

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO NOS AMBIENTES LÊNTICOS E LÓTICOS DO RESERVATÓRIO DE ITAIPU (UHI BRASIL) COMO SUBSÍDIO AO MONITORAMENTO AMBIENTAL

*Fernanda Carvalho Hengles Cordeiro¹; Diego de Alberto Tavares²; Jussara Elias de Souza³
& Roseli Frederigi Benassi⁴*

Abstract

This study evaluated the water quality in the Itaipu Reservoir, located in the Paraná 3 Basin, using the Trophic State Index (TSI) calculated based on total phosphorus data from 2006 to 2023. The lentic and lotic environments were analyzed according to their hydrodynamic characteristics. Results showed that the lentic environments exhibited higher average TSI values, ranging from 57.8 to 62.5, while the lotic environments varied between 52.8 and 59.1, both predominantly in the mesotrophic class. Annual mean concentrations of total phosphorus exceeded the limits established by Resolution CONAMA 357/2005 in several years, reaching values of up to 0.0397 mg/L in 2017 in lentic environments and 0.3561 mg/L in 2020 in lotic environments. These results demonstrate the influence of anthropogenic activities and hydrodynamic processes on water quality and emphasize the need for targeted environmental management strategies for each environment. Continuous monitoring and control of diffuse and point phosphorus sources are essential to maintain water quality and ensure the sustainable use of the Itaipu Reservoir.

Resumo

Este estudo avaliou a qualidade da água no reservatório de Itaipu, localizado na Bacia do Paraná 3, a partir do Índice de Estado Trófico (IET) calculado com base nos dados de fósforo total de 2006 a 2023. Foram considerados os ambientes lênticos e lóticos, classificados de acordo com suas características hidrodinâmicas. Os resultados mostraram que os ambientes lênticos apresentaram valores médios de IET mais elevados, variando entre 57,8 e 62,5, enquanto os ambientes lóticos oscilaram entre 52,8 e 59,1, ambos predominantemente na classe mesotrófico. As concentrações médias anuais de fósforo total ultrapassaram os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 em vários anos, com valores de até 0,0397 mg/L em 2017 nos ambientes lênticos e 0,3561 mg/L em 2020 nos ambientes lóticos. Os resultados demonstram a influência das atividades antrópicas e dos fatores hidrodinâmicos na qualidade da água, evidenciando a necessidade de estratégias de gestão ambiental específicas para cada ambiente. O monitoramento contínuo e o controle de cargas difusas e pontuais de fósforo são fundamentais para manter a qualidade da água e garantir o uso sustentável do reservatório de Itaipu.

Palavras-Chave – Qualidade da Água; Índice de Estado Trófico; Reservatório de Itaipu.

¹) Discente – Universidade Federal do ABC, Av. dos Estados 5050, Santo André, SP. Email: fernanda.hengles@aluno.ufabc.edu.br

²) Itaipu Parquetec - Avenida Tancredo Neves, 6731 – Itaipu C – Foz do Iguaçu/PR. Email: diego.tavares@itaipuparquetec.org.br

³) Itaipu Binacional - Avenida Tancredo Neves, 6731 – Itaipu C – Foz do Iguaçu/PR. Email: juelias@itaipu.gov.br

⁴) Docente – Universidade Federal do ABC, Av. dos Estados 5050, Santo André, SP. 1149968239. Email: roseli.benassi@ufabc.edu.br

INTRODUÇÃO

A qualidade da água, em conjunto com suas diversas aplicações, pode ser analisada, conforme Von Sperling (1996, p.11), como o resultado de processos naturais e de intervenções antropogênicas decorrentes do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. Dessa forma, a qualidade pode ser inferida a partir de diversas características, predominantemente mensuráveis, de natureza química, física e biológica. A água é um recurso comum e um direito de todos (Lei nº 9433/97), o que levou à instituição de restrições legais visando a sua proteção.

As características físicas, químicas e microbiológicas da água devem ser mantidas dentro dos limites estabelecidos, representados por padrões e limites recomendados por resoluções e portarias específicas, de acordo com o uso e o enquadramento previsto (Resoluções CONAMA nos 274/2000, 344/2004, 357/2005, 396/2008, 430/2011 e Portaria nº 2914/2011, do Ministério da Saúde). Apesar da existência dessas regulamentações, a implementação de políticas públicas e a falta de fiscalização ainda são algumas das principais causas da poluição hídrica no país (MERTEN; MINELLA, 2002), que pode ter origem em diversas fontes (pontuais e difusas), tais como a falta de saneamento básico, resíduos de aterros mal projetados, utilização de agrotóxicos em lavouras e atividades de pecuária.

Em reservatórios, a qualidade da água é influenciada por fatores naturais e antrópicos, principalmente relacionados ao uso e ocupação do solo no entorno, que geram fontes pontuais e difusas de poluição (SILVA et al., 2009; DELLAMTRICE et al., 2012). Além disso, a hidrodinâmica e a morfologia do reservatório podem favorecer a retenção de nutrientes nos ambientes lénticos e de transição, aumentando a suscetibilidade à eutrofização. Já nos ambientes lóticos, em geral, observa-se maior velocidade de fluxo e menor tempo de residência, o que pode contribuir para a exportação de nutrientes, mantendo valores tróficos mais baixos (LAMPARELLI, 2004).

Para a interpretação dessas dinâmicas, podem ser utilizados indicadores ambientais que consistem em variáveis físico-químicas e biológicas. Em nível primário, incluem-se DBO, pH, clorofila-a, turbidez, entre outros (MARGALEF, 1978; CARDOSO, 2011). Já em nível secundário, podem ser utilizados índices compostos, como o Índice de Qualidade da Água (IQA) e o Índice de Estado Trófico (IET) (CARDOSO, 2011). O IET é um indicador amplamente utilizado para avaliar o grau de eutrofização em corpos d'água, relacionando a concentração de nutrientes à possibilidade de crescimento excessivo de algas e macrófitas aquáticas (CETESB, 2006).

Conforme Lamparelli (2004), o IET funciona como um registro das atividades humanas na bacia hidrográfica, permitindo a formulação de planos de manejo e estratégias de gestão sustentável dos recursos hídricos. Dessa forma, o monitoramento contínuo e a avaliação do estado trófico nos diferentes ambientes do reservatório são fundamentais para subsidiar ações de gestão ambiental e controle da eutrofização.

Dessa forma, o monitoramento contínuo e a avaliação do estado trófico nos diferentes ambientes do reservatório são fundamentais para subsidiar ações de gestão ambiental e controle da eutrofização. Considerando os conceitos apresentados por Tundisi et al. (2002), que destacam que o monitoramento da qualidade da água deve responder às modificações que ocorrem na bacia hidrográfica, este estudo tem como objetivo avaliar, de forma espaço-temporal, o estado trófico (IET)

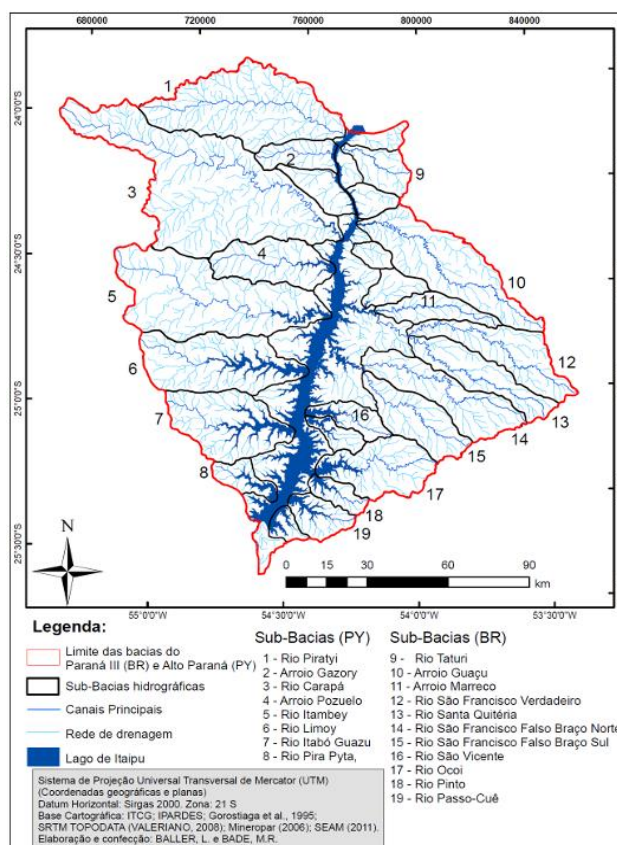
dos ambientes lântico e lótico do reservatório de Itaipu no período de 2006 a 2023, contribuindo para o entendimento das dinâmicas tróficas e subsidiando a gestão ambiental da Bacia do Paraná 3.

METODOLOGIA

Área de estudo

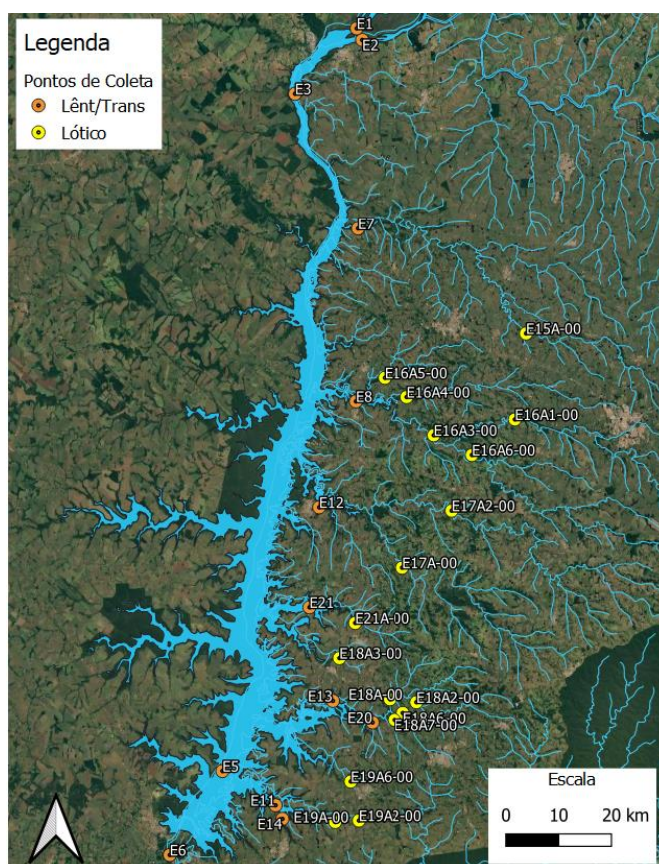
A Bacia do Paraná 3 (BP3) está localizada na mesorregião Oeste do Paraná e abrange parcialmente 28 municípios, incluindo Cascavel, Céu Azul, Diamante d'Oeste, Entre Rios do Oeste, Foz do Iguaçu, Guaíra, Itaipulândia, Marechal Cândido Rondon, Maripá, Matelândia, Medianeira, Mercedes, Missal, Nova Santa Rosa, Ouro Verde do Oeste, Pato Bragado, Quatro Pontes, Ramilândia, Santa Helena, Santa Tereza do Oeste, Santa Terezinha de Itaipu, São José das Palmeiras, São Miguel do Iguaçu, São Pedro do Iguaçu, Terra Roxa, Toledo, Tupãssi e Vera Cruz do Oeste. Essa região é altamente explorada pela agricultura intensiva mecanizada e possui uma agroindústria em crescimento, principalmente em alguns municípios principais (UNIOESTE, 2014).

Figura 1 - Localização das Sub-Bacias (Baller, 2014)



No Brasil, a Itaipu Binacional possui 29 estações de monitoramento de qualidade da água em afluentes da BP3 ativas a partir de 1989 (Figura 2) distribuídas em 7 sub-bacias hidrográficas que margeiam o reservatório e que compõem a BP3. São elas: a sub-bacia Arroio Guaçu, sub-bacia do Rio São Francisco Verdadeiro, sub-bacia do Rio São Francisco Falso, sub-bacia do Rio São Vicente, sub-bacia do Rio São João, sub-bacia do Rio Ocoí e sub-bacia do Rio Passo Cuê.

Figura 2 - Localização das Estações de Coleta de Dados, com a identificação dos ambientes Lênticos e Lóticos (Elaboração própria).



Aquisição e validação de dados

Fornecida por Itaipu Binacional, a base de dados utilizada neste estudo refere-se ao monitoramento de 45 parâmetros de qualidade hídrica, no período de 2006 a 2023, realizado por meio de 29 estações de monitoramento distribuídas em 7 sub-bacias hidrográficas que margeiam o reservatório (Figura 1). Os dados foram coletados, em sua maior parte, nos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro de cada ano.

Para esta pesquisa, relativa à análise do nível de trofia dos cursos d'água, foi considerado exclusivamente o parâmetro fósforo total, contabilizando 2717 observações ao todo. A base de dados é secundária e foi revisada e organizada pela equipe de pesquisadores e colaboradores da Itaipu Binacional.

Enquadramento - Resolução 357/05 do Conama

No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº 357/2005, estabeleceu condições de qualidade para o enquadramento dos corpos hídricos em território nacional, de acordo com os seus usos preponderantes, e para o lançamento de efluentes.

Essa resolução pode ser considerada um instrumento jurídico que estabelece limites para diversos parâmetros (CUNHA et al., 2013), incluindo o limite de concentração de fósforo total para ambientes lênticos, ou seja, áreas de transição entre sistemas lóticos e lênticos, com tempo de

residência entre 2 e 40 dias. Para cursos d'água que se enquadram nessa classificação, o limite máximo permitido para fósforo total é de 0,050 mg/L. Foram realizadas verificações das concentrações medidas em cada estação de coleta para avaliar se estavam dentro dos limites estabelecidos pela resolução.

Tabela 1 - Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

Parâmetro	Valor Limite	
	Ambientes Lênticos (Reservatórios)	Ambientes Lóticos (Rios)
Fósforo Total	até 0,020 mg L ⁻¹	Até 0,1 mg L ⁻¹
Clorofila a	Até 10 µg L ⁻¹	Até 10 µg L ⁻¹
Oxigênio Dissolvido (OD)	n.a.*	Superior a 5 mg L ⁻¹

Análise dos dados

As análises temporais foram realizadas por meio de gráficos de linhas com cores de fundo representando as faixas tróficas, gerados em *Python* (biblioteca *matplotlib*). Para a visualização espacial, foi elaborado um mapa de localização dos pontos de coleta no software QGIS. *Boxplots* comparativos foram desenvolvidos para demonstrar a variabilidade do IET nos diferentes ambientes.

Índice de Estado Trófico

O IET classifica o grau de trofia da água, sendo determinado a partir das concentrações de fósforo total, conforme a metodologia proposta por Carlson (1977) e posteriormente modificada por Lamparelli (2004). Esse índice foi aplicado nas estações de coleta localizadas nos ambientes lênticos, abrangendo as seguintes estações: E1-00, E11-I, E12-I, E13-I, E14-I, E2-00, E20-I, E21-I, E3-00, E5-I, E6-I, E7-I e E8-I. A equação utilizada para o cálculo é apresentada a seguir:

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

IET(PT) = Índice de estado trófico em relação à variável fósforo total para ambientes lênticos segundo metodologia proposta por Carlson (1977) e modificado por Toledo Jr. et al. (1983);

PT = Concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg.L⁻¹;

ln= Logaritmo natural.

Já o Índice de Estado Trófico (IET) para ambientes lóticos foi calculado conforme a equação proposta por Lamparelli (2004). Esse método foi aplicado em todas as estações de coleta situadas nos ambientes lóticos: E15A-00, E16A1-00, E16A3-00, E16A4-00, E16A5-00, E16A6-00, E17A-00, E17A2-00, E18A-00, E18A2-00, E18A3-00, E18A6-00, E18A7-00, E19A-00, E19A2-00, E19A6-00 e E21A-00. A equação a seguir demonstra a obtenção deste índice:

$$IET(PT) = 10 \cdot \left[6 - \left(\frac{0,42 - 0,36 \cdot \ln(\ln(PT))}{\ln(\ln(2))} \right) \right] \quad (2)$$

Os limites de trofia serão classificados conforme a modificação de Lamparelli (2004), foram adotadas as categorias apresentadas na Tabela 2:

Tabela 2 - Classificação do grau de trofia de acordo com o IET_{médio} de Carlson e modificado por Lamparelli (2004).

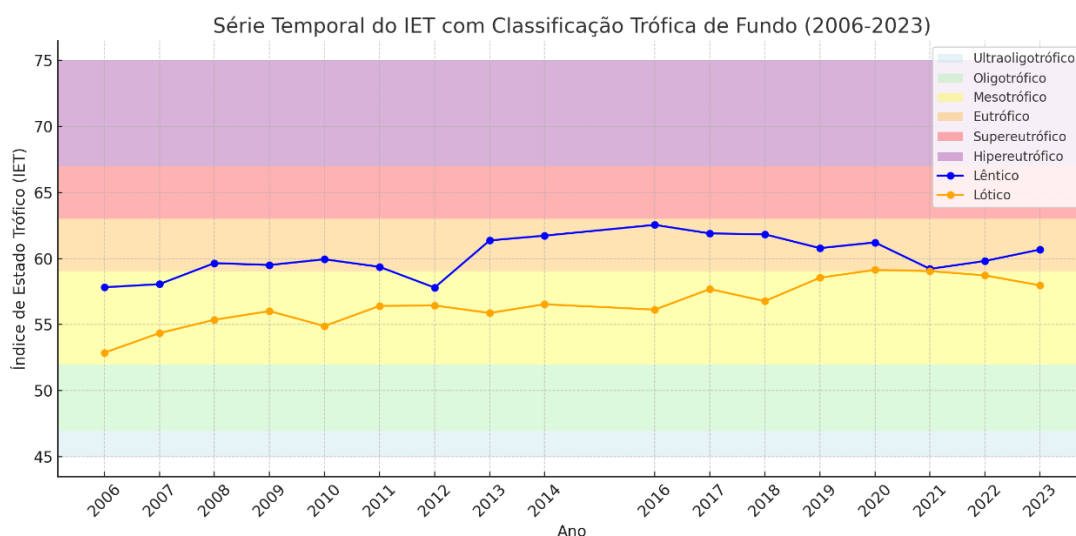
Classificação	Índice
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$IET > 67$

RESULTADOS

Índice de Estado Trófico (IET) ao Longo da Série Histórica

A Figura 3 apresenta a série temporal do Índice de Estado Trófico (IET) para os ambientes lênticos e lóticos no período de 2006 a 2023. Observa-se que os ambientes lênticos apresentaram valores médios de IET superiores aos ambientes lóticos durante toda a série histórica, evidenciando uma maior susceptibilidade à acumulação de nutrientes em áreas de baixa velocidade de fluxo.

Figura 3 - Série Temporal do Índice de Estado Trófico (IET) nos ambientes Lêntico e Lótico, com a classificação trófica de fundo.

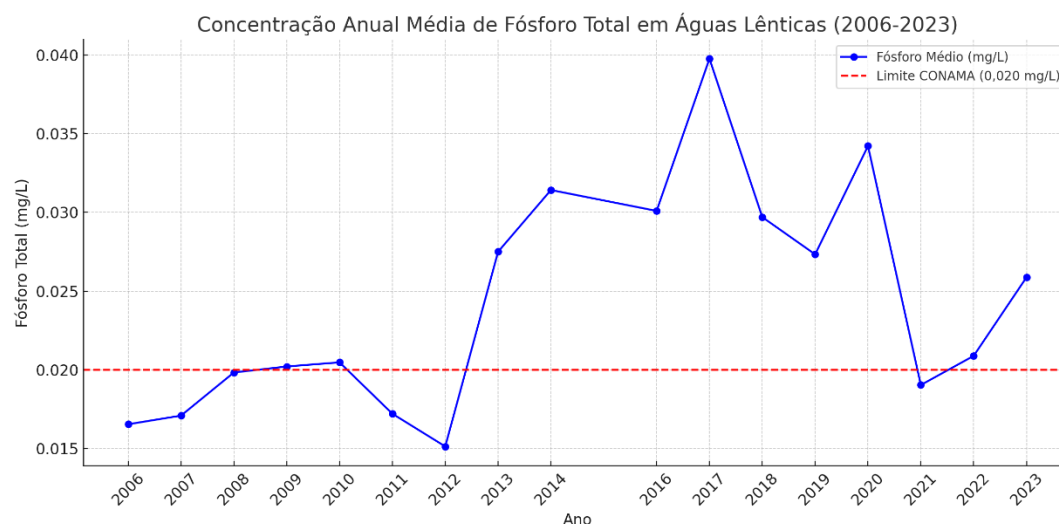


Nos ambientes lênticos, os valores médios anuais de IET variaram entre 57,9 e 62,5, oscilando principalmente entre as classes mesotrófico e eutrófico, conforme a classificação de Lamparelli (2004) adaptada pela CETESB (2009). Nos ambientes lóticos, por outro lado, os valores médios anuais de IET oscilaram entre 52,8 e 58,8, situando-se majoritariamente na classe mesotrófico, o que reflete a menor estabilidade hidrodinâmica e maior renovação hídrica característica desses ambientes.

Enquadramento – Resolução 357/05 do CONAMA

A Figura 4 apresenta a variação anual da concentração média de fósforo total nos ambientes lênticos, comparada com o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (0,020 mg/L). Observa-se que, a partir de 2013 até 2020 (excetuando-se 2015, ano sem dados), as concentrações médias ultrapassaram o limite legal de forma consistente, atingindo valores próximos a 0,0397 mg/L.

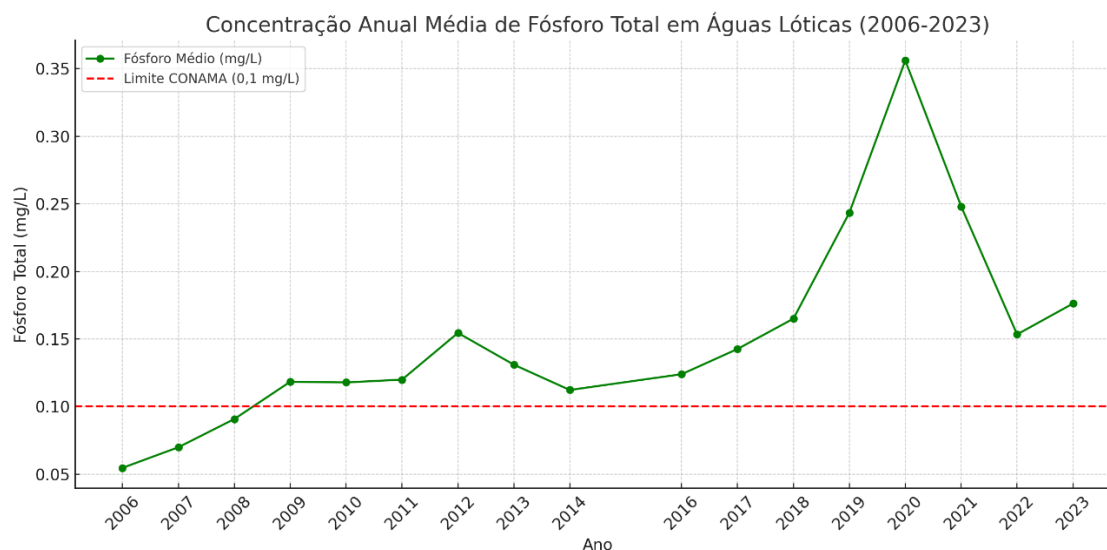
Figura 4 - Concentração Anual Média de Fósforo Total nos ambientes Lênticos, comparada ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (0,030 mg/L).



Além disso, mesmo nos anos em que as concentrações ficaram abaixo do limite legal, percebe-se uma tendência de aumento gradual nas concentrações médias.

A Figura 5 apresenta os resultados para os ambientes lóticos, também comparando com o limite de 0,1 mg/L estabelecido pelo CONAMA. Nota-se que, durante todo o período analisado, os valores médios anuais ultrapassaram o limite legal de forma consistente, indicando um aporte elevado e contínuo de fósforo nestes ambientes.

Figura 5 - Concentração Anual Média de Fósforo Total nos ambientes Lóticos, comparada ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (0,1 mg/L).

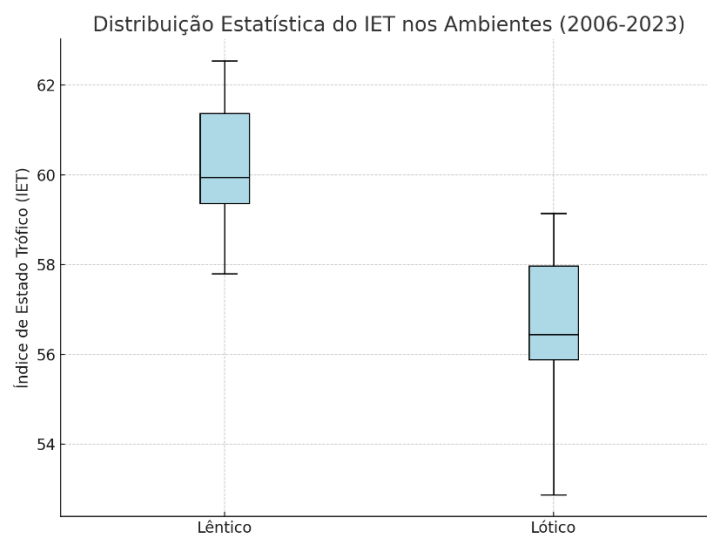


Entretanto, destaca-se o ano de 2020, que apresentou uma concentração média de fósforo total de 0,3561 mg/L, um valor atípico e significativamente superior ao limite. Esse pico sugere a ocorrência de evento crítico de aporte de nutrientes, possivelmente relacionado a descargas pontuais, falhas no sistema de monitoramento ou intensificação de atividades antrópicas nas áreas de drenagem.

Comparação Estatística do IET por Ambiente

A Figura 6 apresenta a distribuição estatística do IET para os ambientes lênticos e lóticos, considerando todo o período de 2006 a 2023. Verifica-se que os ambientes lênticos apresentaram menor dispersão dos valores de IET, refletindo estabilidade hidrodinâmica e maior tendência de acumulação de nutrientes. Já nos ambientes lóticos, observa-se uma maior dispersão, incluindo valores extremos, o que evidencia a variabilidade natural desses ambientes, influenciada por fatores hidrológicos e de uso do solo.

Figura 6 - Distribuição Estatística do Índice de Estado Trófico (IET) nos ambientes Lênticos e Lóticos para o período de 2006 a 2023.



A média do IET nos ambientes lênticos foi de aproximadamente 60, com valores variando principalmente entre as classes mesotrófico e eutrófico. Nos ambientes lóticos, a média foi de aproximadamente 56, com valores concentrados na classe mesotrófico, mas com episódios pontuais de elevação para valores classificados como eutróficos.

DISCUSSÃO

A análise integrada dos dados de Índice de Estado Trófico (IET) e fósforo total nos ambientes lênticos e lóticos do reservatório de Itaipu evidenciou padrões distintos de comportamento hidrodinâmico e de acumulação de nutrientes. Nos ambientes lênticos, observou-se uma tendência de valores de IET mais elevados e concentrados nas classes mesotrófico e eutrófico, refletindo a menor velocidade de fluxo e a maior capacidade de retenção de nutrientes típica dessas regiões (LAMPARELLI, 2004). Essa característica reflete a menor velocidade de fluxo e a maior capacidade de retenção de nutrientes, fatores que favorecem a eutrofização. Observou-se que, a partir de 2013 até 2020 (exceto 2015, sem dados), as concentrações médias anuais de fósforo total ultrapassaram o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para ambientes lênticos (0,020 mg/L),

atingindo valores máximos médios de até 0,0397 mg/L, o que evidencia a necessidade de medidas de gestão específicas.

Já nos ambientes lóticos, a maior variabilidade hidrodinâmica propiciou valores médios de IET mais baixos e predominantemente na classe mesotrófico, confirmando o papel diluidor dessas águas. Contudo, em todos os anos analisados, as concentrações médias anuais de fósforo total permaneceram acima do limite legal de 0,1 mg/L, com destaque para o pico de 0,3561 mg/L em 2020. Esses resultados indicam uma condição crônica de aporte de fósforo, possivelmente relacionado a atividades agrícolas intensivas e descargas pontuais, ressaltando a necessidade de estratégias de mitigação e monitoramento constante.

CONCLUSÃO

O estudo evidenciou que os ambientes lênticos do reservatório de Itaipu são mais susceptíveis à eutrofização, apresentando valores de IET superiores e concentrações de fósforo total que frequentemente ultrapassam o limite legal estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (0,020 mg/L). Nos ambientes lóticos, a hidrodinâmica favorece a diluição e exportação de nutrientes, com processos naturais de autodepuração, embora em vários anos as concentrações médias tenham ultrapassado o limite de 0,1 mg/L, destacando-se o pico de 0,3561 mg/L em 2020. Esses resultados evidenciam a influência das atividades antrópicas e dos fatores hidrológicos na qualidade da água e a necessidade de estratégias de manejo específicas.

A análise espaço-temporal realizada reforça a importância de um monitoramento contínuo e de estratégias de manejo adaptadas às características de cada ambiente, considerando os padrões de uso e ocupação do solo, bem como o controle de fontes pontuais e difusas de poluição. Dessa forma, será possível garantir a sustentabilidade da qualidade da água no reservatório de Itaipu, atendendo às demandas legais e aos usos múltiplos da água na Bacia do Paraná 3.

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem o apoio fomentado pela Itaipu Binacional e Itaipu Parquetec (convênio nº 4500071550/2023), por meio do acesso aos dados disponibilizados para o desenvolvimento das atividades de pesquisa no Projeto Núcleo de Inteligência Territorial – Fase II.

REFERÊNCIAS

- BALLER, S. (2014). Gestão integrada de recursos hídricos: a experiência da Itaipu Binacional. 1ª ed. Editora Itaipu Binacional, Foz do Iguaçu, 220 p.
- BRASIL. CONAMA (2005). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, 18 mar. 2005.
- CARDOSO, E.J.B.N. (2011). “Indicadores e índices de qualidade da água”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 16(1), pp. 41–48.
- CETESB (2006). Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, São Paulo, 200 p.
- CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M. do C.; LAMPARELLI, M.C. (2013). “A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSItsr).” Elsevier – Ecological Engineering, 60, pp. 126-134.

- DELLAMTRICE, A. et al. (2012). “Influência do uso do solo na qualidade da água em bacias hidrográficas”. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, 17(4), pp. 381–392.
- TCG (2008). *Atlas Climático do Paraná*. Instituto Tecnológico Simepar, Curitiba, 152 p.
- LAMPARELLI, M.C. (2004). “Grau de trofia em corpos d’água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento”. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 235 p.
- MARGALEF, R. (1978). *Limnologia*. 2ª ed. Omega, Barcelona, 1010 p.
- MENDONÇA, F.A. e DANNI-OLIVEIRA, I.M. (2007). *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. 2ª ed. Oficina de Textos, São Paulo, 320 p.
- MERTEN, G.H. e MINELLA, J.P.G. (2002). “Impactos da mudança de uso da terra sobre a qualidade da água”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6(1), pp. 109–116.
- NITSCHKE, P.R. et al. (2019). *Atlas Climático do Estado do Paraná*. Instituto Agrônomo do Paraná, Londrina, 158 p.
- RIBEIRO FILHO, R.A. et al. (2011). “Avaliação da qualidade da água do reservatório de Itaipu utilizando o Índice de Estado Trófico”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 16(1), pp. 15–25.
- RIBEIRO FILHO, R.A. et al. (2013). “Avaliação da produtividade pesqueira no reservatório de Itaipu com base no índice de estado trófico”. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 25(4), pp. 388–398.
- SILVA, A.M. et al. (2009). “Avaliação da qualidade da água no reservatório de Itaipu”. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 14(3), pp. 327–336.
- SUDENE (1999). *Atlas do Nordeste Brasileiro*. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, Recife, 150 p.
- TOLEDO JR., A.F. et al. (1983). “Índice de estado trófico (IET) para reservatórios: proposta de atualização”. *Cadernos de Recursos Hídricos*, 5(1), pp. 45–54.
- TUNDISI, J.G. et al. (2002). *Limnologia*. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 631 p.
- UNESP (2016). “Projeto de monitoramento da qualidade da água no reservatório de Itaipu”. Relatório Técnico, Universidade Estadual Paulista, Foz do Iguaçu, 50 p.
- UNIOESTE (2014). *Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Paraná 3*. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 200 p.
- VON SPERLING, M. (1996). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2ª ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, 243 p.