



ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO PARA IDENTIFICAÇÃO DA QUALIDADE HÍDRICA EM RIACHO URBANO

**Fernanda Águia Sousa de Deus,¹ Silvio Pereira Neto², Lucas Otávio Lourenço Lima³,
Miriam Cleide Cavalcante de Amorim⁴**

¹Graduanda em Engenharia Civil. Universidade Federal Do Vale Do São Francisco (UNIVASF), Juazeiro, Bahia, Brasil (fernanda.aguida@discente.univasf.edu.br)

²Graduando em Engenharia Civil. Universidade Federal Do Vale Do São Francisco (UNIVASF), Juazeiro, Bahia, Brasil (silvio.pereira@discente.univasf.edu.br)

³Graduando em Engenharia Civil. Universidade Federal Do Vale Do São Francisco (UNIVASF), Juazeiro, Bahia, Brasil (lucas.lourenco@discente.univasf.edu.br)

⁴Professora D.Sc. Tutora PET Saneamento Ambiental UNIVASF (miriam.cleide@univasf.edu.br)

Resumo: Avaliou-se o estado trófico do riacho Malhada (Juazeiro-BA) em três pontos de amostragem, por meio do Índice de Estado Trófico (IET) de Lamparelli (2004), durante o período chuvoso. As concentrações de fósforo total variaram de 2.800 a 3.720 mg/m³ e as de clorofila-a de 70 a 290 mg/m³, ambas acima dos limites do CONAMA nº 357/2005. Todos os pontos foram classificados como hipereutróficos (IET: 81,34–84,92), indicando grave degradação hídrica por distúrbios antrópicos.

Palavras-chave: Eutrofização; qualidade da água; índice de estado trófico; semiárido; riachos urbanos.

INTRODUÇÃO

A eutrofização de corpos hídricos constitui um dos principais problemas ambientais associados à degradação da qualidade da água em ambientes urbanos, sendo causada pelo enriquecimento excessivo de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, provenientes do lançamento de efluentes domésticos sem tratamento adequado (Von Sperling, 2007). Em regiões semiáridas, esse processo é agravado pelas condições climáticas, como baixos índices pluviométricos, elevada evaporação e regime hidrológico intermitente, que contribuem para a concentração de poluentes nos períodos de estiagem e para o carreamento intenso de nutrientes nos primeiros eventos chuvosos (Kozak e Fernandes, 2022).

No contexto do semiárido brasileiro, os riachos urbanos sofrem pressões antrópicas crescentes decorrentes da expansão das cidades sem infraestrutura de saneamento básico adequada. Essa realidade é vista no município de Juazeiro-BA, inserido na região do Submédio São Francisco, onde corpos hídricos como o riacho Malhada recebem cargas difusas e pontuais de esgoto doméstico ao longo de seu curso, comprometendo sua qualidade e potencialmente impactando corpos hídricos receptores de maior porte, como o próprio Rio São Francisco (Nigro, 2017).

A avaliação do estado trófico por meio do Índice de Estado Trófico (IET), proposto por Lamparelli (2004), é uma ferramenta amplamente utilizada no monitoramento da qualidade da água, permitindo classificar corpos hídricos segundo o grau de enriquecimento por nutrientes e seus efeitos sobre a comunidade biológica. Estudos realizados em riachos urbanos do semiárido pernambucano têm evidenciado condições de hipereutrofização associadas ao lançamento de efluentes domésticos, com impactos diretos sobre a biota aquática e os usos múltiplos da água (Macedo *et al.*, 2023; Lima *et al.*, 2022).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o estado trófico do riacho Malhada, em Juazeiro-BA, por meio da determinação das concentrações de fósforo total e clorofila-a e do cálculo do IET segundo Lamparelli (2004), buscando subsidiar o diagnóstico da qualidade da água do sistema e compreender a influência desse riacho sobre o Rio São Francisco.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de Estudo

O estudo foi realizado no riacho Malhada, que está situado no município de Juazeiro, Bahia, na região do Submédio São Francisco. Apresenta clima semiárido,

caracterizado por baixos índices pluviométricos, elevada evaporação e regime hidrológico intermitente, fatores que influenciam diretamente a dinâmica da qualidade da água.

O riacho Malhada possui extensão de 10,033 km, com 4,803 km inseridos na área urbana de Juazeiro, de acordo com Nigro (2017). Foram definidos três pontos para avaliação da qualidade da água, denominados P1, P2 e P3, distribuídos ao longo do riacho, conforme apresentado na Figura 1, com suas coordenadas dispostas no Quadro 1.

Quadro 1. Coordenadas geográficas dos pontos amostrais do riacho Malhada.

Ponto	Latitude	Longitude	Bairro
P1	9°27'34,50"S	40°30'17,77"W	Antônio Guilhermino
P2	9°25'56,47"S	40°29'42,47"W	Alto do Alencar
P3	9°25'23,18"S	40°28'04,03"W	São Geraldo

Fonte: Autores, 2026.

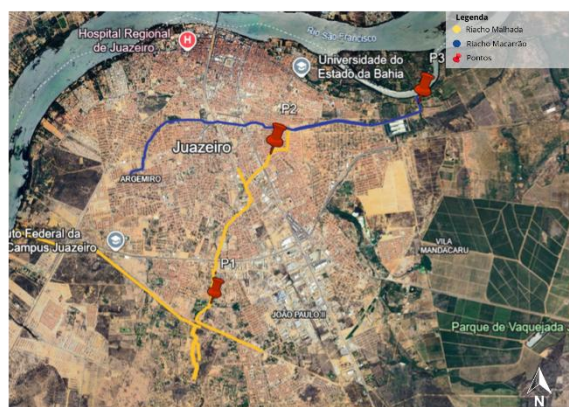


Figura 1. Imagem satélite da localização dos três pontos amostrais no riacho Malhada.

A seleção dos pontos considerou critérios de localização e grau de influência antrópica. O ponto P1 localiza-se em uma área de ocupação rural, por estar fora do alcance da rede de saneamento básico, o trecho ainda recebe lançamentos difusos de esgoto doméstico. O ponto P2 está situado no trecho central urbano do riacho, sob influência direta da ocupação urbana consolidada. O ponto P3 foi estabelecido no riacho Macarrão, corpo hídrico receptor do riacho Malhada e tributário do Rio São Francisco, sendo selecionado com o objetivo de avaliar a influência do riacho Malhada sobre esse sistema, considerando que suas águas percorrem área adjacente a uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) antes de atingir a confluência com o Rio São Francisco.

A campanha de coleta foi realizada em 25 de março de 2026, período correspondente à estação chuvosa regional, com acumulado pluviométrico de aproximadamente 131 mm registrado no mês, conforme

dados da estação meteorológica do LAB-MET/UNIVASF. A ocorrência de precipitações antecedentes constitui fator relevante na interpretação dos resultados, uma vez que eventos de chuva intensificam o carreamento de nutrientes e matéria orgânica para os corpos hídricos, elevando temporariamente as concentrações de fósforo total (Von Sperling, 2007; Kozak e Fernandes, 2022). Esse processo é especialmente significativo nos primeiros eventos chuvosos após o período seco, quando a carga de poluição difusa acumulada sobre a superfície da bacia é transportada para os riachos (Kozak e Fernandes, 2022)

Coleta e Análise das Amostras

As amostras de água foram coletadas na subsuperfície, a aproximadamente 20 cm de profundidade, a fim de evitar interferências de materiais flutuantes. Para as análises de clorofila-a, utilizaram-se frascos de polietileno revestidos de papel alumínio, a fim de evitar a degradação por luz. Todos os recipientes foram previamente higienizados conforme recomendações da APHA (2023). O transporte foi realizado em caixas térmicas com gelo, e as amostras foram armazenadas em freezer no Laboratório de Engenharia Agrícola da Univasf até a análise, respeitando os prazos do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

As determinações do fósforo total (PT) e cor foram realizadas conforme o método descrito pela APHA (2023), com base em digestão ácida seguida de análise colorimétrica. Esse procedimento permite quantificar o fósforo presente em suas diferentes formas, após conversão para ortofosfato. De forma complementar, a análise de clorofila-a (Cla) foi conduzida conforme metodologia descrita por Yunes e Araújo [s/d], fundamentada nos trabalhos clássicos de Mackinney (1941), Paranhos (1996) e Ingrid Chorus (1999). Esse método baseia-se na extração dos pigmentos fotossintéticos por meio de solventes orgânicos, como metanol ou acetona, seguida de leitura em espectrofotômetro.

Para a determinação da clorofila-a, as amostras foram previamente submetidas à filtração, com o objetivo de reter o material particulado contendo fitoplâncton. Em seguida, os pigmentos foram extraídos em solvente apropriado e mantidos sob condições de baixa luminosidade e temperatura controlada, a fim de evitar sua degradação. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV-Vis, modelo Spectrum SP-2000, nos comprimentos de onda de 663 nm e 750 nm, permitindo a quantificação da clorofila-a.

Cálculo do Índice de Estado Trófico

O Índice de Estado Trófico (IET) foi calculado conforme a metodologia proposta por Lamparelli (2004), sendo calculado separadamente para o fósforo total (IET(PT)) e para a clorofila-a (IET(Cla)), sendo o

IET médio do reservatório obtido pela média aritmética dos dois índices parciais, conforme as equações abaixo:

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

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

$$IET_{\text{médio}} = \frac{IET(PT) + IET(Cla)}{2} \quad (3)$$

Onde:

PT = Fósforo total (mg/m³);

Cla = Clorofila-a (mg/m³).

Classificação do estado trófico

A classificação do estado trófico segue os critérios de Lamparelli (2004), descritos na Tabela 1. O estado ultraoligotrófico representa corpos d'água limpos, com produtividade muito baixa e sem prejuízos aos usos da água. O oligotrófico indica baixa produtividade, ainda sem interferências indesejáveis. O mesotrófico corresponde à produtividade intermediária, com possíveis implicações à qualidade, porém em níveis geralmente aceitáveis. O eutrófico caracteriza ambientes com alta produtividade, redução da transparência e alterações indesejáveis decorrentes de atividades antrópicas, com interferências nos múltiplos usos. O supereutrófico agrava esse quadro com frequentes florações de algas. Por fim, o hipereutrófico representa ambientes afetados com maior intensi-

dade pelo aumento de nutrientes e matéria orgânica, com comprometimento acentuado dos múltiplos usos, florações de algas e mortandade de peixes (ANA,2021).

Tabela 1. Classificação do estado trófico segundo Lamparelli (2004)

Classes de Estado Trófico	IET (Médio)	Fósforo total (mg/m ³)	Clorofila-a (mg/m ³)
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$P \leq 13$	$CL \leq 0,74$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$13 < P \leq 35$	$0,74 < CL \leq 1,31$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$35 < P \leq 137$	$1,31 < CL \leq 2,96$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$137 < P \leq 296$	$2,96 < CL \leq 4,70$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$296 < P \leq 640$	$4,70 < CL \leq 7,46$
Hipereutrófico	> 67	$P > 640$	$CL > 7,4$

Fonte: Lamparelli (2004)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de fósforo total e clorofila obtidos nos três pontos de amostragem, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Concentrações de fósforo total (PT) e clorofila-a (Cla) nos pontos de amostragem.

	P1	P2	P3
Imagem do ponto de coleta			
Fósforo Total (PT) (mg/m ³)	3.210	3.720	2.800
Clorofila-a (Cla) (mg/m ³)	290	70	80
Cor (aparente) (µC)	169	96,2	126
IET(PT)	91,22	92,12	90,40
IET(Cla)	78,61	71,64	72,29
IET Médio	84,92	81,88	81,34

Fonte: Autores,2026.



As concentrações de fósforo total foram elevadas em todos os pontos, variando de 2.800 mg/m^3 (P3) a 3.720 mg/m^3 (P2). Esses valores excedem significativamente o limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários de Classe 2 (150 mg/m^3), indicando forte aporte de nutrientes no sistema. Esses resultados evidenciam uma carga de fósforo compatível com o recebimento direto ou indireto de efluentes domésticos sem tratamento adequado, uma condição típica de riachos urbanos em regiões com saneamento básico deficiente (Fonseca e Carneiro, 2016; Costa *et al.*, 2020).

Os resultados de clorofila-a variaram entre 70 mg/m^3 (P2) e 290 mg/m^3 (P1), todos acima do limite de 30 µg/L estabelecido pela mesma resolução. Durante a visita in loco, foi observada expressiva presença de macrófitas aquáticas em todos os pontos amostrados, o que é coerente com o estado de hipereutrofização identificado. Em ambientes com elevado aporte de fósforo proveniente de efluentes domésticos, o enriquecimento nutricional favorece diretamente a proliferação dessas plantas, que absorvem nutrientes tanto da coluna d'água quanto do sedimento e tendem a dominar a produção primária em sistemas lóticos rasos (Esteves, 2011; Pompêo, 2017). Esse crescimento excessivo pode intensificar a degradação da qualidade da água, promovendo sombreamento da coluna d'água, acúmulo de matéria orgânica e redução do oxigênio dissolvido durante os processos de decomposição. Nos pontos P2 e P3, os valores mais baixos de clorofila-a, mesmo diante das elevadas concentrações de fósforo, podem estar associados justamente à dominância das macrófitas sobre a produção primária local, conforme evidenciado pelos valores de cor aparente registrados na Tabela 2. Adicionalmente, nos períodos secos, a redução da vazão tende a concentrar os poluentes já presentes no sistema, evidenciando o papel da sazonalidade climática na intensificação dos processos de eutrofização no riacho Malhada.

Todos os pontos foram classificados como hipereutróficos, com valores de IET médio variando entre 81,34 (P3) e 84,92 (P1), muito acima do limite de 67 definido por Lamparelli (2004). Esses resultados indicam um estágio avançado de eutrofização, caracterizado por elevadas concentrações de nutrientes e intensa degradação da qualidade da água.

Observa-se que, em todos os pontos, os valores de IET(PT) foram superiores aos de IET(Cla). Esse padrão indica que, embora haja grande disponibilidade de fósforo no sistema, a resposta biológica (representada pela clorofila-a) não ocorre na mesma proporção. Esse comportamento pode estar associado a fatores limitantes, como a elevada turbidez e presença de matéria orgânica em suspensão, que reduzem a penetração de luz na coluna d'água e restringem a

fotossíntese (Esteves, 2011). A coloração mais escura da água e os valores de cor aparente observados nesses pontos sugerem maior presença de matéria orgânica dissolvida e sólidos em suspensão, fatores que comprometem a transparência da água e, consequentemente, o desenvolvimento do fitoplâncton.

O ponto P1 apresentou maior concentração de clorofila-a e valores de IET(Cla) relativamente mais elevados em comparação aos demais pontos. Esse resultado é consistente com o padrão de gradiente espacial de degradação observado em riachos urbanos, no qual trechos mais afastados das zonas densamente urbanizadas tendem a apresentar condições menos restritivas ao desenvolvimento biológico, favorecendo o aproveitamento dos nutrientes disponíveis pela comunidade aquática (Santos; Medeiros, 2023).

De forma geral, os resultados indicam baixa qualidade da água do riacho Malhada, com forte influência antrópica ao longo de seu curso. Os valores de IET obtidos são superiores aos reportados em estudos similares no semiárido brasileiro, como o de Macedo *et al.* (2023), avaliando o Riacho das Porteiras em Petrolina-PE, corpo hídrico urbano com características semelhantes às do riacho Malhada, também classificaram todos os pontos amostrados como hipereutróficos, atribuindo esse estado ao recebimento de efluentes de estações de tratamento de esgoto. Lima *et al.* (2022), encontraram IET acima de 67 (hipereutrófico) em reservatórios de abastecimento do semiárido pernambucano após períodos de estiagem prolongada. Vale destacar que a coleta foi realizada no período chuvoso, condição que tende a promover diluição das cargas poluidoras; ainda assim, o sistema permaneceu em estado hipereutrófico, indicando que o aporte de efluentes domésticos supera a capacidade de assimilação do corpo hídrico independentemente da sazonalidade, e que no período seco os impactos tendem a ser ainda mais severos (Kozak e Fernandes, 2022; Oliveira, Campos e Medeiros, 2010).

CONCLUSÃO

A aplicação do Índice de Estado Trófico (IET), conforme a metodologia de Lamparelli (2004), evidenciou que o riacho Malhada apresenta condição hipereutrófica em todos os pontos avaliados, com valores de IET médio amplamente superiores ao estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para sistemas aquáticos lóticos de Classe 2. As elevadas concentrações de fósforo total e clorofila-a indicam intenso enriquecimento por nutrientes, refletindo forte influência de atividades antrópicas ao longo do curso hídrico.

Esse cenário caracteriza um processo avançado de eutrofização, no qual o aporte excessivo de nutrientes favorece o aumento da biomassa algal e a proliferação de macrófitas aquáticas, conforme observado em



campo durante a campanha de coleta. O crescimento excessivo dessas plantas altera a transparência da água e contribui para a redução do oxigênio dissolvido durante sua decomposição, comprometendo o equilíbrio ecológico do sistema. Como consequência, observam-se condições propícias à degradação da qualidade da água, com potenciais impactos sobre a biota aquática e os usos múltiplos do recurso hídrico.

De forma geral, os resultados apontam para um cenário de comprometimento do riacho, reforçando a necessidade de ações voltadas ao controle de cargas poluidoras, incluindo campanhas em diferentes períodos sazonais, especialmente em função da influência do regime de chuvas sobre o carreamento de nutrientes em ambientes semiáridos. E é o que se propõe como perspectivas futuras para esse estudo, que realizará outras coletas de amostras.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão ao Programa Tutorial-MEC de Educação e ao FNDE pelo apoio financeiro prestado, bem como à UNIVASF por sua assistência institucional.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Indicadores de Qualidade -Índice do Estado Trófico (IET). Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/portaldpnqa/indicadores-estado-trofico.aspx>. Acesso em: 15 abr. 2026.

APHA-American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 24. ed. Washington, DC: APHA Press, 2023.

CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília: MMA, 2005.

COSTA, D. F. S. *et al.* Diagnóstico do estado trófico de reservatórios semiáridos no Nordeste do Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 3, p. 455–465, 2020.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FONSECA, A. L. O.; CARNEIRO, F. M. Eutrofização de corpos hídricos no Brasil: conceitos, causas e consequências. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 36, n. 1, p. 1–18, 2016.

KOZAK, C., FERNANDES, C. V. S. A influência dos eventos de precipitação e poluição difusa em rios: implicações para os instrumentos de gestão dos

recursos hídricos. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v19, ed 23. 2022.

LABMET - Laboratório de Meteorologia. Dados das estações meteorológicas automáticas da UNIVASF. Disponível em: https://labmet.univasf.edu.br/dados_estacoes.html. Acesso em: 15 abr. 2026.

LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. Tese (Doutorado em Ciências) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LIMA, R. F. *et al.* Qualidade da água em reservatórios do semiárido pernambucano durante período de estiagem prolongada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 1, p. 12–24, 2022.

MACEDO, F.S.; SANTOS, B. R.; SILVA, I. S.; FREITAS, G. H. L.; AMORIM, M. C. C. Índice de Estado Trófico do Riacho das Porteiras, Petrolina, PE com base nos teores de Clorofila-a. **Revista Científica ANAP Brasil**, São Paulo, Brasil, v. 16, n. 37, 2023. DOI: 10.17271/19843240163720233694.

NIGRO, M. **Dos riachos aos canais: o desprezo pela natureza na cidade em ambiente semiárido no Brasil (Juazeiro-BA)**. 2017. 298 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

POMPÊO, M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros**. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências, 2017. DOI: <https://doi.org/10.11606/9788585658670>

SANTOS, E. O.; MEDEIROS, P. R. P. A Ação Antrópica e o Processo de Eutrofização no Rio Paraíba do Meio. **Sociedade & Natureza**, [S. l.], v. 35, n. 1, 2023. DOI: 10.14393/SN-v35-2023-66441.

TOLEDO, A. P. *et al.* **Informe preliminar sobre os estudos para obtenção de um índice para avaliação do estado trófico de reservatórios brasileiros**. In: ACIESP (Ed.). Anais do XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Maceió: ABES, 1983.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

YUNES, J. S; ARAÚJO, E. A. C. **Protocolo para análise de clorofila-a na água**. Rio Grande do Sul: Unidade de Pesquisa em Cianobactérias da Fundação Universidade Federal de Rio Grande. [s/d].