PRODUTO TÉCNICO

PADRÕES SATISFATÓRIOS DE QUALIDADE DA ÁGUA E A CONSERVAÇÃO DA COMUNIDADE ÍCTICA NO RESERVATÓRIO DA UHE TRÊS IRMÃOS

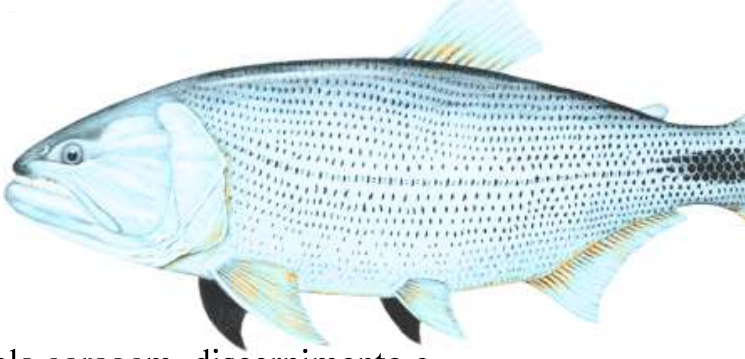


ProfÁgua
Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO

CAPES

unesp



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela coragem, discernimento e disposição para realizar está pós-graduação.

Agradeço à minha família e meus amigos pela força e encorajamento. Agradeço ao meu orientador Felipe André dos Santos por toda dedicação e paciência em todos os momentos de orientação e correções, agradeço a força e encorajamento para a realização da minha pesquisa.

Agradeço a todos os professores pela dedicação em passar todos seus conhecimentos.

Não posso deixar de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Agradeço também à Tijoá Energia S.A responsável pela concessão da Usina Hidrelétrica Três Irmãos, com a colaboração da Gerência de Meio Ambiente e Fundiário da UHE, pois a realização deste trabalho só foi possível devido ao apoio e fornecimento dos dados estudados.

Autor

Me. André Luis da Silva

Orientador

Prof. Dr. Felipe André dos Santos



Ilha Solteira

Agosto de 2025

1 INTRODUÇÃO

O presente documento constitui o produto técnico desenvolvido para o Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua). O objetivo deste relatório é apresentar à concessionária da Usina Hidrelétrica (UHE) Três Irmãos uma avaliação da qualidade da água do reservatório, bem como analisar a influência desses padrões sobre as guildas tróficas da ictiofauna local.

Para tanto, foram realizadas análises estatísticas para correlacionar as variáveis limnológicas com a dinâmica das comunidades de peixes, utilizando dados provenientes de uma série histórica de 10 anos de monitoramento, compreendida entre os anos de 2015 e 2024.

2. CARACTERIZAÇÃO DA UHE TRÊS IRMÃOS

A UHE Três Irmãos está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, mais especificamente na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Baixo Tietê (UGRHI 19). O Rio Tietê possui suas nascentes no município de Salesópolis (SP), na Serra do Mar, e percorre o estado de São Paulo até a sua foz no Rio Paraná, localizada no município de Itapura (SP), na divisa com o estado de Mato Grosso do Sul.

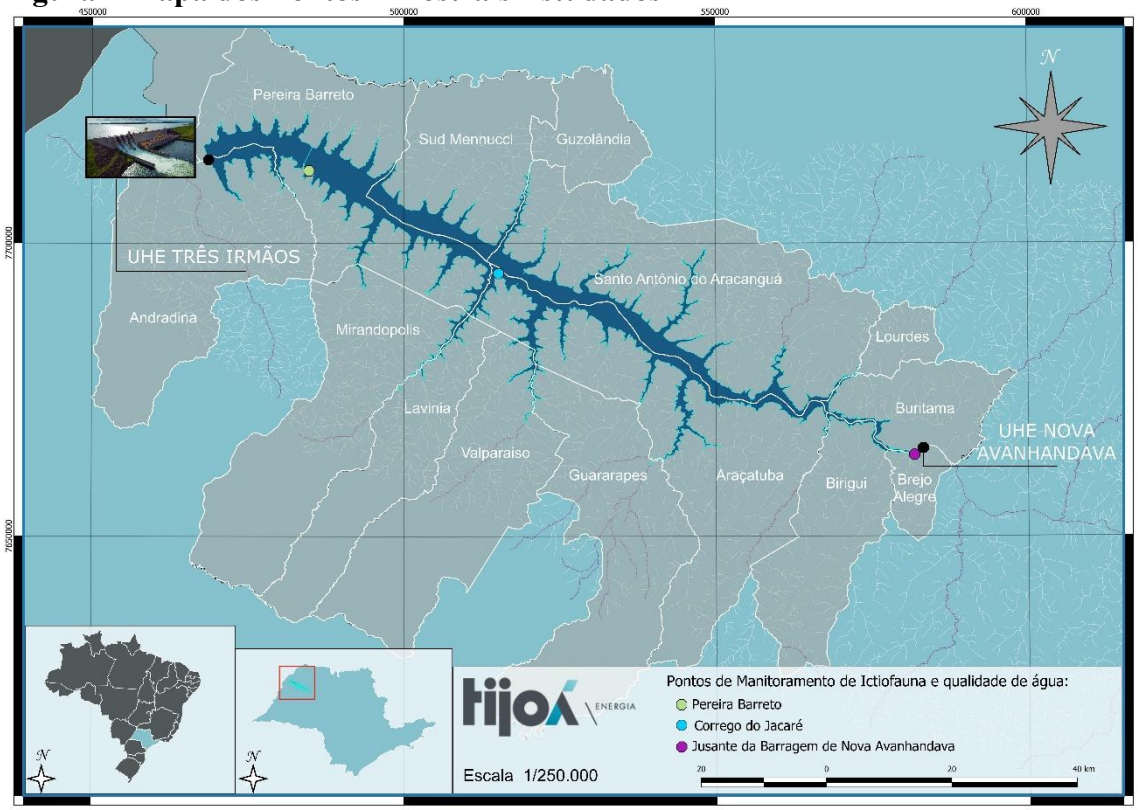
O trecho do Baixo Tietê é caracterizado por uma cascata de reservatórios implantados para a geração de energia elétrica. Esse sistema hidroenergético começou a ser delineado no final do século XIX, com destaque para a construção dos grandes empreendimentos hidrelétricos entre as décadas de 1970 e 1990.

O reservatório da UHE Três Irmãos (Figura 1) situa-se a 28 km da foz do Rio Tietê, no município de Andradina (SP), próximo à divisa com Pereira Barreto (SP). A UGRHI 19 abrange uma área de drenagem de 15.703,34 km² (correspondente a 6,3% da área do estado) e apresentava, em 2023, uma disponibilidade hídrica *per capita* de 4.469,97 m³/ano/habitante. A região possui uma vazão de referência \(Q_{7,10}\) de 27 m³/s (vazão mínima média de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos, adotada como critério restritivo de outorga) e uma reserva explotável subterrânea de 9 m³/s.

No panorama socioeconômico da bacia, o setor industrial destaca-se pela produção de biocombustíveis, calçados e alimentos. Na área rural, o uso e ocupação do solo são predominantemente marcados pelo cultivo de cana-de-açúcar e pela atividade pecuária (SÃO PAULO, 2024).

Este estudo foi viabilizado por meio do levantamento de dados secundários dos programas ambientais de Monitoramento da Qualidade da Água e Monitoramento da Ictiofauna. A amostragem compreende o período de 2015 a 2024, estruturada a partir de três pontos amostrais fixos localizados no corpo principal do reservatório (Figura 1).

Figura 1 Mapa dos Pontos Amostrais Estudados



Fonte Tijoá 2026 (adaptado)

A construção da UHE Três Irmãos teve início em 1980, e o enchimento do seu reservatório ocorreu em 1990. O empreendimento apresenta uma área inundada de 702,98 km² e extensão de 133 km. O reservatório exibe zonas de baixa profundidade até a metade de seu leito principal, desenvolvendo um gradiente batimétrico crescente que atinge 55 metros nas proximidades do barramento. A profundidade média do corpo d'água é de 17 metros, e o tempo de residência hidráulica para a renovação total do volume é de 24 meses (CORTEZ *et al.*, 2025).

A temperatura da superfície da água (TS) na Bacia do Baixo Tietê apresenta médias anuais situadas entre 25 °C e 27 °C (RUV *et al.*, 2021). O relevo regional é predominantemente plano e o uso e ocupação do solo são marcados por atividades agrícolas e pecuárias, com faixas de reflorestamento implantadas no entorno do reservatório.

O clima da região é classificado como tropical continental, caracterizado por uma sazonalidade marcante dividida entre uma estação seca e uma estação chuvosa, com precipitação média anual variando de 1.000 a 1.300 mm. O período de estiagem concentra-se de junho a agosto, enquanto os maiores índices pluviométricos ocorrem entre outubro e março, com o mês de janeiro registrando a maior umidade relativa do ar (MARCUZZO, 2020).

3 MONITORAMENTO DA MATRIZ ÁGUA

Para a avaliação das variáveis limnológicas da matriz água, foram integrados os resultados das amostragens realizadas em três estações de monitoramento: um ponto com características de ecossistema lótico e dois pontos representativos de ecossistema lêntico, codificados como P1-JNA, P2-JAC e P3-JBA, respectivamente. Em cada estação, as coletas contemplaram três perfis da coluna d'água: superfície, meio e fundo.

O **Quadro 1** sintetiza os parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados no reservatório da UHE Três Irmãos que foram selecionados para o escopo desta pesquisa, detalhando as matrizes amostrais correspondentes.

Quadro 1: Apresentação dos parâmetros analisados

Parâmetro	**Unidade**	**Resolução CONAMA 357/05 Art. 15**
Medições físico-químicas em campo		
Oxigênio Dissolvido	mg/L	não inferior a 5
Potencial hidrogeniônico - pH	-	Entre 6,0 e 9,0
Temperatura	°C	-
Propriedades físicas		
Turbidez	NTU	100
Inorgânicos não metálicos		

Nitrato (como N)	mg/L	10
Nitrito (como N)	mg/L	1,0
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	3,7; para pH ≤ 7,5 2,0; para 7,5 <pH≤ 8,0 1,0; para 8,0 <pH≤ 8,5 0,5; para > 8,5

4 ICTIOFAUNA DO RESERVATÓRIO

Para o estudo da ictiofauna, foram utilizados os resultados do programa de monitoramento realizado ao longo de um período de 10 anos, cujo método de captura baseou-se no emprego de redes de espera.

Durante o período amostral, foram capturados 9.103 espécimes, distribuídos em 51 espécies. Desse total, 35 espécies são nativas e 16 são alóctones na sub-bacia do Baixo Tietê, pertencente à bacia do Alto Rio Paraná. A título de comparação regional, OTA *et al.* (2018) registraram um total de 211 espécies de peixes para o Alto Rio Paraná, no trecho compreendido entre a foz do Rio Paranapanema e o reservatório de Itaipu.

5- RESULTADOS OBTIDOS DOS PARAMETROS ANALISADOS DA QUALIDADE DA ÁGUA

A figura 2 apresenta as facetas (quadros separados) para os parâmetros analisados da qualidade da água, nestas facetas é possível observar que na série temporal (Time Series), ao longo dos 10 anos de monitoramento, o reservatório apresenta um comportamento muito interessante sobre a qualidade da água. Quanto a temperatura pode ser observado uma leve tendência de elevação entre o período estudado, esta tendência de elevação pode estar relacionada ao período de renovação da água no reservatório, segundo Cortez *et al* 2025, o reservatório da UHE Três Irmãos leva 24 meses para sua renovação total.

No que diz respeito ao nitrogênio e o Nitrito pode ser observado um pico de elevação no ponto 1 em 2019, coincidindo com a queda do (OD), mostrando um

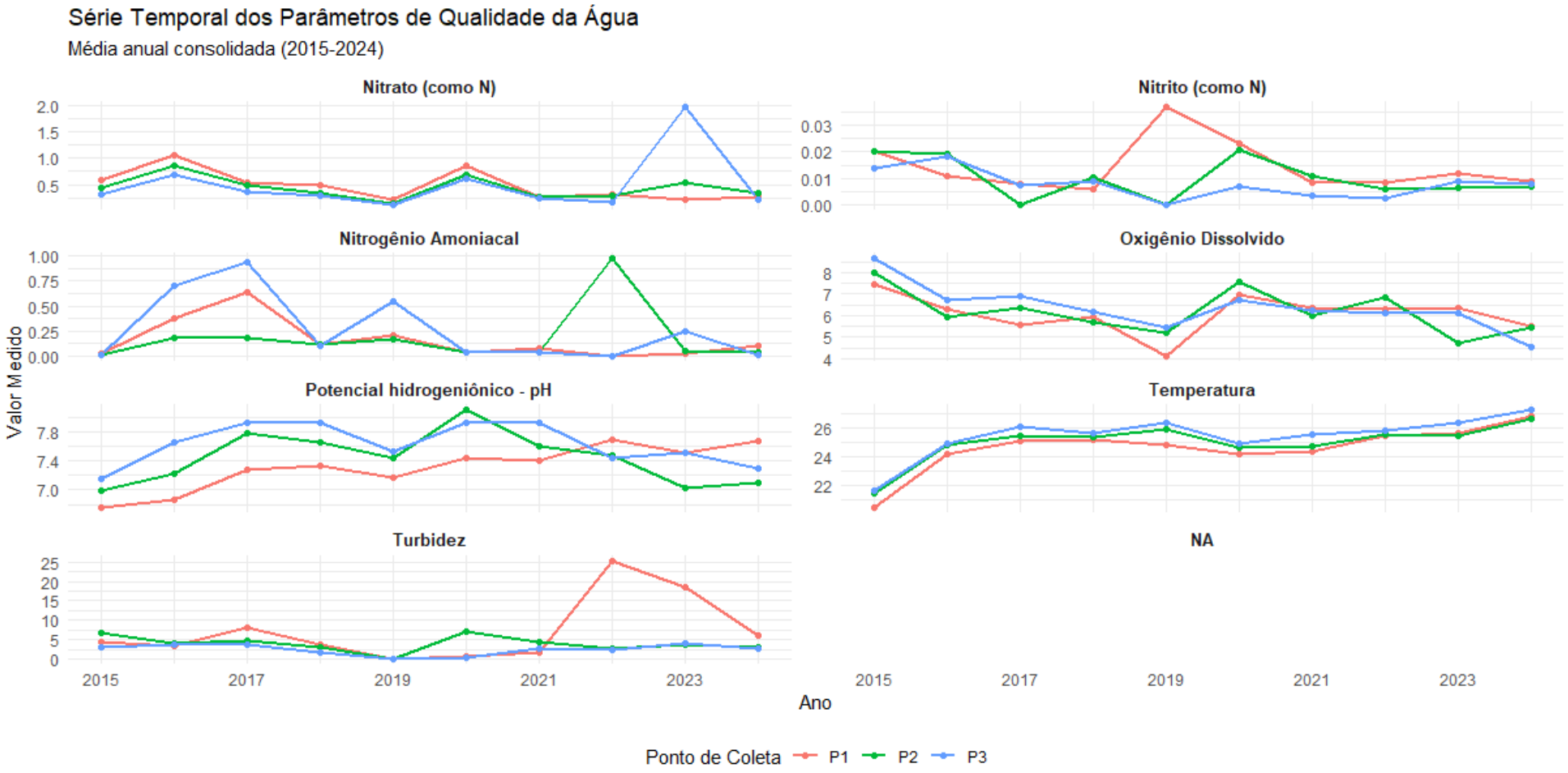
indicativo de algum evento pontual de elevada carga orgânica indicando processo de eutrofização.

Outro parâmetro que apresentou alteração significativa, porém permanecendo dentro dos padrões de conformidade, foi a Turbidez em NTU, em 2022 e 2023, apresentando um comportamento diferente dos demais anos estudados.

Ao longo do período estudado a temperatura apresentou algumas variações com tendência de elevação no ano de 2024, esta tendência pode estar relacionada ao ano com maiores temperaturas ambientais registradas desde 1961 (INMET).

Estes resultados mostram que o reservatório da UHE Três Irmãos não é um reservatório homogêneo, tendo seu comportamento diferente ao longo de seu corpo principal, sofrendo alterações em seus ambientes lótico e lêntico e perfis de profundidade.

Figura 2: Série temporal dos parâmetros de qualidade da água para o período de 10 anos de amostragem, P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avanhandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto.



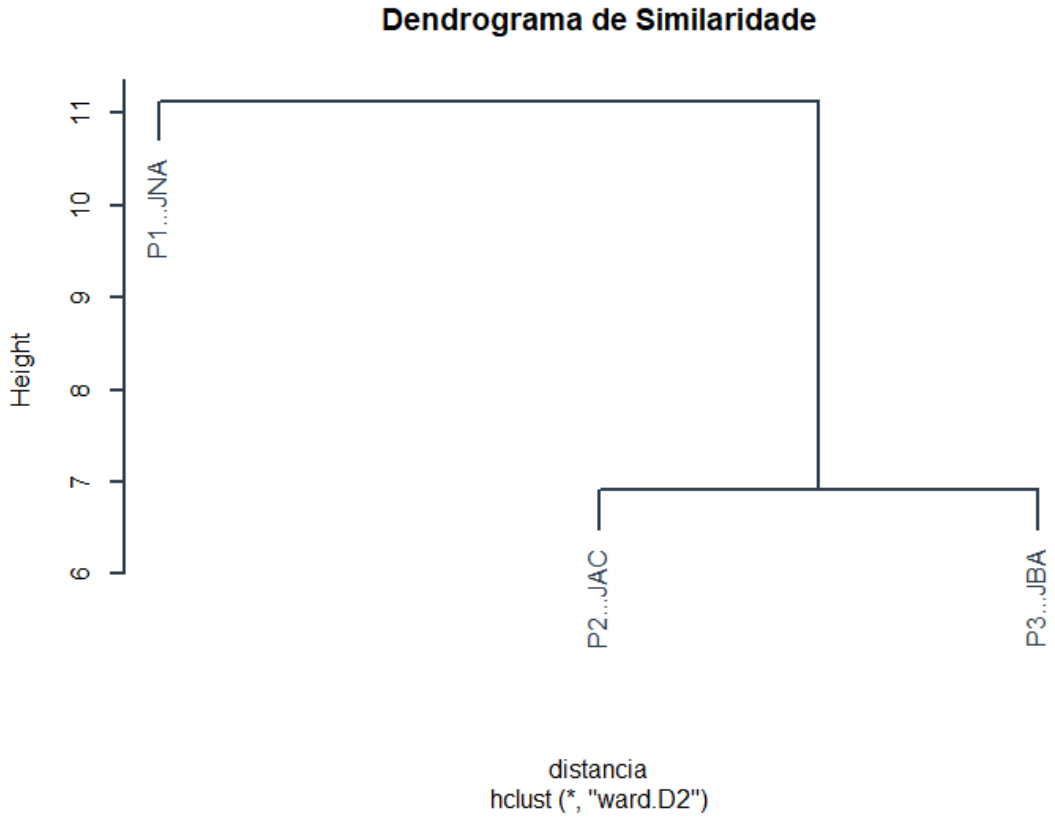
Fonte: Próprio autor, 2026

A integração dos dados bióticos e abióticos evidenciou que o reservatório da UHE Três Irmãos apresenta boa qualidade ambiental, sendo estruturado por diferentes compartimentos ecológicos em função de seus padrões limnológicos.

A análise de agrupamento (*cluster analysis*), representada no dendrograma de similaridade (Figura 2), revelou uma clara segregação na composição taxonômica da ictiofauna entre as estações de amostragem. Os pontos representativos do ambiente lêntico (P2 e P3) exibiram maior similaridade biótica entre si, agrupando-se em um nível de distância próximo a 7. Em contrapartida, o ponto P1, que possui características de ambiente lótico, demonstrou maior dissimilaridade, unindo-se ao agrupamento principal em uma escala de distância superior a 11.

Essa configuração espacial está diretamente associada à heterogeneidade ambiental do sistema. O ponto P1 diferenciou-se das demais estações por situar-se em um trecho lótico, onde o fluxo e a velocidade da água atuam como um filtro ambiental seletivo sobre a comunidade de peixes, limitando a ocorrência de espécies com baixa capacidade natatória. Por outro lado, os pontos P2 e P3, por compartilharem atributos ecológicos típicos de zonas lênticas, favorecem o estabelecimento de assembleias ícticas semelhantes, resultando na formação de um agrupamento com elevada similaridade biótica.

Figura 3: Dendograma de similaridade entre os pontos amostrais

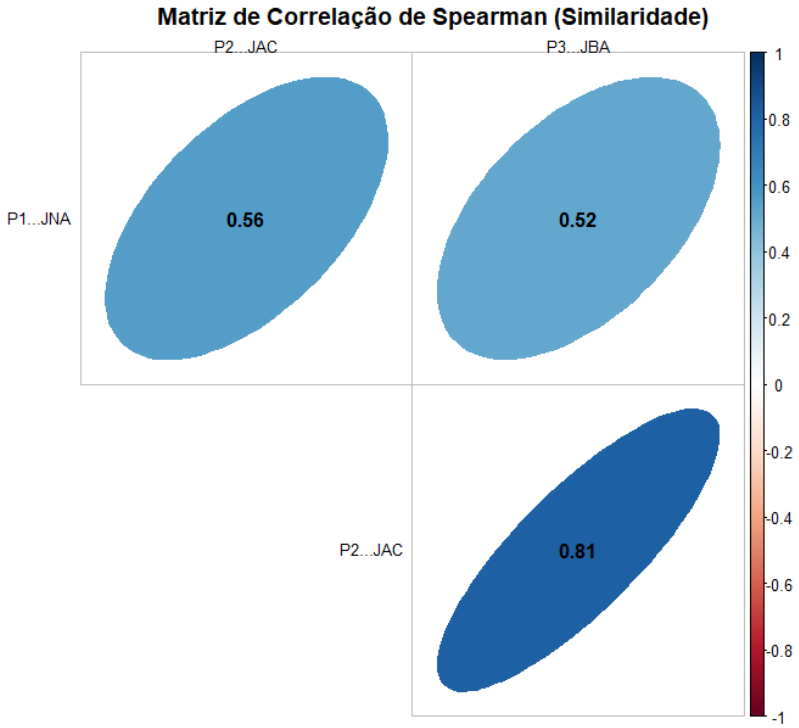


Fonte: Próprio autor, 2026

A análise da matriz de correlação de Spearman (Figura 3) confirmou os padrões de similaridade espacial observados na comunidade íctica, evidenciando uma forte proximidade na distribuição e abundância dos táxons entre as estações P2 e P3. Adicionalmente, os coeficientes revelaram uma correlação monótona positiva entre o ponto lótico P1 e a estação lêntica P2; isto é, quando os valores de abundância ou ocorrência taxonômica se elevam em P1, observa-se uma tendência concomitante de incremento em P2.

Esse comportamento de maior afinidade entre P2 e P3 está diretamente associado às características limnológicas compartilhadas por esses ambientes lênticos, que favorecem espécies adaptadas a zonas de baixa hidrodinâmica. Em contrapartida, o distanciamento ecológico do ponto P1 é justificado por sua condição estritamente lótica. O fluxo de correnteza contínuo nesse trecho atua como um filtro estrutural, tornando o habitat mais propício ao estabelecimento de espécies reofílicas especializadas, o que o diferencia dos ecossistemas puramente lacustres do reservatório.

Figura 4: Matriz de correlação de sperman entre os pontos amostrais



Fonte: Próprio autor, 2026

A interpretação das séries históricas de 10 anos, abrangendo os programas de monitoramento limnológico e de ictiofauna entre 2015 e 2024, viabilizou a compreensão das interações ecológicas e das correlações existentes entre as assembleias de peixes e os padrões de qualidade da água.

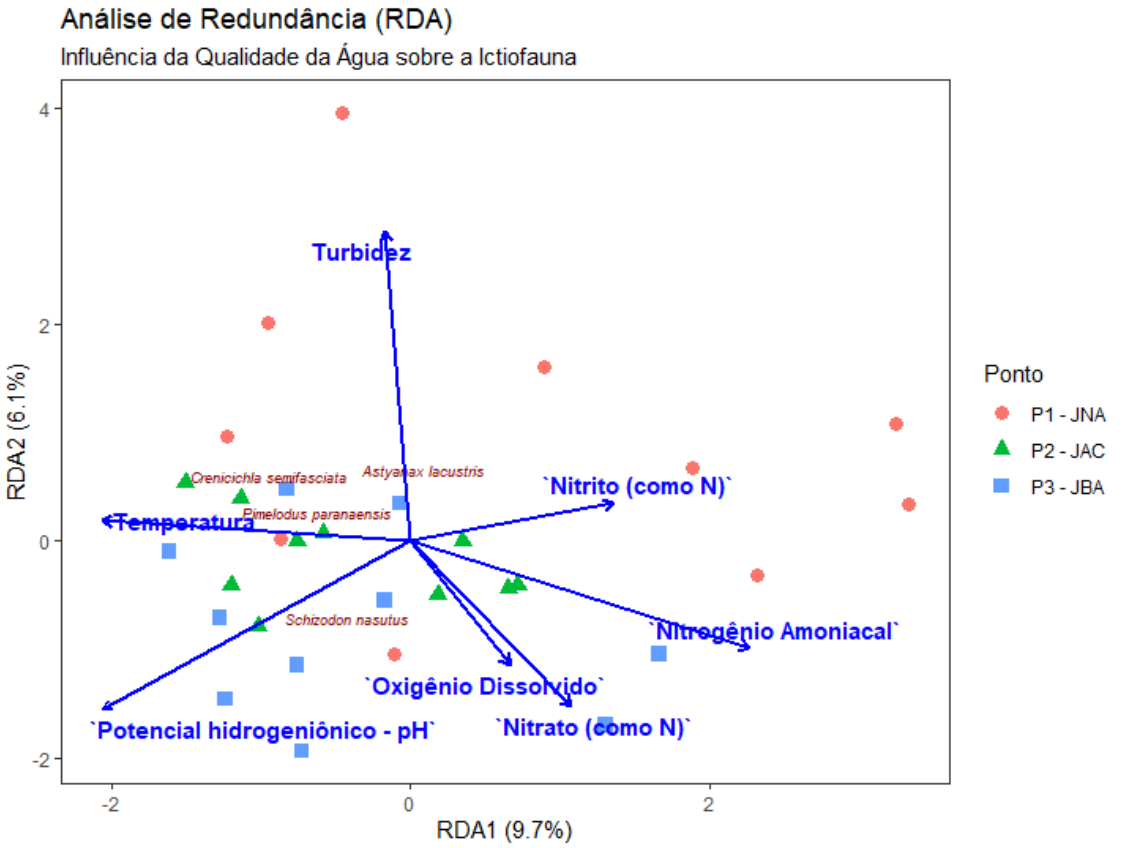
A Análise de Redundância (RDA), executada para identificar o grau de influência das variáveis ambientais sobre a estrutura da ictiofauna, revelou uma clara segregação espacial das estações de amostragem (Figura 4). O ponto P1-JNA (ambiente lótico) posicionou-se de forma isolada no quadrante superior direito do diagrama, sugerindo que a sua comunidade íctica é fortemente condicionada por gradientes de turbidez e por concentrações de nitrogênio amoniacal. Em contrapartida, as estações lênticas P2-JAC e P3-JBA apresentaram uma nítida sobreposição no lado esquerdo do gráfico, confirmando que ambos os ambientes compartilham composições taxonômicas semelhantes, cujas distribuições são influenciadas de forma mais acentuada pelas variações de temperatura da água e pH.

No gradiente ambiental plotado, as variáveis pH e temperatura atuaram como os principais fatores direcionadores das comunidades dispostas à esquerda do diagrama. Por

outro lado, os vetores representativos de nitrogênio amoniacal e nitrato associaram-se ao quadrante oposto, indicando o reflexo do aporte de nutrientes ou de processos de decomposição de matéria orgânica no trecho lótico.

Em relação à composição biótica, as espécies que demonstraram maior associação estatística com os eixos explicativos da RDA foram *Astyanax lacustris*, *Crenicichla semifasciata*, *Pimelodus paranaensis* e *Schizodon nasutus*. Os demais táxons foram omitidos do diagrama biplot por apresentarem baixa contribuição para a variância total explicada, não manifestando flutuações expressivas entre os pontos amostrais.

Figura 5: Análise de Redundância (RDA) sobre a Influência da Qualidade da Água sobre a Ictiofauna.



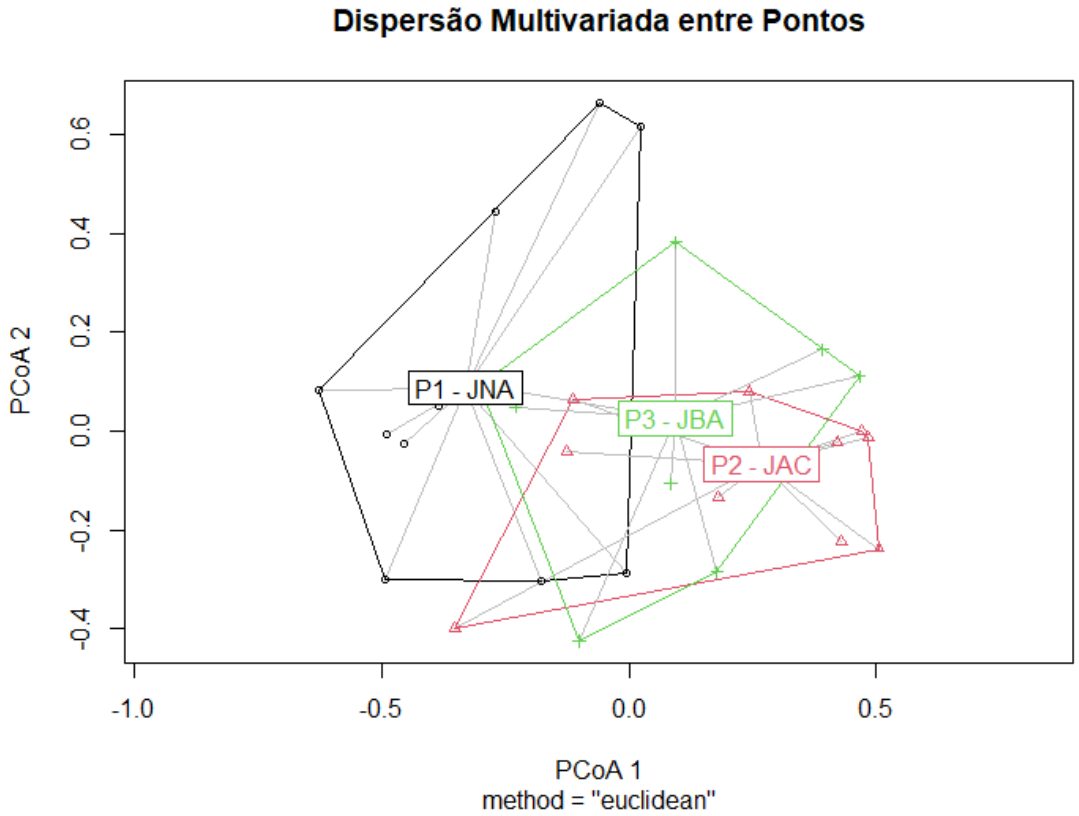
Fonte: Próprio autor, 2026

A análise multivariada estruturada por meio do Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS) (Figura 5) corroborou os padrões espaciais previamente identificados. O polígono representativo do ponto P1 posicionou-se de forma segregada à esquerda do diagrama, confirmando que a sua comunidade íctica difere significativamente das assembleias registradas nas demais estações. Por outro lado, as áreas de ordenação correspondentes aos pontos P2 e P3 exibiram uma expressiva

sobreposição espacial, indicando que as comunidades associadas a essas estações compartilham de uma estrutura taxonômica semelhante, condicionada pelas mesmas variáveis limnológicas e padrões de disponibilidade de nutrientes em ambiente lêntico.

Outro aspecto relevante revelado pelo NMDS diz respeito à amplitude das áreas de dispersão dos polígonos ao longo do tempo. O ponto P1 apresentou a maior área poligonal do diagrama, o que demonstra que, ao longo da série histórica de 10 anos, a comunidade de peixes nesse trecho lótico manifestou maior dinamismo ecológico, caracterizado por uma elevada taxa de substituição de espécies (*turnover*) e instabilidade temporal. Em contrapartida, a estação P2 configurou-se como o polígono de menor dispersão espacial, evidenciando uma comunidade com elevada estabilidade e previsibilidade estrutural ano após ano ao longo do período monitorado.

Figura 6: Análise da dispersão multivariada entre os pontos de monitoramento da Qualidade da Água e da Ictiofauna.



Fonte: Próprio autor, 2026

6. CONCLUSÕES

A análise integrada das séries históricas de 10 anos (2015–2024) englobando os parâmetros limnológicos e a comunidade íctica viabilizou a compreensão da distribuição espaço-temporal das guildas tróficas e de suas respostas ecológicas face às variações na qualidade da água do reservatório da UHE Três Irmãos. Em conformidade com os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, as águas do reservatório enquadram-se na Classe 2, demonstrando padrões qualitativos globalmente satisfatórios e compatíveis com o atendimento dos seus usos múltiplos ao longo do período avaliado.

Os nutrientes nitrogenados (nitrito e nitrato) e a turbidez mantiveram-se estritamente abaixo dos limites máximos permitidos pela legislação vigente. Todavia, o oxigênio dissolvido (OD) manifestou episódios pontuais de decréscimo, registrando concentrações limítrofes ao valor mínimo de 5,0 mg/L, o que sinaliza vulnerabilidade ecológica frente a picos de aporte orgânico ou variações metabólicas no sistema. Identificou-se uma correlação linear inversa entre a temperatura da água e os teores de OD. O incremento gradual verificado nas médias térmicas anuais do reservatório aponta para uma susceptibilidade do ecossistema a eventos climáticos extremos, como ondas de calor. Ademais, a análise dos perfis verticais confirmou a compartimentação da coluna d'água nas zonas de maior profundidade, caracterizada pelo declínio concomitante do OD, do pH e da temperatura em direção ao sedimento, configurando processos sistemáticos de estratificação térmica e química.

A análise de correlação evidenciou que a dinâmica das assembleias ícticas é fortemente condicionada por oscilações na turbidez e nos níveis de OD, sendo que as flutuações nas concentrações de compostos nitrogenados exercem influência deletéria sobre os táxons mais sensíveis à degradação ambiental. Esses padrões denotam que a reorganização estrutural das guildas tróficas funciona como um reflexo direto das alterações limnológicas locais. Não obstante as pressões antrópicas decorrentes do aporte de cargas orgânicas e inorgânicas de origem agroindustrial na bacia, a comunidade de peixes preserva a sua integridade funcional, distribuindo-se de forma equilibrada entre os diferentes níveis tróficos.

Por fim o estudo demonstrou que o reservatório oferece condições ambientais adequadas para o suporte e a manutenção biológica das estruturas tróficas identificadas.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento [...]. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

CORTEZ, T. *et al*. Insights into the representativeness of biodiversity assessment in large reservoir through eDNA metabarcoding. **PLoS ONE**, v. 20, n. 1, p. e0314210, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0314210. Acesso em: 28 ago. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Ano de 2024 é o mais quente na série histórica no Brasil**. Brasília, 02 jan. 2025. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/noticias/2024-%C3%A9-o-ano-mais-quente-da-s%C3%A9rie-hist%C3%B3rica-no-brasil. Acesso em: 17 jun. 2026.

OTA, R. R. *et al*. Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes: Revised, annotated and updated. **Neotropical Ichthyology**, v. 16, n. 2, p. e170094, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170094. Acesso em: 28 ago. 2026.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. **Meio ambiente paulista**: relatório de qualidade ambiental 2024. São Paulo: Semil, 2024. 1 recurso eletrônico.

MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha. Bacia hidrográfica do rio Tietê: precipitação pluviométrica espacializada. **Geographia Meridionalis**, v. 5, n. 3, p. 243–266, 2020. Disponível em: https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/Geographis/article/view/16926. Acesso em: 2 set. 2026. doi: doi.org

RUV, Murilo da Costa Lemes; REBOITA, Michelle Simões; RODRIGUES, Roger Torres. Mudança no uso e cobertura da terra na bacia do rio Tietê e seus impactos na temperatura da superfície (Ts). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 223–240, 2021. Disponível em: ufgd.edu.br. Acesso em: 2 set. 2026. doi: doi.org.