

Análise da Variação Temporal e Sazonal do Estado Trófico do ribeirão das Rosas, Juiz de Fora (Minas Gerais)

Jussara Ferreira-Santos¹, Pedro Antônio Alves Fernandes², Maria Helena Rodrigues Gomes³, Renata de Oliveira Pereira⁴

¹Mestranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PEC) da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Brasil. (*Autor correspondente: jussara.santos@engenharia.ufjf.br)

²Graduando em Engenharia ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.

³Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Professora da Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.

⁴Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Professora da Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 05/07/2023 – Revisado em: 26/12/2023 – Aceito em: 31/01/2024

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o enriquecimento a partir de nutrientes segundo o cálculo do Índice de Estado Trófico (IET), bem como determinar a dinâmica de variação da quantidade de fósforo total e clorofila-a em função da vazão na seção do Ribeirão das Rosas no município de Juiz de Fora - MG. No período de 2017 a 2019 foram realizadas 7 amostragens e, em laboratório, determinados a clorofila-a (CL), o fósforo total (PT). Os valores encontrados foram comparados aos limites estabelecidos pela CONAMA 357/2005 e COPAM/CERH-MG N° 1 para os corpos hídricos de classe 1. Analisando os resultados, constatou-se que, em todas as coletas, o valor encontrado para o fósforo estava acima do permitido e o de clorofila-a, por sua vez, manteve-se dentro da faixa estabelecida pela resolução. Com o resultado das análises foi possível calcular os Índices de Estado Trófico (IET CL), (IET PT) e, por sua vez, o IET. Verificou-se que as características predominantes no ribeirão são de ambientes mesotróficos, tendo o nível de estado trófico variando de ultraoligotrófico a hipereutrófico. Dentre os três índices do estado trófico avaliados, foi possível verificar diferenças significativas de resposta do enquadramento da categoria trófica, sendo, portanto, um indicativo de que não há um pleno estabelecimento de processo de eutrofização, podendo estar limitado a fatores ambientais. Ademais, foram verificadas a influência da sazonalidade e da precipitação nos parâmetros, tendo sido encontradas as maiores concentrações na estação chuvosa.

Palavras-Chaves: Índice de Estado Trófico, nutrientes, vazão; monitoramento, qualidade da água.

Analysis of temporal and seasonal variation of the trophic state of the Ribeirão das Rosas, Juiz de Fora (Brazil)

ABSTRACT

This work aims to evaluate the enrichment from nutrients according to the calculation of the Trophic State Index (IET) as well as to determine the dynamics of variation in the amount of total phosphorus and chlorophyll-a as a function of the flow in the ribeirão das Rosas section in Juiz de Fora - MG. The study was performed from 2017 to 2019 where 7 samples were taken and, in the laboratory, chlorophyll-a (CL), total phosphorus (PT) were determined as well their values compared with the limit established by CONAMA 357/2005 and COPAM/CERH-MG N°. 1 for class 1 water bodies. It was founded value of phosphorus remained above the permitted value and that of chlorophyll-a, in turn, remained within the range established by class. With total phosphorus and chlorophyll-a in hand, it was possible to calculate the respective Trophic State Index (CL IET), (PT TSI) and in turn the IET. This in turn revealed predominant characteristics are of mesotrophic environments, with the level of trophic state varying from ultraoligotrophic to hypereutrophic. Among the three trophic state indices evaluated, it was possible to verify significant differences in the response of the trophic category classification, which is therefore an indication that there is no full establishment of the eutrophication process, which may be limited to environmental factors. Furthermore, the influence of seasonality and precipitation on the parameters was verified, with the highest concentrations being found in the rainy season.

Keywords Trophic status index, nutrients, flow, monitoring water quality.

Ferreira-Santos, J., Fernandes, P., Gomes, M., Pereira, R (2024). Análise da variação temporal e sazonal do estado trófico do Ribeirão das Rosas, Juiz de Fora – MG. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.12, n.1, p.34-47.



1. Introdução

A qualidade da água está vinculada ao processo conhecido como eutrofização que pode acontecer em cursos d'água de forma natural ou antrópica por intermédio do aporte de nutrientes incorporados à água. Como resultando pode ocorrer um aumento no número de organismos aquáticos autotróficos, como algas, cianobactérias planctônicas e macrófitas aquáticas (Araújo, Mendonça e Reis, 2018), além de outros efeitos indesejáveis dependendo do grau de trofia.

O processo de eutrofização pode causar danos aos ecossistemas aquáticos e os custos referentes à recuperação do ambiente são significativos, visto que as técnicas de recuperação precisam ser empregadas localmente e, em alguns casos, na integralidade da bacia hidrográfica. O restabelecimento do ambiente aquático é alcançado de forma lenta e gradual, sendo requerido monitoramento frequente (Von Sperling, 2018).

No Brasil, corpos d'água limítrofes a regiões urbanas demasiadamente povoadas ou em bacias hidrográficas, cuja ocupação tenha se processado de forma desordenada, retratam médios ou elevados graus de trofia, o que impacta diretamente a qualidade de água e por conseguinte seus usos (Maia, Carvalho e Carvalho, 2015). Para determinar o estado trófico utiliza-se o Índice do Estado Trófico (IET) que tem a finalidade de classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, avaliando o meio quanto ao enriquecimento por nutrientes (Araújo, Mendonça e Reis, 2018). A análise do IET permite relacionar a situação do corpo hídrico com as atividades desenvolvidas em seu entorno que, por sua vez, influenciam na qualidade da água, tais como aporte de efluentes, resíduos industriais e agrícolas permitindo planejar ações de manejo e gestão de ecossistemas aquáticos, bem como monitorar a ocorrência do processo de eutrofização de modo a garantir o equilíbrio e a sustentabilidade do ambiente (Mendonça & Reis, 2018).

Existe uma variabilidade de cálculos de índices desenvolvidos por pesquisadores que permitem determinar o grau de trofia dos cursos hídricos. O Índice proposto por Toledo et al. (1983), considera clorofila-a, fósforo total, ortofosfato e transparência da água. Já Carlson (1977) utiliza como parâmetros a transparência da água, a clorofila-a e a concentração do fósforo total. Por sua vez, Lamparelli (2004) considera a clorofila-a e o fósforo total. De acordo com Maia, Carvalho e Carvalho (2015), outras variantes como a transparência, podem ter influência da turbidez proveniente de material mineral em suspensão e não em decorrência de massa de organismos planctônicos, o que pode reportar um valor maior que o verdadeiro e, portanto, não expressivo para a determinação do estado de trofia.

Considerando a influência das atividades antrópica que acontecem ao longo dos cursos d'água sobre a qualidade da água de uma região, é de extrema importância a realização de estudos de caracterização das águas visando uma maior segurança para a população local, evitando doenças e contaminações e, melhorando a saúde pública. Ademais, o monitoramento da qualidade da água é essencial para que se possa assegurar os padrões de qualidade adequados aos respectivos usos conforme preconizado pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997), bem como medidas mitigadoras e de recuperação desses mananciais.

Posto isso, o objetivo do trabalho foi classificar o estado trófico da água do ribeirão das Rosas em Juiz de Fora (MG), por meio da determinação do grau de trofia utilizando os Índices de Estado Trófico, assim como avaliar a influência da vazão sobre ele.

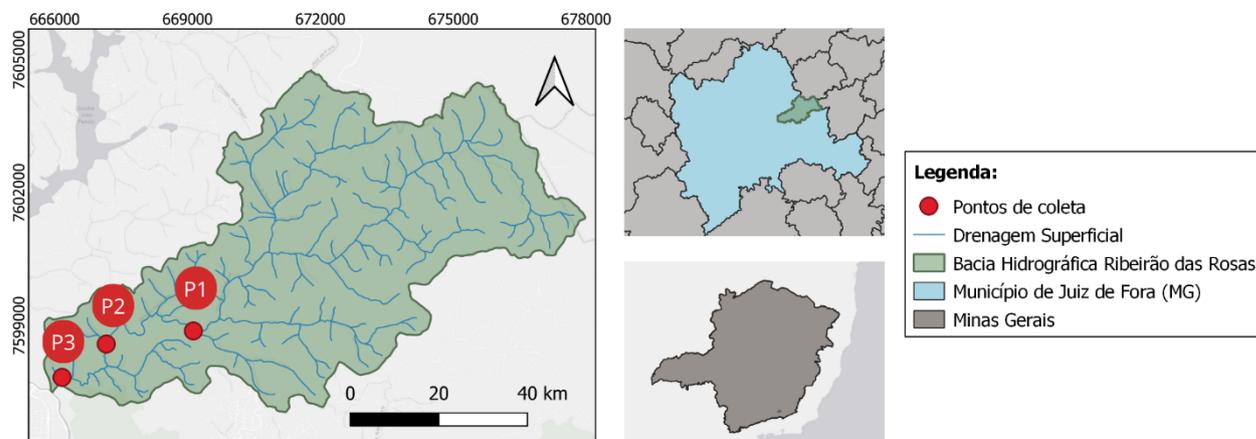
2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

A região de estudo delimitada neste trabalho está inserida na bacia hidrográfica do ribeirão das Rosas, integrante da sub-bacia do rio Paraibuna com área de aproximadamente 47 km². O canal principal do ribeirão possui cerca de 18,63 km e o comprimento total de seus cursos d'água é de 105,67 km qualificando a bacia como de alta drenagem (Silva, 2011).

O ribeirão das Rosas (Figura 1) tem sua nascente localizada em uma região rural percorrendo, posteriormente, uma região densamente urbanizada no alto e médio curso, o que influencia no tipo de uso e ocupação do solo da região e na produção e lançamento de efluentes domésticos sem tratamento prévio. Em seguida, atravessa a área do Campo de Instrução do Exército Brasileiro e Centro de Educação Ambiental e Cultura (CIJF/CEAC) que possui área verde e mata ciliar preservadas em praticamente toda a extensão do ribeirão (Fernandes et al., 2020).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.
Figure 1 – Map of the studied area.



Fonte: Autoria própria (2023).
Source: Own authorship (2023).

No caso específico dessa bacia, é possível verificar uma significativa ocupação populacional no alto e médio curso, o que influencia substancialmente no tipo de uso do solo da região, conduzindo por consequência, a uma elevada produção de efluentes. No seu baixo curso, por sua vez, apresenta uma pequena ocupação antrópica e características predominantemente rurais, com uma diminuição na inserção das cargas orgânicas ao corpo hídrico, solos mais preservados, com densa cobertura vegetal, somados a trechos com cachoeiras exercendo influência direta sobre a qualidade da água da região (Gaio e Machado, 2017).

O ribeirão das Rosas recebe uma carga equivalente a 20892 kg de demanda bioquímica de oxigênio (ANA, 2016), corroborando a forte influência antrópica na bacia. Além disso, Fernandes et al. (2020) retrataram valores altos para demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal, ferro e fósforo total, além de uma grande incidência do não atendimento às legislações em relação ao parâmetro oxigênio dissolvido.

2.2 Amostragem e coleta de dados

O monitoramento do ribeirão das Rosas foi realizado a partir de três pontos escolhidos dentro da bacia do ribeirão. O ponto 1 localiza-se à montante da área, na saída do bairro Granjas Bethânia; o ponto 2 encontra-se dentro da área de preservação, com presença de mata ciliar; o ponto 3 se encontra próximo à foz do ribeirão, à jusante da área de preservação do CIJF/CEAC, onde há uma criação de gado de pequeno porte (Figura 1). A escolha dos três pontos teve o objetivo de analisar a influência da área de preservação na melhoria da qualidade

da água do ribeirão das Rosas. Foram realizadas amostragens simples em sete coletas entre os anos de 2017 e 2019 (Tabela 1).

Tabela 1 –**Data das coletas realizadas no Ribeirão das Rosas**
Table 1 –Date of campaigns carried out in Ribeirão das Rosas

Campanha	Datas	Período sazonal
1ª Coleta	26/09/2017	Seco
2ª Coleta	11/04/2018	Chuvoso
3ª Coleta	09/05/2018	Chuvoso
4ª Coleta	31/07/2018	Seco
5ª Coleta	18/09/2018	Seco
6ª Coleta	09/07/2019	Seco
7ª Coleta	15/10/2019	Chuvoso

Fonte: Autoria própria (2023).
Source: Own authorship (2023).

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 16 de 24 de setembro de 1996, que dispõe sobre o enquadramento das águas estaduais da bacia do rio Paraíba, o ribeirão das Rosas e seus afluentes se enquadram como classe 1 (MINAS GERAIS, 1996).

2.3 Determinação da vazão

Para estimar a vazão utilizou-se o método do flutuador para determinação da velocidade de escoamento da água, por sua simplicidade e viabilidade e para determinação da área, e o método da batimetria. É importante salientar que o método apresentado possui algumas limitações devidos aos fatores que influenciam a medição, como por exemplo, os ventos. Entretanto, ele é de simples entendimento e reduzido custo operacional, tendo sido apontado por Santos e Ferreira (2019) como um bom instrumento na determinação de vazões em córregos urbanos de portes menores, como é o caso do ribeirão das Rosas.

O método consiste na utilização de um flutuador (uma bola de 10 cm de diâmetro) para determinação da velocidade superficial de escoamento. A distância L (m) pré-estabelecida entre os pontos para determinação da velocidade foi de 3 metros e o tempo de deslocamento entre eles medido com cronômetro. Foi escolhido um trecho retilíneo do curso d'água (Santos e Ferreira, 2019). O procedimento foi repetido cinco vezes e o tempo (t) de deslocamento medido. A velocidade foi obtida dividindo-se o comprimento (L) pela média do tempo (t). A metodologia usada permite calcular a velocidade superficial e para determinação da velocidade média utilizou-se o fator de correção (C) de 0,85, indicado pela United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1997) relativo a margens e fundos lisos, ajustando a velocidade superficial para a velocidade real de escoamento conforme descrito por Fernandes et. al (2020).

Para cálculo da área da seção utilizou-se o método da batimetria e foram determinadas as áreas das seções inicial e final com distância entre elas equivalente a 3m. A área (A) da calha do ribeirão das Rosas estimada é a média entre as áreas das seções inicial e final. A vazão (Q) foi obtida por meio da equação da continuidade multiplicada pelo fator de correção C para a velocidade (Equação 1) descrita por Palhares et al. (2007).

$$Q = \frac{A \times L \times C}{t} \quad (1)$$

Devido a problemas logísticos nas coletas 2 e 3 não foram realizadas as medições de vazão no ponto 3.

2.4 Parâmetros de qualidade da água

Os parâmetros foram analisados no Laboratório de Qualidade Ambiental da Universidade Federal de Juiz de Fora (LAQUA), seguindo os métodos preconizados no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017). As amostras e procedimentos ocorreram de acordo com as NBR 9897 e 9898 (ABNT, 1987a; ABNT, 1987b) e a descrição dos parâmetros analisados e equipamentos utilizados encontram-se no Quadro 2.

Tabela 2 – Parâmetros analisados, métodos e equipamentos utilizados.
Table 2 – Analyzed parameters, methods, and equipment used.

Parâmetros	Método	Equipamento
Clorofila-a	-	PHYTO-PAM
Fósforo total (mg/L)	4500 B e E	Espectrofotômetro

Fonte: A autoria própria (2023).
Source: Own authorship (2023).

2.5 Determinação do Índice de Estado Trófico

De acordo com o modelo proposto por Lamparelli (2004), corpos d'água são classificados de acordo com seus graus de trofia, o que permite inferir sobre os processos de eutrofização, haja vista que o fósforo, um dos parâmetros utilizados para o cálculo do IET, é um dos nutrientes associados a tal evento. Desse modo, calculou-se o Índice de Estado Trófico (IET) a partir dos valores parciais de fósforo total (PT) e clorofila-a (CL) para ambientes lóticos, de acordo com as equações 2, 3 e 4.

$$IET (CL) = 10 \times \left(6 - \frac{(-0,7 - 0,6 \times \ln(CL))}{\ln(2)} \right) - 20 \quad (2)$$

$$IET (PT) = 10 \times \left(6 - \frac{0,42 - 0,36 \times \ln(PT)}{\ln(2)} \right) - 20 \quad (3)$$

$$IET = \frac{(IET(CL) + IET(PT))}{2} \quad (4)$$

Onde:

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

CL: concentração de clorofila-a (em $\mu\text{g.L}^{-1}$);

IET: Índice de Estado Trófico.

O IET final foi calculado a partir da média aritmética simples entre os resultados de IET (PT) e IET (CL) verificando a classificação do meio aquático no que se refere aos graus de trofia cujos limites estão descritos na Tabela 1.

Tabela 3 – Parâmetros analisados, métodos e equipamentos utilizados.
 Table 3 – Classification of rivers according to the degree of trophic status.

Nível trófico	IET
Ultraoligotrófico	≤ 47
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	> 67
Ultraoligotrófico	≤ 47

Fonte: Autoria própria (2023).

Source: Own authorship (2023).

De acordo com o método (Lamparelli, 2004), na ausência de dados relativos, o índice deve ser calculado com o parâmetro disponível (clorofila-a ou fósforo), como ocorreu na coleta 5, na qual foi medido o valor referente ao fósforo apenas.

O teste “t Student” de grupo único foi usado para avaliar os parâmetros - vazão, fósforo total, clorofila-a e IET - objetivando avaliar diferenças individuais entre cada um nos pontos de coletas, o que propiciou o entendimento sobre os efeitos das características e valores dos parâmetros em cada um dos pontos

Para verificar efeitos da sazonalidade no ribeirão das Rosas, os parâmetros vazão, fósforo total, clorofila-a e IET foram agrupados em períodos seco para os meses com menos de 100 mm de precipitação acumulada (abril a setembro) e chuvoso para os meses com mais de 100 mm de precipitação acumulada (outubro a março), conforme dados da normal climatológica de Juiz de Fora para o período de 1981 a 2010 (INMET, 2021). Os dados foram submetidos a teste de normalidade de Shapiro-Wilk seguidos pelos testes de comparação simples teste “t Student” (paramétrico) ou U de Mann-Whitney (não-paramétrico).

Todos os testes foram realizados utilizando o software estatístico SigmaPlot® versão 12 (San Jose, CA, USA), com nível de significância de 5% ($\alpha=5\%$).

3. Resultados e Discussão

Os resultados das concentrações de fósforo total e clorofila-a estão reunidos na Tabela 2. Ressalta-se que os valores referentes ao fósforo são entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, pois esse nutriente atua como agente causador do processo. Já os resultados correspondentes à clorofila-a atuam como uma medida de resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando o nível de crescimento de algas no local (CETESB, 2020).

Usualmente o fósforo é verificado como um dos elementos a partir do qual se faz avaliação e monitoramento de cursos hídricos. Fatores ambientais como o regime de chuvas e antrópicos, como atividades agroindustriais e lançamento de efluentes domésticos, podem influenciar na concentração desse elemento nos rios. Posto isso, é possível verificar além da variação sazonal a variação em termos das atividades realizadas na bacia (Silva, 2012).

Os valores de fósforo total variaram entre 0,24 mg.L⁻¹, ocorrido na segunda coleta (11/04/2018 - amostra do ponto 2) a 1,18 mg.L⁻¹ na quarta coleta (31/07/2018 - amostra do ponto 1) (Tabela 5). Por sua vez, o valor médio dos teores de fósforo total obtidos em todos os pontos no período estudado foi de 0,75 mg.L⁻¹. Além disso, o Ponto 1 apresentou, em média, os valores mais elevados. O parâmetro excede o limite

estabelecido de 0,1 mg.L⁻¹ para corpos hídricos Classe 1 (BRASIL, 2005; MINAS GERAIS, 2008) em 100% das amostras. Essa condição pode ser explicada, pelo fato de estar localizado em uma área de constante aporte de efluentes. Os resultados convergem aos encontrados por Saad et al. (2013) e Porto (2013), os quais ao analisarem Índice de Estado Trófico da bacia hidrográfica do ribeirão Tanque Grande e córrego Capão de Sombra (Guarulhos, São Paulo), também encontraram valores mais elevados para os pontos com influência de áreas urbanas, tal qual o Ponto 1.

Tabela 4 – Resultados das concentrações dos parâmetros analisados.

Table 4 – Results of concentration of the analyzed parameters.

	Fósforo total (mg.L ⁻¹)			Clorofila-a (µg.L ⁻¹)		
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
1 ^a Coleta	0,66	0,67	0,59	0,31	0,46	0,31
2 ^a Coleta	0,41	0,24	0,40	0,30	0,25	0,26
3 ^a Coleta	0,43	0,46	0,47	0,31	0,28	0,27
4 ^a Coleta	1,18	0,98	1,01	0,37	0,32	0,35
5 ^a Coleta	1,15	0,95	0,99	-	-	-
6 ^a Coleta	0,90	0,91	0,83	0,08	0,18	0,07
7 ^a Coleta	1,00	0,76	0,85	0,28	0,22	0,23
M ± DP	0,82 ± 0,27	0,71 ± 0,22	0,73 ± 0,21	0,28 ± 0,06	0,28 ± 0,07	0,25 ± 0,06

Nota: M ± DP = Média ± Desvio Padrão

Fonte: Autoria própria (2023).

Source: Own authorship (2023).

No ribeirão das Rosas os valores de clorofila-a total variaram entre 0,07 µg.L⁻¹, ocorrido na 6^a coleta (09/07/2019 - amostra do ponto 3), a 0,46 µg.L⁻¹, primeira coleta (26/09/2017 - amostra do ponto 2). Levando em consideração todos os pontos amostrados, o valor médio global dos teores de clorofila-a obtidos no período estudado foi de 0,27 µg.L⁻¹. Esses valores, por sua vez, reportam cenários diferentes do meio quando comparados aos de fósforo, conforme será discutido posteriormente.

Fia et al. (2015) e Bello et al. (2021) encontraram em seus trabalhos que pontos de análise dentro de áreas de preservação, como o Ponto 2, apresentam valores menores de fósforo total e clorofila-a. Resultados que convergem aos apresentados neste estudo.

Desta forma, sabendo que para o cálculo do Índice de Estado Trófico, os dois parâmetros, foram utilizados como dados de entrada, foi possível determinar o nível de enriquecimento de nutrientes na água do ribeirão das Rosas (Figura 2). O ponto 1 apresentou características predominantemente mesotróficas, enquanto os pontos 2 e 3 obtiveram características mesotróficas e oligotróficas, respectivamente. Na 5^a coleta todos os pontos foram classificados como hipereutróficos, o que teve influência nos resultados expressos na Figura 2. Na coleta 5, em todos os pontos, utilizou-se o IET (PT) devido à ausência de informações referentes à clorofila-a. Desse modo, embora a metodologia sugira tal substituição, há divergência em relação ao grau de trofia apresentado (hipereutróficos) na coleta 5 o que deve gerar uma análise mais cuidadosa dos resultados. Vale ressaltar que valores elevados na concentração de nutrientes na bacia hidrográfica podem estar ligados ao uso e ocupação do solo, atividades agrícolas, lançamento de efluentes e transporte de sedimentos na áreas do entorno.

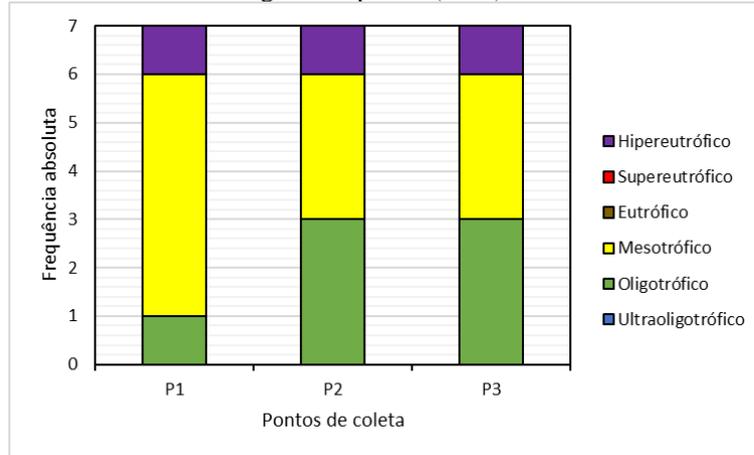
É importante destacar que a variação do IET (CL e PT) serve de embasamento para a determinação do grau de limitação do meio no que tange à comunidade fitoplanctônica. Em vista disso, as Figuras 3 e 4 auxiliam

no entendimento desses parâmetros.

No que se refere ao IET PT, é possível perceber que a classificação para os valores de fósforo por meio do índice de Lamparelli (2004) é predominantemente hipereutrófica, correspondendo a mais de 90% dos casos, excetuando-se na coleta 2 nos pontos 2 com IET igual a 64,21 e ponto 3 com o valor de 66,87.

Figura 2: Classificação em graus de trofia resultante da média aritmética de IET (CI) e IET (PT) de acordo com Lamparelli (2004).

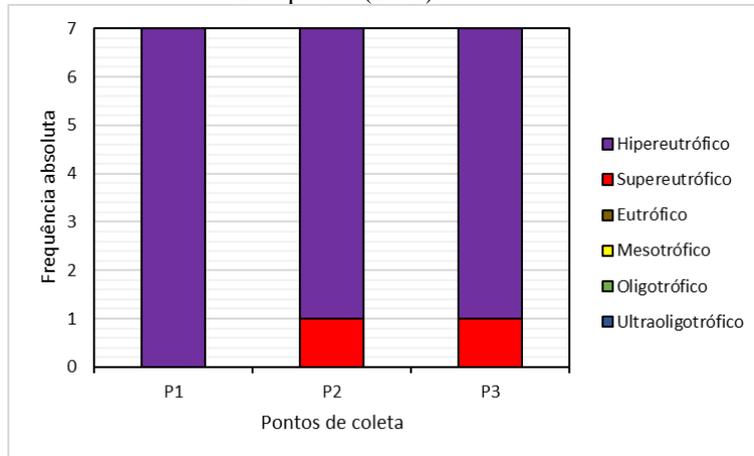
Figure 2 – Classification into trophic degrees resulting from the arithmetic mean of TSI (CI) and TSI (PT) according to Lamparelli (2004).



Fonte: Autoria própria (2023).
Source: Own authorship (2023).

Figura 3 – Classificação em graus de trofia resultante do IET (PT) de acordo com Lamparelli (2004).

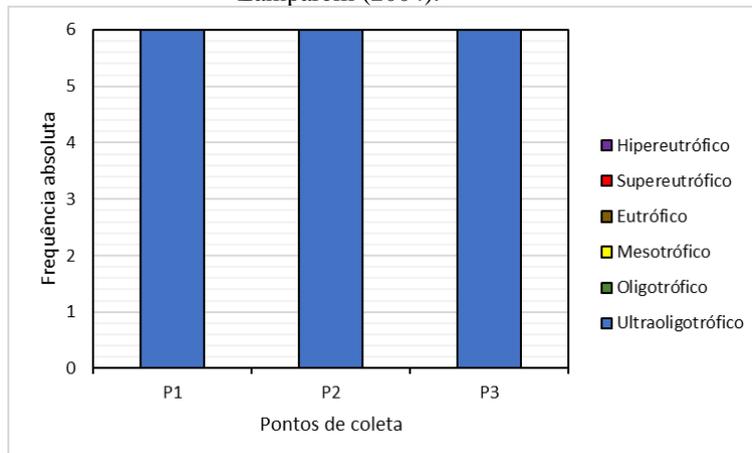
Figure 3 – Classification into trophic degrees resulting from the arithmetic mean of TSI (PT) according to Lamparelli (2004).



Fonte: Autoria própria (2023).
Source: Own authorship (2023).

Comparativamente, a classificação para os valores de clorofila-a por meio do índice de Lamparelli (2004), que podem ser visualizados por meio da Figura 4, por sua vez, contrastam tais resultados considerando que sugere uma condição ultraoligotrófica.

Figura 4 – Classificação em graus de trofia resultante do IET (CL) a de acordo com Lamparelli (2004).
 Figure 4 – Classification into trophic degrees resulting from the arithmetic mean of TSI (CL) according to Lamparelli (2004).



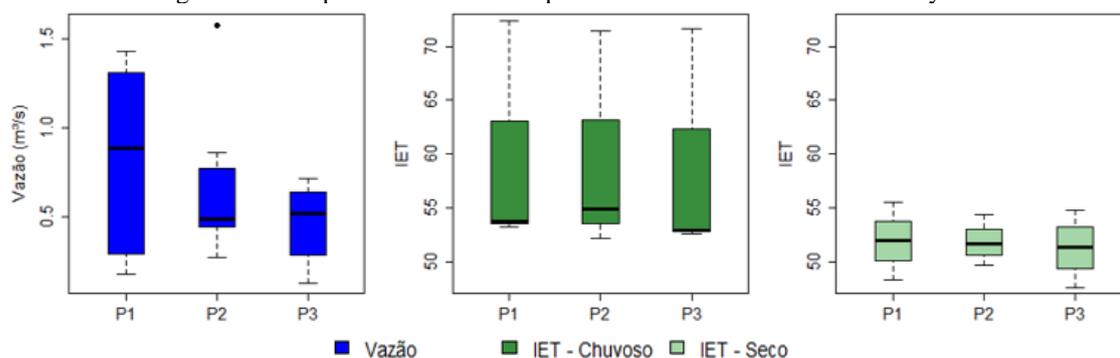
Fonte: Autoria própria (2023).
 Source: Own authorship (2023).

Segundo Lamparelli (2004), em um corpo hídrico, em que o processo de eutrofização se encontra plenamente estabelecido, o estado trófico determinado pelo índice da clorofila-a coincidirá com o estado trófico determinado pelo índice do fósforo. Já em corpos hídricos em que o processo esteja limitado por fatores ambientais, como a temperatura da água ou a baixa transparência, o índice relativo à clorofila-a classificará como um estado trófico em um nível inferior àquele determinado pelo índice do fósforo. Tal contexto é similar à avaliação realizada anteriormente, em que o IET (PT) em todos os pontos se apresentou como hipereutrófico (excetuando-se apenas P2 e P3 na 2ª coleta) e o IET (CL) apresentou-se como ultraoligotrófico em todos os pontos de todas as coletas. Desse modo, como a classificação trófica obtida a partir do fósforo foi maior do que a da clorofila-a, evidencia-se que há um fator limitante no meio (Lamparelli, 2004).

Similarmente ao estudo realizado por Barros (2008) no rio Turvo Sujo foi verificada a influência da sazonalidade nos valores por meio de altas concentrações de fósforo total no período chuvoso da mesma forma que no presente trabalho. Uma outra justificativa para o fato de a concentração de fósforo total ter direcionado a uma classificação do ambiente em classe superior à obtida de quando a clorofila a são as maiores velocidades de rios quando em comparação aos lagos e reservatórios. Conforme Barros (2008), em decorrência dessas maiores velocidades, frequentemente, os rios não alcançam uma densa comunidade fitoplanctônica, embora possuam quantidades substanciais de nitrogênio e fósforo. Portanto, para ambientes lóticos, a classificação baseada em clorofila-a conduz à subestimação do estado de trofia (Barros, 2008). De acordo com Cunha, Falco e Calijuri (2008), a eutrofização em ambientes lóticos não é comum, possivelmente, devido às características específicas como turbulência, baixo tempo de residência e transporte contínuo da comunidade fitoplanctônica a jusante.

Os valores de vazão obtidos nos trechos avaliados do ribeirão das Rosas variaram de 0,2 a 1,6 m³/s, e é possível verificar que o ponto 1 apresentou maior variabilidade entre os resultados, seguido pelo ponto 3 e pelo ponto 2, nesta ordem com menores variabilidades (Figura 5).

Figura 5 – Box plot da Vazão e do Índice de Estado Trófico nos períodos Chuvoso e Seco.
 Figure 4 – Box plot of Flow and Trophic State Index for the Wet and Dry seasons.



Fonte: Autoria própria (2023).
 Source: Own authorship (2023).

O IET geral, calculado a partir da média entre IET (CL) e IET (PT) no período chuvoso variou de 52,14 a 72,40 (mesotrófico a hipereutrófico) contrapondo-se a 47,51 a 55,47 (oligotrófico a mesotrófico) no período seco. Há de ressaltar que, embora as coletas 2 e 3 tenham sido realizadas em períodos secos, elas aconteceram em período posterior a dias de chuva, o que pode estar relacionado a uma ressuspensão dos sedimentos do fundo, característicos do aumento da vazão no momento da coleta (Barros, 2008). Além disso, as características geomorfológicas da bacia apresentam indícios de maior aporte de nutrientes em período chuvoso (Saad et al., 2013).

No que se refere à análise estatística e tratamento dos dados, encontrou-se diferença estatística dentro de cada grupo (vazão, clorofila-a, fósforo total e IET). Essa questão pode estar ligada a: i. diferença entre os pontos de coleta e ii. diferença entre os períodos de coletas. Foram detectadas diferenças estatísticas sazonais para os parâmetros fósforo total ($p = 0,002$) e IET ($p = 0,014$), permitindo inferir que as particularidades dos períodos de coleta influenciam estatisticamente esses parâmetros, todavia, no caso de vazão e clorofila-a, encontrou-se variação entre os pontos de coleta.

Os maiores valores da mediana de P se concentraram no período seco, provavelmente relacionando-se ao aporte difuso de efluentes não tratados. Tal cenário pode ser um indicativo de uma concentração de efluentes domésticos lançada continuamente no ribeirão, situação já descrita por Fernandes et al. (2020) como característica do local, que permite inferir sobre a relação entre a qualidade das águas e os usos da bacia. Ademais, por ser um período seco e baixas vazões, consequentemente, resulta no aumento da concentração de P.

Essa característica oferece um fator de impacto para o rio Paraibuna, onde o ribeirão das Rosas desagua, uma vez que próximo à foz do ribeirão, há lançamento de efluentes de uma estação de tratamento de esgotos convencionais sem tratamento de nutrientes (ANA, 2016), o que provavelmente também retarda os processos de estabilização da matéria orgânica no rio Paraibuna e promove acúmulo de fósforo ao longo do rio. É válido ainda mencionar que em 100% das coletas realizadas, o parâmetro P superou o valor limite ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$) para corpos hídricos de Classe 1 estabelecido pelas legislações existentes (BRASIL, 2005; MINAS GERAIS, 2008).

Comportamento semelhante foi observado para o IET no período seco, provavelmente devido à parcela referente ao P em seu cálculo. Isso significa que, estatisticamente, a sazonalidade do parâmetro fósforo total se sobressai à da clorofila-a, questão que Araújo Júnior (2021) levanta ao analisar o estado trófico de um ambiente lótico e expõe que nesses ambientes, o parâmetro P possui valores de concentração maiores que os de clorofila-a, o que influencia nos cálculos do Índice de Estado Trófico.

Sabendo que não se encontrou diferença estatística entre os períodos secos e chuvosos para vazão e clorofila-a, a diferença dentro do grupo está ligada à diferença entre os pontos de coleta.

Apesar de se esperar que a sazonalidade impactasse diretamente no regime de vazões do ribeirão, isso não foi observado estatisticamente. Na área de preservação em que o ribeirão das Rosas percorre foi notado um barramento hidráulico entre os pontos 2 e 3 que provavelmente explica as diferenças entre os pontos. Além disso, embora a presença de vegetação nas margens do ribeirão ao longo da área de preservação ofereça melhorias no que diz respeito à qualidade da água e redução de erosão, também pode aumentar a resistência do fluxo de água, reduzindo a velocidade e tendo impactos negativos no controle de vazões (Li et al., 2018) o que pode também explicar a diferença entre os pontos, uma vez que possuem vegetações diferentes e, no caso do ponto 3, área agrícola ao redor.

Na revisão de Bennett et al. (2021), os autores expõem que em ambientes lóticos, uma ampla variedade de parâmetros pode influenciar nos valores de clorofila-a independentemente ou interativamente com a concentração de nutrientes no corpo hídrico, como descargas de efluentes, cobertura vegetal, turbidez e luz solar. No caso do ribeirão das Rosas, como cada ponto analisado possui características específicas de uso e ocupação do solo e descarga de efluentes, esse fator pode ter influenciado nos resultados estatísticos encontrados.

4. Conclusão

A aplicação do índice do estado trófico revelou que a qualidade da água do Ribeirão da Rosas possui características gerais de ambientes mesotróficos. Contudo, dentre os três índices avaliados, foi possível verificar diferenças no que se refere à resposta do enquadramento da categoria trófica. Tal conjuntura é indicativo de que não há um pleno estabelecimento de processo de eutrofização podendo, o processo, estar limitado a fatores ambientais.

Foi encontrada diferença estatística dentro de cada um dos grupos (vazão, clorofila-a, fósforo total e IET). Vazão e clorofila-a relacionados aos pontos de coleta e fósforo total e IET relacionados à sazonalidade.

Os maiores valores da mediana do fósforo total ocorreram no período seco, provavelmente em decorrência do aporte difuso de efluentes não tratados na região. A concentração desse parâmetro apresentou não conformidade com a legislação em 100% das amostras.

Com isso posto, o cálculo do IET apresentou-se como uma ferramenta eficiente para avaliar a qualidade da água no trecho do estudo. Deste modo, evidencia-se aqui a importância deste trabalho como contribuição para a análise da situação da bacia e, portanto, para a gestão dos recursos hídricos, visto que tal fato pode impactar recursos hídricos a jusante. Assim, ressalta-se a necessidade de realizar o tratamento dos efluentes domésticos lançados na região para que seja assegurada água em quantidade e qualidade adequadas compatíveis com os usos os quais se destinam.

5. Agradecimentos

Ao Grupo de Educação Tutorial de Engenharia Ambiental e Sanitária - GET-ESA. Ao - Laboratório de Qualidade Ambiental da UFJF (LAQUA). À Pró-reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal de Juiz de Fora (PROPP) da UFJF e ao Campo de Instrução do Exército Brasileiro e Centro de Educação Ambiental e Cultura pelo auxílio.

6. Referências

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2016). Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília.

APHA. (2017). **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater** (23a ed.). Washington, DC,

EUA: APHA/AWWA/WEF - American Public Health Association; American Water Works Association And Water Environment Federation.ed LCM Pharmabooks. 1493 p.

Araújo, D. R.; Mendonça, A.S.F; Reis, J. A. T. (2018). Análise de variação e comparação de índices de estado trófico: reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos de Rio Bonito e Suíça. **EngSanitAmbient**, 23(1), 55-62.

Araújo Júnior, J.C.M. 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. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4460173>

Barros, F. M. (2008). **Dinâmica do nitrogênio e do fósforo e estado trófico nas águas do Rio Turvo Sujo**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

Bello, I. P., de Souza, G. R., de Menezes, J. P. C., de Oliveira, M. C. F., & de Oliveira, L. F. C. (2021). Qualidade De Água E De Estado Trófico Do Ribeirão Vermelho Em Lavras, MG. **Sustentare**, 5(1), 32-48.

Bennett, M. G., Lee, S. S., Schofield, K. A., Ridley, C. E., Washington, B. J., & Gibbs, D. A. (2021). Response of chlorophyll a to total nitrogen and total phosphorus concentrations in lotic ecosystems: a systematic review. **Environmental Evidence**, 10(1), 1-25.

BRASIL. **Lei n. 9.433, de 08 de jan. de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de mar. de 1990, que modificou a Lei nº7.990, de 28 de nov. de 1989.** Diário Oficial da União, Brasília, DF,09/01/1997, Seção 1, página 470. Acessado em fev/2021.

BRASIL. **Resolução CONAMA no 357/2005. 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 União, 18 de mar. Disponível em <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acessado em agosto/2021.

Carlson, R. E. (1977). A trophicstate index for lakes. **Limnology and Oceanography**, 22(2), 261–269.

Cunha, D. G. F., Falco, P. B., Calijuri, M. C. (2008), Densidade fitoplanctônica e estado trófico dos rios Canha e Pariquera-Açu, bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, 3(2), 90-105.

Fernandes, P. A. A., Mota, V. R., Vargas, I. S., Mendes, A. A. (2020) Monitoramento da Qualidade da Água e Vazão do Ribeirão das Rosas em Juiz de Fora – MG. **Principia: Caminhos da Iniciação Científica**, 20(11). <https://doi.org/10.34019/2179-3700.2020.v20.30995>

Fia, R., Tadeu, H. C., Menezes, J. D., Fia, F. R. L., & OLIVEIRA, L. D. (2015). Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 20(1), 267-275.

Gaio, G. D., Machado, P. J. O. (2017) A Zona de Descontinuidade Urbana da Remonta. **Anais do V Seminário de Pós-Graduação em Geografia**. Juiz de Fora, UFJF, 219-224.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2020). **Qualidade de água**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Apendice-E-Indice-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>>. Acesso em: setembro/2021.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Estações Automáticas. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em: 12 dez. 2021.

Lamparelli, M. C. (2004). **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese de doutorado, Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

Li, W. Q., Wang, D., Jiao, J. L., & Yang, K. J. (2019). Effects of vegetation patch density on flow velocity characteristics in an open channel. **Journal of Hydrodynamics**, 31(5), 1052-1059.

Maia, A. A. D., Carvalho, S. L., Carvalho, F. T. (2015). Comparação de dois índices de determinação do grau de trofia nas águas do baixo Rio São José dos Dourados, São Paulo, Brasil. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, 20(4), 613-622. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522015020040121258>

MINAS GERAIS (Estado). **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG no 01, de 05 de maio de 2008. 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 do Estado de Minas Gerais, 05 de maio. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acessado em: abril/2020. 2008.

MINAS GERAIS (Estado). **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 16 de 24 de setembro de 1996. Dispõe sobre o enquadramento das águas estaduais da bacia do rio Paraibuna**. Diário Oficial do Estado de Minas Gerais, Minas Gerais, 1996.

PALHARES, J. C. P. et al (2007). **Medição da Vazão em Rios pelo Método do Flutuador**. Embrapa. Comunicado técnico 455. Concórdia – SC.

PORTO, A. (2013). **Uso do Solo e Contaminação por Esgoto do Córrego Capão da Sombra, Guarulhos, SP**. 2013. 85 p, Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) Universidade Guarulhos).

Saad, A. R., Vargas, R. R., Lopes, J. C., Arruda, R. D. O. M., de Queiroz, W. (2013). Índice de estado trófico da bacia hidrográfica do Ribeirão Tanque Grande, Guarulhos (SP): análise comparativa entre as zonas rural e urbana. **Geosciences= Geociências**, 32(4), 611-624.

Santos, C. O.; Ferreira, J. A. (2019) Método do flutuador como ferramenta para monitoramento do comportamento hidrológico de córrego urbano. **Holos Environment**, 19(4), 614-639.

Silva, E. F. (2012) **Condição trófica em rios do estado de Minas Gerais**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

Silva, R. C. (2011) **Análises morfométricas e hidrológicas das bacias hidrográficas do Córrego Teixeiras, Ribeirão das Rosas e Ribeirão Young, afluentes do rio Paraibuna, Município de Juiz de Fora/MG**. Curso de Especialização em Análise Ambiental, monografia, Faculdade de Engenharia da UFJF, Juiz de Fora, MG, Brasil.

Toledo Jr., A. P.; Talarico, M., Chinez, S. J., Agudo, E. G. (1983) A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processos de eutrofização em lagos e reservatóriostropicais. In: **XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Anais ...** Camboriú, Brasil.

Von Sperling, M. (2018). **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos** (4a ed.). Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. 472p.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual**. Washington, DC: USEPA, 1997.