON-LINE UFG/ REJ. Jan – Jun 2016 Disponível em: <https://revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/37578>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

AMÂNCIO, Diego; COELHO, Gilberto; MARQUES, Francisca; VIOLA, Marcelo; MELLO, Carlos. **Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos rios Capivari e Mortes, Minas Gerais**. Scientia agraria, 19(1), 75-86. 2018. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6454790>. Acesso em: 15 de novembro de 2022

ANA, Indicadores de Qualidade – **Índice de Qualidade das Águas – (IQA)**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 02 de outubro de 2022.

ANA, Indicadores de Qualidade – **Índice do Estado Trófico - (IET)**. Disponível em: [http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-estado trófico](http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-estado%20tr%C3%B3fico). Acesso em: 02 de outubro de 2022.

ANDRIETTI, Grasiene; FREIRE, Rosane; Adriana, AMARAL; Frederico, ALMEIDA; BONGIOVANI, Milene; SCHNEIDER, Roselene. **Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico do rio Caiabi, MT**. Revista Ambiente & Água, 11, 162-175. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/6kG5w6bwYKGhLCp4hQ7Qj8g/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12 de novembro de 2022.

ANJINHO, Phelipe; NEVES, Gabriela; BARBOSA, Mariana; MAUAD, Frederico. **Análise da qualidade das águas e do estado trófico de cursos hídricos afluentes ao reservatório do Lobo, Itirapina, São Paulo, Brasil**. Revista Brasileira de Geografia Física, 13(01), 364-376, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/242256/34813>. Acesso em: 11 de novembro de 2022.

APHA; AWWA; WEF. **Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21th ed. Washington, DC: American Public and Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, 2005.

ARAÚJO JÚNIOR, João Carlos. **Variação temporal e sazonal do estado trófico do rio Maracaípe, litoral sul do estado de Pernambuco.** Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 9, n. 1, p. 51-64 2021. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/646>. Acesso em: 19 de outubro de 2022.

ARAÚJO, Daniela; MENDONÇA, Antônio; REIS, José. **Análise de variação e comparação de índices de estado trófico: reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos de Rio Bonito e Suíça.** Eng Sanitária Ambiental, v.23 n.1, p. 55-62, jan-fev, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/9DxjB46TRhYbSfCj9cGWXkG/?lang=pt>. Acesso em: 21 de novembro de 2022.

ARCOS, Adriano; CUNHA, Hilândia. **Índice de Qualidade de água (IQA) e balneabilidade em praias de água doce no rio Negro, Manaus (Amazonas).** Revista Espinhaço, 2022, vol. 11, núm. 1, janeiro-dezembro, ISSN: 2317-0611. Disponível em: <https://revistas.ufvjm.edu.br/revista-espinhaco/article/view/196>. Acesso em: 07 de novembro de 2022.

ARCOVA, Francisco; CICCIO, Valdir. **Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo.** Scientia florestals, Piracicaba, v. 56, p. 125134, 1999. Disponível: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr56/cap09.pdf>. Acesso em: 21 de novembro de 2022.

BALEM, Andressa. Avaliação da qualidade da água do Rio Lajeado Ipiranga através de testes toxicológicos e índice de qualidade da água. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, Erechim-RS, 2018. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/2166>. Acesso em: 12 de outubro de 2022.

BATALHA, Sarah; MARTORANO, Lucieta; BIASE, Adriele; MORALES, Gundisalvo; PONTES, Altem; SANTOS, LEONARDO. **Condições físico-químicas e biológicas em águas superficiais do Rio Tapajós e a conservação de Floresta Nacional na Amazônia, Brasil.** Revista Ambiente Água Taubaté - Oct. / Dec 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/bVYDY5jth4dCpvWXL4tx6L/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12 de dezembro de 2022.

BEM, Carla; BRAGA, Maria; AZEVEDO, Júlio. **Avaliação do estado trófico de um lago urbano raso.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 1, p. 41-50, 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/M-Braga/publication/307626053\\_Avaliacao\\_do\\_estado\\_trofico\\_de\\_um\\_lago\\_urbano\\_raso/links/57f5572d08ae8da3ce552520/Avaliacao-do-estado-trofico-de-um-lago-urbano-raso.pdf](https://www.researchgate.net/profile/M-Braga/publication/307626053_Avaliacao_do_estado_trofico_de_um_lago_urbano_raso/links/57f5572d08ae8da3ce552520/Avaliacao-do-estado-trofico-de-um-lago-urbano-raso.pdf). Acesso em: 06 de outubro de 2022.

BENTES, Valeria; NETO, Geraldo; MESCHÉDE, Marina. **Qualidade da água utilizada para consumo humano proveniente do Aquífero Alter do Chão em Santarém (Oeste do Pará) e sua relação com a saúde pública.** Geochimica Brasiliensis 34(1), p.101-109, 2020. Disponível em: <https://geobrasiliensis.emnuvens.com.br/geobrasiliensis/article/view/662>. Acesso em: 16 de novembro de 2022.

BRASIL. Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007. **Estabelece as diretrizes nacionais para saneamento básico e para a política federal de saneamento básico.** Brasília, DF. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm). Acesso em: 18 de novembro de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Manual de procedimentos em vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano.** 2006. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual\\_procedimentos\\_agua\\_consumo\\_humano.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_procedimentos_agua_consumo_humano.pdf). Acesso em: 29 de setembro de 2022.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357, 17 de março de 2005.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2006. Disponível em <http://www.mma.gov.br/conama>. Acesso em: 15.05.2022.

CADONÁ, Eliana; LOURENZI, Cledimar; CARVALHO RAMPINELLI, Eduarda; SANTOS, Marcos; SETE, Paula; SOARES, Claudio. **Contaminação por nitrogênio e fósforo de águas destinadas ao consumo humano em região com intensa atividade suinícola.** São Paulo, UNESP, Geociências, v. 37, n. 4, p. 883 - 891, 2018. Disponível em: <https://ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/12891>. Acesso em: 22 de novembro de 2022.

CARDOSO, Marcelia; SILVA, Rubens; SILVA, Alessandra, CHIBA, Helionora. Pescadores artesanais, conflito de interesses e os recursos pesqueiros vistos como capital crítico: o caso do Lago Juá em Santarém, Pará. **O Social em Questão** - Ano XXI - nº 40, p. 309-332 - Jan a Abr/2018. Disponível em: <http://osocialemquestao.ser.puc-rio.br/media/art14.pdf> . Acesso em: 24 de outubro de 2022.

CARLSON, Robert. **A trophicstate index for lakes.** Limnology and Oceanograph, v.22, n.2, p.361-80, 1977. Disponível em: <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.4319/lo.1977.22.2.0361>. Acesso em 15 de setembro de 2022.

CARVALHO, Adriana; SCHLITTLER, Flávio; TORNISIELO, Valdemar. **Relações da atividade agropecuária com parâmetros químicos da água.** Química Nova. v. 23, p. 618-622, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/XBFqRSKyh6sffqN7KKKBKND/?lang=pt>. Acesso em: 16 de outubro de 2022.

CASTRO, Nathália; MOSER, Gleyci. O. **Florações de algas nocivas e seus efeitos ambientais.** Oecologia Australis, v. 16, n. 2, p. 235-264, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.4257/oeco.2012.1602.05>. Acesso em: 28 de setembro de 2022.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Apêndice D – Índices de Qualidade das Águas.** 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>. Acesso em: 16.05.2022.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Apêndice E-Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem.** 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2019.pdf?>. Acesso em: 13 de setembro de 2022.

CONDURÚ, Marise; PEREIRA, José. **Gestão da informação em saneamento básico no Estado do Pará sob enfoque do ciclo informacional.** Eng Sanit Ambient, v.22, n.6, nov-dez. 2017. 1225-1232. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/dhHRPVqd5GwTGCbbHfhNtjJ/?format=pdf&langpt#:~:text=O%20ciclo%20informacional%20de%20saneamento,timentos%20e%20monitoramento%20do%20setor>. Acesso em: 16 de novembro de 2022.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 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. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília-DF, Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63.

CORRÊA, Jerry; ROCHA, Moacyr; SANTOS, Anderson; SERRÃO; Elizabete; ZACARDI, Diego. **Caracterização da pesca artesanal no lago Juá, Santarém, Pará.** REVISTA

AGROGEOAMBIENTAL, 10(2), 61-74, 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/326373424\\_Artisanal\\_fishing\\_characterization\\_in\\_the\\_Jua\\_Lake\\_Santarem\\_Para](https://www.researchgate.net/publication/326373424_Artisanal_fishing_characterization_in_the_Jua_Lake_Santarem_Para). Acesso: 29 de outubro de 2022.

CUNHA, Alan; CUNHA, Helenilza; JÚNIOR, Antônio; DANIEL, Luiz; SCHULZ, Harry. **Qualidade microbiológica da água em rios de áreas urbanas e periurbanas no baixo Amazonas: o caso do Amapá**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9, p. 322-328, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522004000400009>. Acesso em: 21 de outubro de 2022.

DARWICH, Assad; APRILE, Fábio; ROBERTSON, Barbara; ALVES, Luiz. Limnologia do Lago Tupé: dinâmica espaço-temporal do oxigênio dissolvido. In: MELO, Sérgio (Orgs.). **BioTupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central**. Manaus: INPA, 2005. cap. 3, p. 35-67. Disponível em: [http://www.biotupe.org/livro/vol1/pdf/2\\_cap3.pdf](http://www.biotupe.org/livro/vol1/pdf/2_cap3.pdf). Acesso em: 11 de novembro de 2022.

DINIZ, C., MARINHO, R., CORTINHAS, L., SADECK, L., WALFIR, P., SHIMBO, J., ROSA, M., AZEVEDO, T. Nota Técnica sobre os sedimentos em suspensão na Bacia do Tapajós. MAPBIOMAS, 2022. Disponível em: [https://mapbiomas.br/site.s3.amazonaws.com/Nota%20T%C3%A9cnica/Nota\\_T%C3%A9cnica\\_-\\_Sedimentos\\_Rio\\_Tapaj%C3%B3s-5.pdf](https://mapbiomas.br/site.s3.amazonaws.com/Nota%20T%C3%A9cnica/Nota_T%C3%A9cnica_-_Sedimentos_Rio_Tapaj%C3%B3s-5.pdf). Acesso em: 03 de julho de 2023.

ESTEVES, Francisco. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998.

FIA, Ronaldo; MATOS, Antônio; CORADI, Paulo; PEREIRA-RAMIREZ, Orlando. **Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil**. Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 4, n. 1, p. 132-141, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92811713010.pdf>. Acesso em: 12 de novembro de 2022.

FRÓIS, Raul, RIBEIRO, Bruno, ZUANON, Jansen, MORTATI, Amanda. **Fauna de peixes de riachos de pequena ordem da paisagem de cerrado e fragmentos florestais na bacia do baixo rio Tapajós, Amazônia**. Biota Neotropica 21(4): e20201179. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2020-1179>. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bn/a/mLymYTwn54hjr8GzZ9PV7vR/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12 de novembro de 2022.

GORAYEB, Adryane; LOMBARDO, Magda; PEREIRA, Luci. **Condições Ambientais em Áreas Urbanas da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté–Amazônia Oriental-Brasil**. Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management, v. 9, n. 2, p. 59-70, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3883/388340126005.pdf>. Acesso em: 15 de outubro de 2022.

LAMPARELLI, Marta. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. Tese (Doutorado). Instituto de Biociências. Universidade de São Paulo, 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-20032006075813/publico/TeseLamparelli2004.pdf>. Acesso em: 19 de outubro de 2022.

LEMOS, Edvaldo Junior de Souza. **Aspectos de Qualidade, Balneabilidade e Trofia das Águas de Praias da Margem Direita do Baixo Rio Tapajós**, 2019. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Recursos Aquáticos Continentais Amazônicos, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/196>. Acesso em: 02 de novembro de 2022.

LENCHA, Semaria; TRANCKNER, Jens; DANANTO, Mihret. **Avaliação da qualidade da água do Lago Hawassa Etiópia – Estado trófico e adequação para usos antropogênicos – Aplicação de índices comuns de qualidade da água**. Int. J. Environ. Res. Public Health,

2021, 18 (17), 8904. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/17/8904> . Acesso em: 01 de dezembro de 2022.

LIMA, Gustavo; SOUZA, Stephanie; ALENCAR, Francisco; ARAÚJO; SILVA, Fernando. O que comunicam os índices de qualidade de água e de estado trófico em um reservatório do semiárido brasileiro? São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 39, n. 1, p. 181 - 190, 2020.

Disponível

em:<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/14206#:~:text=As%C3%A1guas%20represadas%20em%20reservat%C3%B3rios,em%20regi%C3%B5es%20de%20clima%20semi%C3%A1rido>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

LIMA, Lorena. Estudo dos Índices de Qualidade da Água (IQA) e do Estado Trófico (IET) na lagoa do Gambá, Ouro Preto, MG. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, 2018. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1034>. Acesso em: 12 de novembro de 2022.

LUÍZ, Ângela; PINTO, Maria; SCHEFFER, Elizabeth. **Parâmetros de cor e turbidez como indicadores de impactos resultantes do uso do solo, na bacia hidrográfica do rio Taquaral, São Mateus do Sul- Pr.** RAEGA, 2012, p. 290-310 [www.geografia.ufpr.br/raega/](http://www.geografia.ufpr.br/raega/)

Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR. Disponível em:

<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/26264>. Acesso em: 22 de novembro de 2022.

MANOEL, Letícia; CARVALHO, Sérgio. **Atividades antrópicas podem influenciar na concentração de nutrientes na água no córrego do Ipê, Ilha Solteira – SP?** Revista Científica ANAP Brasil, 11(22), 2018. <https://doi.org/10.17271/19843240112220181861>.

Disponível em:

[https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap\\_brasil/article/view/1861](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap_brasil/article/view/1861). Acesso em: 22 de novembro de 2022.

MERTEN, Gustavo; MINELLA, Jean. **Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura.** Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/280949803\\_Qualidade\\_da\\_agua\\_em\\_bacias\\_hidrograficas\\_rurais\\_Um\\_desafio\\_atual\\_para\\_a\\_sobrevivencia\\_futura](https://www.researchgate.net/publication/280949803_Qualidade_da_agua_em_bacias_hidrograficas_rurais_Um_desafio_atual_para_a_sobrevivencia_futura). Acesso em: 14 de outubro de 2022.

MIRANDA, Cláudia; ROSA, Leonilde; BONITO; Jorge; JÚNIOR, Alcinês; VEIGA, Nelson; OLIVEIRA, Francisco; BARROS, Bruno. **Uso e qualidade da água na microbacia hidrográfica do rio Parafuso (Moju, Pará, Brasil).** Revista Recursos Hídricos, 38(2), 51-62, 2017. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/21561>. Acesso em: 12 de outubro de 2022.

MIRANDA, Marcus; SANTOS, Maria; PEREIRA, José; MESQUITA, Karina. **Índices de qualidade da água da Ilha de Mosqueiro-PA.** Revista DAE 64(201), 74-81, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2015.005>. Acesso em: 10 de novembro de 2022.

MIRANDA, Rafaella; PEREIRA, Simone; ALVES, Danila; OLIVEIRA, Geiso. **Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia-Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos.** Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 4, n. 2, p. 75-92, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92811747008.pdf>. Acesso em: 12 de setembro de 2022.

MONTE, Chistiane; RODRIGUES, Ana Paula, MACEDO, Sara; RÉGIS, Carolina, SALDANHA, Ednelson; RIBEIRO, Anne Caroline; MACHADO, Wilson. **A influência antrópica na qualidade da água do rio Tapajós, na cidade de Santarém-PA.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 06, p. 3695-3710, 2021. Disponível em: <http://https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 19 de agosto de 2022.

OLIVEIRA, Eder; SANTOS, Diego; OLIVEIRA, Gilmar; JUNIOR, Mario; ANDRADE, Cristiane; SANTOS, Washington; RIBEIRO, Hebe. **Indicador de qualidade da água através de análise**

**fatorial: um estudo de caso na zona portuária de Belém, Amazônia, Brasil.** Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.12, n.3, p.640-650, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.003.0051>. Disponível em: <https://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC21796858.2021.003.0051>. Acesso em: 16 de novembro de 2022.

PENA, Zelva Cristina Amazonas. **Avaliação Espacial e Temporal das Taxas de Sedimentação do Lago Juá, Santarém – Pará – Brasil.** 2016. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Recursos Aquáticos Continentais Amazônicos, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2016. Disponível em: [https://sigaa.ufopa.edu.br/sigaa/public/programa/noticias\\_desc.jsf?lc=pt\\_BR&id=814&noticia=1274412646](https://sigaa.ufopa.edu.br/sigaa/public/programa/noticias_desc.jsf?lc=pt_BR&id=814&noticia=1274412646). Acesso em: 18 de outubro de 2022.

PEREIRA, Bruno; MACIEL, Maria de Nazaré; OLIVEIRA, Francisco; ALVES, Marcelo; RIBEIRO, Adriana; FERREIRA, Bruno; RIBEIRO, Ellen. **Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil.** Revista Ambiente & Água, v. 11, p. 472-485, 2016. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1802>. Acesso em: 21 de outubro de 2022.

PINHEIRO, Adilson; KAUFMANN, Vander; SCHNEIDERS, Danieli; OLIVEIRA, Daniela; ALBANO, Renata. **Concentrações e cargas de nitrato e fosfato na Bacia do Ribeirão Concórdia, Lontras, SC.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.17, n.1, p.86–93, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/PQTFxxfym4BFbJ3wJGtbYqj/?lang=pt>. Acesso em: 22 de novembro de 2022.

PINHEIRO, Danilo; SALDANHA, Edinelson; MONTE, Chistiane. **Índice de estado trófico e a proveniência do fósforo e clorofila-a em diferentes estações do ano em uma microbacia amazônica.** Revista ibero-americana de ciências ambientais, v. 10, n. 5, p. 89-100, 2019. Disponível em: <https://sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2019.005.0009>. Acesso em: 22 de novembro de 2022.

PIRATOBA, Alba; RIBEIRO, Hebe; MORALES, Gundisalvo; GONÇALVES, Wanderson. **Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil.** Rev. Ambient. Água, vol. 12 n. 3 Taubaté – May / jun. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/f45JMMTdfXvPWLmM6mbDX6K/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 14 de novembro de 2022.

QUEIROZ, Marluce; QUEIROZ, Carolina; QUEIROZ, Felipe; BENIGNO, Gildayne. **Avaliação do Índice de Estado Trófico e parâmetros de qualidade da água no reservatório da Usina Hidrelétrica de Sá Carvalho, Minas Gerais, Brasil.** Sistemas & Gestão, v. 14, n. 1, p. 1-12, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2019.v14n1.1363>. Acesso em: 12 de outubro de 2022.

RAMOS, Márcio. **Avaliação da qualidade da água dos rios Jaguari e Atibaia por meio do Índice de Qualidade da Água-IQA e ensaios toxicológicos.** 2015. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/134181>. Acesso em: 10 de outubro de 2022.

RODRIGUES, Bruno; OSCO, Lucas; ANTUNES, Patrícia; RAMOS, Ana Paula. **Avaliação da influência do uso e cobertura da terra na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho (SP).** Revista Brasileira de Geografia Física, 12(3), 738-753. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/237355>. Acesso em: 15 de novembro de 2022.

RODRIGUES, Gabriel; FLEXA, Luana; SOUSA, Cássia; SALDANHA, Edinelson; FLEXA, Gustavo; SOUSA, Ana Camila. **Qualidade da Água e Índice de Estado Trófico em rio amazônico: o caso do rio Pará do Uruará.** Revista Ibero-americana de ciências ambientais,

v. 12, n. 11, p. 204-215, 2021. Disponível em:  
<http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/6773>. Acesso em: 12 de outubro de 2022.

SANTOS, Gedinara; OLIVEIRA, Leidiane; FERNANDES, Graciene; SANTOS, Ione; ALMEIDA, Rodolfo; MOURA, Elton. **Qualidade hidrológica e ambiental de uma microbacia urbana de abastecimento público de água na Amazônia Brasileira**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 11, n. 4, p. 154-168, 2020. Disponível em:  
<https://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2020.004.0014>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

SANTOS, Letícia; MARINHO, Eduardo; MOREIRA, Fernanda; CARNEIRO, Bruno; FAIAL, Kelson. **Avaliação da qualidade da água da baía do Guajará em Belém/PA**. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.11, n.2, p.367-380, 2020. ISSN: 2179-6858. Disponível em: <https://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2020.002.0034#:~:text=Em%20todos%20os%20pontos%20a,%2C4%20uS%2Fcm%C2%B2>). Acesso em: 16 de novembro de 2022.

SANTOS, Mariano; MENEZES, Jorge; SILVA, Diogo; DUARTE, Miqueias; FLORESTA, Alcione. **Uso e ocupação do solo e qualidade da água do rio Crato no município de Humaitá-AM, Brasil**. Revista Valore, v. 5, p. 5040, 2020. Disponível:  
<https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/447>. Acesso em: 12 de novembro de 2022.

SANTOS, Paulo; ZARZAR, Carlos; SOUSA, Keid. **Avaliação do estado trófico atual do reservatório da Usina Hidrelétrica de Curuá-Una, a mais antiga represa construída na Amazônia Central**. Biotá Amazonia, v. 8, n. 4, p. 45-48, 2018. Disponível em:  
<http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v8n4p45-47>. Acesso em: 12 de outubro de 2022.

STRICKLAND, John; PARSONS, Timothy. **A practical handbook of seawater analysis**. Canada: Fisheries Research Board, v, 167, p. 81-86, 1968.

SEMAD. Sistema de Cálculo da Qualidade da Água (SCQA): Estabelecimento das Equações do Índice de Qualidade das Águas (IQA). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais/Programa Nacional de Meio Ambiente PNMAII. Belo Horizonte-MG. 2005. 19 p. Disponível em: <https://docplayer.com.br/3445001-Sistema-de-calculo-da-qualidade-da-agua-estabelecimento-das-equacoes-do-indice-de-qualidade-das-aguas-iqa.html>. Acesso em: 15 de outubro de 2022.

SERRÃO, Elizabete; IMBIRIBA, Luan; SANTOS, Zaqueu; ZACARDI, Diego. Apetrechos e técnicas de pesca utilizados por pescadores artesanais em lagos periurbanos no Baixo Amazonas (Pará-Brasil). **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 26, n. 1, p. 65-76, 2022. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/bjast/article/view/17413>. Acesso em: 14 de dezembro de 2022.

SILVA, Ana Elisa; ANGELIS, Carlos; MACHADO, Luiz; WACHAMAN, Andrea. **Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus**. Acta amazônica, v. 38, p. 733-742, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000400017>. Acesso em: 11 de outubro de 2022.

SILVA, Decaúta; ANDRADE, Nara; WEBLER, Alberto. **Qualidade da água de nascentes urbanas: estudo de caso em microbacia Amazônica, município de Ji-Paraná/RO**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 10, n. 3, p. 90-102, 2019. Disponível em:  
<https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0009>. Acesso em: 22 de outubro de 2022.

SILVA, Jaqueline; MESQUITA, Karina; PEREIRA, José; SOUSA, Rosiane; VARELA, Andrew; SOUSA, Pedro; SANTOS, Rosinette; SANTOS, Maria. **Índices de qualidade da água no sistema de captação de água da região amazônica (Brasil)**. Scientia Plena, v. 15, n. 12,

2019. Disponível em: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.124301>. Acesso em: 12 de outubro de 2022.

SILVA, Luana. Monteiro da. **Estudo da correlação entre o oxigênio dissolvido e a matéria orgânica em diferentes ambientes aquáticos da região Amazônica**, 2012. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-AM, 2012. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3341>. Acesso em: 15 de outubro de 2022.

SILVA, Letícia; JESUS, Otávio; SILVA, João; SOUSA, Felipe; ALVES, Camila; MOURÃO, Francianne; BRITO, Rodolfo. **Relação entre abastecimento de água e indicadores epidemiológicos na região metropolitana de Belém**. Research, Society and Development, v. 10, n. 10, e343101019010, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/19010>. Acesso em 16 de novembro de 2022.

SILVA, Sâmea Cibele Freitas da. **Variação Espaço- Temporal de Cianobactérias no Baixo Rio Tapajós, Pará, Brasil**. 2020. 96 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Sociedade Natureza e Desenvolvimento, Ciências Ambientais, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/347>. Acesso em: 25 de novembro de 2022.

SIQUEIRA, Gilmar; APRILE, Fabio.; MIGUÉIS, Miguel. **Diagnóstico da Qualidade da Água do rio Parauapebas (Pará-Brasil)**. Acta Amazônica, v. 42, p. 413-422, 2012. Disponível em: [/https://www.scielo.br/j/aa/a/9Cg9yfdKW4GDsC7v64brtf/?format=pdf&lang=pt](https://www.scielo.br/j/aa/a/9Cg9yfdKW4GDsC7v64brtf/?format=pdf&lang=pt). Acesso em: 15 de outubro de 2022.

SOUSA, Bianca; PELEJA, José Reinaldo; SOUSA, Brenda; GOCH, Ynglea; RIBEIRO, Joseph; PEREIRA, Betinna; LIMA, Flávia; LEMOS, Edvaldo. **Índice de Estado Trófico de Lagos de Águas Claras Associados ao Baixo Rio Tapajós, Amazônia, Brasil**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 9, n. 7, p. 76-89, 2018. Disponível em: <http://sustenerere.co/index.php/rica/article/view/CBPC21796858.2018.007.0008/1477>. Acesso em: 12 de agosto de 2022.

SOUZA, Juliana; MORAES, Maria; SONODA, Sérgio; SANTOS, Haialla. **A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso Rio Almada, sul da Bahia, Brasil**. Revista Eletrônica do Prodepa, v. 8, n. 1, 2014. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/217>>. Acesso em: 01 de novembro de 2022.

SOUZA, Naziel; SÁ-OLIVEIRA, Júlio César.; SILVA, Erineide. **Avaliação da Qualidade da Água do Alto rio Pedreira, Macapá, Amapá**. Biota Amazônia, v. 5, n. 2, p. 107-118, 2015. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/biota/article/view/1612>. Acesso em: 14 de novembro de 2022.

SOUZA, Shislene; MACIEL, Maria de Nazaré; OLIVEIRA, Francisco; JESUÍNO, Stephan. **Caracterização do conflito de uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente do rio Apeú, Nordeste do Pará**. Floresta, v. 42, n. 4, p. 701-710, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/rr.v42i4.19508>. Acesso em: 21 de outubro de 2022.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.: il. Disponível em: [http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico\\_SNIS\\_AE\\_2019\\_Republicacao\\_31032021.pdf](http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico_SNIS_AE_2019_Republicacao_31032021.pdf). Acesso em: 12 de novembro de 2022.

SUEMITU, Chieno; NOVAIS, Jailson; VARGAS, João. **Notas florísticas sobre o entorno do lago do juá, margem direita do Rio Tapajós, Baixo Amazonas, Pará**. In: Anais do 64º Congresso Nacional de Botânica. Belo Horizonte, MG, 2013.

TUCCI, Carlos. Águas urbanas: Desenvolvimento urbano. **Estudos avançados**. v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TUNDISI, José Galizia. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos avançados**. v. 22, p. 7-16, 2008.

VIEIRA, André; VASCONCELOS, Arthur; FAIAL, Kelson; CARNEIRO, Bruno; TAUBE, Paulo; PEDROSO, Ilze; SACRAMENTO, José; LOPES, Ruy; FIALA, Marcos; AZEVEDO, Márcia. **Quantificação de ânions inorgânicos em regiões antropizadas do Rio Tapajós, no Estado do Pará**, Brasil. 2021. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v13n2a10.pdf>. Acesso em: 25 de novembro de 2022.

VITÓ, Camila; SILVA, Luma; OLIVEIRA, Karoline; GOMES, Anders; NUNES, Camila. **Avaliação da qualidade da água: determinação dos possíveis contaminantes da água de poços artesianos na região noroeste fluminense**. Acta Biomedica Brasiliensia 7.2 (2016): 59-75. Disponível em: <https://www.actabiomedica.com.br/index.php/acta/article/view/154>. Acesso em: 13 de novembro de 2022.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. Marcos Von Sperling**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.7. 588, 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios de tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte. Editora UFMG, 2005.

WIEGAND, Mario; PIEDRA, Júlio; ARAUJO, José. **Vulnerabilidade à eutrofização de dois lagos tropicais de clima úmido (Cuba) e semiárido (Brasil)**. Engenharia Sanitária Ambiental, v.21 n.2 abr-jun 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/8NnDjzZqCmRGfDhqqjcGVXD/?format=html>. Acesso em: 23 de novembro de 2022.

ZIMMERMANN, Ciro; GUIMARÃES, Orliney; PERALTA-ZAMORA, Patricio. **Avaliação da qualidade do corpo hídrico do rio Tibagi na região de Ponta Grossa utilizando análise de componentes principais (PCA)**. Química Nova, v. 31, p. 1727-1732, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000700025>. Acesso em: 12 de outubro de 2022.

ZHANG, Hanxiao; HUO, Shouliang; YEAGER, Kevin; XI, Beidou; ZHANG, Jingtian; WU, Fengchang. **A historical sedimentary record of mercury in a shallow eutrophic lake: impacts of human activities and climate change**. Engineering, v. 5, n. 2, p. 296-304, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809918304855>. Acesso em: 12 de dezembro de 2022.