

**Indicadores de qualidade das águas superficiais como subsídio à gestão de recursos hídricos: o caso da bacia hidrográfica do rio Una, Maranhão**

Indicators of surface water quality as a subsidy to water resource management: the case of the Una river basin, Maranhão

Indicadores de calidad del agua superficial como subsidio a la gestión de los recursos hídricos: el caso de la cuenca del río Una, Maranhão

**Elna Lucília Santos Corrêa**

Mestra em Geografia pela Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.  
[elna.correa@hotmail.com](mailto:elna.correa@hotmail.com) / <http://orcid.org/0000-0002-1072-1149>

**Luiz Carlos Araújo dos Santos**

Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP.  
Professor do Departamento de Geografia e Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.  
[luizcarlos.cecenuema@gmail.com](mailto:luizcarlos.cecenuema@gmail.com) / <http://orcid.org/0000-0001-5713-0269>

**Rafael Brugnolli Medeiros**

Doutor em Geografia pela Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD. Pós-doutorado em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço pela Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.  
Professor do Curso de Geografia e Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFGD.  
[rafaelmedeiros@ufgd.edu.br](mailto:rafaelmedeiros@ufgd.edu.br) / <http://orcid.org/0000-0003-0419-655X>

**Recebido: 01/11/2023; Aceito: 21/12/2023; Publicado: 05/07/2026.**

**Resumo**

O objetivo deste trabalho foi analisar os parâmetros físico-químicos e biológicos das águas da bacia hidrográfica do rio Una como elemento de diagnose de qualidade ambiental, oferecendo suporte para definir cenários para a gestão dos recursos hídricos. A abordagem teórico-metodológica está consubstanciada nas coletas das águas realizadas em dois períodos distintos (chuvoso e estiagem) de 2021, em que foram constatados *in loco* os parâmetros físicos e em laboratório os indicadores químicos e biológicos. Enquanto o nível de trofia foi mensurado pelo Índice de Estado Trófico (IET). Os resultados obtidos nas análises indicaram boa situação da qualidade da água da bacia para uso de classe 2, conforme a Resolução CONAMA N° 357/2005, com estado trófico caracterizado em ultraoligotrófico para todos os pontos de amostragem.

**Palavras-chave:** Qualidade Hídrica; Índice de Estado Trófico; Políticas Públicas; Gestão dos Recursos Hídricos.

**Abstract**

The objective of this work was to analyze the physical-chemical and biological parameters of the waters of the Una River basin, as an element of environmental quality diagnosis, offering support to define scenarios for water resources management. The theoretical-methodological approach is consubstantiated in the water collections carried out in two distinct periods (rainy and dry) of 2021, where the physical parameters were verified in loco and the chemical and biological indicators in the laboratory. The trophy level was measured by the Trophic State Index (TSSI). The results obtained in the analyses indicated a good water quality situation for class 2 use according to the CONAMA Resolution No. 357/2005, with a trophic state characterized as ultraoligotrophic for all sampling points.

**Keywords:** Water Quality; Trophic State Index; Public Policies; Water Resources Management.

### Resumen

El objetivo de este trabajo fue analizar los parámetros físico-químicos y biológicos de las aguas superficiales de la cuenca del río Una, como elemento de diagnóstico de la calidad ambiental, ofreciendo soporte para definir escenarios de gestión de los recursos hídricos. El enfoque teórico-metodológico se basa en las coletas de las aguas realizadas en dos periodos distintos (chuvoso y estirativo) de 2021, donde se constataron en el lugar los parámetros físicos y en el laboratorio los indicadores químicos y biológicos. Mientras que el nivel de trofeo se midió mediante el Índice de Estado Trófico (TSS). Los resultados obtenidos en los análisis indicaron una buena situación de la calidad del agua en la cuenca para el uso de clase 2, según la Resolución CONAMA n° 357/2005, con un estado trófico caracterizado como ultraoligotrófico para todos los puntos de muestreo.

**Palabras clave:** Calidad del agua; Índice de estado trófico; Políticas públicas; Gestión de los recursos hídricos.

---

## Introdução

A água é um recurso natural essencial que garante as formas de vida existentes no planeta Terra. Além de fornecer condições básicas para sobrevivência das diversas espécies e de manter o equilíbrio dos ecossistemas terrestres, a água é indispensável para garantir o desenvolvimento territorial e econômico. As atividades antrópicas podem ter um impacto sobre os recursos hídricos, interferindo negativamente em sua qualidade e disponibilidade (Ferreira; Silva; Souza, 2018).

O recurso natural utilizado intensamente pela espécie humana é a água, que é fundamental para a existência e a manutenção de todas as espécies vivas. Para tanto, precisa estar presente no ambiente em quantidade e qualidade apropriadas (Bozzini *et al.*, 2018). Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS, 2019), uma em cada três pessoas no mundo não tem acesso à água potável, ou seja, sofrem com a falta de acesso à água, saneamento e higiene.

Ao longo do tempo de ocupação do espaço, os mananciais sempre representaram objeto de interesse do homem, pois são fontes de recursos para sua sobrevivência. A partir dos usos indiscriminados desde as primeiras civilizações, prevaleceu a cultura do desperdício, sem haver investimentos em preservação de mananciais e aplicação de leis e

técnicas destinadas a proteção e manutenção destes recursos (ANA, 2019; Alves; Silva; Brugnolli, 2022; Silva *et al.*, 2014; Brugnolli *et al.*, 2022).

Por esse motivo, as questões ambientais têm se tornado um dos maiores desafios da atualidade, já que o homem vem modificando o meio de modo a adequá-lo as suas necessidades. Uma das maiores deficiências, principalmente nos países em desenvolvimento, está na infraestrutura sanitária deficitária, que por sua vez compromete o bem-estar da população e degrada o meio ambiente (Rocha, 2019, p. 15).

Um dos grandes problemas ambientais brasileiros, diz respeito aos vários sistemas de esgotamento sanitário projetados em locais sem cobertura, esgotos *in natura* lançados a céu aberto, que acabam por escoar para os canais de drenagem e poluem as águas pluviais (Camelo, 2019). O reflexo do consumo acelerado e dos diferentes usos desenvolvidos nos corpos hídricos vem contribuindo para o comprometimento do meio ambiente, das atividades sociais e econômicas relacionadas. Logo, os recursos hídricos, enquanto parte importante do meio físico, são facilmente comprometidos, sejam no âmbito da qualidade e/ou quantidade, sejam por características como alteração de cursos d'água ou diminuição dos canais de drenagem, tornando o atual cenário de degradação e descaso preocupante (Silva, 2003, p. 15).

O aumento crescente dos problemas ambientais tem levado a comunidade científica a conduzir seus trabalhos na busca de soluções para os impactos ambientais provocados pela sociedade sobre o espaço ocupado. Por conta disso, talvez um dos maiores desafios para as ciências, na atualidade, seja o de ajustar suas metodologias, ou redirecionar suas ações, na tentativa de apontar mecanismos e possíveis respostas que possam levar a soluções, que, no mínimo, orientem a forma adequada de planejar, recuperar ou conservar as diversidades de paisagens da superfície terrestre (Guerra; Cunha, 2004).

Nesse contexto, a colocação da bacia hidrográfica como unidade de planejamento possibilita a preservação, a conservação dos recursos naturais, principalmente a água. Desse modo, Botelho e Silva (2004, p.184) colocam que “a bacia hidrográfica é o espaço de planejamento e gestão das águas, onde se procura compatibilizar as diversidades demográficas, sociais, culturais e econômicas das regiões”.

O estudo integrado da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos é essencial, pois a mesma é analisada como célula espacial enquanto entidade sistêmica tornando-se alvo de diversas pesquisas de cunho hidrológico, relacionando os diferentes aspectos (físicos e sociais) do ambiente. Sobretudo, fomenta pesquisas direcionadas para o planejamento e políticas públicas visando o desenvolvimento ambientalmente sustentável.

No que se refere aos recursos hídricos, o Maranhão é conhecido como um estado de grande potencial hídrico, onde se inserem três bacias hidrográficas federais, sete estaduais e dois sistemas hidrográficos costeiros (CONERH, 2020). Entretanto, o estado encontra-se em estágio inicial de desenvolvimento do sistema e dos instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos e precisa avançar na estrutura institucional existente, necessitando, assim, de maiores estudos (Santos; Leal, 2013). Pertencendo a este cenário encontra-se a bacia hidrográfica do rio Una, localizado na mesorregião norte do Maranhão, inserido na bacia do rio Munim, abrangendo áreas dos municípios de Morros, Icatu e Cachoeira Grande.

Nas últimas décadas a bacia hidrográfica do rio Una é alvo de grandes visitas turísticas impulsionadas pela sua beleza natural, que por sua vez, promoveu o avanço da população no espaço sem o devido planejamento territorial. Conseqüentemente, o progresso das atividades econômicas desenvolvidas na região, a falta de estrutura e de saneamento básico na cidade para atender a demanda, tem provocado alterações das características naturais desse corpo hídrico.

Dentre as principais modificações identificadas na localidade, aponta-se a destruição da mata ciliar, resíduos jogados no leito do rio, lixo a céu aberto nas proximidades da mata ciliar, construções em desacordo com as normas e especificações ambientais, a inexistência, em grande extensão, para coleta e tratamento dos esgotos produzidos. Todas essas causas contribuem para a redução da qualidade da água, podendo implicar em sua utilização pelos seres vivos desse ecossistema e para a sociedade como todo.

Para tanto, utilizou-se o Índice de Estado Trófico (IET) para estabelecer os níveis de trofia da bacia, que verifica a concentração de fósforo total, clorofila e transparência das águas, possibilitando a classificação em classes tróficas. Portanto, para a presente pesquisa adotou-se o modelo proposto por Lamparelli (2004), o qual considera dentre as variáveis estabelecidas para o cálculo do IET, o fósforo total como o elemento mais importante, mas não único, pois esse nutriente é, na maioria das vezes, o fator limitante para a produção primária. Complementando o que foi realizado, Dodds (2006; 2007) ainda afirma que, diante dos resultados encontrados, o fósforo e o nitrogênio são os nutrientes mais importantes que regulam o estado autotrófico nas águas correntes, e que a biomassa de algas bentônicas está positivamente correlacionada com a produção primária bruta nos cursos de água.

O presente estudo tem por objetivo analisar os parâmetros físico-químicos e biológicos das águas da bacia hidrográfica do rio Una como elemento de diagnose de

qualidade ambiental, oferecendo suporte para definir cenários para a gestão dos recursos hídricos.

## Material e métodos

A metodologia está dividida em três momentos: a atividade de gabinete, em que se realizou a revisão bibliográfica, elaboração cartográfica, organização prévia de campo e análise de informações; a atividade de campo (coleta de água com as coordenadas geográficas e fotografias); a atividade laboratorial está vinculada às análises de água.

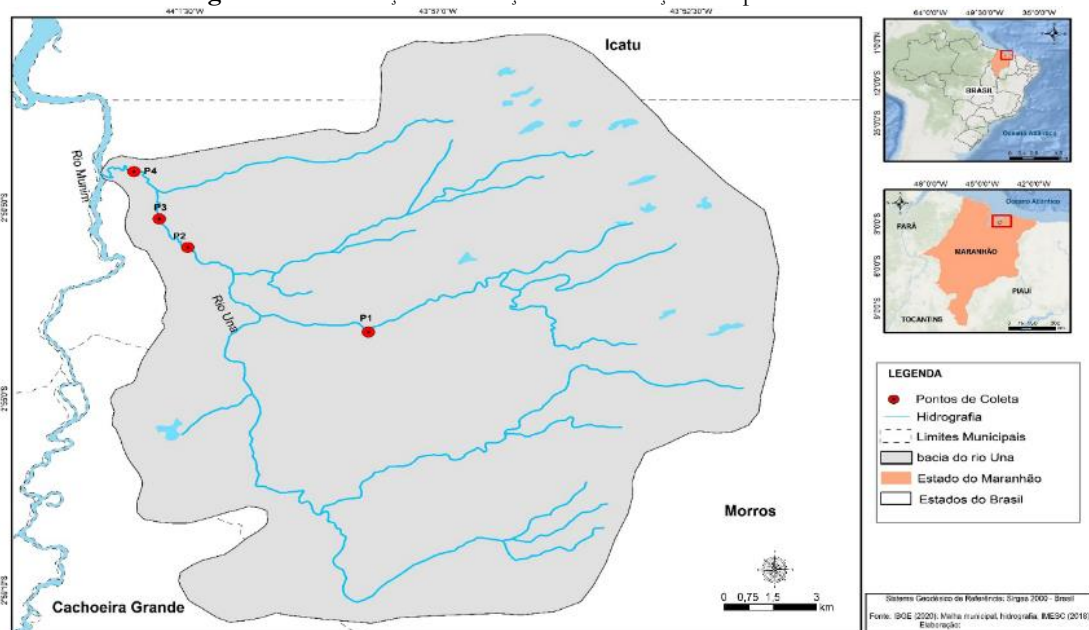
Na etapa de gabinete, buscou-se conhecer as características geoambientais e de uso e cobertura da terra da área de estudo. Para essa caracterização, organizou-se um banco de dados a partir da drenagem e da base municipal vinculado ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), dos dados de geologia (CPRM, 2018), das imagens de satélite *Alos Palsar* (ASF) adquiridas no Alasca (2020) e dos dados de solos e geomorfologia do Instituto Maranhense de Estudos Sociais e Cartográficos do Maranhão (IMESC, 2020).

A etapa de campo foi crucial para o desenvolvimento da pesquisa, pois contribuiu para o reconhecimento da área de estudo e confirmação de informações obtidas em gabinete. Assim, foram realizadas quatro atividades de campo que permitiram fazer a análise integrada da paisagem. À priori, na data referente ao dia 8 de março de 2021 houve a calibração da sonda multiparâmetro Horiba U-50, para testagem do equipamento na área de pesquisa e constatação quanto à precisão dos posteriores resultados. Em sequência, no dia 12 de março de 2021 aconteceu a primeira coleta de água e, por fim, na data de 29 de outubro do mesmo ano ocorreu a segunda coleta concernente ao período de estiagem nos respectivos pontos selecionados conforme descrito no presente trabalho.

A coleta de amostras da água é uma das etapas mais relevantes para a avaliação de sua qualidade. No entanto, para a realização dessa fase é necessário técnica e cautela para que não haja alterações no material coletado de forma a interferir nos resultados. Para tanto, essas coletas foram realizadas em conformidade ao Guia Nacional de Coleta e Preservação das Amostras (CETESB, 2009) e Norma Técnica da ABNT N° 9898 (1997). Coletou-se o material em frascos de plástico estéreis, com todos os cuidados de assepsia, sendo o volume de 1 L por ponto amostral. O período entre a coleta e o início da análise não foi superior a 24 horas para os parâmetros (Sólidos Totais Dissolvidos - SDT, nitrito, nitrato, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal total e fósforo), sendo os parâmetros de temperatura, condutividade elétrica, turbidez, pH e OD determinados *in loco*.

O estudo foi realizado em quatro pontos ao longo da bacia hidrográfica, os quais foram escolhidos pela facilidade de acesso para realização das coletas e por serem locais onde possuem maior influência antrópica, seja ela por habitação ou visitação turística (Figura 1). A partir dos pontos observados para avaliação da qualidade da água da área de estudo, foi possível obter uma melhor caracterização, representatividade do local e, sobretudo, a real situação desse corpo hídrico.

**Figura 1** – Localização e descrição da localização dos pontos de coleta



Pontos	Localização	Latitude	Longitude	Fotos representativas
P1	Rodovia MA-110, Povoado do Arruda	S:02° 33' 22"	W: 43° 58' 22"	
P2	Estrada do Rio Una (Sede do município)	S: 02° 51' 702"	W: 44° 01' 436"	
P3	Rodovia MA- 402, Ponte Quebra Anzol	S: 02° 50' 045"	W: 44° 02' 416"	
P4	Rua Una dos Moraes	S: 02° 50' 624"	W: 44° 02' 687"	

Fonte: IBGE, 2020; IMESC, 2018; Pesquisa de Campo, 2021.

Para tanto, definiu-se pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH – Lei N.º. 9.433/97), a classificação dos corpos d’água, mediante a Resolução CONAMA N.º. 357 datada em 2005, que especificou as águas em 05 classes de qualidade, dividindo-as em doces, salinas e salobras, sendo as águas doces pertencentes às classes Especiais 1, 2, 3 e 4 (Quadro 1).

**Quadro 1 - Classes de enquadramento dos corpos hídricos (Resolução CONAMA 357/2005)**

Classes	Preconizações de usos
<b>Classe especial</b>	Águas destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
<b>Classe 1</b>	Águas destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA N.º 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
<b>Classe 2</b>	Águas destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA N.º 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e e) à aquicultura e à atividade de pesca.
<b>Classe 3</b>	Águas destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e e) à dessedentação de animais.
<b>Classe 4</b>	Águas destinadas: a) à navegação; e b) à harmonia paisagística.

**Fonte:** Adaptado da Resolução CONAMA, 357/2005.

Na legislação, a definição de qualidade da água é relativa e está em consonância direta com o uso a que se remete, determinando os padrões de qualidade segundo as Resoluções N.º.357/2005, 396/2008 e 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõem sobre a classificação e normas ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e superficiais, determinando as condições e os critérios de lançamento de efluentes.

Neste estudo, determinaram-se os parâmetros físicos e químicos. A análise desses parâmetros permite identificar a qualidade das águas na bacia do rio Una, ao mesmo tempo, corroborar para as discussões sobre o nível trófico dos recursos hídricos. A

determinação dos parâmetros realizou-se tanto *in loco*, por meio de equipamento portátil, assim como no Laboratório de Análise de Água Cernitas.

Os resultados foram comparados às condições e aos padrões de qualidade das águas doces estabelecidos na Resolução CONAMA N°. 357 de 17 de março de 2005. Para determinação dos parâmetros oxigênio dissolvido (OD), temperatura, pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos (STD) e condutividade elétrica foi utilizada Sonda Multiparâmetro Orion Star, modelo Horiba U-50, que permite a determinação *in loco* de parâmetros físico-químicos.

Para a determinação dos parâmetros fosfato e sulfeto, foram utilizados um Fotocolorímetro Multiparâmetro, equipamento de bancada, da Alfakit, modelo AT10P. Em laboratório, seguindo os procedimentos estabelecidos no manual do fabricante foi realizada a leitura desses parâmetros. O fósforo total, determinado através de colorimetria realizado pelo Método do Vanodomolibdico, conforme indicação do *Spectrokit da Alfakit*, adquirido para este trabalho, com auxílio de espectrofotômetro UV/VIS, modelo DR 200 da marca HACH, no Laboratório Cernitas. O comprimento de onda selecionado é 415nm (nanômetro).

As avaliações do alumínio (Al) e ferro (Fe) foram determinadas por meio do Fotocolorímetro Multiparametro. Para a determinação dos parâmetros subscrito, utilizou-se Fotocolorímetro Multiparâmetro, equipamento de bancada, da Alfakit, modelo AT10P. No Laboratório, seguiram-se os procedimentos estabelecidos no manual para realizar a leitura dos parâmetros. Já para a determinação do fosfato, adotou-se o modelo colorímetro com ácido vanadomolibdofosfórico descrito no método 4500-N C da Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater 23° ND edição de 2017, em que, após a abertura da amostra para a oxidação com o uso de persulfato, é convertida as formas nitrogenadas da amostra para nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Depois de oxidada a amostra, é quantificado o nitrato.

Para o parâmetro coliformes termotolerantes, realizou-se a contagem de possíveis microrganismos através da técnica de membrana filtrante, que consiste na inoculação da amostra em meios de cultura específicos (mFC Agar) para o desenvolvimento de bactérias do grupo coliformes. Posteriormente, as amostras foram filtradas para retenção dos possíveis microrganismos presentes, através de uma membrana filtrante específica de 0,45µm de porosidade. A membrana foi colocada em uma placa de Petri contendo meio de cultura e seguiu e para incubação em estufa de cultura a 44,5±0,2°C por 24h. A leitura foi feita pelo crescimento de colônias de coloração azul que desenvolveu no meio e o resultado

é reportado como UFC/mL (unidade formadora de colônia) como representada na Equação.

$$UFC/100 \text{ (mL)} = \frac{N^{\circ} \text{ de colônias contadas} \times 100 \text{ mL}}{\text{mL de amostra (diluição utilizada)}}$$

O índice trófico das águas, determinado conforme equação proposta por Lamparelli (2004) para ambientes lóticos:

$$IET \text{ (PT)} = 10 \cdot (6 - ((0,42 - 0,36 \cdot (\ln \text{ PT})) / \ln 2)) - 20$$

Onde:

**IET (PT):** Índice de estado trófico em relação à variável fósforo total para ambientes lóticos

**PT:** concentração de fósforo total ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )

A partir desse modelo, chega-se à classificação do estado trófico para ambientes lóticos, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do estado trófico

Estado Trófico	Ponderação	Características dos corpos de água
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	Corpos de água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam prejuízos aos usos da água.
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	Limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, pela presença de nutrientes.
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	Ambientes aquáticos com produtividade intermediária de nutrientes causando possíveis implicações sobre a qualidade da água.
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	Corpos de água com alta produtividade de nutrientes, baixa redução da transparência, que geralmente são afetados por atividades antrópicas causando sérios danos ao ambiente.
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	Corpos de água com alta produtividade de nutrientes, baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, com frequentes alterações indesejáveis na qualidade da água, como florações de algas.
Hipereutrófico	$IET > 67$	Corpos de água afetados pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a aflorações de algas ou mortandade de peixes.

Fonte: Lamparelli (2004).

## Análise Ambiental Geointegrada da área de estudo

A pesquisa desenvolveu-se na bacia hidrográfica do rio Una que compreende em grande escala o município de Morros e, em menor proporção, os municípios de Cachoeira Grande e Icatu, localizados na mesorregião Norte do Estado do Maranhão. No entanto, o

rio em questão abrange 378,787 km<sup>2</sup> de extensão territorial, sendo considerado um afluente da bacia hidrográfica do rio Munim.

Situada a 98,8 km da capital do estado, a área de estudo possui relevo inserido nos domínios da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Segundo o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2018) na área, o Quaternário é representado pelos sedimentos inconsolidados dos Depósitos Eólicos Continentais (Q1e), dos Depósitos de Cordões Litorâneos (Q1cl) e pelos Depósitos Aluvionares (Q2a). Fatos que trouxeram solos como os neossolos quartzarênicos, correspondente às dunas e aos cordões litorâneos. Enquanto as rochas magmáticas são caracterizadas pelo Arco Ferrer-Urbano Santos, que afloram em diferentes níveis topográficos formando pequenas cachoeiras frequentemente utilizadas para atividades turísticas.

Ao levar em consideração o clima, a área de estudo está classificada como Tropical (*Köppen Aw*), com duas estações bem definidas, período seco e chuvoso (NUGEO, 2016, p. 43). O clima caracteriza-se como quente semiúmido, possuindo 5 meses secos e temperatura do mês mais quente superior a 34 °C. Os valores médios do balanço hídrico, calculados a partir da altura de precipitação de 2.010 mm/ano e uma capacidade de campo de 75 mm, são: 1.030 mm/ano para a evapotranspiração efetiva; 670 mm/ano para o escoamento superficial e 310 mm/ano para a infiltração. (Oliveira, 2016, p. 34).

Essa integração de elementos e fatores formadores propiciaram, segundo dados do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC, 2020), uma vegetação marcada pela variação entre os biomas Cerrado, com característica de Floresta Decidual, fortemente encontrada em locais de pasto, e pelo bioma Amazônico, definido pela presença de Floresta Ombrófila situada, principalmente, na mata ciliar. Enquanto o rio Una e seus afluentes são influenciados por esse grupo de fatores do meio físico, apresentando seus cursos fluviais do baixo curso com padrão de drenagem do tipo treliça e dendrítico.

Em meio a essa complexa área de estudo, está o acelerado processo de desenvolvimento da sociedade, mostrando que a bacia hidrográfica possui mais de 50% de sua porção inserida em Formação Florestal, entretanto, o restante já foi alterado e fragmentado, sobretudo, para Pastagem. Verifica-se também o avanço da urbanização diante das características vegetacionais e limnológicas da área de pesquisa, o que alerta quanto as possíveis modificações da paisagem que muitas vezes podem produzir impactos com alto grau de reversibilidade ao ambiente natural (Brugnolli *et al.*, 2022). Por esse motivo, é de extrema necessidade a aplicação das bases legais e ferramentas de gestão pública e ambiental que assegure a integridade dos recursos naturais ao longo do tempo.

## Avaliação dos indicadores de qualidade hídrica

Para análise do comportamento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos utilizados na presente pesquisa, foram considerados os processos de uso e cobertura da terra na bacia, as características físicas da mesma, bem como o percentual das chuvas referente ao período chuvoso e de estiagem, em observação com a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Tabela 2).

Para este estudo, adotou-se a Classe de água 2 (água doce) como parâmetro base, pois é destinada para consumo humano após tratamento, recreação de contato primário e irrigação, sendo esses os usos que correspondem ao corpo hídrico aqui mencionado. Por esse motivo, faz-se necessário a avaliação da qualidade da água desse manancial para identificar o nível de comprometimento ocasionado pelas pressões de uso e, sobretudo, as possíveis adversidades futuras enfrentadas pela população local.

**Tabela 2** - Valores dos resultados dos parâmetros físico-químicos conforme a Resolução CONAMA 357/2005

Parâmetros	P01	P02	P03	P04	Média	Resolução Conama Nº 357/2005.	Período
	Cachoeira do Arruda	Sede município de Morros	Ponte Quebra Anzol	Una dos Moraes		(Classe 2)	
Temperatura °C	25,77	26,30	26,09	27,02	26,29	-	Chuvoso
	26,51	26,70	26,12	26,06	26,34		Estiagem
pH	5,88	5,17	5,10	5,89	5,51	Entre 6,0 e 9,0.	Chuvoso
	4,03	5,96	5,47	5,14	4,12		Estiagem
OD (mg/L)	7,13	8,40	8,32	8,10	6,39	não inferior a 5 mg/L O <sub>2</sub>	
STD (mg/L)	202,00	226,00	206,00	171,00	161,00	500 mg/L	Chuvoso
	307,00	229,00	239,00	256,00	206,20		Estiagem
Nitrogênio amoniaco total (mg/L)	4,30	0,001	0,001	0,001	1,07	3,7 mg/L	Chuvoso
	0,40	0,20	0,50	0,30	0,28		Estiagem
Nitrato (mg/L)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	10,0 mg/L	Chuvoso
	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10		Estiagem
Nitrito (mg/L)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1,0 mg/L	Chuvoso
	0,016	0,001	0,013	0,003	0,0066		Estiagem
Fósforo (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1 mg/L	Chuvoso
	0,02	0,01	0,08	0,09	0,04		Estiagem
Turbidez (UNT)	3,20	2,30	2,08	2,6	2,55	40 UNT	Chuvoso
	0,10	0,10	0,10	2,4	0,54		Estiagem
Condutividade Elétrica (Ms/cm)	0,02	0,018	0,018	0,02	0,02	-	Chuvoso
	0,022	0,019	0,02	0,02	0,016		Estiagem
Nitrogênio Total (mg/L)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	2,18 (mg/L) <sup>1</sup>	Chuvoso
	0,10	23,00	0,10	0,10	5,82		Estiagem
Ferro dissolvido	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,3 (mg/L)	Chuvoso

<sup>1</sup> Esse valor só se aplica quando: "nitrogênio for fator limitante para eutrofização, nas condições estabelecidas pelo órgão ambiental competente"; conforme art. 10 § 3º. Ou seja, ele não é válido para qualquer corpo hídrico! O órgão ambiental deve primeiro estabelecer os critérios para definir quando um corpo hídrico tem como fator limitante para eutrofização o nitrogênio e, após isso, se identificado que o referido corpo hídrico se enquadra, aplica-se o valor de 2,18 mg/L.

(mg/L)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10		Estiagem
Alumínio (mg/L)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,1 (mg/L)	Chuvoso
	0,12	0,12	0,13	0,10	0,30		Estiagem
Coliformes Termotolerantes	238,20	153,90	344,80	478,60	243,10	1000 NMP / 100 mL	Estiagem

Fonte: Organizada pelos autores.

No período chuvoso, a temperatura no rio variou de 25,77°C a 27,02°C, apresentando maior elevação no P4 (27,02°C) e variação média de 26, 29°C. Já na segunda fase, considerada de menor índice pluviométrico na área de estudo, constata-se que esse parâmetro se mantém na média de 26,34 °C, não havendo acréscimo desproporcional com as características naturais da área. No entanto, não existe valor estipulado para a temperatura na Resolução CONAMA n°. 357/2005, contudo, o mesmo deve atender os padrões em conformidade com o clima da área de estudo. No P4 houve uma pequena redução na temperatura da água que passou de 27,02°C para 26,06°C, causada pela exposição desse ponto aos raios solares, no dia e horário da primeira coleta, pois observou-se, e não existe lançamento de águas aquecidas nas imediações por despejos industriais e/ou usinas termoeletricas, e em comparação com os demais pontos apresenta-se diferença inferior à 1°C, o que indica condições típicas nesses pontos.

E deve-se ressaltar que a maior temperatura propicia reações químicas (Brugnolli *et al.*, 2022), o que é ligeiramente correlacionado com dados auxiliares, como elevação no potencial de oxidação, redução da água e condutividade elétrica. A variação da temperatura da água ainda influencia no comportamento da vida aquática (morte ou migração de peixes) e de outros parâmetros físicos e químicos. A água fria, por exemplo, contém mais oxigênio dissolvido do que a água quente. Em outra perspectiva, alguns compostos são mais tóxicos para a vida aquática nas temperaturas mais elevadas. Por isso, a temperatura deve ser analisada conjuntamente com os demais parâmetros, sabendo que esta pode vir a influenciar no comportamento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas. Nesse sentido, a priori, analisou-se o oxigênio dissolvido (OD) nessa perspectiva.

O OD, em todos os pontos de amostragem, quanto à concentração, ficou dentro do padrão estabelecido pela Resolução vigente para as classes de água 2 (não inferior a 5 mg/L). Portanto, no P2 (8,4 mg/L) e P3 (8,32 mg/L) foram identificadas as maiores concentrações, sendo esse fato desencadeado pelo fluxo contínuo de água que resulta em fortes correntes na área. Entretanto, no P1 (7,13 mg/L) detectou-se a menor concentração de OD, entende-se que seja pela influência da quantidade de matéria orgânica em processo de decomposição. Dentre os pontos de amostragem, a Cachoeira do Arruda é o que possui maior evidência de preservação das suas características naturais, principalmente em relação

à presença da vegetação, uma vez que esse elemento influi na capacidade de autodepuração do manancial, podendo provocar valores baixos desse parâmetro no corpo d'água.

Geralmente, em rios com maior carga de poluentes o OD apresenta valores  $\leq 5$  mg/L, como aponta o estudo desenvolvido por Rocha (2019) ao longo do rio Paciência, localizado na Ilha do Maranhão, em que identificou percentuais mínimos de até 0,19 mg/L em áreas mais afetadas, demonstrando comprometimento na qualidade da água do rio e risco para os seres vivos desse ecossistema. O oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção da vida de espécies aquáticas, sendo o parâmetro determinante para a identificação de poluição hídrica por efluentes domésticos, que possuem grande potencial de matéria orgânica biodegradável. Por essa razão, a falta de saneamento básico é um contribuinte importante para a redução do OD.

Nesse âmbito, discute-se o potencial Hidrogeniônico (pH), já que para Von Sperling (2005), os valores de pH estão relacionados aos fatores naturais, como dissolução de rochas, absorção de gases atmosféricos, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, e a fatores antropogênicos pelo despejo de esgotos domésticos e industriais, devido à oxidação da matéria orgânica e à lavagem ácida de tanques, respectivamente.

Logo, para a área de estudo, o pH demonstra que na primeira coleta variou de 5,10 (P3) a 5,89 (P4) na bacia hidrográfica. Em comparação aos níveis identificados no período de estiagem, nota-se que em ambas as estações os pontos apresentam-se com média inferior a 6. Assim, as águas do rio Una foram identificadas em desconformidade com a Resolução CONAMA n.º. 357/2005 para Classes 2, na condição de levemente ácida em todos os pontos de amostragem. De acordo com as propriedades naturais da bacia hidrográfica, presume-se que o baixo valor do pH encontrado no rio, principalmente no P1(4,03) é ocasionado pela presença de solos ricos em ferro.

Ressalta-se, que a água em estado de acidez em nível demasiado, isto é, abaixo de 4, desencadeia sérios problemas no ambiente aquático podendo ocasionar mortandade de peixes e de outros seres vivos que habitam nesse meio. Cabe ressaltar que, observa-se que na área de estudo devido à falta de distribuição de água potável por parte do setor público responsável, a população local faz uso das águas do rio para consumo e atividades domésticas. Desse modo, esse fator pode tornar-se um agravante futuro no que concerne à saúde dos moradores.

Quanto ao parâmetro da condutividade elétrica, evidencia-se que não existe padrão estabelecido pela Resolução CONAMA. Nessa condição, nos pontos de coleta da pesquisa, a condutividade apresentou comportamento de 0,018 mS/cm (P1, P3, P4) a 0,022 mS/cm (P1, P3). Na segunda amostragem, nota-se um pequeno acréscimo na capacidade de passar

corrente elétrica na água, que ocorre em virtude das reações desencadeadas nesse ecossistema, diante do aumento da temperatura. Para Von Sperling (2007), as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S cm}$  e, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais, os valores podem chegar até 1000  $\mu\text{S cm}$ . Ainda funciona também como avaliador de concentração de nutrientes nos ecossistemas aquáticos, pois reflete os íons presentes (Esteves, 1998, p. 18).

No resultado obtido para o parâmetro do fósforo, todos os pontos estão dentro do limite permitido pela Resolução CONAMA n.º 357/2005, que estabelece o valor inferior a 0,1 mg/L. Salienta-se que na primeira análise de água realizada na área de pesquisa os valores desse parâmetro mantiveram-se na média de 0,01 mg/L em todos os pontos de coleta, não apresentando riscos ao ambiente. Entretanto, no mês de outubro a concentração do fósforo revelou teores mais elevados em relação ao período chuvoso variando de 0,01 mg/L (P2) a 0,09 mg/L (P4), permanecendo dentro dos padrões nas duas análises solicitadas. Apesar de não haver sérios comprometimentos relacionados a esse parâmetro, faz-se notar a diferença de valores encontrados no P1 (0,01 mg/L), onde existe maior preservação das características naturais, diferentemente do P3 (0,08 mg/L) e P4 (0,09 mg/L), os quais integram maior participação das atividades antrópicas.

Em outros rios do Maranhão, a citar o estudo fomentado por Sousa (2021), na bacia hidrográfica do Riacho Cacao no município de Imperatriz-MA, o aumento do nitrogênio ( $\geq 7$  mg/L) nas águas naturais é atribuído principalmente às descargas de efluentes sanitários.

Destaca-se que, em corpos d'água com grande influência do setor urbano, o comportamento do fósforo tende a não se encaixar nos padrões previstos pela legislação. Dessa forma, Silva *et. al.* (2014), ao avaliar o grau de trofia na bacia do rio Anil-MA, observou valores elevados ( $\geq 0,16$  mg/L) desse elemento, o que caracteriza o comprometimento do ambiente, sendo classificado em supereutrófico na escala de trofia. O componente do fósforo apresenta-se, na água natural, em grande escala por meio do lançamento de efluentes sanitários, fertilizantes utilizados na agricultura e detergentes. O excesso de fósforo na água superficial ocasiona o enriquecimento de nutrientes que consequentemente promove o surgimento de algas, causando a problemática da eutrofização.

Em relação ao comportamento do nitrito, os resultados mostram que no período de estiagem os valores encontrados para o P1 (0,016 mg/L), P3 (0,013 mg/L) e P4 (0,003 mg/L) foram mais elevados em comparação à época de maior precipitação, sendo estabelecida média de 0,001 mg/L. Ou seja, ambas não atingiram o limite definido pela Lei

vigente que designa o valor de 1,0 mg/L. As análises indicam condições positivas referente ao teor de nitrito nas águas do rio, no entanto, existe mudança de valores encontrado no P1 e P3 em ambas as estações, é provável que seja consequência do processo de decomposição da matéria orgânica, considerando que são áreas com grandes índices vegetacionais. O P3 pode estar a demonstrar que durante o período seco, além de receber influência do dinamismo natural, a bacia hidrográfica também recebe introdução desse elemento de forma artificial, visto que é uma área muito visitada pelos habitantes da região.

Já os teores médios de nitrato em todos os pontos de coleta da área de estudo foram de 0,10 mg/L, os quais não atingiram o limite de 10 mg/L determinado pela Resolução CONAMA 357/2005 para Classes 2 de água para as diferentes estações do ano. O nitrato também é encontrado nos ambientes aquáticos introduzidos por fontes naturais a partir da presença de matéria orgânica. Faz-se ressalva quanto à possível inclusão de nutrientes nesse corpo hídrico via atividade de agricultura muito utilizada na localidade, principalmente pela produção de mandioca, que usam o rio Una para a lavagem e preparo da raiz para a fabricação de farinha.

Em relação ao nitrogênio amoniacal total, os índices relatam uma diferença de valores dentre os pontos de estudo para as duas épocas do ano, contudo, o P1 (Cachoeira do Arruda) contém a maior concentração encontrada para esse parâmetro, sendo esta com 4,3 mg/L concernente a fase de maior precipitação, todavia, os demais pontos apresentam-se com valores inferiores a 0,5 mg/L.

Ressalta-se que, o nitrogênio amoniacal total quando em quantidade excessiva é considerado um elemento tóxico para os seres aquáticos, pois provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidado biologicamente.

Os sólidos totais dissolvidos (STD) são classificados como todo resíduo dissolvido na água, que é um indicador da qualidade hídrica e das condições de saneamento na área de estudo (Brugnolli *et al.*, 2022). Para tanto, as análises de STD denotaram variação de 171 mg/L (P04) a 307 mg/L (P1), estando em conformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 que preconiza o valor máximo de 500 mg/L para água de Classes 2.

Para tanto, as amostragens pertencentes à segunda coleta demonstram-se de forma mais elevada em comparação ao quantitativo de STD identificado no mês de março, apontando o P1 (307mg/L) e o P4 (256) com cargas mais notórias. No P1 essa representatividade é oriunda da presença de compostos orgânicos passíveis de decomposição, já nos outros pontos entende-se que o volume de sólidos tem predomínio de substâncias de origem biológica e inorgânica, tendo em vista as condições atuais do território drenado. Embora os resultados dos STD tenham se apresentado satisfatórios, os

valores obtidos são de notória atenção, pois possuem valor médio de 206,2 mg/L o que já demonstra o aumento gradativo desse parâmetro. Desse modo, na bacia hidrográfica do rio Una evidencia-se que a falta de saneamento básico na localidade e a erosão marginal detectada, em especial nos pontos P2, P3 e P4 da área ocasionada pela retirada da mata ciliar, podem agravar essa condição.

A turbidez da água está atrelada à quantidade de material em suspensão disponível no corpo hídrico, e deve ser analisada juntamente com outros parâmetros para melhor entendimento. Como frisa Von Sperling (2005), as principais fontes geradoras de turbidez são as argilas, as areias, a matéria orgânica, o material mineral, os detritos e os plânctons. Portanto, o resultado expresso pela turbidez demonstra, primeiramente, a variação alusiva ao mês de março, com média de 2,5 UNT (Unidades Nefelométricas), apresentando o P1 (3,2 UNT) e P3 (2,6 UNT) com maior teor de turbidez na água. Assim, todos os pontos apresentam-se dentro dos limites aceitos pela Lei vigente.

Ressalta-se, que a atuação do elemento, aqui mencionado, manifesta-se em menor proporção no mês de outubro, alterando de 0,1 UNT (P1, P2, P3) a 2,4 UNT (P4). No P4, o valor estimado está atrelado aos aspectos físicos do ponto de coleta identificado em campo, nota-se a ocorrência da supressão da atividade de pesca e extrativismo vegetal, que consequentemente lançam excrementos animal e dejetos orgânicos no rio, tornando a água com cor mais escura.

O Ferro apontou valor médio de 0,1 mg/L em todos os pontos de coleta para as diferentes características de estações, estando no limite aceito pela Lei atual. O ferro em águas superficiais é proveniente da formação geológica existente na localidade, que é constituída pela cobertura sedimentar com predominância de Formação Barreiras, contendo o metal pesado do Ferro (Fe) em sua estrutura. Para tanto, os teores encontrados para esse mineral não simbolizam perigo ao ecossistema.

O alumínio é um elemento natural existente na água superficial, mas pode ter a sua quantidade acrescida devido aos fatores artificiais. Em relação aos resultados alcançados para o Alumínio na presente pesquisa, revela-se valores de 0,1 mg/L para todos os pontos de amostragem na época com maior incidência chuvosa e variação de 0,1 a 0,13 mg/L nos períodos mais secos.

A partir da mudança de valores ocorridos entre os períodos analisados, observa-se que os valores de concentração do alumínio apontam índices mais acentuados na segunda coleta, em que há baixo volume das águas do rio devido ao menor índice pluviométrico na região. Pode-se também verificar que o valor do alumínio na água atingiu o quantitativo de 0,12 mg/l (P1, P2) e 0,13 (P3), excedendo o máximo admissível de 0,1 mg/l pela Resolução

CONAMA Nº 357/2005 para águas superficiais de Classe 2. O índice desse elemento detectado na água superficial do rio Una é resultante das características geológicas e pedológicas da área de estudo, que compreende ao período pré-cambriano constituído de escudos cristalinos. Em razão disso, é encontrada quantidade significativa desse recurso mineral na região supracitada, que, por sua vez, deve ser alertado quanto às respectivas finalidades da água conduzidas pela sociedade.

Por fim, na qualidade da água, o indicador microbiológico é usado como substância determinante para a constatação de contaminação dos corpos hídricos, pois revela indícios de poluição oriunda de elemento fecal, que é geralmente produzido por microrganismos que compõe a flora intestinal humana e/ou animal, responsável por desencadear enfermidades para os usuários desse sistema. Como forma de complementar os resultados da pesquisa, incorporou-se na coleta do período de estiagem a análise do presente parâmetro para indicar as condições higiênico-sanitárias da localidade.

Tradicionalmente, os indicadores são usados por limitações de ordem prática, técnica e econômica, uma vez que se torna impossível examinar todos os potenciais organismos patogênicos presentes na água (Souza; Daniel, 2008). Em comparação com a avaliação da qualidade da água de outros rios do Estado voltados para a análise desse parâmetro, o estudo desenvolvido por Bastos (2016), em diferentes rios de 11 municípios da Baixada Maranhense, menciona que a contagem de microrganismos atingiu o máximo de 2416,9 NMP nas cidades de Matinha e Conceição Lago Açu, aproximando-se da quantidade limite exigida por Lei, alegando alto comprometimento das águas superficiais da região.


Outrossim, constataram concentrações de coliformes termotolerantes com variação de 153,9 NMP (P2) a 478,6 NMP (P4), estabelecendo-se dentro do valor máximo permissível da atual legislação, que estipula quantidade  $\leq 1000$  por 100 ml. Salienta-se que, as concentrações mais elevadas foram identificadas no P3 e P4 que correspondem às áreas com maior intervenção antrópica, considerando também a sua localização próxima ao ponto de exutório, onde recebe todo o escoamento superficial acarretado no interior desse curso d'água. Dessa forma, nota-se que a bacia hidrográfica do rio Una ainda dispõe de valores aceitáveis de coliformes, sendo indicativo de boas condições desse ambiente aquático. Porém, alerta-se quanto aos pontos assinalados com índices mais altos (P3, P4), para que possa ocorrer os devidos cuidados de saneamento, pois são procedentes de maior carga de poluente.

Tais parâmetros propiciaram a avaliação do nível de trofia ou índice de estado trófico do manancial, que foi calculado por ponto, segundo o modelo selecionado para esta

pesquisa, conforme evidencia-se na Tabela 3. De acordo com os resultados obtidos, os pontos de estudo classificam-se no estado Ultraoligotrófico, ou seja, corpos de água limpos com baixas concentrações de nutrientes, sem causar comprometimento aos seus respectivos usos, a propiciar aflorações de algas ou mortandade de peixes. O modelo de Lamparelli (2004) retrata a atual situação da bacia, encontrando-se o nível Ultraoligotrófico para todos os pontos de amostragem. A classificação do IET realizou-se por meio dos resultados do parâmetro do fósforo (PT), adquiridos das amostras coletadas que consequentemente geraram-se médias aritméticas para posterior aplicação na fórmula do IET, como é proposto pela autora acima mencionada, para medir o potencial de eutrofização.

**Tabela 3** - Classificação de trofia dos pontos de amostragem segundo Lamparelli (2004).

Pontos	Lamparelli (2004)	Valores de IET por ponto no período chuvoso	Valores de IET por ponto no período de estiagem
P1	Ótima $\leq 47$	37,918	37,936
P2	Ótima $\leq 47$	37,918	37,918
P3	Ótima $\leq 47$	37,918	39,804
P4	Ótima $\leq 47$	37,918	39,806



Ultraoligotrófico      Oligotrófico      Mesotrófico

Fonte: Lamparelli, 2004; Pesquisa de Campo, 2021.

A determinação do IET, através dos resultados correspondentes ao fósforo, deve ser entendida como uma medida do potencial de eutrofização, pois esse nutriente atua como o agente causador do processo, por contribuir no afloramento de cianobactérias que causam danos ao corpo hídrico. Ressalta-se, que os resultados encontrados a partir da aplicação do IET não mensuram diretamente a eutrofização, apenas indicam o potencial e a condição de trofia do meio, classificando-o em diferentes classes (ANA, 2013).

No entanto, verificando-se a situação dos pontos de amostragem em duas estações do ano, sendo estabelecidos no período chuvoso e seco, correlacionados ao comportamento dos demais parâmetros, destaca-se o P3 e P4 como estado de alerta para possíveis implicações futuras. Pois, dentre os quatro pontos de estudo foram os que apresentaram maior vulnerabilidade à mudança de classe no IET, por revelar acréscimo na variação do fósforo no mês de outubro. Quanto aos pontos mencionados localizados no médio e baixo curso da bacia, as consequências ocorrem devido ao processo de urbanização na sede da cidade de Morros e povoados adjacentes, pois recebem a concentração de detritos de toda a população. Além de serem áreas com maior visitação por parte dos moradores locais e turistas devido às condições de acessibilidade.

## Considerações finais

A bacia hidrográfica é a unidade base para o desenvolvimento da gestão de recursos hídricos e gestão ambiental, pois permite analisar de forma integrada os elementos contidos em seu espaço e/ou fora dele. Nesse sentido, o presente trabalho permitiu o entendimento sobre a condição atual da bacia hidrográfica do rio Una, a partir dos resultados alcançados nas análises físico-químicas e biológicas realizadas em quatro pontos de coletas ao longo da bacia.

Partindo das análises realizadas e considerando a avaliação dos indicadores de qualidade hídrica realizada nos dois períodos de coletas, em comparação com a Resolução CONAMA N°. 357/2005 para Classes de água 2, destaca-se que estão em conformidade com a mesma, estabelecendo valores dentro do padrão permitido. Contudo, os resultados obtidos no período de estiagem correspondem, com mais clareza, à realidade do ambiente em estudo. Segundo a metodologia utilizada, para mensurar o Índice de Estado Trófico na bacia hidrográfica, classificam-se os corpos d'água desse manancial como predominantemente ultraoligotrófico, sendo este considerado em estado de águas limpas, com baixo nível de nutrientes, não apresentando comprometimento quanto aos usos realizados.

Os resultados apresentados subsidiarão a elaboração de cenários prospectivos a curto, médio e longo prazo, promovendo a aplicabilidade de políticas públicas com vista a monitorar e evitar o comprometimento do meio natural.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMA (Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão) e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsas de estudo.

## Referências

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas., n. 9898/1997. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.898-Coleta-de-Amostras.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2021.

ALASKA. **Alos Palsar**. Disponível em: <<https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

ALVES, L. B.; SILVA, C. A. da; BRUGNOLLI, R. M. Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do córrego Laranja Doce, Mato Grosso do Sul. **Revista da ANPEGE**, v. 18, n. 35, p. 133-156, 2022. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/13822>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual. Brasília: ANA, 2019. 100 p. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: 25 jun. 2022.

ANA. **Unidade 2 bases conceituais para monitoramento de águas**. 2013. Disponível em: <[https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/76/4/Unidade\\_2.pdf](https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/76/4/Unidade_2.pdf)>. Acesso em: 04 de maio 2020.

ANTUNES, R. L. dos. S. **Análise Integrada da Paisagem com a aplicação do Sensoriamento Remoto na Bacia Hidrográfica do Rio Botucarai**. 2017. 2001 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-13042017-091655/pt-br.php>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

BASTOS, L. S. **Indicadores de qualidade da água para consumo humano em Municípios da Baixada Maranhense**. 2016. 85 f. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016. Disponível em: <<https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/2021>>. Acesso em: 05 mai. 2021.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia Hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand 2004.

BOZZINI, A. C.; PRADO, F. C. de O.; PEREIRA, J. P.; BORRI, M.; PASCHOALADO, C. F. P. R. Análise da sustentabilidade hidroambiental dos municípios com sede totalmente contida na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu, SP. **Holos Environment**, v. 18, n. 1, p. 110-125, 2018. Disponível em: <<https://www.ce-unesp.org.br/holos/article/view/12256>>. Acesso em: 22 maio 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional Dos Recursos Hídricos. Brasília, DF: 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acesso em: 03 mar. 2021.

BRUGNOLLI, R. B.; BEREZUK, A. G.; PINTO, A. L.; SILVA, C. A. da. Calidad de las aguas superficiales en sistemas kársticos. Un estudio de la cuenca hidrográfica del río Formoso, Bonito, Mato Grosso do Sul – Brasil. **Investigaciones Geográficas**, n. 78, p. 107-129, jul. 2022. Disponível em: <<https://www.investigacionesgeograficas.com/article/view/20241>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

CAMELO, S. M. **Modelagem da poluição difusa em sistemas de macrodrenagem de bacias urbanas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) –

Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019. Disponível em: <<https://www.ppgeca.ufcg.edu.br/dissertacoes-menu/dissertacoes-2019/send/75-dissertacoes-2019/291-modelagem-da-poluicao-difusa-em-sistemas-de-macrodrenagem-de-bacias-urbanas>>. Acesso em: 02 dez. 2022.

CETESB (São Paulo). 2009. **Relatório de qualidade de águas interiores do estado de São Paulo**. Relatório de 2008. São Paulo: Cetesb, 531 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em: 11 jan. 2022.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 20/1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, de 30 de julho de 1986. Disponível em: <[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/1986/res\\_conama\\_20\\_1986\\_revgd\\_classificacaoaguas\\_altrd\\_res\\_conama\\_274\\_2000\\_revgd\\_357\\_2005.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/1986/res_conama_20_1986_revgd_classificacaoaguas_altrd_res_conama_274_2000_revgd_357_2005.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2022.

CONAMA. Resolução 396/2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68. Disponível em: <<https://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2022.

CONAMA. Resolução 430/2011, Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 92, de 13 de maio de 2011, Seção 1, 89 p. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>>. Acesso em: 22 jul. 2022.

CONAMA. **Resolução Nº 357/2005 Ministério do Meio Ambiente Resolução**. Disponível em: <[www.mma.gov.br/port/conama/res05/res35705.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res05/res35705.pdf)>. Acesso em: 07 de mai. de 2020.

CPRM, COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. Teresina: CPRM. 2018.

DODDS, W. K. Eutrophication and trophic state in rivers and streams. **Limnology and oceanography**, v. 51, n. 1, p. 671-680, 2006. Disponível em: <[https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.4319/lo.2006.51.1\\_part\\_2.0671](https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0671)>. Acesso em: 28 nov. 2023.

DODDS, W. K. Trophic state, eutrophication and nutrient criteria in streams. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 12, p. 669–676. 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169534707002765>>. Acesso em: 15 set. 2023.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciências, 1998.

FERREIRA, W. P. M.; SILVA, M. A. V.; SOUZA, C. F. Clima, recursos hídricos e produção agrícola: perspectivas, desafios e possibilidades para a gestão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 39, n. 304, p.65-79. 2018. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2020/09/Clima-recursos->

hidricos-e-producao-agricola-perspectivas-desafios-e-possibilidades-para-a-gestao.pdf.  
Acesso em: 15 jun. 2023.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 372p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Download Geociências**. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 30 jun. 2021.

IMESC. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. **Relatório Técnico de Classificação da Vegetação do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE-MA) – Etapa Bioma Amazônico**. São Luís: IMESC, 2020. Disponível em: <<http://homologacao.zee.ma.gov.br/wp-content/uploads/2021/11/Vegetacao.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2023.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 235f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/.../TeseLamparelli2004.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/.../TeseLamparelli2004.pdf)>. Acesso em: 05 de jan. 2020.

MARANHÃO. Lei 8.149/2004. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Maranhão**, São Luís, 15 de junho de 2004. Disponível em: <<https://leisestaduais.com.br/ma/lei-ordinaria-n-8149-2004-maranhao-dispoe-sobre-a-politica-estadual-de-recursos-hidricos-o-sistema-de-gerenciamento-integrado-de-recursos-hidricos-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 02 dez. 2022.

MARANHÃO. Resolução CONERH 104/2020. Dispõe sobre a aprovação do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Maranhão-PERH - MA. **Diário Oficial do Estado do Maranhão**, São Luís, 17 de dezembro de 2020. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=406998>>. Acesso em: 25 nov. 2022.

MARQUES, V. J. **Princípios básicos e aplicação da metodologia do zoneamento ecológico-econômico do território nacional, em projetos executados pela CPRM para a SAE**. Belém: CPRM, 2000. Disponível em: <[https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/15507/2/zoneam\\_vol1.pdf](https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/15507/2/zoneam_vol1.pdf)>. Acesso em: 07 jul. 2022.

NASCIMENTO, B. L. M.; GOMES, D. R. C. de S.; COSTA, G. P.; ARAUJO, S. S.; SANTOS, L. C. A. dos; OLIVEIRA, J. D. de. Comportamento e avaliação de metais potencialmente tóxicos (Cu (II), Cr (III), Pb (II) e Fe (III)) em águas superficiais dos Riachos Capivara e Bacuri Imperatriz- MA, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 3, p. 369-378, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/VgZJSgr5hpNBr6nspDhYT4b/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 07 ago. 2023.

NUGEO. Universidade Estadual do Maranhão. Centro de Ciências Agrárias. Núcleo Geoambiental. **Bacias hidrográficas e climatologia no Maranhão**. São Luís: UEMA, 2016. 165 p.

OLIVEIRA, R. S. A. **Variação Estacional e Anual da Precipitação e da Temperatura do ar na cidade de Barreirinhas/MA**. 2016. 41 f. Graduação (Curso de Agronomia) – Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2016. Disponível em: <<https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/938/1/RaimundoSergioAlvesOliveira.pdf>>. Acesso em: 27 de mar. 2022.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **Relatório Anual 2019**. 2019. Disponível em: <<https://www.who.int/eportuguese/publications/pt/>>. Acesso em: 26 de jul. 2021.

ROCHA, M. C. da. [et al.]. Saneamento e qualidade das águas na bacia hidrográfica do rio Paciência, Ilha do Maranhão. **Revista Geotemas**, Pau dos Ferros, v. 11, e02103, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.apps.uern.br/index.php/GEOTemas/article/view/3082>>. Acesso: 15 abr. 2022.

SABOURIN, E. Desenvolvimento rural e abordagem territorial: conceitos, estratégias e atores. In: SABOURIN, Eric; TEIXEIRA, Olívio A. (Org.). **Planejamento e desenvolvimento dos territórios rurais**. Brasília: Embrapa, 2002.

SANTOS, L. C. A.; LEAL, A. C. Gerenciamento de recursos hídricos no estado do Maranhão – Brasil. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 5, n. 13, p. 39-65, 2013. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/Observatorium/article/view/45684>>. Acesso: 22 set. 2023.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais. **Manual de Instituição e instalação dos Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado do Maranhão**. São Luís: SEMA; Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 2018. Disponível em: <<https://www.sema.ma.gov.br/programas-ou-campanhas/manuais-e-publicacoes>>. Acesso: 02 dez. 2022.

SILVA, G. S. da; SANTOS, E. A. dos; CORRÊA, L. B.; MARQUES, A. L. B.; MARQUES, E. P.; SOUSA, E. R.; SILVA, G. S. Avaliação integrada da qualidade de águas superficiais: grau de trofia e proteção da vida aquática nos rios Anil e Bacanga, São Luís (MA). **Rev. Eng Sanit Ambient**, v. 19, n. 3, jul./set. 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/ttPBpP8MtnXbbCnv7XvZdqk/?format=pdf&lang=p>>. Acesso em: 23 mar. 2022.

SILVA, M. A. R. Economia dos recursos naturais. In: **Economia do meio ambiente: Teoria e prática**. Rio de Janeiro: Editora Campos, 2003. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1261591/mod\\_resource/content/0/LIVRO\\_-\\_Economia%20do%20Meio%20Ambiente.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1261591/mod_resource/content/0/LIVRO_-_Economia%20do%20Meio%20Ambiente.pdf)>. Acesso em: 15 mai. 2023.

SOUSA, M. J. A. de; GONÇALVES, M. F.; OLIVEIRA, J. D. de; LOPES, C. K. S. The water quality index of the stream Cacau sub-basin, Amazon Portal Imperatriz -MA. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e45510212631, 2021.

SOUZA, J. B. de; DANIEL, L. A. Inativação dos microrganismos indicadores Escherichia coli, colifagos e Clostridium perfringens empregando ozônio. **Revista Ambiência, Guarapuava**, v. 4, n. 2, p. 265-273, 2008. Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/167>>. Acesso: 15 maio 2023.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias:** introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

---

#### Como citar:

##### ABNT

CORRÊA, E. L. S.; SANTOS, L. C. A. dos; MEDEIROS, R. B. Indicadores de qualidade das águas superficiais como subsídio à gestão de recursos hídricos: o caso da bacia hidrográfica do rio Una, Maranhão. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 12, n. 01, e22571, 2026. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e22571>>. Acesso em: 06 jul. 2026.

##### APA

Corrêa, E. L. S., Santos, L. C. A. dos, & Medeiros, R. B. Indicadores de qualidade das águas superficiais como subsídio à gestão de recursos hídricos: o caso da bacia hidrográfica do rio Una, Maranhão. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 12, n. 01, e22571, 2026. Recuperado em 06 julho, 2026, de <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e22571>



This is an open access article under the CC BY Creative Commons 4.0 license.  
Copyright © 2026, Universidade Federal do Maranhão.

