

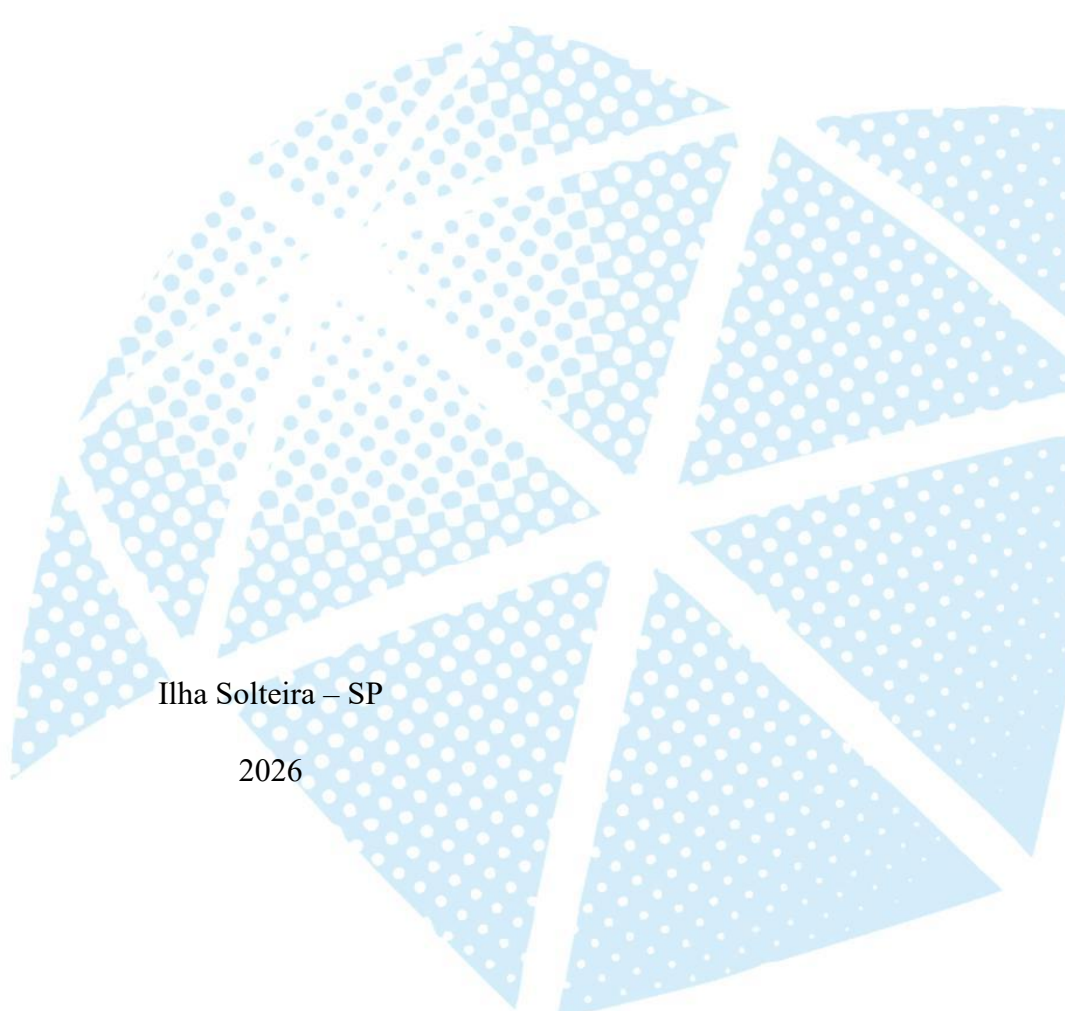
**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ANDRÉ LUIS DA SILVA

**INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA SOBRE A ESTRUTURA TRÓFICA
DOS GRUPOS DE PEIXES DO RESERVATÓRIO DA UHE TRÊS IRMÃOS NO
RIO TIETÊ**

Ilha Solteira – SP

2026



ANDRÉ LUIS DA SILVA

**INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA SOBRE A ESTRUTURA TRÓFICA
DOS GRUPOS DE PEIXES DO RESERVATÓRIO DA UHE TRÊS IRMÃOS NO
RIO TIETÊ**

Dissertação apresentada à Universidade Paulista (UNESP), à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Regulação e Governança de Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Felipe André dos Santos

Ilha Solteira – SP

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- S586i Silva, André Luis da.
Influência da qualidade da água sobre a estrutura trófica dos grupos de peixes do reservatório da UHE Três Irmãos no rio Tietê / André da Silva Luis. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
86 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciências Biológicas / Qualidade da água e ictiofauna, 2026
- Orientador: Felipe André dos Santos
- Inclui bibliografia
1. Espécies reofilicas. 2. Qualidade da água. 3. Programa de repovoamento de peixes. 4. UHE Três Irmãos.

POTENCIAL IMPACTO DESTA PESQUISA

O presente estudo avaliou a influência dos parâmetros de qualidade da água sobre a estrutura trófica das comunidades ictiofaunísticas no reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Três Irmãos. A pesquisa contextualiza um ambiente antropizado e consolidado há mais de 35 anos, caracterizado pela transição definitiva de um ecossistema original lótico para lêntico. A partir da modelagem e interpretação de dados históricos dos programas de monitoramento limnológico e da ictiofauna, elucidou-se a dinâmica de distribuição e os padrões de dominância das espécies locais em resposta às variáveis ambientais.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The results indicated that the reservoir maintains satisfactory ecological quality regarding the physicochemical and non-metallic inorganic parameters evaluated. As a technology transfer and technical output of this master's program, a technical-scientific report was prepared for the concessionaire of the Três Irmãos Hydroelectric Power Plant. This document provides a robust assessment of the aquatic environment's integrity and establishes the ecological correlation between water quality and the maintenance of the local fish community, serving as a strategic tool for environmental management, decision-making, and the project's compliance with legal requirements.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA SOBRE A ESTRUTURA TRÓFICA DOS GRUPOS DE PEIXES DO RESERVATÓRIO DA UHE TRÊS IRMÃOS NO RIO TIETÊ

AUTOR: ANDRÉ LUIS DA SILVA

ORIENTADOR: FELIPE ANDRÉ DOS SANTOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, área: Regulação e Governança de Recursos Hídricos pela Comissão Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
FELIPE ANDRÉ DOS SANTOS
(04404784/2008-0827046-8-008)
Verifique em <https://validar.dig.br>

Prof. Dr. FELIPE ANDRÉ DOS SANTOS (Participação Virtual)

Departamento de Engenharia de Biosistemas / UNESP / Câmpus de Tupã - FCE

 Documento assinado digitalmente
JADSON PINHEIRO SANTOS
(04404784/2008-1439024-8-008)
Verifique em <https://validar.dig.br>

Prof. Dr. JADSON PINHEIRO SANTOS (Participação Virtual)

Engenharia de Pesca / Universidade Estadual do Maranhão

 Documento assinado digitalmente
LUIZ FABRICIO ZARA
(04404784/2008-143651-8-008)
Verifique em <https://validar.dig.br>

Prof. Dr. LUIZ FABRICIO ZARA (Participação Virtual)

Universidade de Brasília

Ilha Solteira, 04 de agosto de 2026.

DEDICATÓRIA

Todo esforço e empenho empregado nesta pesquisa eu dedico à minha família e aos meus filhos, pois sou espelho para eles, e devo mostrar a eles o quanto é valioso e importante os estudos na vida da gente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela coragem, discernimento e disposição para realizar esta 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 - Profª Água, 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.

*"Consagre ao Senhor tudo o que você faz,
e os seus planos serão bem-
sucedidos."*

Provérbios 16:3

RESUMO

A dinâmica entre a qualidade da água e a estrutura da ictiofauna em reservatórios hidrelétricos constitui um sistema de alta complexidade, cuja mitigação de impactos ambientais é de responsabilidade técnica da concessionária do empreendimento. O presente estudo teve como objetivo correlacionar as variáveis limnológicas do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Três Irmãos (Andradina - SP) com a estrutura trófica e funcional das comunidades de peixes, além de avaliar a eficácia metodológica do programa de monitoramento da ictiofauna local. Foram analisados dados históricos de 10 anos (2015 a 2024), integrando parâmetros físico-químicos — Oxigênio Dissolvido (OD), pH, turbidez, nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal — aos dados bióticos coletados. O reservatório, operando há mais de três décadas, apresenta o corpo principal consolidado e caracterizado por um gradiente predominantemente lântico, o que restringe o estabelecimento de guildas de peixes reofílicos. Os resultados indicaram que a qualidade da água se mantém satisfatória, com flutuações sazonais nos parâmetros químicos correlacionadas a eventos macroclimáticos regionais, tais como períodos de estiagem prolongada e ondas de calor. Quanto à comunidade íctica, observou-se um processo de homogeneização biótica induzido pela dominância de espécies alóctones à bacia do Rio Paraná. A aplicação de análises estatísticas multivariadas e do Índice de Integridade Biótica (IIB) demonstrou que a distribuição espacial e a estrutura trófica da ictiofauna (grupos sedentários vs. reofílicos) são fortemente condicionadas pelas tipologias ambientais (lântico vs. lótico), sendo a temperatura, o OD e a turbidez os principais fatores limnológicos condutores dessa relação. Ademais, constatou-se que a amostragem baseada estritamente em pontos fixos no corpo principal do reservatório apresenta limitações na detecção de espécies migratórias de longa distância ou táxons raros. Com tudo o reservatório mostrou-se ecologicamente satisfatório demonstrando que espécies raras podem estar utilizando grandes tributários como zonas de berçário ecológico, busca por alimentação e maior fluidez ambiental. Por fim, esta pesquisa alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, especificamente ao ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e ao ODS 15 (Vida Terrestre).

PALAVRAS-CHAVE: espécies reofílicas; qualidade da água; programa de repovoamento de peixes; UHE Três Irmãos.

ABSTRACT

The interplay between water quality and fish community structure in hydroelectric reservoirs constitutes a highly complex system, where the mitigation of environmental impacts is the technical responsibility of the project operator. This study aimed to correlate limnological variables from the Três Irmãos Hydroelectric Power Plant (UHE) reservoir (Andradina, São Paulo) with the trophic and functional structure of fish communities, while also evaluating the methodological effectiveness of the local fish monitoring program. Historical data spanning ten years (2015–2024) were analyzed, integrating physicochemical parameters—dissolved oxygen (DO), pH, turbidity, nitrate, nitrite, and ammoniacal nitrogen—with collected biotic data. Having operated for over three decades, the reservoir features a consolidated main body characterized by a predominantly lentic gradient, which limits the establishment of rheophilic fish guilds. Results indicated that water quality remains satisfactory, with seasonal fluctuations in chemical parameters linked to regional macroclimatic events, such as prolonged droughts and heatwaves. Regarding the fish community, a process of biotic homogenization was observed, driven by the dominance of species non-native to the Paraná River basin. Multivariate statistical analyses and the Index of Biotic Integrity (IBI) demonstrated that the spatial distribution and trophic structure of the fish fauna (sedentary vs. rheophilic groups) are strongly influenced by environmental typologies (lentic vs. lotic), with temperature, DO, and turbidity acting as the primary limnological drivers of this relationship. Furthermore, the study found that sampling based strictly on fixed points within the reservoir's main body has limitations in detecting long-distance migratory species or rare taxa. Overall, the reservoir proved to be ecologically significant, demonstrating that rare species can utilize large tributaries as ecological nursery areas in search of food and greater environmental connectivity. Finally, this research aligns with the UN 2030 Agenda's Sustainable Development Goals (SDGs), specifically SDG 6 (Clean Water and Sanitation) and SDG 15 (Life on Land).

KEYWORDS: rheophilic species; water quality; fish stocking program; Três Irmãos Hydroelectric; power plant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa dos Pontos Amostrais	16
Figura 2: Desenhos esquemáticos de rede de espera	20
Figura 3: Medidas das concentrações de OD nos três pontos amostrais, P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avanhandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto.	17
Figura 4: Médias anuais dos perfis verticais analisados para Oxigênio Dissolvido e Temperatura (°C).	18
Figura 5: Medidas das concentrações de pH obtidas nos 10 anos, P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avanhandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto. .	19
Figura 6: Médias anuais dos pontos analisados, para temperatura (°C), P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avanhandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto.	20
Figura 7: Medidas das concentrações de turbidez (NTU) nos três pontos para o período de 10 anos, P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avanhandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto.	21
Figuras 8: Concentrações de Nitrato (mg/L) nos três pontos amostrais, P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avanhandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto.	23
Figura 9: concentração de Nítrito (mg/L) nos três pontos amostrais, P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avanhandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto. .	24
Figura 10: Concentrações de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) nos pontos amostrais, P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avanhandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto.	25
Figura 11: 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.....	44
Figura 12: boxplot dos parâmetros físicos e químicos dos perfis da coluna d'água, superfície, meio e fundo.....	46
Figura 13: matriz de correlação de Spearman (rho)	48
Figura 14: Curva de acumulação para as espécies levantadas no período de 10 anos...	49
Figura 15: Dendograma de similaridade entre os pontos amostrais	50
Figura 16: Matriz de correlação de sperman entre os pontos amostrais	51
Figura 17: Similaridade de Jaccard entre o período de 10 anos estudados.	52
Figura 18 Cota do reservatório no período de 2015-2024.	53
Figura 19: <i>Box-Plot</i> da distribuição das espécies no reservatório da UHE três Irmãos.	54
Figura 20: Abundância total das espécies por guildas alimentares durante o período de estudo de 10 anos de monitoramento.....	56
Figura 21: Riqueza das espécies nativas e não nativas por ano e por pontos estudados	57

Figura 22: Tendência da Integridade Biótica ao longo do período estudado no Reservatório da UHE Três Irmãos.	60
Figura 23: Apresenta a comparação da Integridade entre os dois períodos de 2015-2019 e 2020-2024.	61
Figura 24: Comparação espacial da Integridade Biótica entre os pontos de monitoramento.	62
Figura 25: Análise de Redundância (RDA) sobre a Influência da Qualidade da Água sobre a Ictiofauna.	48
Figura 26: Análise da dispersão multivariada entre os pontos de monitoramento da Qualidade da Água e da Ictiofauna.	49
Figura 27: Mapa de calor (<i>heatmap</i>) da matriz de correlação de Spearman entre as variáveis limnológicas (eixo vertical) e a abundância das espécies de peixes amostradas mais abundantes (eixo horizontal).	70
Figura 28: Dados de vazão afluente (m^3/s) do reservatório da UHE Três Irmãos no período de janeiro de 2014 a dezembro de 2015	79
Figura 29: Dados de vazão defluente (m^3/s) do reservatório da UHE Três Irmãos no período de janeiro de 2014 a dezembro de 2015	80
Figura 30: Dados de volume útil em % do reservatório da UHE Três Irmãos no período de janeiro de 2014 a dezembro de 2015	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Pontos de amostragem de coleta de água da UHE Três Irmãos com as coordenadas georreferenciadas. 2015 a 2024.	18
Tabela 2 Síntese estatística dos parâmetros de qualidade da água (2015-2024)	49
Tabela 3 Espécies Nativas registradas no período de 10 anos de monitoramento	57
Tabela 4 Espécies alóctones registradas no período de 10 anos de monitoramento	59
Tabela 4 Riqueza, Abundância e Pontuação do IIB (Índice de Integridade Biótica) nos Pontos de Coleta Monitorados.....	596

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL	17
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	USINAS HIDRELÉTRICAS NO BRASIL	15
2.2	QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS	17
2.3	ICTIOFAUNA EM RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS	18
3	METODOLOGIA	15
3.1	ÁREA DE ESTUDO	15
3.3	AMOSTRAGEM	18
3.3.1	Coleta e análise de água	19
3.3.2	Metodologia de amostragem da ictiofauna	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1	MATRIZ ÁGUA	15
4.1.1	Oxigênio Dissolvido (OD)	16
4.1.2	Potencial Hidrogeniônico PH	19
4.1.3	Temperatura da água	20
4.1.4	Turbidez	21
4.1.5	Nitrato e nitrito	23
4.1.6	Nitrogênio amoniacal	25
4.1.7	Série temporal	26
4.2	I Ctiofauna	48
4.2.1	Composição das espécies	48
5	CORRELAÇÃO PEIXES VS ÁGUA	47
6	CONCLUSÃO	722
	REFERÊNCIAS	74
	APÊNDICE	78

1 INTRODUÇÃO

Considerada o segundo maior sistema de drenagem sul-americano, a bacia hidrográfica do rio Paraná (Lowe-McConnell, 1999) é um dos mais importantes abrigos da ictiofauna, com grande diversidade de espécies. O rio Tietê é um de seus principais afluentes, tendo sua nascente na Serra do Mar, no município paulista de Salesópolis, e sua foz inserida na porção noroeste do estado de São Paulo, no município de Itapura. Com o desenvolvimento das indústrias e o crescimento da população, aumentou consequentemente a necessidade de novas matrizes energéticas. Isso fez com que o Brasil alavancasse o desenvolvimento e a construção de Usinas Hidrelétricas — UHEs (Gonçalves; Braga, 2008), com grande avanço nas décadas de 1950 e 1970 (Agostinho *et al.*, 2007).

O rio Tietê, em sua porção denominada Médio e Baixo Tietê, é constituído por uma cascata de UHEs, sendo a UHE Três Irmãos o último aproveitamento hidrelétrico dessa estrutura, com todo o seu sistema consolidado há mais de 30 anos de operação. A caracterização da qualidade da água, juntamente com a ictiofauna existente nesse reservatório, é importante devido aos seus usos múltiplos. Segundo Welcomme *et al.* (2010), peixes de água doce podem ser extremamente importantes para a segurança alimentar das populações que vivem em seu entorno. As mudanças causadas nos rios com a transformação em reservatório alteram, consequentemente, as estruturas ícticas, fazendo com que novas espécies colonizem esses ambientes e outras tendam a diminuir sua densidade. Em estudo sobre a avaliação de diversidade por meio de DNA ambiental, Costez *et al.* (2025) apontam que o reservatório da UHE Três Irmãos apresenta grande biomassa de peixes.

Atualmente, no Brasil, 55% da energia vem de fontes hídricas (ANEEL, 2025), garantindo a segurança energética do sistema. No estado de São Paulo, os grandes rios possuem aproveitamento energético, dos quais as sub-bacias do rio Tietê se apresentam como pioneiras na produção de energia hidroelétrica no país, onde 6 dos seus maiores empreendimentos ocupam uma área de drenagem de 306.841 km² (ONS, 2024). Os impactos causados pelo sistema de cascatas de usinas hidrelétricas geram uma grande barreira que impede a migração dos peixes no período de reprodução. Segundo Agostinho *et al.* (2007), o decréscimo na produção pesqueira pode estar relacionado a esse sistema em cascata devido ao favorecimento de materiais sedimentares, o que provoca a retenção

de matéria orgânica e a diminuição no grau de trofia dos reservatórios. Além disso, de acordo com Corrêa e Smith (2019), em um sistema aquático com variações a depender da época do ano, as guildas tróficas podem sofrer mudanças em virtude da oferta de alimento e sedimentos; esse sistema de variação sazonal pode favorecer a diversidade de espécies, cenário diferente do que costuma apresentar um reservatório consolidado e de ambientes lênticos.

Com o objetivo de estabelecer uma nova política global para um mundo mais sustentável e com desenvolvimento econômico, foram definidos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para serem alcançados até 2030. O escopo deste trabalho respalda-se no ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e no ODS 15 (Vida Terrestre). Desse modo, este estudo tem o propósito de levantar informações sobre a qualidade da água do reservatório e identificar quais influências os parâmetros analisados podem estar causando nas comunidades da ictiofauna. As modificações provocadas pelos reservatórios geram alterações, segundo Agostinho *et al.* (1998), nos parâmetros que compõem as condições físicas, químicas e biológicas dos corpos d'água, promovendo mudanças nas condições bióticas e tróficas (Agostinho; Zalewski, 1995; Araújo-Lima *et al.*, 1995). Isso promove a depreciação dos grupos de peixes de corredeiras e o aumento de espécies de ambientes lênticos. As mudanças causadas pelo represamento de uma UHE alteram o fluxo da água com impactos significativos na comunidade biótica, provocando a diminuição da velocidade da correnteza, alterações físico-químicas e, conseqüentemente, o favorecimento do desenvolvimento de espécies menos restritas a ambientes lênticos, gerando efeitos adversos sobre os grupos de peixes reofilicos (Agostinho *et al.*, 1992).

Com base no exposto, este estudo utilizou dados dos programas de monitoramento da qualidade da água e da ictiofauna realizados na UHE Três Irmãos, os quais constam nos relatórios bienais apresentados ao órgão ambiental fiscalizador, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). A UHE realiza essas análises e o monitoramento da ictiofauna como cumprimento de condicionantes ambientais para acompanhar o comportamento do ambiente aquático e identificar se a usina hidrelétrica está causando impactos no ecossistema. Por meio desses dados, este estudo visa colaborar com as tomadas de decisões caso haja a necessidade de planos de ação para mitigar possíveis danos ambientais.

Neste contexto, foram formuladas duas hipóteses para este estudo:

- **(i)** um reservatório que contém sua maior concentração do corpo principal com características de ambiente lântico não oferece condições para os táxons de peixes reofílicos, por serem espécies mais seletivas quanto às condições ambientais de qualidade da água e que necessitam de migração para a sua reprodução;
- **(ii)** mesmo que o corpo principal do reservatório ofereça boas condições ambientais de qualidade da água, o método tradicional de amostragem com pontos fixos pode não representar a realidade de forma fidedigna, visto que o reservatório contém inúmeros tributários que podem servir de abrigo e rota de migração para os táxons migratórios.

Todos os materiais utilizados provêm de levantamentos realizados por empresas e laboratórios contratados e certificados, sob a responsabilidade da concessionária da UHE Três Irmãos, a Tijoá Energia.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo foi analisar as variáveis físico-químicas da qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Três Irmãos, a fim de avaliar a sua influência sobre a estrutura trófica e a caracterização ecológica das comunidades ictiofaunísticas predominantes na área de influência do empreendimento.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a consistência e a adequação metodológica do programa de monitoramento limnológico e da qualidade da água executado na UHE Três Irmãos;

Diagnosticar os protocolos amostrais utilizados no programa de monitoramento da ictiofauna do empreendimento, identificando potenciais redundâncias ou lacunas temporais;

Correlacionar as variáveis físico-químicas da água com os indicadores de estrutura trófica, composição e abundância das comunidades de peixes no reservatório.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 USINAS HIDRELÉTRICAS NO BRASIL

Com o desenvolvimento industrial e o crescimento demográfico, aumentou consequentemente a demanda por novas matrizes energéticas. Esse cenário fez com que o Brasil alavancasse o desenvolvimento e a construção de Usinas Hidrelétricas (UHEs) (Gonçalves; Braga, 2008), registrando um grande avanço entre as décadas de 1950 e 1970 (Agostinho *et al.*, 2007). Atualmente, no país, 55% da energia gerada é proveniente de fontes hídricas (ANEEL, 2025).

No Brasil, o primeiro registro do uso de energia elétrica ocorreu em 1879, em Campos dos Goytacazes (RJ). Já a primeira usina hidrelétrica instalada no país entrou em operação em 1883, no município mineiro de Diamantina; essa planta tinha o objetivo de fornecer eletricidade para a mineração local, destacando-se como o maior empreendimento elétrico da América Latina à época. Pouco depois, em 1887, Porto Alegre (RS) tornou-se a primeira capital a contar com um serviço público de iluminação elétrica, inicialmente gerada por uma usina térmica. Em 1889, conforme dados históricos do setor (Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, 1988), foi inaugurada a primeira usina hidrelétrica de grande relevância para o avanço do setor no país: a UHE Marmelo Zero, localizada em Juiz de Fora (MG), que contava com dois geradores de 125 kW.

No estado de São Paulo, a pioneira foi a Usina Monjolinho, inaugurada em 1893 para atender aos municípios de São Carlos e Piracicaba (ANEEL, 2025). Em 1899, fundou-se a empresa canadense *São Paulo Tramway, Light and Power Company*, cuja atuação no sistema energético nacional foi autorizada por decreto presidencial, resultando na construção da UHE Edgard de Sousa, em Santana de Parnaíba (SP).

Com o intuito de promover o aproveitamento hidráulico dos rios, o governo estabeleceu, em 1903, a primeira regulamentação federal da energia elétrica voltada para serviços públicos, embora as concessionárias tenham continuado a firmar contratos diretamente com estados e municípios. Décadas mais tarde, por meio de decreto, o presidente Getúlio Vargas (1934) instituiu o Código de Águas, assegurando ao poder público o controle das concessionárias e determinando que o uso das quedas d'água passaria a ser prerrogativa do Governo Federal. A partir desse decreto, o Estado assumiu a fiscalização técnica, contábil e financeira das empresas do setor. No mesmo ano, foi

criado o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), que abrangia o serviço de águas e, posteriormente, em 1939, instituiu-se o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE) (ANEEL, 2025), órgão responsável por orientar e controlar o uso dos recursos hídricos e energéticos em âmbito nacional.

Paralelamente, visando desenvolver estudos de engenharia na área de geociências, foi criada em 1937 a Seção de Geologia e Petrografia, vinculada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), seguida pela Seção de Geologia Aplicada da mesma instituição (Pereira, 2015). Caminhando para o final do século XX, consolidaram-se grandes empreendimentos na bacia hidrográfica do rio Paraná — a segunda maior do país —, a exemplo da UHE Itaipu, na fronteira com o Paraguai; da UHE Ilha Solteira, na divisa entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul; e do sistema em cascata implantado no Médio e Baixo rio Tietê.

Nesse contexto de expansão, a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), estabelecida pela Lei nº 6.938/1981, tornou-se um marco regulatório essencial para o licenciamento de atividades potencialmente poluidoras ou causadoras de degradação. A PNMA consolidou-se como um instrumento fundamental para a preservação ambiental, determinando que, a partir dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA), sejam fixadas as condicionantes para a mitigação e a reparação dos danos gerados.

As construções de UHEs provocam profundas modificações na fisionomia local, além de impactos sociais, econômicos, culturais e ambientais que podem repercutir em escalas local, regional e até internacional. Como observado em barramentos recentes no rio Madeira (RO), essas obras causam mudanças irreversíveis nas paisagens devido à formação de grandes reservatórios, alterando severamente a dinâmica da fauna aquática. Para Terrin (2019), tais impactos podem originar microclimas e provocar alterações biológicas severas, levando à extinção local de espécies da fauna e da flora. Na ictiofauna, ocorre frequentemente a substituição de espécies reofilicas por táxons sedentários.

Os reservatórios formados configuram ecossistemas artificiais com ciclos e dinâmicas permanentemente dependentes da operação humana, o que submete as comunidades biológicas a uma contínua reorganização (Tundisi *et al.*, 1999). O barramento de rios — isto é, a conversão de um ambiente estritamente lótico em lêntico — promove a fragmentação de habitats e a perda de conectividade hídrica, fatores considerados os principais vetores de impacto sobre a ictiofauna nativa (Agostinho *et al.*, 2016). Simultaneamente, essas novas condições ecológicas passam a favorecer de forma

seletiva a proliferação de espécies de hábito sedentário ou de curtas migrações (Agostinho *et al.*, 2007).

2.2 QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS

A construção de reservatórios artificiais gera profundas modificações socioeconômicas e ambientais, alterando de forma significativa a flora, a fauna, a ictiofauna e a qualidade da água (Ferreira, 2020). As alterações nos atributos limnológicos podem variar desde o aumento da sedimentação e a ocorrência de florações de algas até a redução nos índices de qualidade da água, esta última decorrente da decomposição da matéria orgânica inundada (Terrin; Blanchet, 2019).

Segundo Santos (2015), a transformação dos cursos d'água em reservatórios desconfigura os padrões hidrológicos naturais. Esse processo resulta em impactos como o assoreamento e a perda da vegetação ciliar — tornando necessária a recomposição vegetal das margens —, além de provocar, fundamentalmente, a redução da vazão a jusante. Quando essas modificações ocorrem em mananciais destinados a usos múltiplos, os períodos de escassez hídrica passam a gerar conflitos de grande complexidade; nessas situações, o atendimento aos grupos prioritários é privilegiado, intensificando a disputa pelo acesso à água limpa e potável.

Mesmo diante da importância estratégica do setor para a agricultura, a pecuária, a indústria e o abastecimento urbano, os recursos hídricos sofrem severas pressões antrópicas negativas. A falta de gestão eficiente e o déficit em saneamento básico contribuem diretamente para o aumento da poluição e para o despejo contínuo de cargas orgânicas e poluentes, o que compromete a integridade dos mananciais, o bem-estar populacional e a sobrevivência dos organismos aquáticos. Diante disso, o Brasil ainda enfrenta desafios substanciais na governança de suas águas, cuja complexidade frequentemente resulta em disputas pelo uso do recurso.

Os padrões de qualidade da água no território nacional são preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/05, que estabelece a classificação dos corpos d'água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento. A viabilidade dos diversos usos das águas de um reservatório — sejam eles consuntivos ou não consuntivos — é condicionada por sua qualidade e disponibilidade física. Essa qualidade, por sua vez, sofre influência direta de fatores como o regime de precipitação, o escoamento superficial, o uso e

ocupação do solo na bacia hidrográfica, o descarte de efluentes industriais e urbanos, além de características físicas locais, como os aspectos geológicos e pedológicos (ANA, 2024).

Nesse panorama, o monitoramento contínuo das variáveis limnológicas torna-se indispensável para assegurar a conformidade do recurso e subsidiar tomadas de decisão mais assertivas em processos de mitigação de danos ambientais. De acordo com Kotamäki *et al.* (2019), na União Europeia, a precisão nos resultados do monitoramento aquático é considerada fundamental para a gestão hídrica; contudo, adaptações metodológicas em projetos de amostragem para o cumprimento de metas institucionais raramente são implementadas, o que pode mascarar pressões reais sobre as águas europeias.

Portanto, o acompanhamento sistemático da dinâmica limnológica em reservatórios é de suma importância. A confrontação periódica dos dados obtidos com as diretrizes da legislação vigente é o mecanismo que garante a manutenção de múltiplos usos e a sustentabilidade ecológica desses ecossistemas artificiais.

2.3 ICTIOFAUNA EM RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS

Usinas hidrelétricas são sistemas complexos e integrados para a geração de eletricidade. Embora sejam caracterizadas como fontes de energia limpa e renovável, suas estruturas provocam significativos impactos socioeconômicos e ambientais, causando interferências diretas na estrutura e no funcionamento ecológico das bacias hidrográficas (Tundisi *et al.*, 1993; Tundisi, 2003; Agostinho *et al.*, 2007).

Com a transformação de rios encachoeirados em reservatórios, ocorre uma mudança gradativa na composição da ictiofauna (Agostinho *et al.*, 1992). Esse processo é marcado pelo declínio das espécies reofílicas e pelo subsequente surgimento de espécies oportunistas, que são menos exigentes quanto às condições de ambientes lóticos e mais aptas a explorar as novas características lacustres (Agostinho *et al.*, 1999; Carvalho *et al.*, 2005). Adicionalmente, pode haver uma redução na diversidade biológica decorrente das pressões antrópicas associadas aos usos múltiplos do reservatório, tais como abastecimento público, irrigação, navegação, lazer, pesca e aquicultura (Tundisi, 2003).

Os impactos negativos sobre a biodiversidade da ictiofauna não se restringem à porção a montante do barramento. Segundo Terrin e Blanchet (2019), essa perda de táxons também se manifesta a jusante da barragem, alterando a dinâmica pesqueira e

causando prejuízos socioeconômicos às comunidades ribeirinhas que dependem desse recurso.

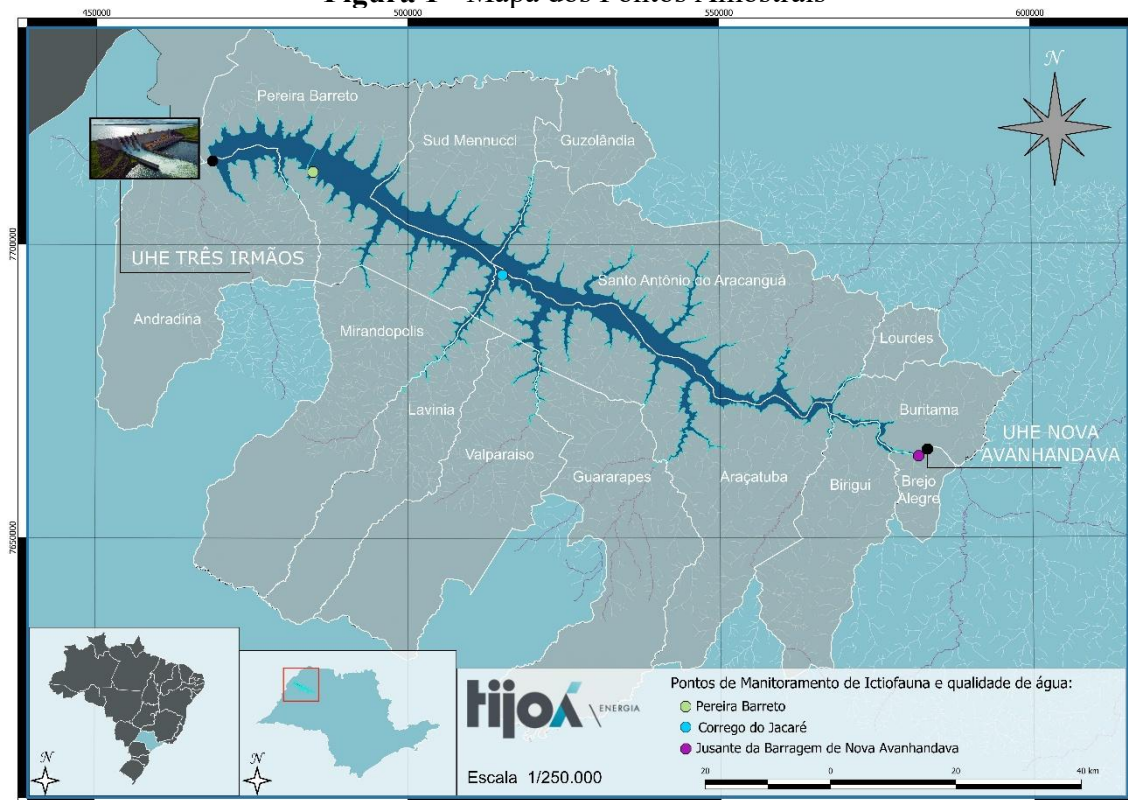
Os peixes são organismos altamente sensíveis às modificações nos ecossistemas aquáticos. Eles possuem diversos atributos ecológicos que os tornam excelentes indicadores da integridade biológica e do estado de conservação dos ambientes (Simon; Lyons, 1995). Variáveis estruturais da comunidade — como a riqueza de espécies, a abundância, a organização trófica, as estratégias reprodutivas e as condições de hígidez dos indivíduos — permitem avaliar qualitativamente o ambiente em que vivem (Karr, 1981). Além disso, os peixes apresentam grande relevância biológica e socioeconômica, o que justifica a sua centralidade em programas de monitoramento ambiental (Roset *et al.*, 2007)

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A UHE Três Irmãos está localizada na bacia hidrográfica do rio Paraná, na sub-bacia do Baixo Tietê. O rio Tietê tem sua nascente na Serra do Mar, no município de Salesópolis (SP), e percorre todo o estado até a sua foz, localizada no rio Paraná, no município de Itapura (SP), na divisa com o estado de Mato Grosso do Sul. O Baixo Tietê é constituído por uma cascata de reservatórios construídos para a geração de eletricidade. A implantação dessa cascata de usinas hidrelétricas teve início no final do século XIX, destacando-se as construções dos grandes empreendimentos hidrelétricos erguidos entre as décadas de 1970 e 1990.

Neste contexto, o reservatório da Usina Hidrelétrica Três Irmãos (Figura 1) situa-se na bacia do rio Tietê (no trecho denominado Baixo Tietê — UGRHI 19), a 28 km de sua foz no rio Paraná, abrangendo o município de Andradina (SP), próximo à divisa com o município de Pereira Barreto (SP). A região do Baixo Tietê possui uma área de drenagem de 15.703,34 km² (6,3% do território estadual) e uma disponibilidade hídrica *per capita* de 4.469,97 m³/ano/hab (ano-base 2023). Apresenta uma $(Q_{7,10})$ de 27 m³/s (vazão mínima média de sete dias consecutivos com período de retorno de dez anos, considerada um parâmetro restritivo e conservador) e uma reserva explotável de 9 m³/s. No setor industrial da UGRHI, destaca-se a fabricação de biocombustíveis, calçados e alimentos, enquanto a área rural é ocupada principalmente pelo cultivo de cana-de-açúcar e pela bovinocultura (São Paulo, 2024).

Figura 1 - Mapa dos Pontos Amostrais

Fonte: Tijoá (2026)

A construção da Usina Hidrelétrica Três Irmãos teve início em 1980, com o enchimento do reservatório ocorrendo em 1990. Possuindo uma área inundada de 702,98 km² e extensão de 133 km, o reservatório apresenta profundidades muito rasas até a metade de seu leito principal, aprofundando-se progressivamente até atingir 55 metros na região mais próxima ao barramento. Sua profundidade média é de 17 metros, com um tempo de residência hidráulica de 24 meses para a renovação total da água (Cortez *et al.*, 2025).

A temperatura da superfície (TS) da bacia do Baixo Tietê apresenta médias anuais entre 25 °C e 27 °C (Ruv *et al.*, 2021). A região caracteriza-se por relevos majoritariamente planos, e a cobertura do solo é predominantemente ocupada por atividades agrícolas e pecuárias, contando com áreas de reflorestamento no entorno do reservatório.

O clima da região é classificado como tropical continental, sendo bem definido pelas estações seca e chuvosa, com índices de precipitação que variam entre 1.000 e 1.300 mm/ano. Os meses de menor pluviosidade estendem-se de junho a agosto, enquanto o período de maior precipitação ocorre entre outubro e março, registrando-se em janeiro os maiores índices de umidade (Macuzzo, 2020). O reservatório é classificado como de usos

múltiplos, tendo como prioridade o abastecimento público, além de atividades de recreação, produção industrial, irrigação agrícola, dessedentação animal e a geração de eletricidade como fonte limpa e renovável.

3.2 PONTOS AMOSTRAIS E PARÂMETROS ESTUDADOS

Para o presente estudo foram utilizados dados de monitoramento das análises de água e do monitoramento da Ictiofauna fornecidos pela concessionária responsável pela UHE Três Irmãos, os levantamentos dos dados foram realizados por empresas e laboratórios contratados e acreditados, todas as atividades de monitoramento da ictiofauna foram respaldadas nas autorizações de manejo emitidas pelo Departamento de Fauna e Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Durante o monitoramento foram realizadas coletas trimestrais de acordo com a sazonalidade climática da região ao longo do ano hidrológico: (i) período chuvoso (verão - dezembro a fevereiro), (ii) período intermediário chuvoso-seco (outono – março a maio), (iii) período seco (inverno – junho a agosto) e (iv) período intermediário seco-chuvoso (primavera – setembro a dezembro). Os dados utilizados foram das coletas de monitoramentos realizados entre o período de março de 2015 a dezembro de 2024.

Para o monitoramento do ambiente aquático (Qualidade da Água) foram estabelecidos três perfis, sendo superfície, meio da coluna d'água e fundo da coluna d'água, em três pontos amostrais totalizando 360 amostras para o período.

Tanto para o monitoramento de qualidade da água quanto para o monitoramento da ictiofauna a fim de obter uma boa representação do reservatório foram definidos que os dois programas de monitoramento fossem realizados nos mesmos três pontos amostrais, sendo o ponto jusante da barragem de Nova Avanhandava (P1) mais a montante da UHE Três Irmãos, com características de ambiente lótico, o ponto Córrego Jacaré (P2) no meio do reservatório com características de ambiente lêntico e o ponto Pereira Barreto (P3) mais próximo ao barramento da UHE Três Irmãos, também com características de ambiente lêntico com as seguintes denominações (P1-JNA, P2-JAC e P3-JBA). A tabela 1, apresenta os pontos de coleta de água juntamente com a descrição, altitude e características do regime do ambiente. A localização geográfica dos pontos está ilustrada na figura 1. Cabe ressaltar que os pontos de coleta de água estão situados na mesma região dos pontos de monitoramento ictiológico do Programa de Manejo Pesqueiro, na porção central do reservatório, em pontos afastados das margens.

Tabela 1 - Pontos de amostragem de coleta de água da UHE Três Irmãos com as coordenadas georreferenciadas. 2015 a 2024

Nome do Ponto	Coordenadas UTM*			Descrição	Altitude (m.)	Característica do regime do ambiente
	Zona	Easting (mE)	Northings (mN)			
P1-JNA	22 K	581.405	7.663.958	Rio Tietê, a jusante da barragem de Nova Avanhandava.	330	Lótico
P2-JAC	22 K	518.220	7.694.408	Rio Tietê, na região do Córrego Jacaré, próximo ao pontilhão.	322	Lêntico
P3-JBA	22 K	484.710	7.713.919	Rio Tietê, corpo do reservatório da UHE Três Irmãos, em Pereira Barreto, à montante da ponte - Rod. Vereador Dourival da Silva Lousada.	325	Lêntico

Nota: * Coordenadas no Datum horizontal SIRGAS2000.

Fonte: Próprio autor.

Para a realização das análises da qualidade da água deste estudo foram estabelecidos 6 parâmetros analíticos, contemplando variáveis físico-químicas e inorgânica não metálica, dados esses, extraídos do programa de qualidade da água.

3.3 AMOSTRAGEM

Todos os procedimentos de amostragem de água foram realizados de acordo com a Resolução SMA nº 100/2013, que entrou em vigor na data de 17/10/2013, todos os ensaios e amostragem foram realizados sob acreditação da norma NBR ISO/IEC 17.025, seguindo os métodos descritos por:

- ISO 5667-6. 2014. *Water quality – Sampling – Part 6: Guidance on sampling of rivers and streams*;
- ANA; CETESB. 2023. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras.

As amostragens de ictiofauna foram respaldadas nas autorizações de manejo *in situ* pela Secretaria de Meio Ambiente, infraestrutura e logística, Coordenadoria de Fauna Silvestre, através do processo 3533/2015.

3.3.1 Coleta e análise de água

As coletas de água foram realizadas com o auxílio de garrafas do tipo *Van Dorn*, seu funcionamento consiste na abertura da garrafa na superfície dentro da embarcação, sendo que na profundidade desejada, a mesma é desarmada por meio de um peso de metal (mensageiro), coletando a amostra correspondente à região pretendida. A amostra na camada superficial é coletada em cerca de 0,30 m; a profundidade para a amostragem de água de fundo é calculada a partir da medição da profundidade do local, descontando-se um (1,0) metro da profundidade total; e a profundidade do meio corresponde à metade desse valor. Alternativamente, a amostra na camada superficial é realizada através da imersão direta dos frascos (sem preservantes) fornecidos pelo laboratório, na profundidade de até 0,30 m, distribuindo igualmente cada alíquota coletada em todos os frascos de análise (fracionamento).

As medições realizadas *in situ* dos parâmetros físico-químicos (oxigênio dissolvido, pH e temperatura) foram realizadas com uma sonda multiparamétrica marca HANNA, modelo HI 98194. A fim de garantir a precisão e exatidão dos resultados de campo, as medições foram realizadas em conformidade com os critérios de qualidade da norma NBR ISO/IEC 17.025, os equipamentos calibração em laboratório da Rede Brasileira de Calibração (RBC) e a verificação com padrões rastreáveis ao sistema internacional (SI), de forma a assegurar o estado de calibração.

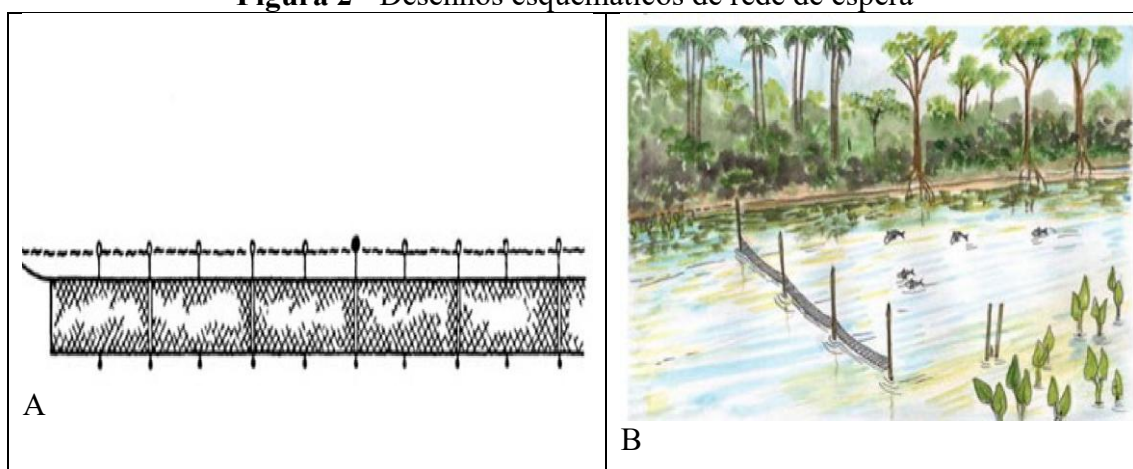
Para os ensaios das amostras dos constituintes inorgânicos não metálicos e o parâmetro de propriedade física como nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e turbidez, foram acondicionadas em frascaria apropriada (previamente limpas), com seus respectivos preservantes, conforme o parâmetro a ser analisado. Os frascos com as amostras foram armazenados em caixas térmicas com gelo e mantidas sob refrigeração < 6°C (sem congelar), desde o momento da coleta até o seu processamento em laboratório. Para a identificação das amostras coletadas nas 03 profundidades (superfície, meio de coluna e fundo), são utilizadas as nomenclaturas dos pontos de coleta, seguidas das letras “S” (superfície), “M” (meio de coluna) e “F” (fundo).

3.3.2 Metodologia de amostragem da ictiofauna

A metodologia de amostragem utilizada foi com o emprego de redes de espera (24 h de exposição). As redes de espera são compostas de monofilamento de nylon, com

malhas entre 30 e 200 mm entre nós, e foram agrupadas em lotes com altura variando de 1,50 a 2,50 metros, em função do tamanho das malhas, e comprimento padrão de 20 metros, totalizando 240 m de comprimento de rede exposta. As redes ficaram expostas por 24 horas, entre o final da tarde e retirada ao final da tarde do dia seguinte, com o objetivo de capturar uma maior quantidade de espécies correspondendo ao período de maior atividade para as espécies de peixes de águas doces tropicais sul-americanas (Bennemann *et al.*, 2000). A figura 2 apresenta o desenho esquemático das disposições das redes de espera nos pontos de monitoramento.

Figura 2 - Desenhos esquemáticos de rede de espera



Fonte: (A) <http://www.fao.org/fishery/geartype/220/en>; (B) Silva *et al.* (2016)

Os exemplares de peixes capturados nas redes de espera foram cuidadosamente desmalhados e mantidos em balde com água para serem identificados, fotografados, contados e mensurados (comprimento padrão e peso). A identificação foi realizada em campo, comparando-se aspectos da morfologia com informações da literatura pertinente e chaves de identificação. Quando da obtenção de exemplares de difícil identificação, estes foram coletados (até quatro por morfoespécie), realizado o método de eutanásia com a utilização de anestésico óleo de cravo (substância fenólica obtida da destilação das folhas/caule/flores do cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*), com composição de 70 a 95% do seu princípio ativo, o eugenol (Mazzafera, 2003), para aliviar a maioria das reações de estresse, conforme recomendação da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA, <https://ceua.unipam.edu.br/index.php/ceua>). A utilização do anestésico se dá forma de banho de imersão na embarcação, porém em razão da natureza hidrofóbica da substância, fez-se uma solução-estoque em álcool, e após, o anestésico foi diluído em água. Após este manejo, os indivíduos capturados foram submetidos a choque térmico, a

fim de preservar suas características, e acondicionados em sacos plásticos com identificação de local, hora de despesca e rede de origem. Todos os procedimentos estão respaldados nos critérios definidos pela Resolução CFBio nº 301/2012 (a qual dispõe sobre os procedimentos de captura, contenção, marcação, soltura e coleta de animais vertebrados *in situ* e *ex situ*). Posteriormente, esses exemplares foram encaminhados para identificação e depositados em Coleção Científicas de Departamentos de Tombamento e Acervo Técnico.

Os peixes capturados foram separados e contabilizados de acordo com a sua classificação trófica, peixes alóctones na bacia do alto rio Paraná e nativos da bacia.

3.3.2.1 Análise dos dados

Através dos dados do período de 10 anos de coletas foram realizados para este estudo os seguintes parâmetros.

- . Composição taxonômica
- . Curva acumulativa de espécies
- . Diversidade de Shannon-Wiener
- . Classificação das espécies por categoria trófica
- . Similaridade entre os pontos amostrais

Os dados foram padronizados e utilizados para as análises realizadas. Os índices de Diversidade de Shannon-Wiener foram determinados para os dados obtidos em cada ponto e período, apresentados os resultados em forma gráfica, os dados foram processados no RStudio (Posit Software, 2025).

Índice de Dominância de acordo com Beaumord & Petrere (1994), a fim de determinar quais espécies são mais representativas nos pontos amostrais.

Similaridade da ictiofauna entre os pontos de amostragens, de acordo com a composição e a abundância, utilizando o Índice de Similaridade, estas análises foram realizadas utilizando RStudio (Posit Software, 2025).

Os dados de riqueza de táxons durante os 10 anos de levantamentos de dados foram realizados para traçar a curva acumulativa de espécies. Esta curva foi representada graficamente para cada local de forma individual e para o conjunto de dados, permitindo assim inferir se ocorrerão novas espécies a partir de monitoramentos futuros. As análises

para o estimador de riqueza de espécies, foi utilizado a função *poolaccum* do pacote *vegan* (Oksanen *et al.*, 2023), RStudio (Posit Software, 2025).

Os grupos tróficos das espécies de peixes foram classificados em categoria trófica através da classificação de preferências alimentares de peixes da bacia do alto Rio Paraná (hahn *et al.*, 1998; Zaganini, 2009; Silva *et al.*, 2012).

Os peixes que se alimentam no substrato, ingerindo junto aos itens alimentares, considerando boa quantidade de sedimento, são classificados como bentófagos. Predominante são encontrados nestes substratos tecamebas, rotíferos, nematoides, microcrustáceos, moluscos e larvas de insetos.

Insetívoros: peixes que ingerem tanto as formas larvais ou ninfas aquáticas de insetos em diferentes substratos (predominado os quironomídeos, tricópteros e efemerópteros), os insetos terrestres em fase adulta, geralmente são capturados na superfície (predominando efemerópteros recém emergidos, coleópteros e hemípteros).

Piscívoros: são os grupos de peixes que ingerem preferencialmente outros peixes, incluindo espécies forrageiras e formas jovens de outras espécies. Podendo complementar sua dieta com insetos, vegetais ou outros invertebrados, porém em proporções muito baixas.

Os grupos de peixes que tem preferência por ingestão de lodo rico em matéria orgânica em fase moderada de decomposição são classificados como detritívoros, acompanhada de exúvias e fragmentos de invertebrados, a partir de depósitos de fundo ou sobre substratos verticais. As espécies agrupadas nessa categoria têm estômagos ausentes ou rudimentares.

Os Iiófagos são peixes que ingerem grandes quantidades de lodo com matéria orgânica já em fases de decomposição avançada, juntamente com micro-organismos, a partir de depósitos de fundo ou sobre substratos verticais. As espécies agrupadas nessa categoria têm estômagos com especializações anatômicas refinadas no trato digestivo, como por exemplo, o estômago mecânico além do químico.

Onívoros: são espécies que se alimentam desde algas (unicelulares e filamentosas) até vegetais superiores e de invertebrados até peixes.

Herbívoros: estas são espécies classificadas por ter sua alimentação essencialmente sendo parte de vegetais superiores, como folhas, sementes e frutos de plantas aquáticas e terrestres.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as análises realizadas nos estudos de qualidade da água, ictiofauna e correlação entre as duas matrizes estudadas foram utilizados o coeficiente de correlação de Spearman, análise multivariada para entender como as variáveis de água interagem entre si, foi utilizada a matriz de base para a análise mais robusta como, Análise de Redundância (RDA), Análise de Integridade Biótica (IIB) adaptado, e Escalonamento Multidimensional Clássico (MDS), as análises foram executadas no software R v.2024.04.2, utilizando os pacotes vegan para ordenação, tidyverse para a manipulação dos dados e ggplot 2 para a criação dos gráficos.

A sub-bacia do baixo Tietê no trecho no qual foi realizado o estudo é enquadrado como classe 2, conforme o Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1977. Sendo assim os resultados das análises amostrais (superfície, meio e fundo) foram comparados com os padrões de qualidade estabelecidos pelo Artigo 15 da Resolução CONAMA nº 357/05 (água doce Classe 2). O baixo Tietê está inserido na bacia do Rio Paraná.

Buscando uma análise mais sistemática dos dados, optou-se pela discussão por ponto de estudo (ambiente lântico e ambiente lótico), por perfil de profundidade (superfície, meio e fundo) e ano, para a matriz água foi discutido os resultados obtidos por parâmetros analisados e para a ictiofauna foi realizado a discussão por guilda alimentar e por grupos ictios (alóctones e nativos).

4.1 MATRIZ ÁGUA

Para a análise dos dados obtidos da matriz água, foi considerado as coletas realizadas no ponto com característica de ecossistema lótico e coletas em dois pontos de característica de ecossistema lântico com as denominações (P1-JNA, P2-JAC e P3-JBA), considerando os três perfis verticais: superfície, meio da coluna d'água e fundo.

O quadro 1 apresenta os parâmetros analisados no reservatório da UHE Três Irmãos, que foram utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa assim como as matrizes utilizadas no estudo.

Para a interpretação dos dados de qualidade da água foram realizadas análises estatísticas de:

Serie temporal de 10 anos (2015-2024)

Teste de Mann-Kendall comprovando tendências

Matriz de Correlação e P-valores explicando as relações físico-químicas

Análise de Profundidade demonstrando potencial de estratificação do reservatório

Quadro 1 - Apresentação dos parâmetros analisados

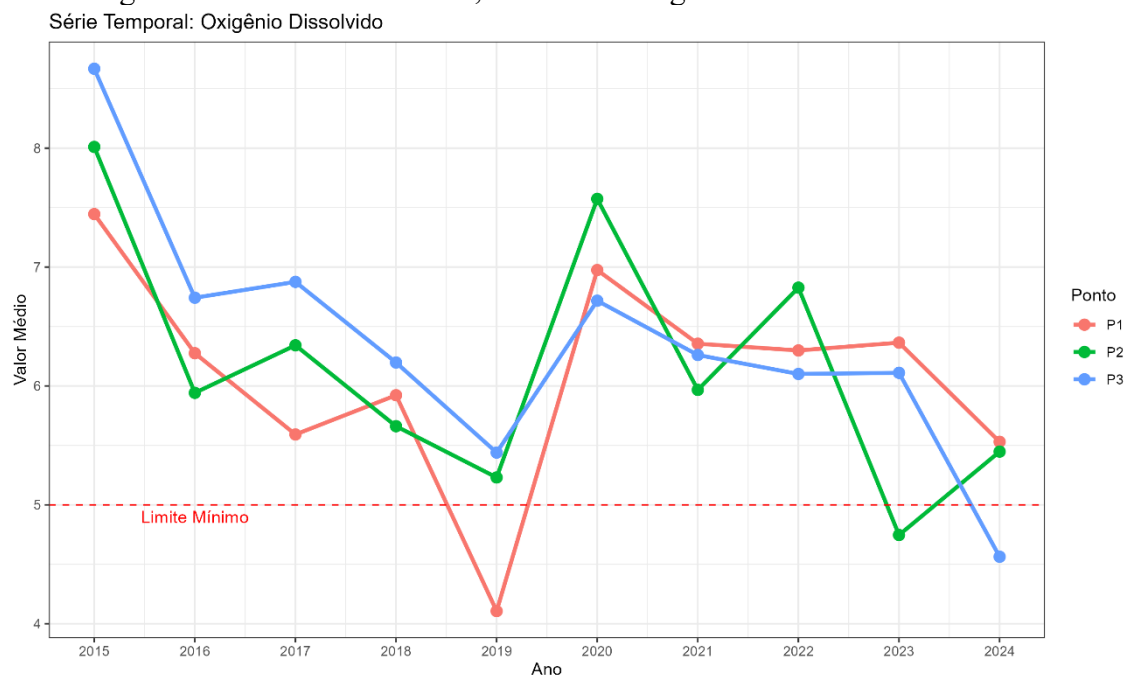
Parâmetro	Unidade	Resolução CONAMA 357/05 Art. 15
Medições físico-químicas em campo		
Oxigênio Dissolvido	mg/L	não inferior a 5
Potencial hidrogeniônico - pH	-	Entre 6,0 e 9,0
Temperatura	°C	-
Propriedades físicas		
Turbidez	NTU	100
Inorgânicos não metálicos		
Nitrato (como N)	mg/L	10
Nitrito (como N)	mg/L	1,0
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	3,7; para $\text{pH} \leq 7,5$ 2,0; para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$ 1,0; para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$ 0,5; para $> 8,5$

Fonte: Próprio autor.

4.1.1 Oxigênio Dissolvido (OD)

Os dados apresentados na figura 3 é referente às concentrações detectadas nos pontos de coletas durante o período de 10 anos de amostragens, para o Oxigênio Dissolvido (OD).

Figura 3: Medidas das concentrações de OD nos três pontos amostrais, P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avanhandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto.



A análise da Figura 3 evidencia que o período de 2015 apresentou resultados discrepantes em relação aos demais anos, com concentrações de oxigênio dissolvido (OD) variando entre 7,5 e 9,0 mg/L. Esse comportamento pode ser atribuído à crise hídrica severa que atingiu o Estado de São Paulo entre 2014 e 2015. Durante esse evento extremo, o reservatório da UHE Três Irmãos operou com volume útil zerado. Para atender à demanda energética, a usina manteve elevadas as vazões de afluência e defluência, o que resultou em: (i) redução do tempo de residência da água; (ii) desestratificação térmica e química da coluna d'água; e (iii) intensa mistura vertical, provocando maior oxigenação. A normalização das variáveis limnológicas e do nível hidrométrico ocorreu a partir de 2016. Os dados hidrológicos complementares obtidos junto ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), incluindo vazões e volume útil, encontram-se detalhados no apêndice nas figuras 28, 29 e 30.

A resolução CONAMA, nº 357/05 (Artigo 15), estabelece que o oxigênio dissolvido não seja inferior a 5mg/L para corpos d'água classe 2, conforme apresentado na figura 3, a média anual do OD manteve-se acima do mínimo estabelecido em praticamente todos os anos de amostragem.

No ano de 2019 a média anual nos três perfis verticais no ponto 1 de amostragem ambiente lótico esteve abaixo do mínimo estabelecido. No ano de 2023 apenas o ponto 2 esteve abaixo do estabelecido pela Resolução, no ano 2024, o ponto 3, ambiente lêntico no meio da coluna d'água e fundo estiveram abaixo do estabelecido na resolução.

Em geral a concentração de OD no reservatório durante os 10 anos analisados, manteve-se dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA, com algumas variações no extrato hipolímnio (perfil de fundo) ocorrendo uma redução gradual ficando abaixo do estabelecido. Nos pontos lênticos nos anos 2023 e 2024, fator comumente esperado para o tipo de ambiente em reservatórios, a média mais baixa observada foi em 2024 com valores de 2,79 mg/L no perfil de fundo. Segundo Gama (2020) esta depleção gradativa do OD nas zonas mais profundas pode contribuir para a mortandade de peixes, algo não observado durante o período do estudo. Já no perfil de superfície a média esteve entre 10,6 e 6,8 mg/L e no meio da coluna d'água a média variou entre 9,5 e 4,1 mg/L.

Na figura 4 podemos observar o fator de coloração para o OD e a temperatura, a coloração quanto mais azul maior é o índice obtido na média anual do resultado de OD, e quanto mais baixo é a temperatura da água mais alaranjada são as barras de coloração. Estes índices são maiores nas camadas onde o oxigênio é produzido no epilímnio (camada superficial) e conforme vai caminhando para a camada do hipolímnio (perfil de fundo) com a coloração mais avermelhada menores são os índices de OD, mostrando uma depleção do oxigênio dissolvido, e menores temperaturas.

Figura 4 - Médias anuais dos perfis verticais analisados para Oxigênio Dissolvido e Temperatura (°C).

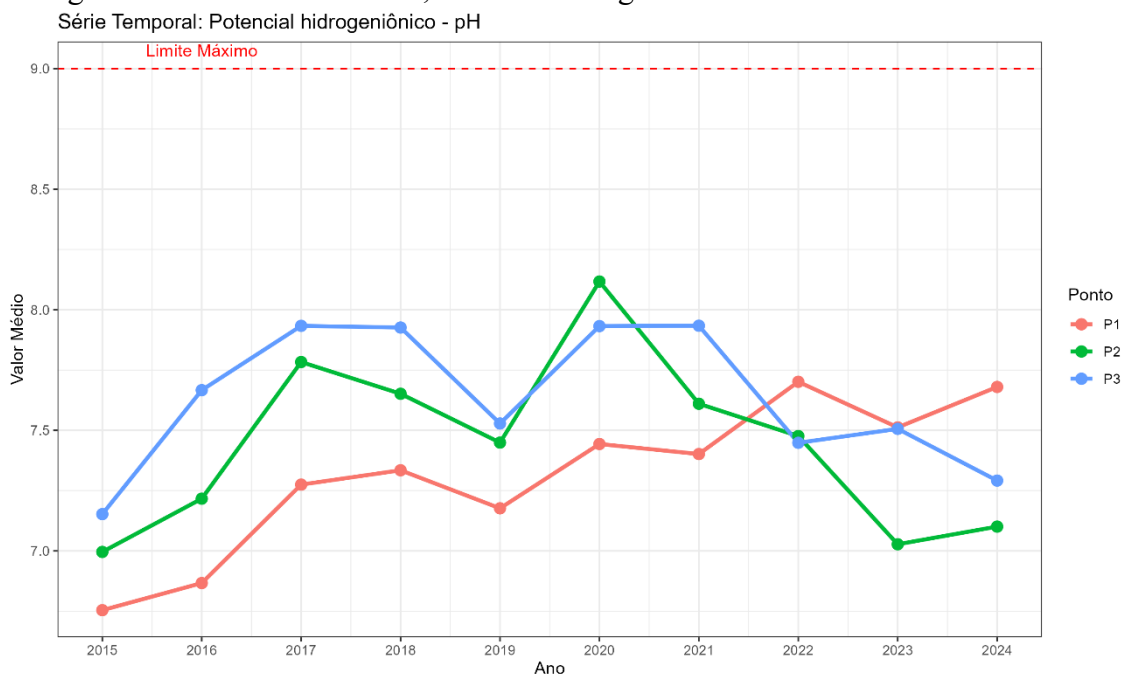
Ano	Oxigênio Dissolvido mg/L				Temperatura °C		
	Superfície	Meio	Fundo		Superfície	Meio	Fundo
2015	Dark Blue	Dark Blue	Light Blue		Orange	Orange	Orange
2016	Blue	Blue	Dark Blue		Light Green	Light Green	Light Green
2017	Blue	Blue	Dark Blue		Light Green	Light Green	Light Green
2018	Blue	Blue	Dark Blue		Light Green	Light Green	Light Green
2019	Blue	Dark Blue	Red		Light Green	Light Green	Light Green
2020	Blue	Blue	Dark Blue		Orange	Orange	Orange
2021	Blue	Blue	Dark Blue		Light Green	Light Green	Light Green
2022	Blue	Blue	Dark Blue		Light Green	Light Green	Light Green
2023	Blue	Dark Blue	Red		Light Green	Light Green	Light Green
2024	Blue	Dark Blue	Red		Light Green	Light Green	Light Green

Fonte: Próprio autor.

4.1.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Dados do pH considerando os 10 anos de amostragens nos três pontos amostrais, figura 05.

Figura 5: Medidas das concentrações de pH obtidas nos 10 anos, P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avanhandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto.



Fonte: Próprio autor.

Analisando-se a figura 5 nota-se que em todo o período de amostragens o pH manteve-se dentro dos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 357/15 art. 15, que define pH entre 6,0 e 9,0 para corpos d'água classe 2, em todos os três pontos e perfis. O menor valor registrado do pH foi no ponto 1 ambiente lótico no ano de 2015, com resultado encontrado em 6,88, caracterizado como ambiente lótico no perfil meio da coluna d'água. O maior valor registrado do pH foi no ano de 2020 no perfil meio da coluna d'água ponto 2, com resultado acima de 8, os demais anos tiveram variações entre 7,89 e 7. O ponto P3 apresentou seu menor valor na média anual no ano de 2015 e seu maior valor no ano de 2017 e 2021.

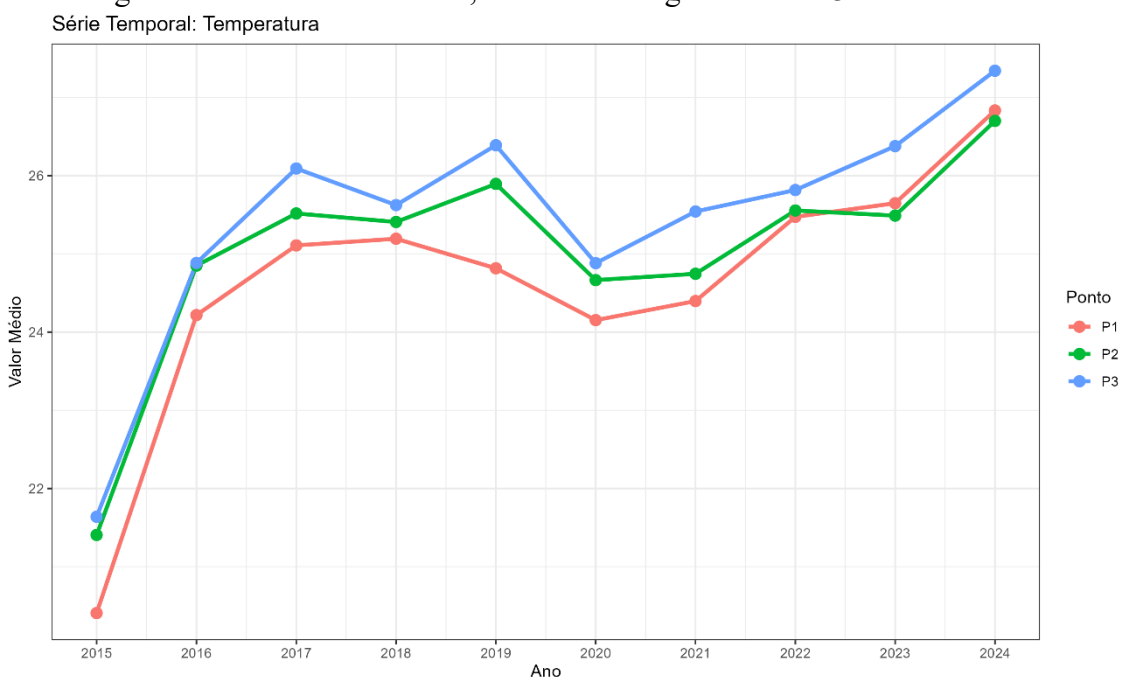
Observa-se que os padrões apresentados nas médias anuais em todo o período de amostragem, o reservatório não sofreu impacto redox oxidação-redução, em nem um dos três pontos e perfis superfície, meio e fundo, estas medições demonstram que a vida dos peixes não sofreu consequências pela variação do pH. As oscilações muito relevantes do

pH concomitante com outras variáveis podem causar impactos na vida dos peixes, algo não observado no período do estudo (Correia 2024; Schork; Zaniboni-Filho, 2018).

4.1.3 Temperatura da água

Na figura 6 estão apresentados os dados da média anual da temperatura (°C) aferida nos três perfis verticais obtidos nos três pontos de coletas de água, apresentados separadamente.

Figura 6: Médias anuais dos pontos analisados, para temperatura (°C), P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto.



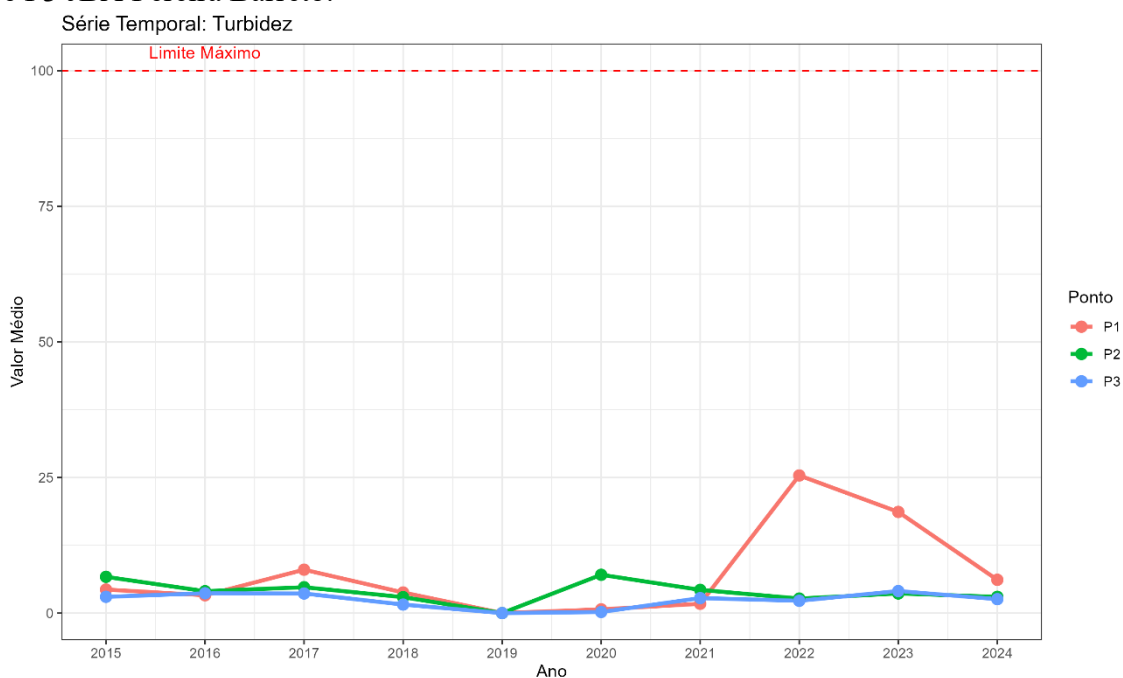
Fonte: Próprio autor.

A temperatura das análises de água nos três pontos estudados variou entre mínima de 19,9°C (ano 2015) no ponto 1 ambiente lótico e máxima de 27,05°C (ano 2024) no ponto 2 ambiente lêntico. No perfil meio da coluna d'água variou entre 20,05°C (ano 2015) ambiente lótico e 26,9°C sendo a maior medição, para o mesmo perfil em 2024, ambiente lêntico. No fundo da coluna d'água as medições mantiveram os padrões dos outros dois perfis sem grandes variações. As médias anuais nos três pontos estudados apresentaram variações de temperatura, com variações entre os anos estudados, ocorrendo oscilações que variaram entre 24° C e 26,9° C entre o período de 2016 e 2024 com maior elevação nos três pontos em 2024, vale destacar que não tem estabelecido parâmetro de qualidade de temperatura na Resolução CONAMA nº 357/05 (Artigo 15).

4.1.4 Turbidez

Os dados das tendências das médias anuais de turbidez, assim como as concentrações detectadas nos três pontos e perfis verticais dos pontos de amostragem considerando os 10 anos de monitoramento de 2015 a 2024, estão presentes na figura 7.

Figura 7: Medidas das concentrações de turbidez (NTU) nos três pontos para o período de 10 anos, P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avanhandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto.



Fonte: Próprio autor.

Analisando a figura 7 pode-se observar que a média anual de 2015, esteve abaixo 2,5 NTU para o perfil da superfície ponto 1, ambiente lótico, o resultado de 3,0 NTU no ano de 2016, ambiente lótico, no ano de 2017 o ponto 1 perfil superfície teve uma elevação na turbidez chegando a 8,5 NTU no ponto 1 superfície, em 2018 a turbidez registrada foi de 4,49 na média anual no ponto 1, já em 2019 em todos os três pontos e nos três perfis não foi registrado turbidez. Em 2020 os três pontos na superfície variaram entre 0, 1,6 e 0,6 sequencialmente, no ano 2021 no perfil superfície ponto 1 ambiente lótico a média anual registrada foi de 1,84 NTU, nos pontos 2 e 3 ambientes lótico a média anual registrada foi de 7,37 e 3,54 NTU sequencialmente. O maior registro foi em 2022 com média anual próximo a 25,0 NTU no perfil superfície para o ponto 1, ambiente lótico e 6,61 no mesmo ponto no ano 2024.

O meio da coluna d'água no ponto 2 ambiente lântico, a turbidez variou entre 7 e 1,3 NTU entre os anos de 2015 a 2018, em 2019 não obteve registro de turbidez, entre 2020 a 2024 a turbidez variou entre 0 a 24,0 NTU, sendo o maior registro no ponto 1 ambiente lântico e o menor registro no ponto 3 ambiente lântico.

O perfil fundo da coluna d'água pode ser observado na figura 7 as médias anuais registradas em 2015 5,28 no ponto 1 ambiente lântico e 9,08 ambiente lântico, para o ano de 2016 3,63 NTU no ponto 1 e 2,1 NTU no ponto 3, em 2017 e 2018 a turbidez variou entre 8,2NTU no ponto 1 e 1 NTU no ponto 3, não obtendo registro no ano de 2019, em 2020 a máxima registrada foi de 5,73 no ponto 2 ambiente lântico, entre nos anos de 2021 e 2022 variou entre 1,3 e 3,24 no ponto 1 e nos pontos 2 e 3 ambiente lântico variou entre 1,22 e 4,53 NTU. Em 2022 no ponto 1, com variações entre 1,69 e 3,06 NTU no ambiente lântico.

As amostragens das coletas realizadas nos 10 anos de monitoramento mantiveram as médias dentro dos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/05 (Artigo 15) para corpos d'águas classe 2 que determina a turbidez em até 100 NTU. Em todo o período estudado as médias apresentaram concentrações abaixo do valor de referência. No perfil de superfície nos anos de 2019 e 2020 não obteve registro de turbidez no ponto 1 ambiente lântico, tendo seu maior registro da média anual no ponto 1 em 2022 ficando próximo a 25,0 NTU.

Nas amostragens do meio da coluna d'águas as médias anuais apresentaram variações bem próximas entre os anos de 2015 a 2018 com concentrações entre 5,25 no ponto 1 e 2,98 no mesmo ponto, para o ambiente lântico durante o período a média variou entre 7 a 1,0 NTU e 0,0 a 5,1NTU no ambiente lântico entre os anos de 2019 a 2024.

Para o perfil fundo, analisando a figura 7 é possível verificar que o parâmetro estudado apresentou variações ao longo dos 10 anos de estudo, a média anual variou entre 5,28 NTU em 2015 e 2,9 em 2024 com o maior registro sendo realizado no ponto 1 em 2023 com registro de 20,52 NTU de Turbidez.

Para todo o período analisado o índice de turbidez esteve bem abaixo do máximo estipulado na Resolução CONAMA.

Conforme apresentados na figura 7 os índices de turbidez no ponto 1 caracterizado como ambiente lântico nos três perfis de profundidade apresentou maiores variações em relação aos outros 2 pontos que são caracterizados como ambiente lântico.

Os perfis meio e fundo da coluna d'água sofreram maiores concentrações e variações de turbidez esta situação pode estar relacionada às cargas sedimentares no

fundo do reservatório, para o perfil de superfície a turbidez está relacionada aos sedimentos carregados por precipitação Zannin, Bonumá e Franco (2017).

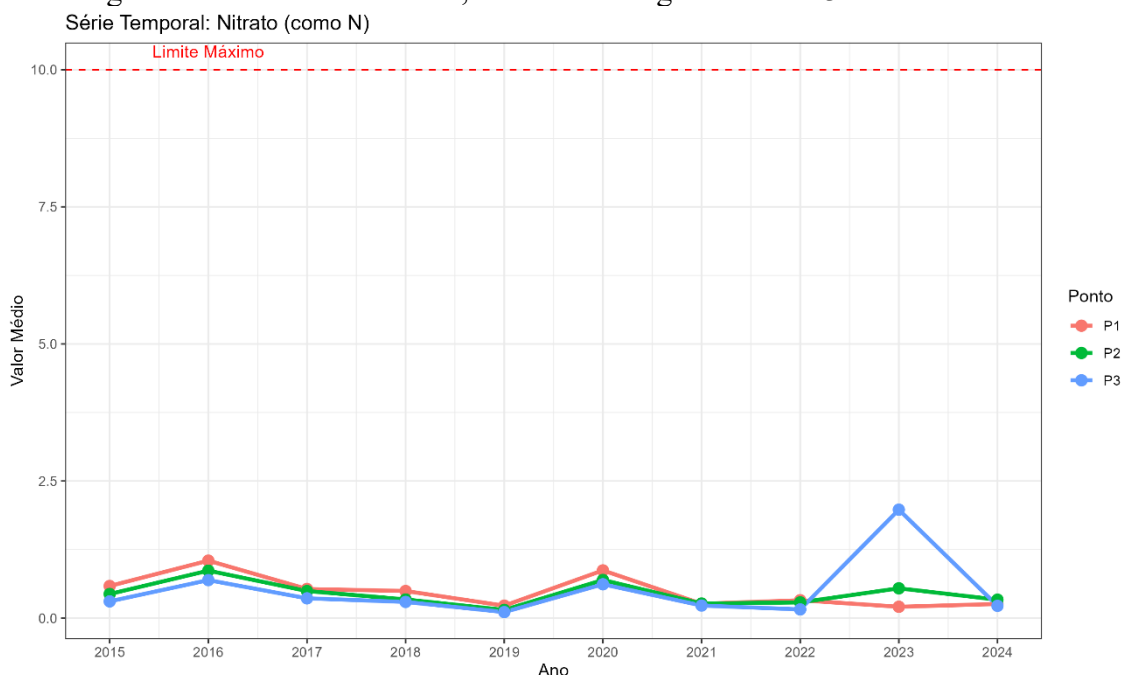
Comparando o comportamento dos perfis analisados entre ambiente lântico e lótico as maiores taxas de turbidez foram registradas no ambiente lótico, este comportamento pode estar relacionado a maiores movimentações da água neste ambiente já para o ambiente lântico por se tratar de água mais parada sem movimentações é comum a baixa concentração de turbidez nestes ambientes.

As maiores contribuições para o aumento da turbidez nestes ambientes podem estar relacionadas ao período de chuva, (Mochek; Pavlov 2021), visto que em todas as médias de turbidez anuais ao longo de todo período analisado esteve relacionado com os períodos de maiores índices pluviométricos já para os anos que registraram menores índices de chuva a turbidez também foram menores.

4.1.5 Nitrato e nitrito

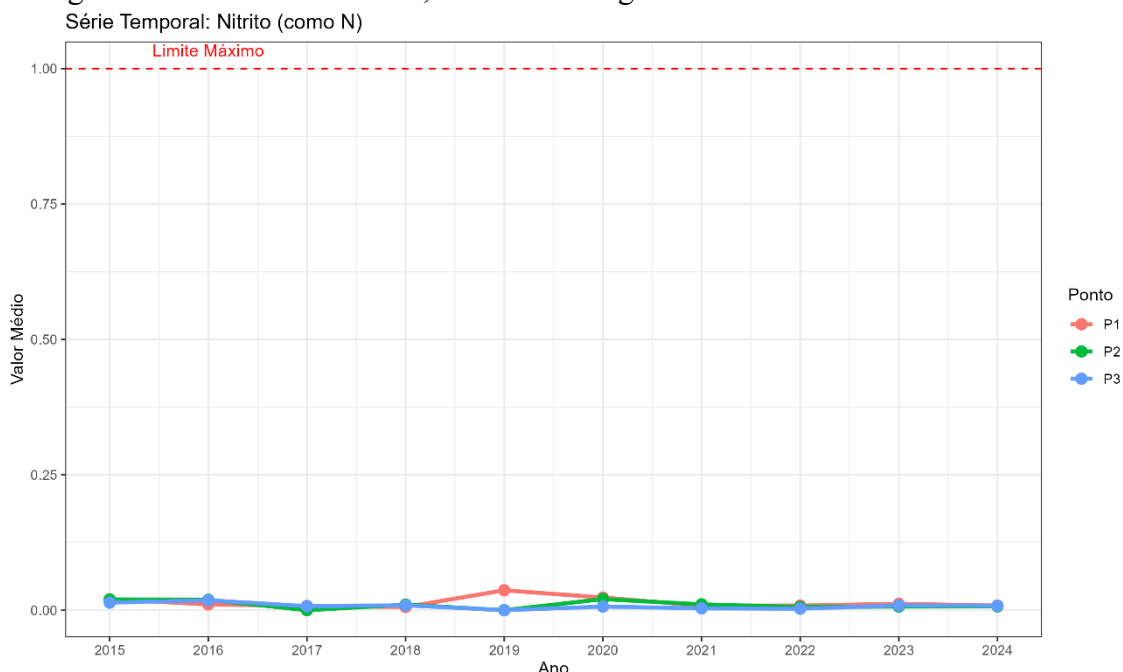
Os dados das médias anuais dos três pontos e perfis apresentados das concentrações de nitrato (figura 8) e nitrito (figura 9) para o período de amostragem de 2015 a 2024.

Figuras 8 - Concentrações de Nitrato (mg/L) nos três pontos amostrais, P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto.



Fonte: Próprio autor.

Figura 9 - concentração de Nitrito (mg/L) nos três pontos amostrais, P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avanhandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto.



Fonte: Próprio autor.

A partir dos dados apresentados na figura 8 podemos observar que nos três pontos amostrais tanto no ambiente lêntico como no ambiente lótico e nos três perfis de amostragem o nitrato permaneceu abaixo do máximo permitido na Resolução CONAMA que determina que o nitrato não seja superior a 10 mg/L. Durante o período estudado, os anos que obtiveram maiores concentrações neste dois parâmetros foram 2016 e 2023 com resultados de análises próximos a 2 mg/L no ponto 1, perfil superfície já em 2023 no ponto 2, perfil fundo da coluna d'água o resultado da análises mostrou que o nitrato estava na média anual em 1,47 mg/L, no ponto 3 nos perfis superfície e meio da coluna d'água o resultado mostrou que na média anual o nitrato esteve acima de 2 mg/L e no perfil de fundo o resultado foi de 1,71 mg/L, todos os dois pontos 2 e 3 sendo caracterizado como ambiente lêntico. Os demais anos estudados os resultados para nitrato permaneceram abaixo de 1 mg/L.

O componente nitrito (figura 9) que também foi analisado, não apresentou resultados elevados, em todos os 10 anos estudados, o nitrito esteve com a média anual abaixo de 0,5 mg/L, em todos os perfis e pontos analisados, lênticos e lótico.

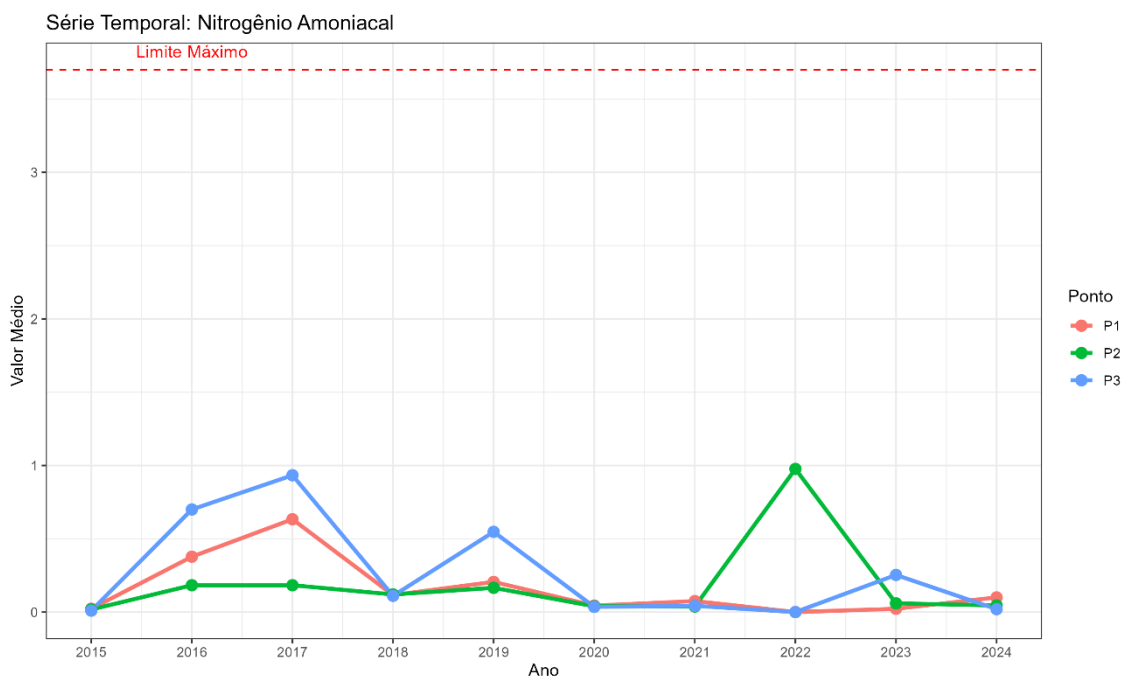
Analizando as figuras 8 e 9 podemos observar que tanto o nitrato quanto o nitrito as médias apresentadas nos três perfis nos dois pontos lênticos e no ponto lótico, durante

todo o período estudado os componentes estiveram abaixo do máximo estipulado pela Resolução CONAMA nº 357/05 (Artigo 15), que determina que o nitrato não seja superior a 10 mg/L, para corpos d'águas classe 2, os dados obtidos durante o estudo não influenciaram na vida aquática.

4.1.6 Nitrogênio amoniacal

As concentrações de nitrogênio amoniacal estão apresentadas na (figura 10) com baixas oscilações para o período estudado de 2015 a 2024.

Figura 10: Concentrações de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) nos pontos amostrais, P1 JNA Jusante da barragem de Nova Avanhandava, P2 JAC Córrego Jacaré e P3 JBA Pereira Barreto.



Fonte: Próprio autor.

Com relação aos dados apresentados na figura 10 observa-se que no ano 2015 a média anual foi de 0,1 mg/L de nitrogênio amoniacal nos três pontos analisados ambiente lântico e lótico, em 2016 a média anual ficou abaixo de 1,0 mg/L, nos três pontos.

Em 2016 no ponto 1 ambiente lótico o nitrogênio amoniacal permaneceu com média anual de 0,60 mg/L, próximo a 1 mg/L no ponto P3 e abaixo de 0,5 mg/L no ponto P1, em 2017 os resultados ficaram próximos ao registrado no ano anterior nos três pontos amostrais. Nos anos de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2024, o nitrogênio amoniacal esteve abaixo de 0,5 mg/L em todos os pontos lânticos e lótico para o perfil meio da coluna

d'água, em 2022 no ponto 1 ambiente lótico não foi registrado nitrogênio amoniacal, no ponto 2 ambiente lêntico foi registrado a média anual de 2,93 mg/L, em 2023 a média anual foi de 0,7 mg/L de nitrogênio amoniacal no ponto 3.

Conforme pode ser observado apenas o ponto P2 em 2022 apresentou variações distante dos pontos 1 e 3 chegando a 1 mg/L enquanto os demais pontos estiveram próximo a 0 mg/L.

Analisando a figura 10 nos três pontos estudados ambiente lêntico e lótico nos três perfis o nitrogênio amoniacal apresentou variações entre 0,00 mg/L e 1,27 mg/L, sendo que apenas em 2022 no ponto 2 perfil meio da coluna d'água ambiente lêntico esteve com resultado pontualmente acima do valor máximo estabelecido como padrão de qualidade pela referida Resolução CONAMA nº 357/05 (Artigo 15), 2,0 mg/L N, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$ o resultado da média anual obtido foi de 2,93 mg/L. Nos demais anos estudados não foi observado tendência de aumento em nem um perfil de profundidade e nem nos pontos amostrais.

4.1.7 Série temporal

A figura 11 com as facetas (quadros separados) para os parâmetros analisados 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.

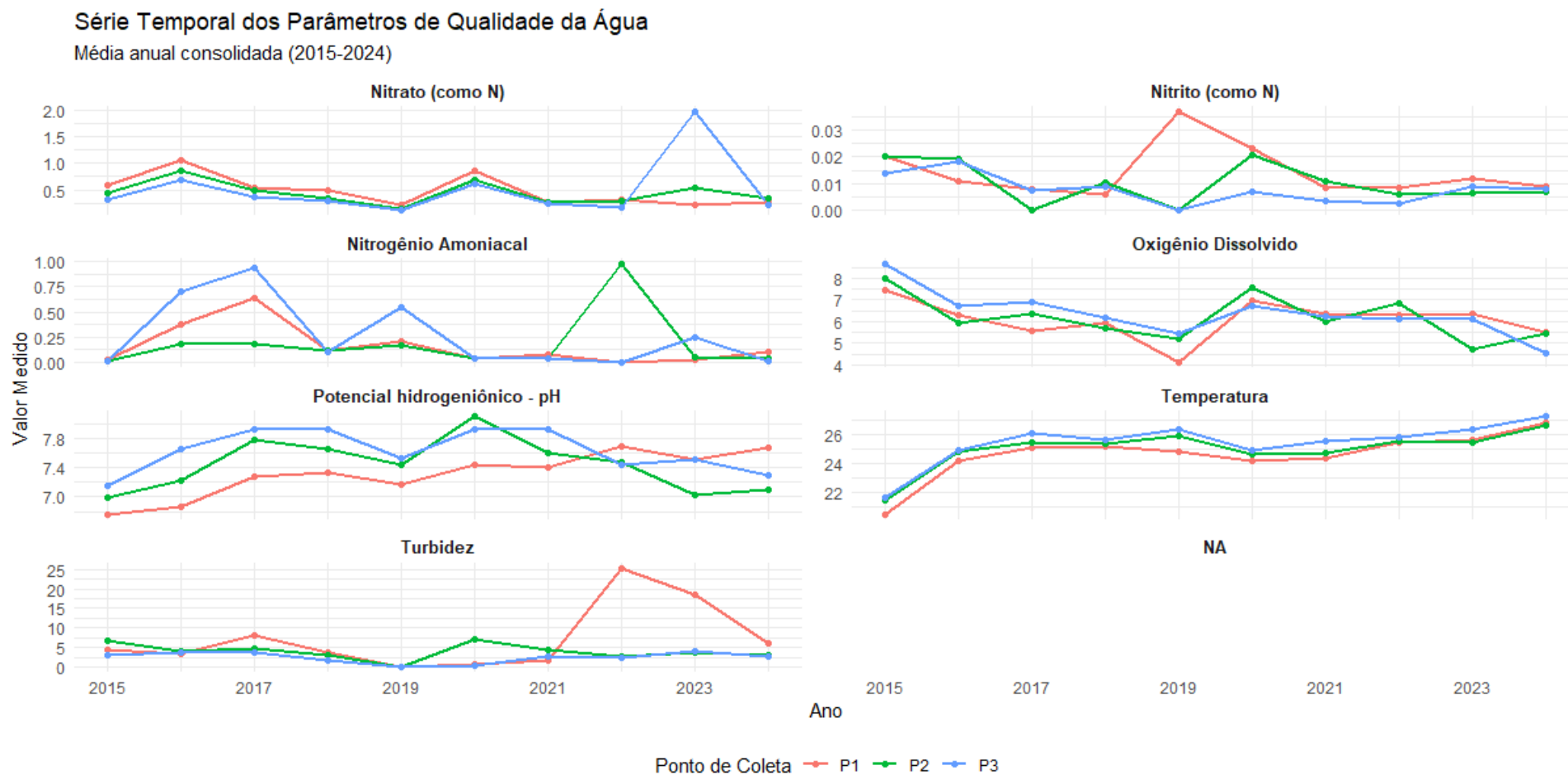
Na figura 11 podemos observar que o nitrogênio e o Nitrito apresentaram um pico de elevação no ponto 1 em 2019, coincidindo com a queda do (OD), mostrando um indicativo de algum evento pontual de elevada carga orgânica indicando processo de eutrofização.

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.

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.

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).

Figura 11 - 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.

A figura 12 demonstra o boxplot, em que os parâmetros físicos e químicos não se distribuem de forma homogênea nos perfis da coluna d'água apresentando uma estratificação vertical esperada para reservatórios de acumulação.

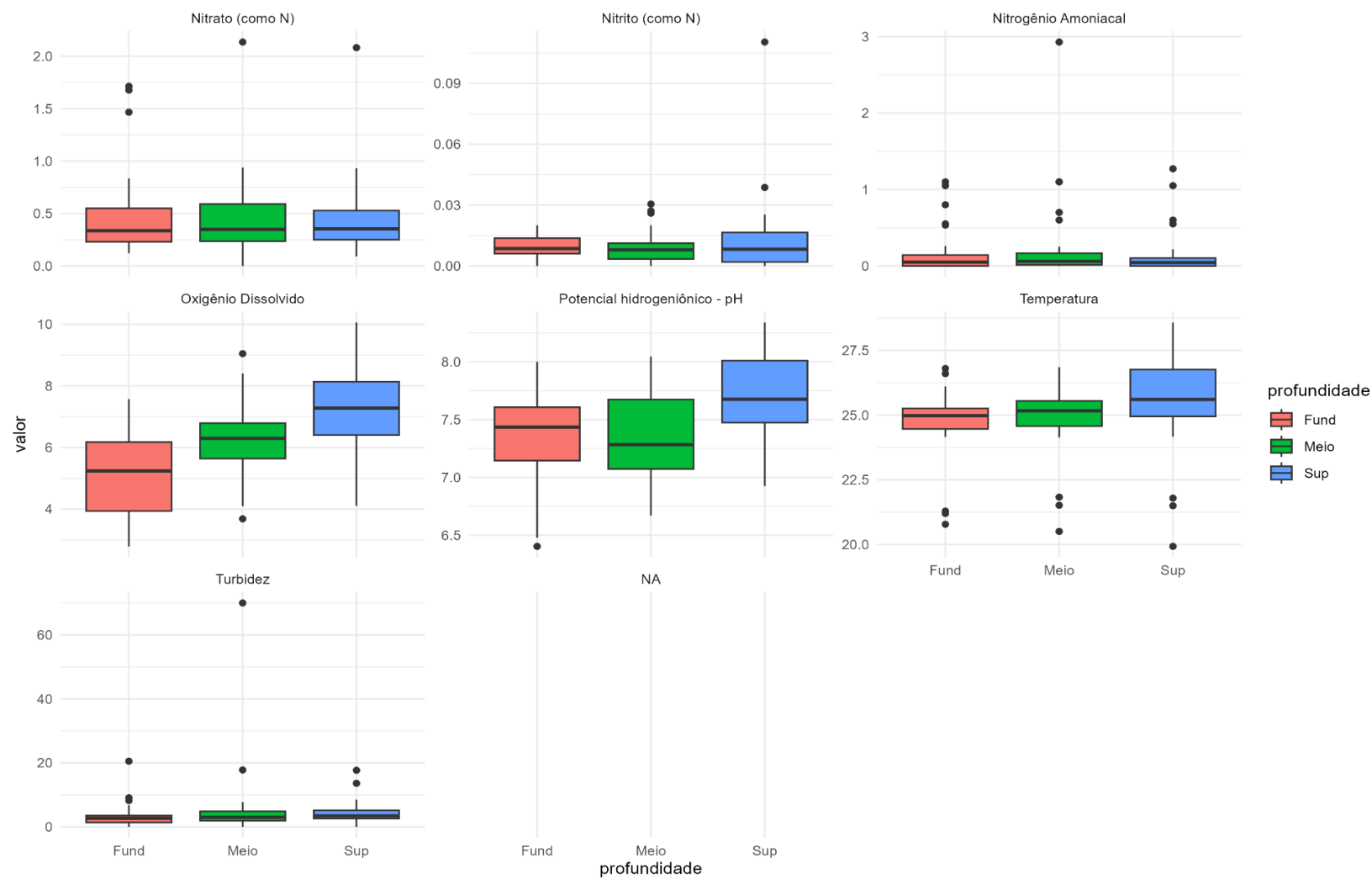
O gráfico de OD é o que mais apresenta alterações nos níveis estudados, podemos observar que a mediana de superfície está acima de 7 mg/L, enquanto no fundo a mediana cai para próximo de 5 mg/L, apresentando um consumo de oxigênio no fundo, podendo ter relação com a decomposição da matéria orgânica no sedimento.

A temperatura e o pH ambos seguem o mesmo padrão nos três perfis verticais, a temperatura na superfície apresenta medições mais elevadas em relação ao meio da coluna d'água e fundo por receber maior incidência solar, o mesmo acontece com o pH que é mais alto na superfície podendo ter ligação com a atividade fotossintética das algas que consome CO_2 , e elevam o pH diferentemente do fundo que respiração celular e decomposição da matéria orgânica consome o CO_2 , tornando a água mais ácida.

Como pode ser observado na figura para os parâmetros de Nitrogênio de Turbidez, os *outliers* (pontos pretos) no meio da coluna d'água e no fundo sugere que o nitrogênio amoniacal esteja relacionado aos sedimentos estas condições são comuns em corpos d'águas com baixo oxigênio.

A turbidez apresenta bom equilíbrio, apenas com alguns picos no meio da coluna d'água podendo ter relação com a presença de uma camada de termoclima que retém partículas em suspensão, já que reservatórios de acumulação não apresenta graus elevados de velocidade favorecendo a ocorrência de estratificação (Ferreira; Cunha, 2013; Tundisi; Tundisi, 2008).

Figura 12 - boxplot dos parâmetros físicos e químicos dos perfis da coluna d'água, superfície, meio e fundo.



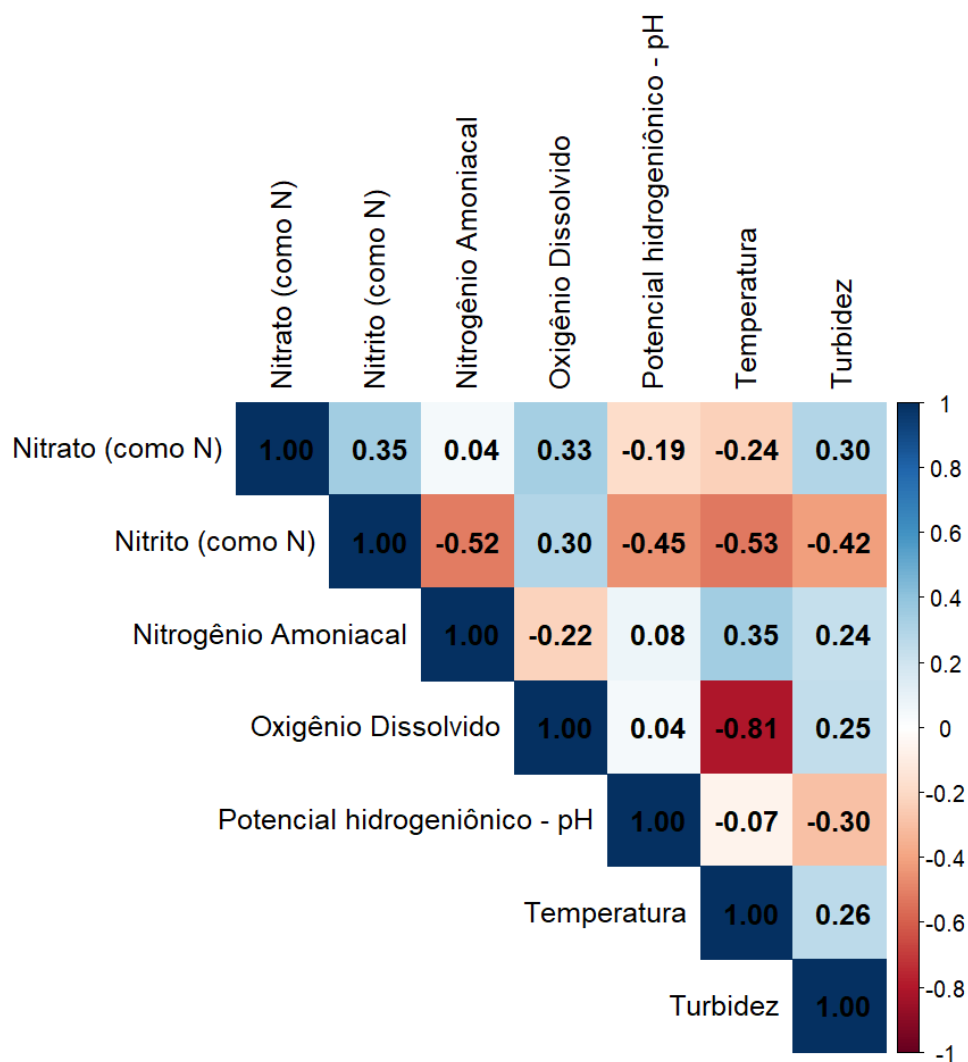
Fonte: Próprio autor.

Como pode ser observado na figura 13 matriz de correlação de Spearman (ρ) indica o grau de associação entre as variáveis da escala independentemente. A relação entre as variáveis físico-químicas, pelo coeficiente de Spearman demonstrou processos geoquímicos nos perfis da coluna d'água.

Os parâmetros que demonstram forte ligação são o OD e Temperatura ($\rho=-0.81$) indicando uma correlação negativa, este fenômeno é explicado pela lei de Henry onde o aumento da temperatura causa a redução da solubilidade dos gases, indicando que com o aquecimento do reservatório a uma diminuição na disponibilidade do OD, como observado na figura 13 que demonstra que o OD sofre uma pressão negativa quando aumenta a temperatura.

Quanto ao Nitrito, temperatura ($\rho=-0.53$) e pH ($\rho=-0.45$) existe uma correlação moderada, demonstrando que o Nitrito pode estar sendo influenciado pela termodinâmica e pela acidez da água.

Analisando o pH pode ser observado com os resultados de ($\rho\approx 0$) este apresentou baixa correlação como o OD (0,04) e com a temperatura (-0,07) sugerindo que as mudanças de alcalinidade/acidez no reservatório são influenciadas por outras fontes que não apenas as produções primárias imediatas ou equilíbrio térmico, na matriz de correlação de Spearman entre parâmetros de qualidade da água (2015-2024). Os tons de azul indicam correlação positiva, tons de vermelho indica correlação negativa e a intensidade da cor representa a força da associação (ρ), esta matriz indica que correlação negativa está presente entre o OD e a temperatura como já observado anteriormente.

Figura 13 - matriz de correlação de Spearman (rho)

Fonte: Próprio autor.

Para provar que estas correlações não aconteceram por acaso, foi realizado a matriz de p -valores gerando a tabela 2, que demonstra a significância as associações estatísticas validando o teste de hipótese apresentando a relação entre temperatura e o OD é altamente robusta ($p < 0,001$) enquanto as correlações entre pH e os demais parâmetros analisados não atingiram o nível de significância de 5% sendo desconsiderados para fins de modelagem.

Tabela 2: Síntese estatística dos parâmetros de qualidade da água (2015-2024)

Parâmetro	Ponto	Média	P-Valor (MK)	Tendência
Nitrato (como N)	P1	0.48	0.0318	Redução Significativa
Nitrato (como N)	P2	0.44	0.4743	Sem Tendência Estável
Nitrato (como N)	P3	0.5	0.4743	Sem Tendência Estável
Nitrito (como N)	P1	0.01	1	Sem Tendência Estável
Nitrito (como N)	P2	0.01	0.5296	Sem Tendência Estável
Nitrito (como N)	P3	0.01	0.2105	Sem Tendência Estável
Nitrogênio Amoniacal	P1	0.16	0.2831	Sem Tendência Estável
Nitrogênio Amoniacal	P2	0.18	0.7876	Sem Tendência Estável
Nitrogênio Amoniacal	P3	0.27	0.2831	Sem Tendência Estável
Oxigênio Dissolvido	P1	6.09	0.7205	Sem Tendência Estável
Oxigênio Dissolvido	P2	6.17	0.2105	Sem Tendência Estável
Oxigênio Dissolvido	P3	6.37	0.0123	Redução Significativa
Potencial hidrogeniônico - pH	P1	7.31	0.0024	Aumento Significativo
Potencial hidrogeniônico - pH	P2	7.44	0.858	Sem Tendência Estável
Potencial hidrogeniônico - pH	P3	7.63	0.7205	Sem Tendência Estável
Temperatura	P1	24.62	0.02	Aumento Significativo
Temperatura	P2	25.02	0.1074	Sem Tendência Estável
Temperatura	P3	25.46	0.0491	Aumento Significativo
Turbidez	P1	7.2	0.5915	Sem Tendência Estável
Turbidez	P2	3.9	0.2831	Sem Tendência Estável
Turbidez	P3	2.37	0.858	Sem Tendência Estável

Nota: **P-Valor (MK):** Significância do teste de Mann-Kendall ($p < 0,05$ indica tendência real)

Fonte: Próprio autor.

Conforme apresentado na tabela 2 o P-Valor (MK) demonstra a significância do teste de Mann-Kendall, embora alguns parâmetros como o Nitrogênio Amoniacal não apresentem tendências de longo prazo ($p > 0,05$), são exibidos algumas variabilidades sazonais expressivas e estratificação vertical como evidenciado nos boxplots de profundidade.

DISCUSSÃO

A relação negativa que pode ser observada entre a Temperatura e o OD ($\rho = -0,81$; $p < 0,001$), estabelece uma situação encontrada na qualidade da água do reservatório. O aumento gradual da temperatura na média anual, evidenciando nas séries temporais de 2015 a 2024, atua diretamente na diminuição da solubilidade dos gases conforme a Lei de Henry. este padrão apresentado ao longo do período sugere que o reservatório está suscetível a eventos de hipoxia em cenários de ondas de calor, como observado em 2024, podendo comprometer a estabilidade da biota aquática.

Durante o período estudado em sua maioria pode ser observado uma estabilidade do nitrato, apenas em 2019 houve um pico de elevação no Ponto P1, os demais pontos apresentaram uma estabilidade, neste mesmo ponto P1 com exceção deste período de 2019 pode ser observado uma redução significativa nos níveis de Nitrato ($p = 0,0318$) ao longo do período estudado.

Essa tendência de queda estatisticamente pode ser um indicativo da redução de cargas nitrogenadas ou mesmo uma eficiência nos processos de desnitrificação local, porém pode ser notado uma correlação negativa do Nitrogênio amoniacal e Nitrato ($\rho = -0,52$), demonstrando uma nitrificação ativa nas camadas onde a amônia é convertida ligeiramente, impedindo acúmulo tóxico imediatos, como demonstrado pelos índices de conformidades dos parâmetros de limites da Resolução (CONAMA 375) para corpos d'água classe 2.

O processo de estratificação vertical juntamente com a variabilidade espacial apresentados nos perfis de *boxplot* por profundidade revelaram um compartimento da coluna d'água. Conforme vai caminhando em direção ao fundo do reservatório ocorre sistematicamente a redução do OD e do pH, associado a temperatura mais amenas nestas camadas mais profundas, caracterizando um processo de estratificação térmica e química. Esse evento de hipolímnia isolamento da massa de água mais profunda dificulta a troca gasosa com a atmosfera favorecendo a criação de um ambiente redutor do sedimento podendo favorecer a liberação de nutrientes retidos no fundo.

Frente a segurança hídrica e seguindo aos padrões de qualidade da água Classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005, os resultados encontrados ao longo do período de 10 anos, nota-se que o reservatório apresenta um padrão de qualidade satisfatório para seus usos múltiplos. Os parâmetros como Turbidez e Nitrato mantiveram-se expressamente abaixo dos limites estabelecidos pela resolução. Porém com os níveis de OD ao limite

mínimo de 5mg/l em anos específicos como (2019 e 2024) pode ser um indicador precoce de perda de resiliência ambiental, demonstrando estratégias de manejo com vista aos controles de temperatura da água e no monitoramento da floração de algas.

O reservatório em toda sua extensão é confrontante com agricultura, pecuária e municípios, estes fatores podem contribuir fortemente para a lixiviação de cargas orgânicas para seu leito podendo ser a fonte de origem do Nitrato. A concessionária responsável pela UHE e pelo reservatório executam atividades de reflorestamento em sua borda com a função de estabilidade e recomposição das matas ciliares.

4.2 ICTIOFAUNA

4.2.1 Composição das espécies

Os resultados obtidos no período de 10 anos, com o método de captura com a utilização de rede de espera, são apresentados os dados de riqueza por ponto amostral, número de espécie, e destacado as espécies nativas e alóctones a bacia do alto Rio Paraná.

Durante o período estudado foram capturados 9.103 espécimes da ictiofauna equivalente a 51 espécies, deste total 35 espécies são nativas e 16 espécies são alóctones na sub-bacia do baixo tietê, bacia do Alto Rio Paraná (Tabelas 3 e 4). Segundo Ota *et al* (2018) no Alto Rio Paraná foram registradas 211 espécies entre a foz do rio Paranapanema e o reservatório de Itaipu.

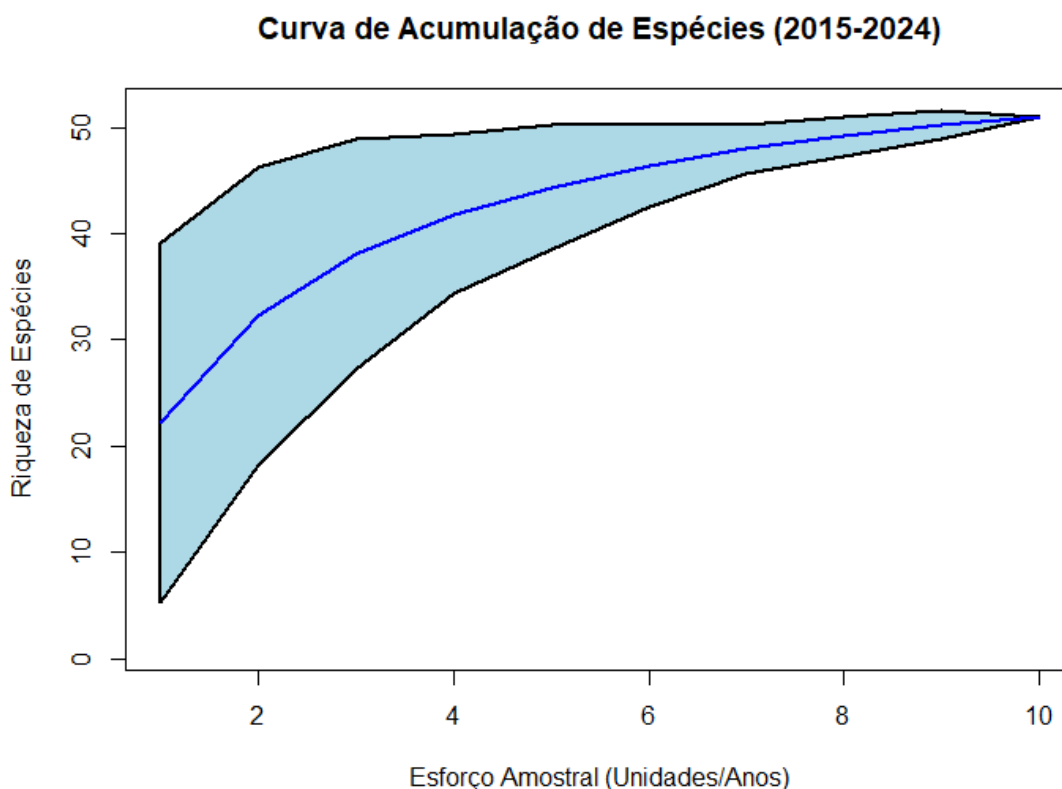
Os valores de riqueza apresentaram oscilações entre os locais com maior número de espécies no ponto P2 JAC com 1.768 indivíduos, seguido do P3 JBA com 1.657 e P1 JNA 1.121 exemplares.

Com base no estimador Chao 1, (Oksanen *et al.*, 2023), o esforço amostral do período de 10 anos (2015-2024) com identificação de 51 espécies de peixes, foi capaz de identificar 89,4% da riqueza total estimada para o local estudado. Segundo os estimadores de riqueza de primeira ordem, o reservatório abriga entre 57,07 (Chao 1) e 59,10 (Jackknife 1) espécies figura 14.

A amostragem realizada no período é bem representativa para o reservatório da UHE Três Irmãos, através dos métodos tradicionais de monitoramento, os dados demonstram mesmo com a tendência da curva em atingir um platô horizontal o estimador Chao e Jackknife de primeira ordem indica que espécies raras ou ocasionais podem ser registradas na área de estudo.

Amostragens tradicionais com emprego de redes em pontos fixos pré-determinados é bem desafiador por ser seletivo e podem não representar o manejo adequado da biodiversidade (GU e SWIHART, 2004), outros métodos como DNA ambiental pode apresentar maior representatividade com a identificação de diversos táxons além de ser menos invasivo (Cortez *et al.*, (2025).

Figura 14 - Curva de acumulação para as espécies levantadas no período de 10 anos



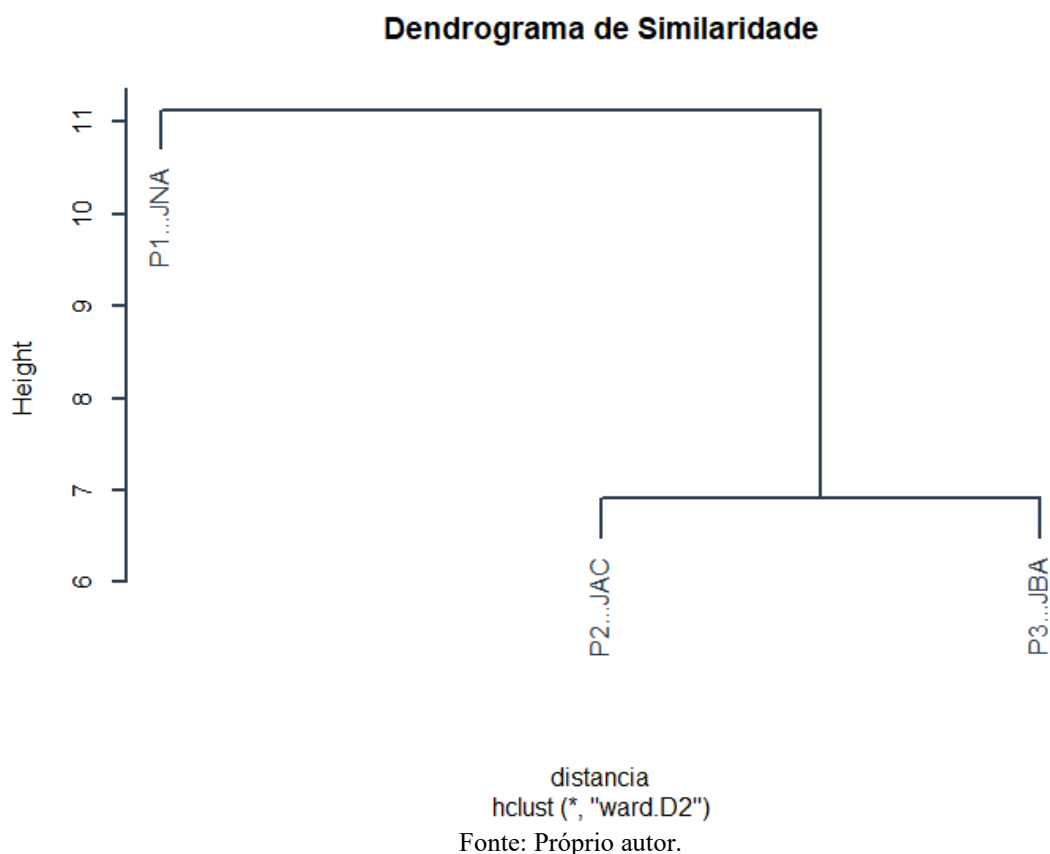
Fonte: Próprio autor.

A análise do agrupamento do Dendrograma de Similaridade figura 15, mostrou uma clara diferença na composição ictifaunística entre os pontos amostrais, os pontos de ambiente lântico P2 e P3 apresentaram maior similaridade biótica agrupando-se em nível de distância próximo a 7, contrastando com o P1 ambiente lótico que demonstrou maior isolamento unindo-se ao cluster principal em escala de similaridade (>11).

A análise deste agrupamento está diretamente relacionada a heterogeneidade do ambiente, o P1 apresentou maior dissimilaridade em relação aos outros dois pontos por se tratar de um ambiente lótico onde a velocidade da água atua como um sistema seletivo para a ictiofauna já os pontos 2 e 3 por serem ambientes com características lânticas

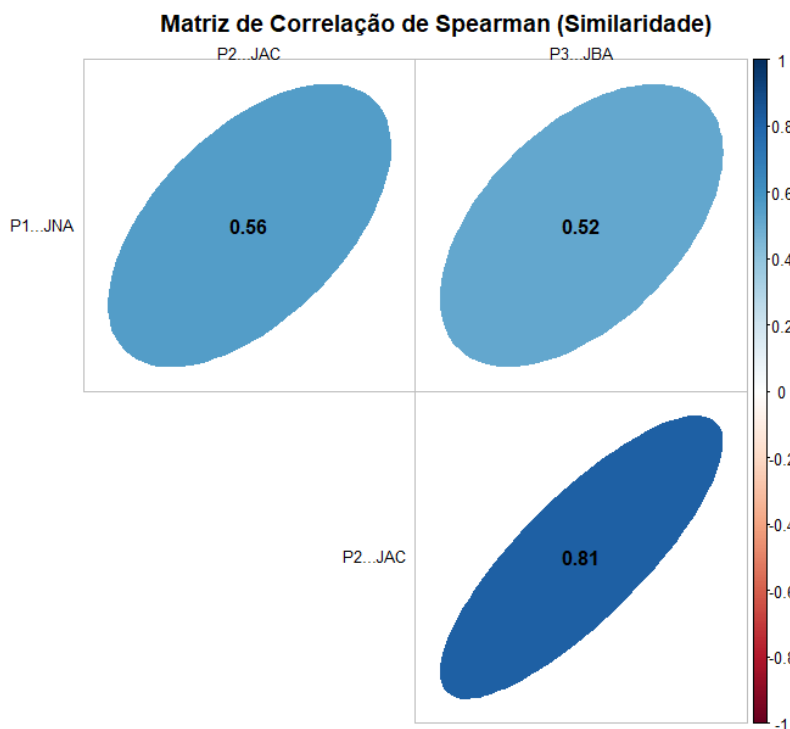
compartilham da mesma ecologia, resultado na formação de um cluster com alta similaridade biótica.

Figura 15 - Dendrograma de similaridade entre os pontos amostrais



Para a matriz de correlação de Spearman figura 16, a similaridade entre os pontos estudados demonstrou a proximidade dos táxons amostrados entre os pontos P2 e P3, porém a tendência de comportamento de valor em P1 aumenta, o valor em P2 também tende a aumentar.

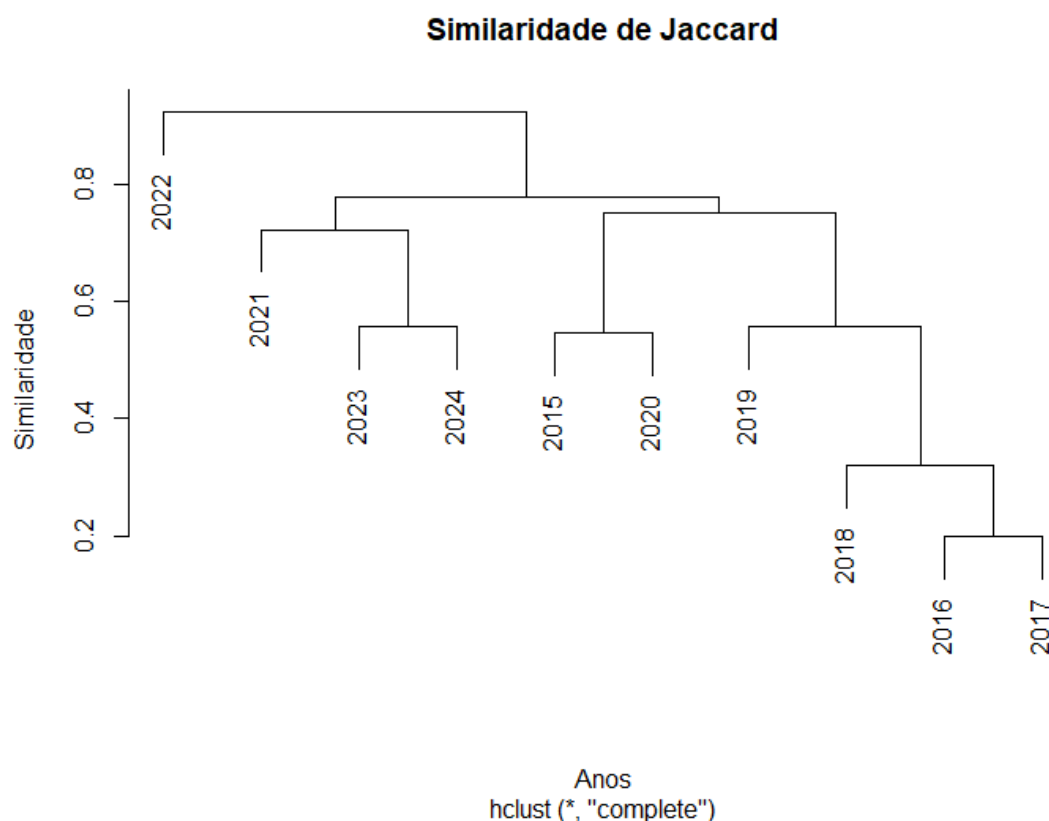
O comportamento de proximidade entre os pontos P2 e P3 estão relacionados ao tipo de ambiente, por apresentarem características lênticas e o distanciamento do P1 por ser ambiente lótico mais propício para espécies reofilicas.

Figura 16 - Matriz de correlação de sperman entre os pontos amostrais

Fonte: Próprio autor.

A análise do agrupamento da similaridade de Jaccard mostra formação de dois *clusters* na figura 17, o isolamento do período do ano de 2022 com um *outlier*. O *cluster* do período de 2015 a 2020, demonstra uma estabilidade temporal para a composição das espécies da ictiofauna com contraste com o período do ano de 2022 que apresentou uma dissimilaridade superior a 0.8, indicando que o período divergiu dos padrões observado.

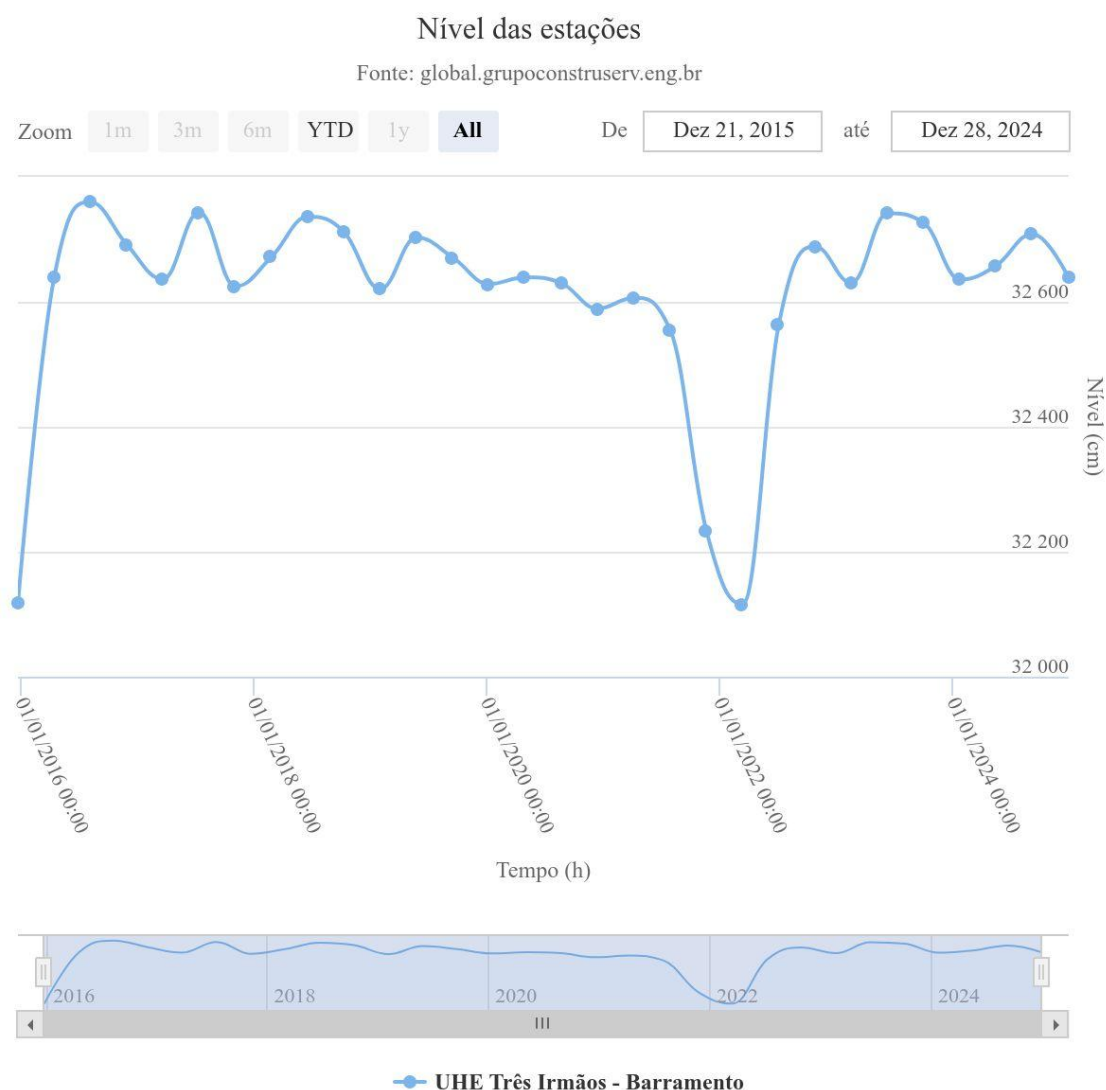
Figura 17 - Similaridade de Jaccard entre o período de 10 anos estudados.



Fonte: Próprio autor.

A disruptura ocorrida em 2022 pode estar relacionada a eventos críticos de mudanças ambientais enfrentadas na região, como a crise hídrica em 2021 que refletiu para o ano de 2022 (Figura 18), e sequencialmente aos altos índices de eutrofização em 2022, (SOS Mata Atlântica & SIGRH) na região estudada da Bacia do Baixo Tietê estes eventos foram significativos entre 2021 e 2022 que explicam esta dissimilaridade extrema (<0.8).

O agrupamento de 2023 e 2024 demonstra uma possível reorganização da comunidade após o eventos ocorridos, este isolamento da composição da ictiofauna do reservatório comprova que a crise hídrica enfrentada em 2021 e que os episódios de eutrofização e a baixa disponibilidade de oxigênio como observado na figura 3. A alta dissimilaridade de Jaccard (<0.8) mostra que o evento de 2022 pode ter atuado como uma seleção a estrutura da comunidade de peixes, que nos anos posteriores (2023 -2024) não demonstrou retorno à configuração observada entre 2015 e 2020.

Figura 18 - Cota do reservatório no período de 2015-2024.

Fonte: UHE Três Irmãos (2026).

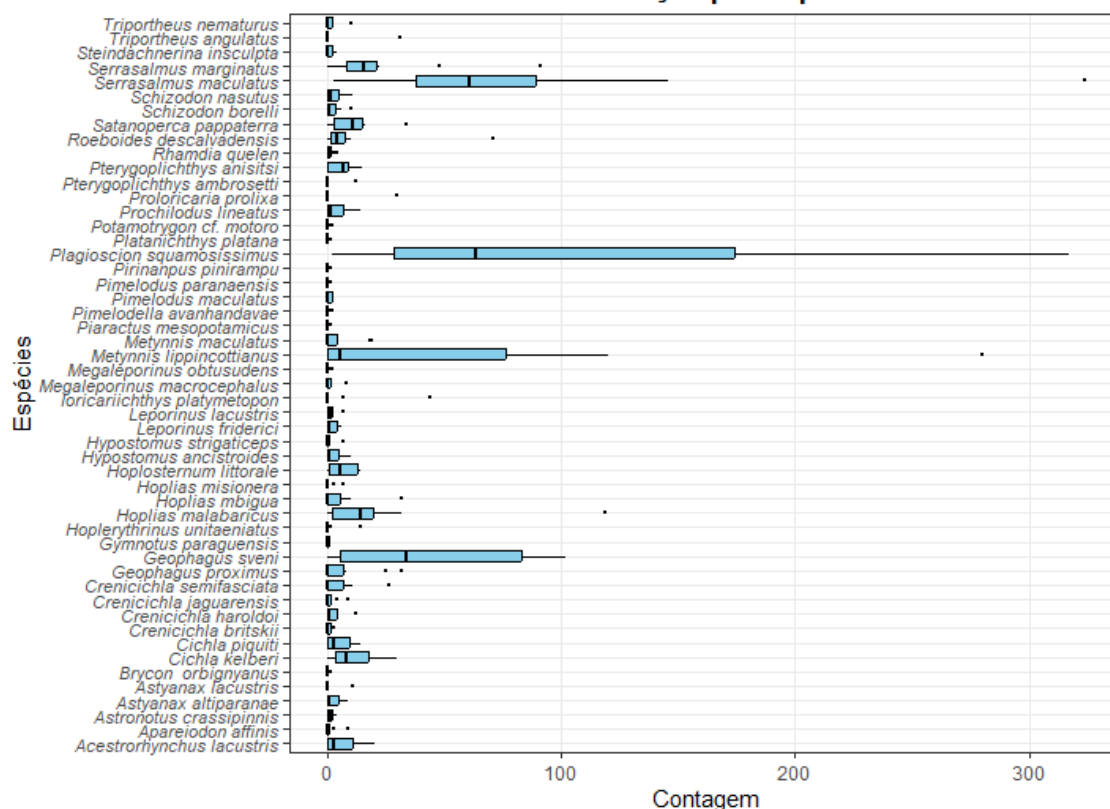
O *Box-plot* de distribuição das espécies figura 19 demonstra claramente uma assimetria na comunidade de peixes do reservatório da UHE Três Irmãos, as espécies *Plagioscion squamosissimus*, *Metynnis maculatus*, *Geophagus sveni*, *Serrasalmus maculatus* apresentam alta dominância do sistema, com uma amplitude de variação e mediana de abundância com contagens que variam próximo de 200 indivíduos e um *outlier* acima de 300. Seguido da espécie *Hoplias malabaricus* e *Hoplosternum littorale* que apresentam grande dominância, mas em escalas menores as espécies com maior dominância em contraste a maioria das espécies

A grande maioria das espécies presentes no estudo como o, *Brycon orbignianus*, *Piaractus mesopotamicus*, *Megaleporinus obtusudens*, possuem caixas achatadas rente a

zero, porém indicando alta riqueza, mas com baixa equitabilidade. Estas três espécies *B orbiginianus*, *P. mesopotamicus* e *M obtusudens* fazem parte do programa de repovoamento de ictiofauna da UHE Três Irmãos, no qual realizam solturas anuais de peixes no reservatório.

A baixa dominância das espécies *B Orbiginianus*, *P mesopotamicus* e *M obtusudens* está relacionada com as características do reservatório que apresenta falta de fluxo lótico para as espécies de peixes reofilicos dando maior incrementos para as espécies mais sedentárias e menos seletivas. (Terrin 2019).

Figura 19 - Box-Plot da distribuição das espécies no reservatório da UHE três Irmãos
Distribuição por Espécie



Fonte: Próprio autor.

Neste estudo foi identificado grupos da ictiofauna composta por diferentes hábitos alimentares no reservatório da UHE Três Irmãos, sendo possível observar a maior abundância de espécies na guilda dos piscívoros/carnívoros.

As guildas alimentares piscívoras insetívoras e onívoras apresentaram maiores riquezas no período estudado representando 22,0% com (11 espécies) cada, contudo a espécie detritívora também foi bem representativa com 14,0% com (7 espécies), seguidas da espécie herbívora com (4 espécies), as guildas carnívora, bentófaga e ilíofaga ambos

foram representados com 4,0% (2 espécies) cada, e (1 espécie) 2,0% na guilda alimentar planctívora.

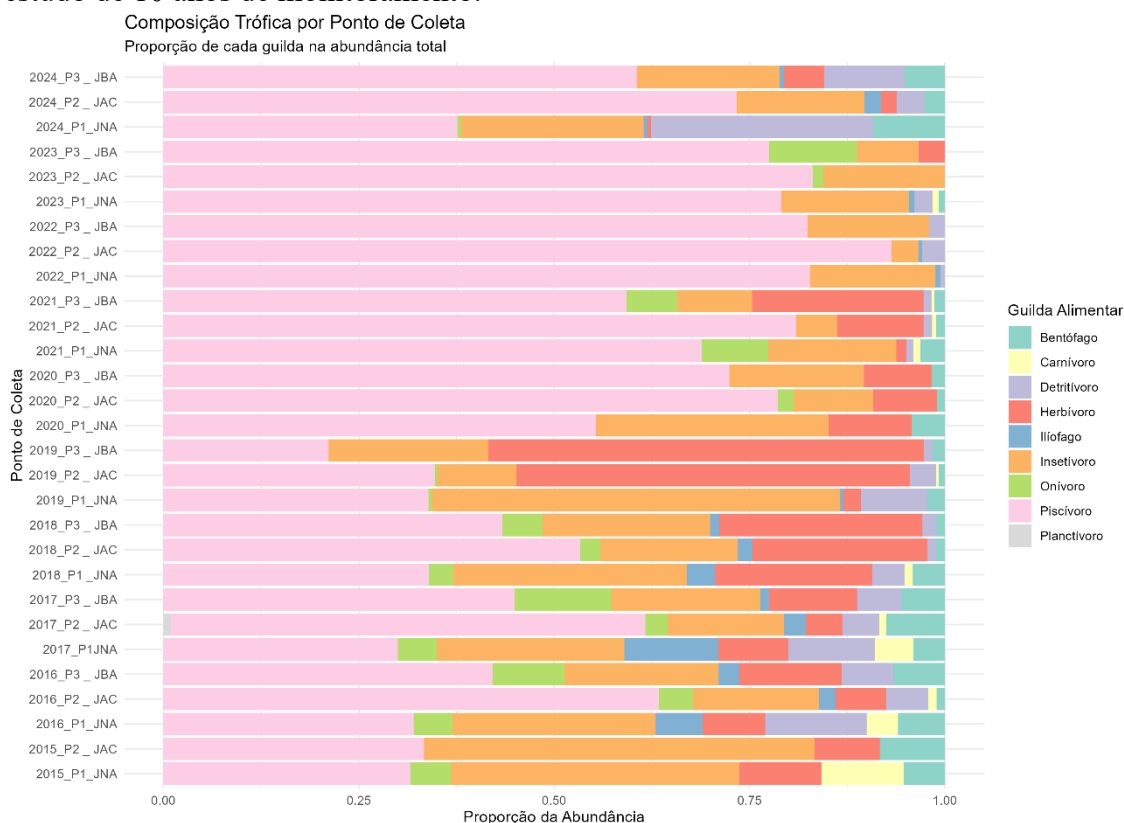
Quanto a abundância total e relativa das espécies por tipo de ambiente, as piscívoras foram as que se destacaram em todos os pontos lênticos e lótico seguido das insetívoras, as espécies onívoras, herbívoras e bentófagas obtiveram poucos registros no ambiente lótico com maior representatividade no ambiente lêntico, as espécies da guilda alimentar detritívoras obtiveram maiores registros no ponto lótico, as espécies iliofagas obtiveram a mesma representatividade nos pontos lênticos e lótico, a guilda alimentar carnívora obteve sua maior representatividade no ponto 1 ambiente lótico, apenas a espécie representada na guilda alimentar planctívora foi registrada no ponto 2 ambiente lêntico.

De acordo com Agostinho *et al.*, (2016) as áreas pelágicas dos reservatórios do Alto Paraná são habitadas por poucas espécies de peixes, tendo maior dominância nestas áreas por espécies de hábitos alimentares carnívoros/piscívoros, como pode ser observado no estudo as espécies piscívoras insetívoras e herbívora foram as que mais se destacaram, grande parte dessa abundância é influenciada pelas espécies, *Plagioscion squamosissimus*, e pelas espécies do gênero *Cichla*, a espécie *P. squamosissimus* tem sua reprodução com grande abundância (Vazzoller, 1996; Suzuki *et al.*, 2004) em áreas pelágicas (Nakatani *et al.*, 1997), que tornam a espécie apta a completar seu ciclo de vida em ambiente lêntico. (Hahn *et al.*, 2004; Agostinho *et al.*, 1997; Agostinho *et al.*, 1999. Já as espécies do gênero *Cichla* a abundância está relacionada ao cuidado parental que as espécies deste gênero têm com a prole, ambas as espécies são alóctones a Bacia do Alto Rio Paraná.

Em relação às espécies nativas do Alto Rio Paraná, a espécie piscívora com maior abundância está representada pela *Serrasalmus maculatus* seguida pela *Hoplias malabaricus*.

Como pode ser observado na figura 20 seguindo as espécies piscívoras as insetívoras estiveram presentes em todos os anos de monitoramento, representadas com maior abundância pela espécie *Geophagus proximus* alóctone, a área de estudo e pela espécie *Crenicichla semifasciata*, nativa a área de estudo.

Figura 20: Abundância total das espécies por guildas alimentares durante o período de estudo de 10 anos de monitoramento.



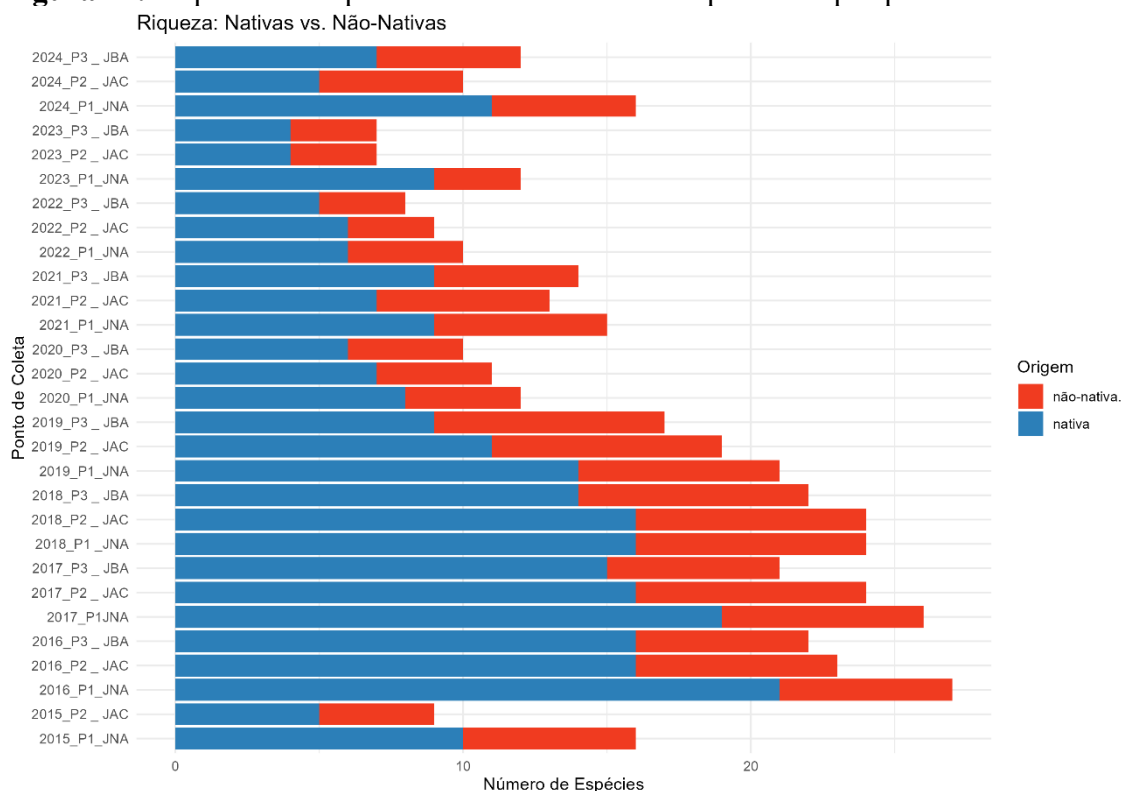
Com relação a riqueza das espécies, pode ser observado na figura 21, em todos os pontos estudados o reservatório apresenta maior representatividades no número de espécies nativas, porém como pode ser observado nas tabelas 3 e 4 as alóctones têm maior abundância e dominância sendo este fato um forte indicador de homogeneização biótica no reservatório da UHE Três Irmãos, conforme registrado por outros estudos realizados no Bacia do rio Paraná Petesse & Petrere, 2012; Orsi & Britton, 2010). Isto demonstra que a bacia do Alto Rio Paraná vem sofrendo uma substituição gradativa por espécies não nativas, (Langeani *et al.*, 2007; Oiakawa & Menezes, 2011; Ota *et al.*, 2018), principalmente espécies da família Cichlidae e Sciaenidae que são espécies predadoras, as quais foram introduzidas ilegalmente na região através de repovoamento, aquicultura e pesca esportiva (Agostinho *et al.*, 2007).

Mesmo com a pressão das espécies não nativas sobre as nativas os resultados indicam que ainda existem populações remanescentes, e que podem estar utilizando tributários para reprodução e alimentação. A presença de algumas espécies também pode ser reflexo do Subprograma de Repovoamento realizado pela concessionária responsável pela UHE Três Irmãos, as quais são alvo de estocagem.

De toda forma, os migradores de longa distância são os mais afetados por barramentos, em função do bloqueio das suas rotas migratórias, isolamento genético, eliminação ou diminuição das áreas de desova, de berçário e alimentação (Agostinho, *et al.*, 2007). Também contribuem para o declínio de espécies migradoras nativas, como dourado (*Salminus brasiliensis*), o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) que outrora eram abundantes e se tornaram raras ou ausentes. Além destas, os autores consideram que a perda de vegetação ciliar também se constitui num impacto negativo.

Nos anos mais recentes (2023-2024), os representantes dos gêneros *Cichla* sp. *Geophagus* sp. e a espécie *Plagioscion squamosissimus*, indica um processo de homogeneização biótica, pois as espécies não nativas exercem pressão sobre as espécies nativas competindo por recursos alimentares e predação de larvas e alevinos de espécies nativas como indicado em protocolo de Índice de Integridade Biótica adaptado.

Figura 21: Riqueza das espécies nativas e não nativas por ano e por pontos estudados



Fonte: Próprio autor.

Tabela 3 - Espécies Nativas registradas no período de 10 anos de monitoramento

Espécies Nativas	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<i>Apareiodon affinis</i>	0	3	9	0	1	0	0	0	0	0
<i>Astyanax altiparanae</i>	1	3	9	5	7	0	0	0	0	0
<i>Astyanax lacustris</i>	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0
<i>Crenicichla britskii</i>	0	3	1	1	3	0	0	0	0	0
<i>Crenicichla haroldoi</i>	1	12	4	3	4	0	0	0	0	0
<i>Crenicichla jaguarensis</i>	0	1	4	9	1	0	0	0	0	0
<i>Crenicichla semifasciata</i>	0	0	0	0	0	0	26	7	7	11
<i>Gymnotus paraguensis</i>	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Hoplias malabaricus</i>	0	14	17	9	32	14	119	20	0	0
<i>Hoplias mbigua</i>	0	0	0	0	7	0	0	0	10	32
<i>Hoplias misionera</i>	0	0	0	0	7	0	0	0	3	0
<i>Hoplosternum littorale</i>	2	14	14	7	14	4	0	0	0	8
<i>Hypostomus ancistroides</i>	0	4	5	5	10	0	0	0	1	0
<i>Hypostomus strigaticeps</i>	0	0	0	0	7	0	0	0	1	1
<i>Leporinus lacustris</i>	0	1	2	3	7	0	1	0	0	1
<i>Leporinus friderici</i>	1	5	5	1	0	0	6	0	0	0
<i>Megaleporinus obtusudens</i>	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
<i>legaleporinus macrocephalus</i>	0	0	1	0	8	0	2	0	0	1
<i>Brycon orbignyanus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Piaractus mesopotamicus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pimelodella avanhandavae</i>	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
<i>Pimelodus maculatus</i>	0	3	3	3	0	0	0	0	0	0
<i>Pimelodus paranaensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Pirinanpus pinirampu</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Prochilodus lineatus</i>	0	7	7	14	0	0	0	2	1	6
<i>Proloricaria prolixa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
<i>Rhamdia quelen</i>	1	3	4	1	0	0	1	0	1	0
<i>Roeboides descavadensis</i>	3	6	8	2	71	1	0	0	10	5
<i>Satanoperca pappaterra</i>	2	11	16	13	10	4	15	0	1	34
<i>Schizodon borelli</i>	1	4	6	10	0	1	0	0	0	0
<i>Schizodon nasutus</i>	0	0	0	11	5	2	7	0	4	1
<i>Serrasalmus maculatus</i>	3	38	38	146	65	57	324	94	9	75
<i>Steindachnerina insculpta</i>	0	3	4	0	0	0	0	0	4	0
<i>Triportheus angulatus</i>	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0
<i>Triportheus nematurus</i>	0	2	1	3	0	0	0	0	0	10

Fonte: Próprio autor.

Pettesse e Petrere (2012) estudaram a tendência de homogeneização da ictiofauna entre os reservatórios em cascata no Rio Tietê, e verificaram que a riqueza de espécies diminui entre os reservatórios, enquanto a similaridade taxonômica aumenta. Desta forma a introdução de espécies não-nativas pode ser considerada como um evento ameaçador para a biodiversidade local.

A tabela 4 apresenta a abundância das espécies alóctones ao longo do período de 10 anos, como pode ser observado as grandes variações na distribuição da abundância ao longo do período em 2016 a abundância das espécies foram mais homogêneas nos anos de 2018 e 2019 teve um aumento significativo na quantidade dos espécimes com atenção maior para o *Metynnis maculatus*, *Geophagus sveni* e *Plagioscion squamosissimus* em 2020 a abundância apresentou uma queda em todas as espécies, em 2021 novamente as espécies apresentaram uma abundância maior em relação ao ano anterior e em 2022 houve um aumento significativo da espécies *Plagioscion squamosissimus*

Tabela 4 - Espécies alóctones registradas no período de 10 anos de monitoramento

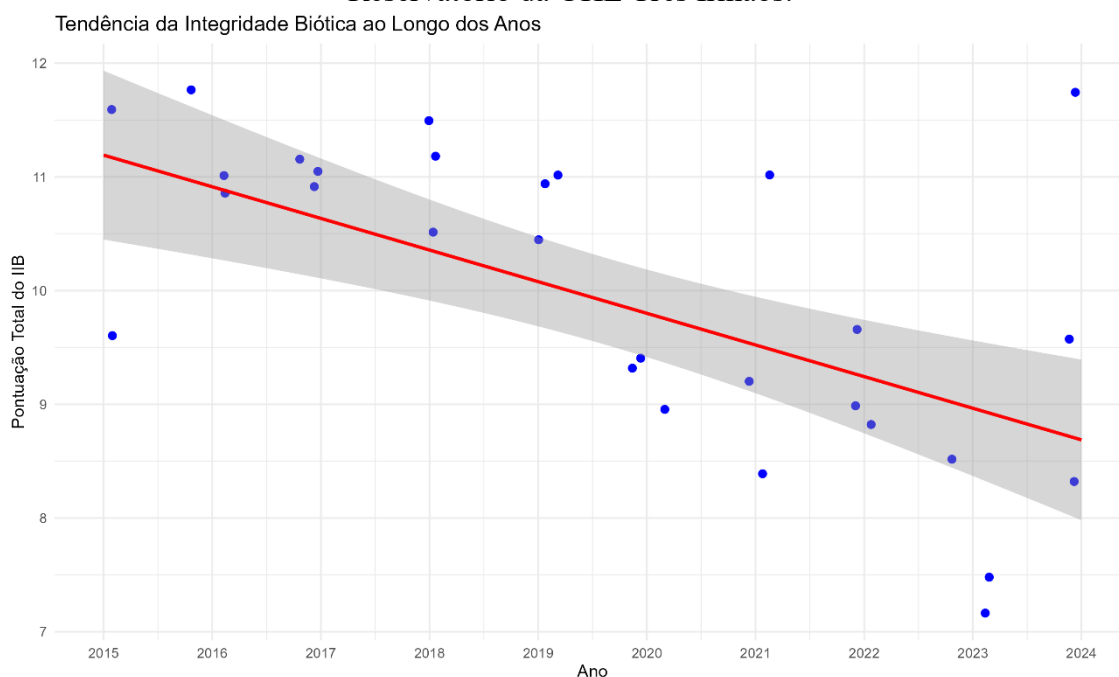
Espécies Alóctones	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<i>Astronotus crassipinnis</i>	1	2	2	1	1	0	4	0	0	0
<i>Acestrorhynchus lacustris</i>	0	6	15	7	20	0	12	0	0	0
<i>Cichla kelberi</i>	3	22	10	9	5	7	20	30	0	0
<i>Cichla piquiti</i>	0	14	12	8	5	10	1	1	0	0
<i>Geophagus proximus</i>	3	25	32	8	0	0	0	0	0	0
<i>Geophagus sveni</i>	0	0	0	102	95	29	58	39	22	91
<i>Ioricariichthys platymetopon</i>	0	0	0	0	7	0	0	0	0	44
<i>Hoplerethrinus unitaeniatus</i>	0	0	0	1	14	0	0	0	0	0
<i>Metynnis lippincottianus</i>	0	0	0	120	280	11	97	0	0	13
<i>Metynnis maculatus</i>	3	19	18	4	0	0	0	0	0	0
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	2	14	20	53	91	54	73	317	206	202
<i>Platanichthys platana</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Potamotrygon cf. motoro</i>	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0
<i>Pterygoplichthys anisitsi</i>	0	15	13	9	7	0	9	6	1	0
<i>Pterygoplichthys ambrosetti</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
<i>Serrasalmus marginatus</i>	0	13	7	48	18	10	91	18	4	22

Fonte: Próprio autor.

A figura 22 traz a tendência do IIB no reservatório ao longo do período de 10 anos, a inclinação negativa da linha vermelha mostra estatisticamente que a qualidade ambiental da ictiofauna está caindo ao longo do tempo, no período de 2023 como pode ser observado os pontos em azul estão bem abaixo da linha vermelha, algo que puxou a média para baixo. Porém nos relatórios Bienais 2022/2023 e 2024/2025 da UHE Três Irmãos relatou que o ano de 2023 houve mudança na empresa responsável pelo monitoramento da Ictiofauna e demora na emissão da Autorização de manejo de Fauna pelo órgão ambiental vindo a ser realizado apenas uma campanha no ano de 2023. O

mesmo aconteceu em 2021 e nos anos de 2020-2021 o planeta passava-se por um período crítico de pandemia de COVID-19 e por motivo de segurança epidemiológica as campanhas de monitoramento da ictiofauna sofreram impacto em suas realizações. Estes eventos explicam a variabilidade entre os períodos de 2015-2019 e o período de 2020-2023, com a tendência negativa ($p < 0.05$), voltando a normalidade no período de 2024. Contudo a sobre cinza relativamente estreita revela que durante o período das intercorrências causaram influências diretas no estudo da ictiofauna.

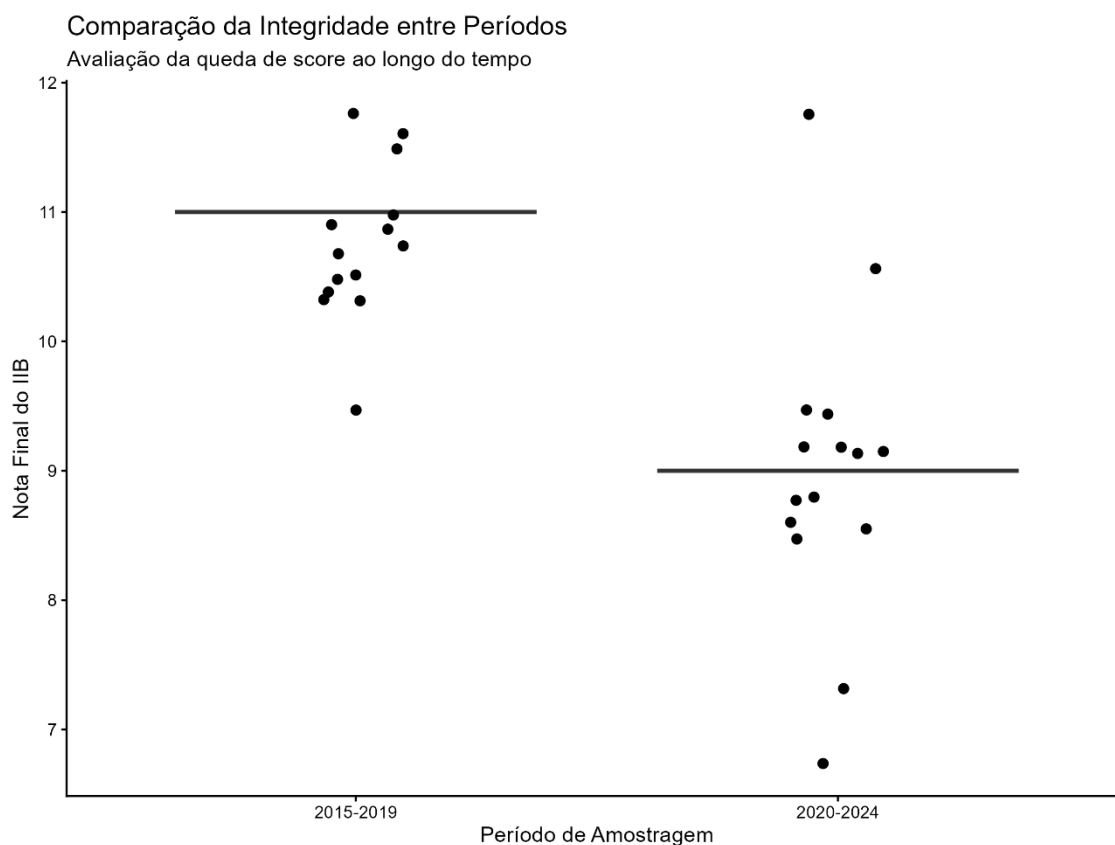
Figura 22 - Tendência da Integridade Biótica ao longo do período estudado no Reservatório da UHE Três Irmãos.



Fonte: Próprio autor.

A figura 23 comparações da integridade para a análise de tendência temporal revelaram que durante o período de 2015-2019, o monitoramento da ictiofauna do reservatório da UHE apresentou um score bem consistente e elevado com notas do IIB (9 e 12). No período de 2020-2024 o score esteve entre (7 e 9) revelando a deficiência na realização das campanhas de monitoramento, devido as intercorrências de pandemia limitando as atividades de monitoramento e a ociosidade da emissão da Autorização de Manejo de Fauna que causou um impacto negativo no levantamento de dados, e voltando a uma nova normalidade em 2024, com os scores variando entre (9 e 12) o que sugere que os estudos de monitoramento de Ictiofauna devem ser realizados de forma homogênea para um bom acompanhamento do comportamento do reservatório.

Figura 23 - Apresenta a comparação da Integridade entre os dois períodos de 2015-2019 e 2020-2024.



Fonte: Próprio autor.

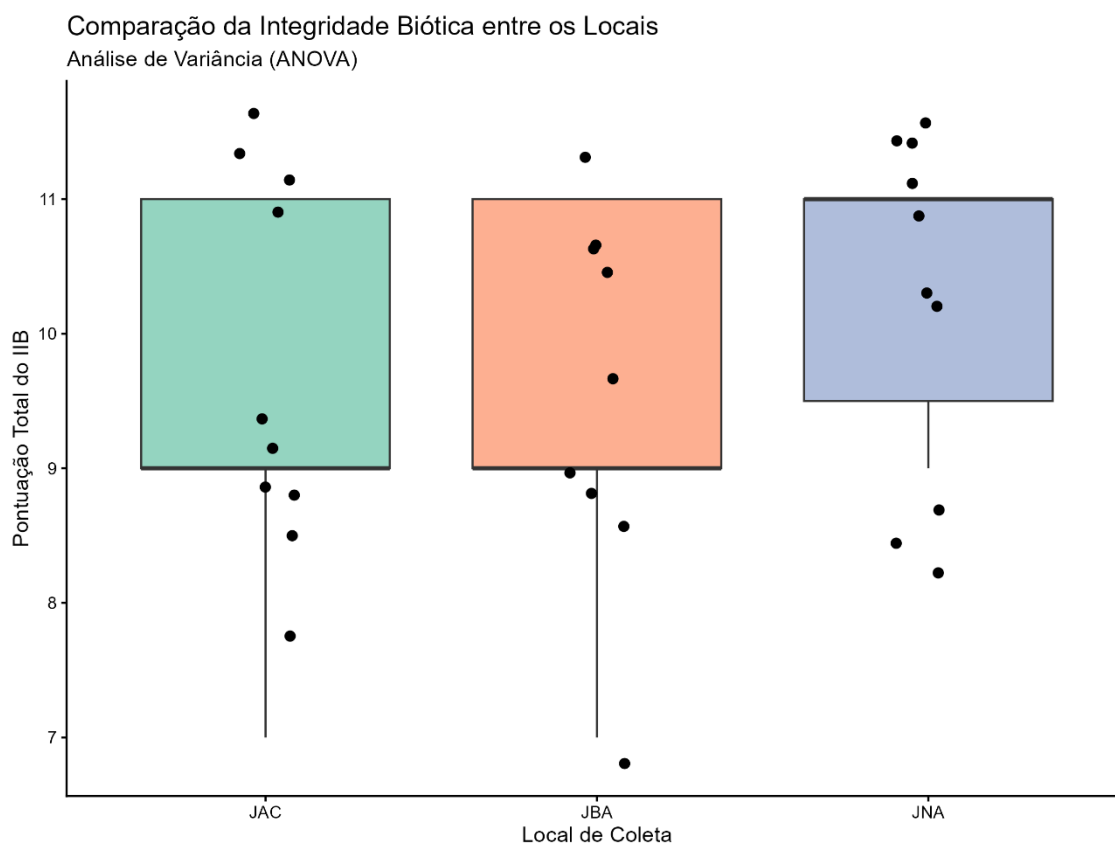
A figura 24 mostra a aplicação da análise de Variância (ANOVA) para os três pontos de coletas JAC, JBA e JNA, esta análise demonstrou que não houve diferença estatisticamente significativa entre os escores do Índice de Integridade Biótica (IIB). O resultado mostrou que as medianas dos três pontos se mantiveram próximas ao valor de 10, classificando-os com predomínio na categoria “Bom”. Tabela 5, sendo observado uma ampla variação nos scores em todos os pontos com os valores oscilando entre 7 e 12, refletindo a influência das variações anuais e dos picos registrados ao longo da série histórica. A caixa JNA azul demonstrou uma leve tendência de estabilidade com a base de intervalo interquartil superior, embora não apresentando destinação estatística.

A ausência de diferença significativa entre os pontos de coletas indica que as assembleias de peixes do local estudado estão suscetíveis as pressões ambientais de escala regional e não apenas a impactos locais. O fator de menores escores (*outliers* inferiores no gráfico) ocorreram simultaneamente em todos os pontos indicando que o evento de estresse como período de estiagem prolongada, elevação da temperatura, índices de

cargas orgânicas presente e picos de alterações da qualidade da água ou até mesmo a introdução de espécies alóctones em massa afetam a bacia hidrográfica como um todo.

De acordo com a teoria de integridade biótica de Karr (1981), aplicando as adaptações para rios neotropicais a similaridade reforça que as técnicas de monitoramento devem ser sempre aperfeiçoadas e bem aplicadas continuamente. Contudo a variação observadas nos (Whiskers) do gráfico mostra através dos pontos estudados que o reservatório tem potencial para atingir a integridade máxima (score 12), mantendo os aperfeiçoamentos das técnicas de monitoramento, manutenção das áreas de recuperação florestal, programas de educação ambiental junto as comunidades pesqueiras e por outro lado ações de gestão de resíduos sólidos e líquidos industriais e municipais juntamente com o tratamento e disposição correta dos efluente municipais e industriais.

Figura 24 - Comparação espacial da Integridade Biótica entre os pontos de monitoramento



Fonte: Próprio autor.

Tabela 5 - Riqueza, Abundância e Pontuação do IIB (Índice de Integridade Biótica) nos Pontos de Coleta Monitorados

Pontos de Coleta	Riqueza Total	Abundância Total	Riqueza Sensível	Nota Riqueza	IIB_Score	Classe Integridade
2015_P1_JNA	16	19	0	5	11	Bom
2015_P2_JAC	9	12	0	3	9	Bom
2016_P1_JNA	27	100	0	5	11	Bom
2016_P2_JAC	23	93	0	5	11	Bom
2016_P3_JBA	22	76	0	5	11	Bom
2017_P1JNA	26	100	0	5	11	Bom
2017_P2_JAC	24	107	0	5	11	Bom
2017_P3_JBA	21	89	0	5	11	Bom
2018_P1_JNA	24	194	0	5	11	Bom
2018_P2_JAC	24	272	0	5	11	Bom
2018_P3_JBA	22	173	0	5	11	Bom
2019_P1_JNA	21	224	0	5	11	Bom
2019_P2_JAC	19	268	0	5	11	Bom
2019_P3_JBA	17	260	0	5	11	Bom
2020_P1_JNA	12	47	0	3	9	Bom
2020_P2_JAC	11	98	0	3	9	Bom
2020_P3_JBA	10	58	0	3	9	Bom
2021_P1_JNA	15	225	0	5	11	Bom
2021_P2_JAC	13	363	0	3	9	Bom
2021_P3_JBA	14	292	0	3	9	Bom
2022_P1_JNA	10	168	0	3	9	Bom
2022_P2_JAC	9	205	0	3	9	Bom
2022_P3_JBA	8	148	0	3	9	Bom
2023_P1_JNA	12	129	0	3	9	Bom
2023_P2_JAC	7	71	0	1	7	Regular
2023_P3_JBA	7	89	0	1	7	Regular
2024_P1_JNA	16	218	0	5	11	Bom
2024_P2_JAC	10	195	0	3	9	Bom
2024_P3_JBA	12	175	0	3	9	Bom

Fonte: Próprio autor.

DISCUSSÃO

As análises realizadas e a avaliação do Índice de Integridade Biótica (IIB) ao longo do período dos 10 anos 2015-2024 revelou um cenário sobre a conservação da bacia hidrográfica estudada. Em praticamente todos os pontos manteve uma classificação de qualidade “Bom” na média histórica juntamente com a análise de tendência temporal

confirmando estatisticamente que a saúde do ecossistema do reservatório tem boa qualidade ambiental para as populações da ictiofauna em geral, apresentando declínio apenas nos períodos que tiveram deficiência nas campanhas de monitoramento.

Em se tratando de grupos tróficos a simplificação da teia trófica evidenciou a caracterização pelo aumento da dominância de espécies generalistas alóctones, progressivamente causando substituição das espécies nativas e piscívoras topo de cadeia. Apontando para uma homogeneização biótica que pode comprometer a resiliência das assembleias de peixes nativos.

Por outro lado, ausência de diferenças significativas entre os pontos (JAC, JBA e JNA) na análise de variância (ANOVA) demonstrou que o declínio da qualidade ictia nativa não é um fenômeno isolado do reservatório estudado, mas sim um fenômeno de escala regional que afeta toda a bacia do Alto Rio Paraná. Em suma os resultados obtidos indicam que o sistema está atingindo um estado crítico de estresse biótico necessitando de medidas de manejo, controle de espécies invasoras e recuperação de habitats para reverter a tendência de perda da integridade biótica observada nesta década.

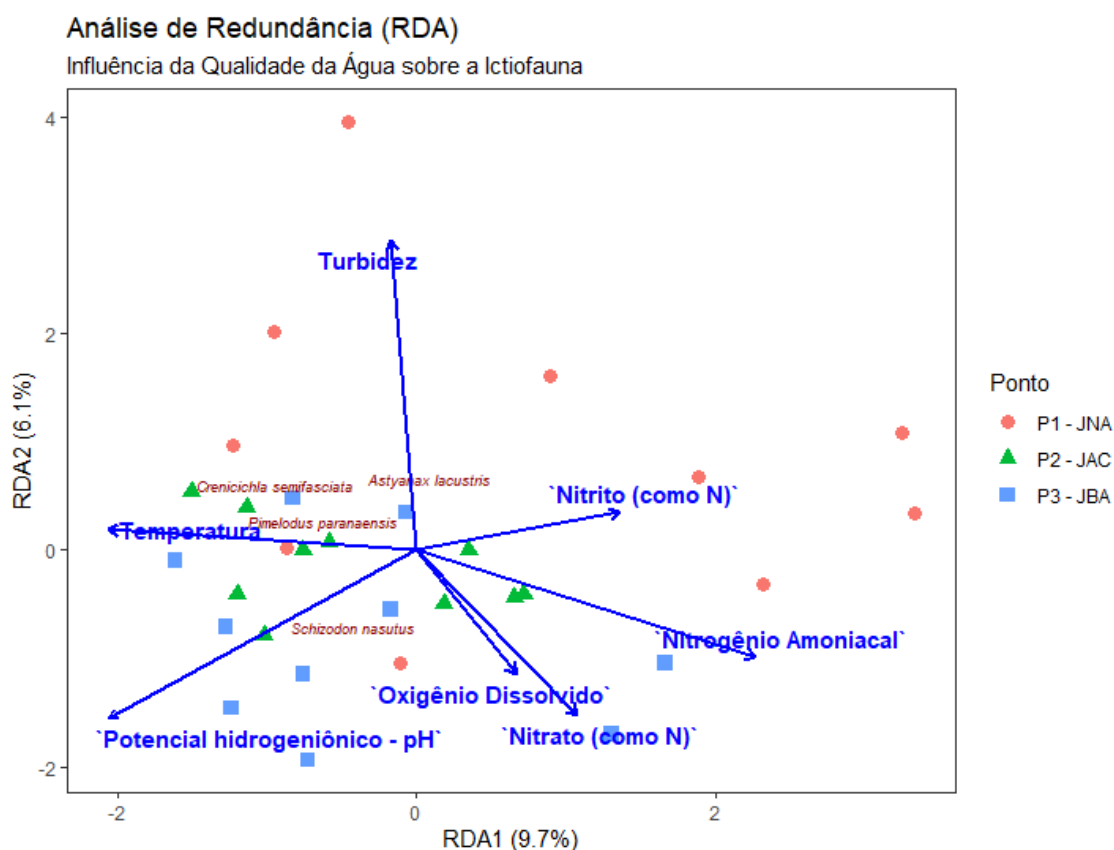
5 CORRELAÇÃO PEIXES VS ÁGUA

A Análise de Redundância (RDA) realizada para identificar a influência da qualidade da água sobre a ictiofauna revelou que, o ponto P1 JNA está apresentando um deslocamento maior para a direita e para cima sugerindo que a comunidade de peixes neste ponto está sendo influenciadas por níveis mais concentrados de Nitrogênio Amoniacal e pela Turbidez. Os pontos P2 e P3 estão com sua sobreposição mais concentradas a esquerda da figura 25, indicando que os dois pontos lânticos compartilham comunidades semelhantes e que estas espécies sofrem influências por Temperatura e pH.

Na comparação da influência ambiental tanto o pH quanto a Temperatura são os fatores que demonstraram variações no lado esquerdo figura 25. O Nitrogênio Amoniacal e o Nitrato estão fortemente associados com a influência de nutrientes ou decomposição da matéria orgânica.

Como pode ser observado na figura 25, as espécies que possuem maior relação estatisticamente com os eixos foram *Astyanax lacustris*, *Creniciclha semifasciata*, *Pimelodus paranaenses*, e *Schizodon nasutus*, as demais espécies foram ocultas por não sofrerem grandes variações entre os pontos.

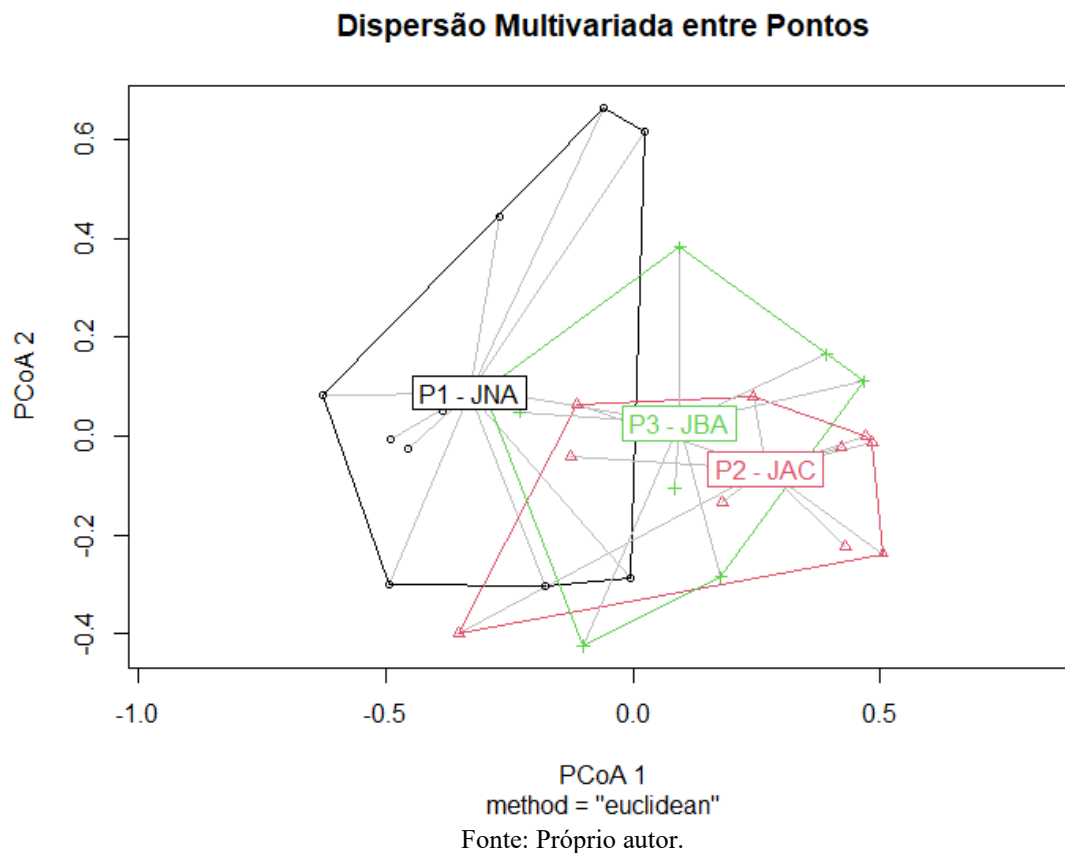
Figura 25 - Análise de Redundância (RDA) sobre a Influência da Qualidade da Água sobre a Ictiofauna



Fonte: Próprio autor.

A análise multivariada realizada através do Escalonamento Multidimensional Clássico (MDS) (figura 26), demonstra o deslocamento do polígono preto para a esquerda da figura confirmando que as comunidades de peixes no ponto P1 relativamente diferente das comunidades dos outros dois pontos. Já os pontos P2 e P3 tem os polígonos se sobrepondo indicando que as comunidades de peixes compartilham das mesmas características ambientais de qualidade da água e nutrientes. Outro fator observado no P1 é que este ponto tendo o polígono maior mostra que durante o período de 10 anos a comunidade de peixes neste ponto mudou com maior (turnover ou instabilidade). O P2 é o polígono mais bem encaixado com maior estabilidade e previsível ano após ano durante o período estudado.

Figura 26 - Análise da dispersão multivariada entre os pontos de monitoramento da Qualidade da Água e da Ictiofauna



A análise de correlação realizada para verificar se a qualidade da água causa impactos na estrutura trófica dos peixes através da correlação do coeficiente de *spearman*, foi utilizado o *software* R v.2024.04.2, utilizando os pacotes *vegan* para ordenação, *tidyverse* para a manipulação dos dados e *ggplot2* para a criação dos gráficos e a confecção de dois (*heatmap*), figura 27, para espécies mais abundantes no estudo e figura 28, espécies mais raras, ou seja, espécies que tiveram poucas capturas durante o período estudado.

Dentre as variáveis analisadas, a figura 27, demonstrou que o Oxigênio Dissolvido correlacionou negativamente com as espécies de peixes alóctones *P. squamosissimus*, *G. sveni* e as espécies nativas *L. platymetopon* e *H. mibigua*, as variáveis limnológicas pH e Temperatura apresentou correlação positiva para estas mesmas espécies e correlação negativa para as espécies *C. kelberi*, *C. piquiti* e *P. anisitsi* todas as três espécies alóctones.

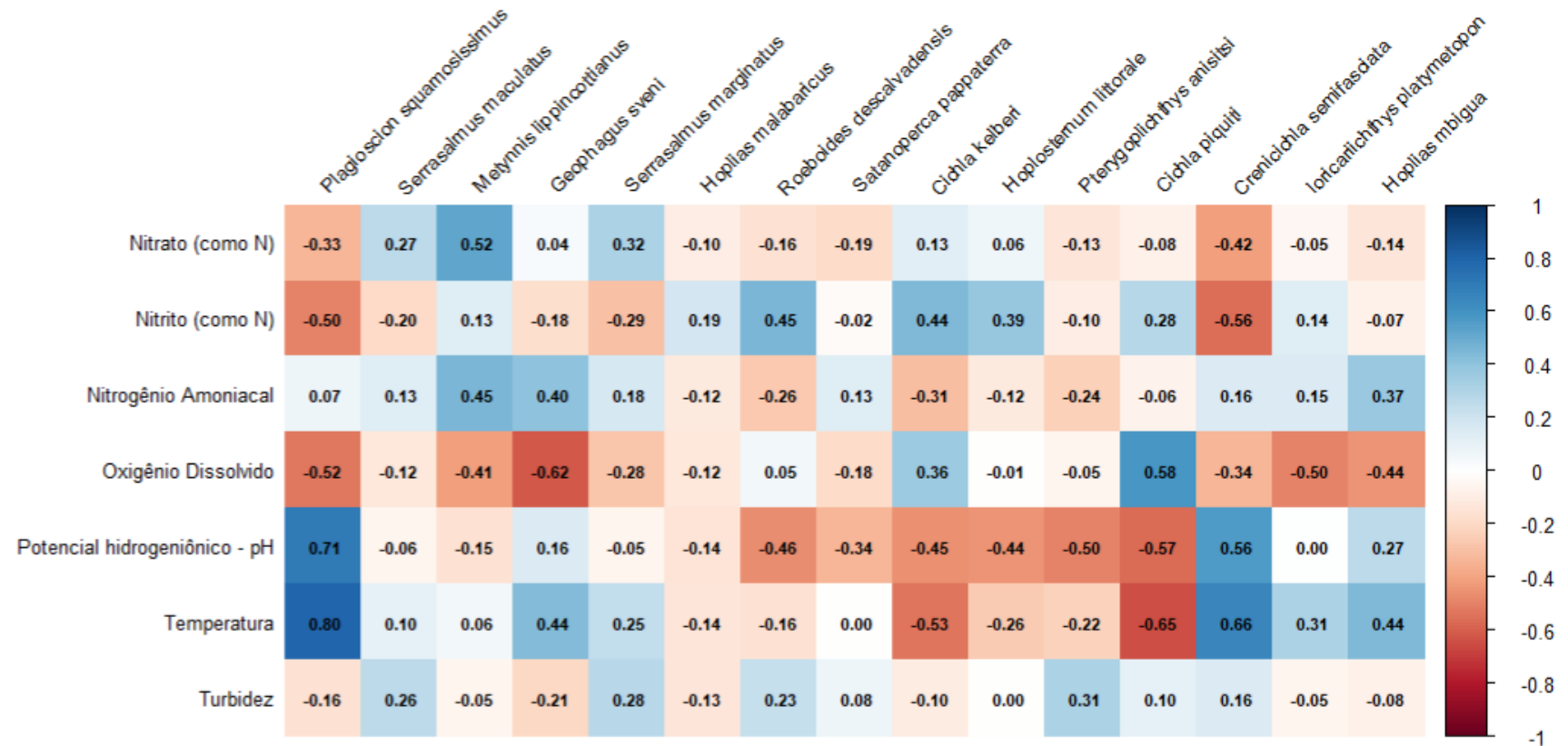
Com relação a figura 28, para as espécies de peixes com poucos registros durante o período estudado o Oxigênio Dissolvido, apresentou correlação positiva para as

espécies *B. orbignyanus*, espécie utilizada no repovoamento pela UHE Três Irmãos, *P. platana* e *C. britskii*. A variável turbidez apresentou forte relação com as espécies reofilicas *B. orbignyanus*, *P. paranaenses*, *P. avandavae*, *P. motora* e *S. insculpta*, sendo apenas a espécie *P. motora* alóctone a bacia do baixo Tietê, sugerindo que as espécies de peixes são afetadas negativamente com águas com maior transparência.

Os compostos nitrogenados Nitrito e Nitrogênio Amoniacal demonstraram padrões de correlação heterogêneos, afetando negativamente a maior parte das espécies sensíveis à degradação da qualidade da água.

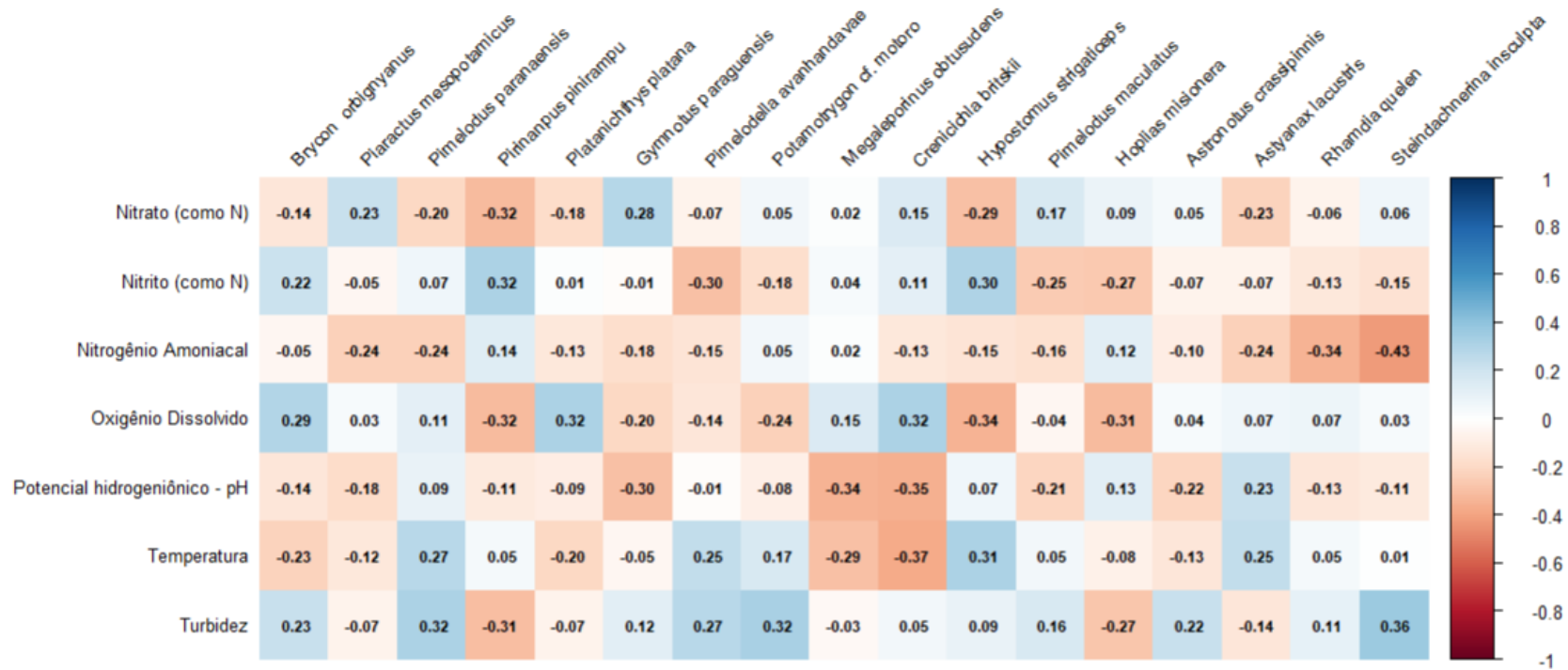
Estas variações de ocorrências com relação as variáveis estudadas indicam que a distribuição da estrutura trófica de peixes está diretamente relacionada as mudanças da qualidade da água.

Figura 27 - Mapa de calor (*heatmap*) da matriz de correlação de Spearman entre as variáveis limnológicas (eixo vertical) e a abundância das espécies de peixes amostradas mais abundantes (eixo horizontal)



Fonte: Próprio autor.

Figura 28 - Mapa de calor (*heatmap*) da matriz de correlação de Spearman entre as variáveis limnológicas (eixo vertical) e a abundância das espécies de peixes amostradas mais raras (eixo horizontal)



Fonte: Próprio autor.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nas análises dos parâmetros de qualidade da água estudados para o período de 10 anos e da ictiofauna presente no reservatório da UHE Três Irmãos, foi possível compreender a distribuição das estruturas tróficas dos peixes e o seu comportamento frente à qualidade da água, com referência às variáveis estudadas. O reservatório da UHE Três Irmãos é classificado, com base na Resolução CONAMA nº 357/2005, como classe 2 para os padrões de qualidade, atendendo aos seus usos múltiplos. Para o período avaliado, o monitoramento indicou que o reservatório apresenta padrões de qualidade de água satisfatórios.

Os parâmetros nitrito, nitrato e turbidez mantiveram-se expressamente abaixo dos limites estabelecidos na referida Resolução. Contudo, o oxigênio dissolvido (OD) apresentou, em algumas análises, concentrações próximas ao limite mínimo de 5 mg/L, sugerindo uma perda de resiliência ambiental. A temperatura apresentou relação negativa com o OD, demonstrando que, ao longo do período, o reservatório sofreu um aumento gradual em suas médias anuais térmicas, o que indica que o ambiente está suscetível a eventos de ondas de calor. Ainda na matriz água, os perfis verticais evidenciaram a compartimentação da coluna d'água; nos pontos de maior profundidade, ocorre sistematicamente a diminuição do OD e do pH em associação com a temperatura em direção ao fundo, caracterizando um processo de estratificação térmica e química.

Com relação aos peixes, o Índice de Integridade Biótica (IIB) demonstrou que o reservatório apresenta boa qualidade ambiental na média histórica estudada para as populações de peixes de maneira geral. Quanto às guildas tróficas, ficou evidenciado que o reservatório possui dominância de espécies generalistas e alóctones, o que tem provocado a substituição de espécies nativas piscívoras e reofilicas de topo de cadeia. No que diz respeito aos pontos amostrais (JAC, JBA e JNA), as análises estatísticas indicaram uma classificação predominantemente “Boa”. No entanto, a ausência de diferenças significativas entre os pontos demonstrou que o local de estudo vem sofrendo um declínio na integridade da ictiofauna nativa, agravado pela ampla dominância de espécies alóctones — fenômeno já observado em escala regional em toda a bacia do Alto Rio Paraná.

A análise de correlação demonstrou que algumas espécies são afetadas principalmente pela oscilação do OD e da turbidez, e que as variações nos compostos

nitrogenados influenciam negativamente a maioria das espécies sensíveis à degradação ambiental. Essas variações na ocorrência das espécies indicam que a distribuição da estrutura trófica dos peixes está diretamente relacionada às mudanças na qualidade da água. Mesmo com as oscilações nos padrões de qualidade decorrentes da forte pressão de cargas orgânicas e inorgânicas industriais, a estrutura trófica da comunidade de peixes ainda apresenta distribuição em diferentes níveis tróficos.

O estudo demonstrou que espécies nativas possuem populações remanescentes que podem estar utilizando os tributários do corpo principal para fins de reprodução e alimentação, indicando que o reservatório, de maneira geral, oferece condições adequadas para a manutenção das estruturas tróficas identificadas. Por fim, a presença de espécies nativas como *Brycon orbignyanus*, *Piaractus mesopotamicus* e *Megaleporinus obtusidens* evidencia o sucesso do programa de repovoamento de peixes realizado pela concessionária responsável pelo reservatório.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, Angelo Antonio *et al.* Composição, abundância e distribuição espaço-temporal da ictiofauna. *In*: VAZZOLER, Anna Emília Amato de Moraes; AGOSTINHO, Angelo Antonio; HAHN, Norma Segatti (ed.). **A Planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos**. Maringá: EDUEM, 1997. cap. II.4, p. 179-208.
- AGOSTINHO, Angelo Antonio; GOMES, Luiz Carlos; PELICICE, Fernando Mayer. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: EDUEM, 2007. 501 p.
- AGOSTINHO, Angelo Antonio *et al.* Fish assemblages in Neotropical reservoirs: colonization patterns, impacts and management. **Fisheries Research**, v. 173, n. 1, p. 26-36, 2016.
- AGOSTINHO, Angelo Antonio; JÚLIO JÚNIOR, Horácio Ferreira. Peixes da bacia do alto rio Paraná. *In*: LOWE-McCONNELL, Rose H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. Tradução Anna Emília A. de M. Vazzoler, Angelo Antonio Agostinho, Patrícia T. M. Cunningham. São Paulo: EDUSP, 1999. cap. 16, p. 374-400. (Coleção Base).
- AGOSTINHO, Angelo Antonio; ZALEWSKI, Maciej. The dependence of fish community structure and dynamics on floodplain and riparian ecotone zone in Paraná River, Brazil. **Hydrobiologia**, v. 303, p. 141-148, 1995.
- ARAÚJO-LIMA, Carlos Alberto Ricardo Souza *et al.* Trophic aspects of fish communities in Brazilian rivers and reservoirs. *In*: TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura (ed.). **Limnology in Brazil**. Rio de Janeiro: ABC/SBL, 1995. p. 105-136.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Institucional**. Brasília, [2025?]. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 30 dez. 2025.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1981. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/entities/publication/3154f1bf-36c3-4770-99b3-18ce0e80ee63>. Acesso em: 28 ago. 2026.
- 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.
- BRITTON, James R.; ORSI, Mário Luís. Length–weight relationships of 15 fishes of the Capivara Reservoir (Paranapanema basin, Brazil). **Journal of Applied Ichthyology**, v. 26, n. 1, p. 120-121, 2010.

CARVALHO, Edmir Daniel *et al.* Fish assemblage attributes in a small oxbow lake (Upper Paraná River Basin, São Paulo State, Brazil): species composition, diversity and ontogenetic stage. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 45-56, 2005.

CORREIA, Claudia dos Santos; SMITH, Welber Senteio. Hábitos alimentares em peixes de água doce: uma revisão sobre metodologias e estudos em várzeas brasileiras. **Oecologia Australis**, v. 23, n. 4, p. 698-715, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4257/oeco.2019.2304.01>. Acesso em: 28 ago. 2026.

CORTEZ, Thainá *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.

FERREIRA, R. S. The negative effects caused by the construction and operation of hydroelectric plants. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e543972406, 2020.

GAMA, Cecile de Souza. Estudo acerca da mortandade de peixes no AHE Ferreira Gomes, rio Araguari, Ferreira Gomes, AP. **Revista Arquivos Científicos (Immes)**, Macapá, v. 3, n. 2, p. 129-136, 14 nov. 2020.

GU, Wenhua; SWIHART, Robert K. Absent or undetected? Effects of non-detection of species occurrence on wildlife-habitat models. **Biological Conservation**, v. 116, n. 2, p. 195-203, 2004.

HAHN, Norma Segatti *et al.* Trophic structure of the fish fauna. In: AGOSTINHO, Angelo Antonio *et al.* (ed.). **Structure and functioning of the Paraná River and its floodplain**. Maringá: EDUEM, 2004. p. 139-143.

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.

KARR, James R. Assessment of biotic integrity using fish communities. **Fisheries**, v. 6, n. 6, p. 21-27, 1981.

LANGEANI, Francisco *et al.* Diversidade da ictiofauna do Alto Rio Paraná: composição atual e perspectivas futuras. **Biota Neotropica**, v. 7, n. 3, p. 181-197, 2007. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v7n3/pt/abstract?article+bn03407032007>. Acesso em: 28 ago. 2026.

LOWE-McCONNELL, Rose H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. Tradução Anna Emília A. de M. Vazzoler, Angelo Antonio Agostinho, Patrícia T. M. Cunningham. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999. 534 p.

MARCUZZO, Francisco. Bacia hidrográfica do rio Tietê: precipitação pluviométrica espacializada. **Geographia Meridionalis**, v. 5, n. 3, p. 243-266, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.15210/gm.v5i3.16926>. Acesso em: 28 ago. 2026.

MEMÓRIA DA ELETRICIDADE. **A formação da indústria de energia elétrica no Brasil (1879-1927)**: linha do tempo do setor elétrico. Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://memoriadaeletricidade.com.br/linha-do-tempo-do-setor-eletrico/>. Acesso em: 30 dez. 2025.

MOCHEK, Aleksandr D.; PAVLOV, Dmitry S. Comparative Analysis of Fish Distribution in Lentic and Lotic Ecosystems (Review). **Inland Water Biology**, v. 14, n. 2, p. 196-204, mar. 2021.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Manual de Procedimento da Operação**: Módulo 5, Submódulo 5.11. Brasília: ONS, 2024.

OTA, Rafaela Priscila *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.

OYAKAWA, Osvaldo Takeshi; MENEZES, Naércio Aquino. Checklist dos peixes de água doce do Estado de São Paulo, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1a, p. 19-32, 2011.

PEREIRA, Geraldo Magela. **História das usinas hidrelétricas**. Brasília, DF: Oficina de Textos, 2015. p. 117-127.

ROSET, Nicolas *et al.* A review of existing fish assemblage indicators and methodologies. **Fisheries Management and Ecology**, v. 14, n. 6, p. 393-405, 2007.

RUV, M. da C. L.; REBOITA, Michelle Simões; RODRIGUES, R. T. 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: <https://doi.org/10.5380/abclima.v27i0.68836>. 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.

SCHORK, Gian Francisco; ZANIBONI-FILHO, Evoy. Influência do gradiente espacial sobre a estrutura da ictiofauna em um reservatório subtropical, alto rio Uruguai. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 44, n. 2, p. 135-168, 19 dez. 2018.

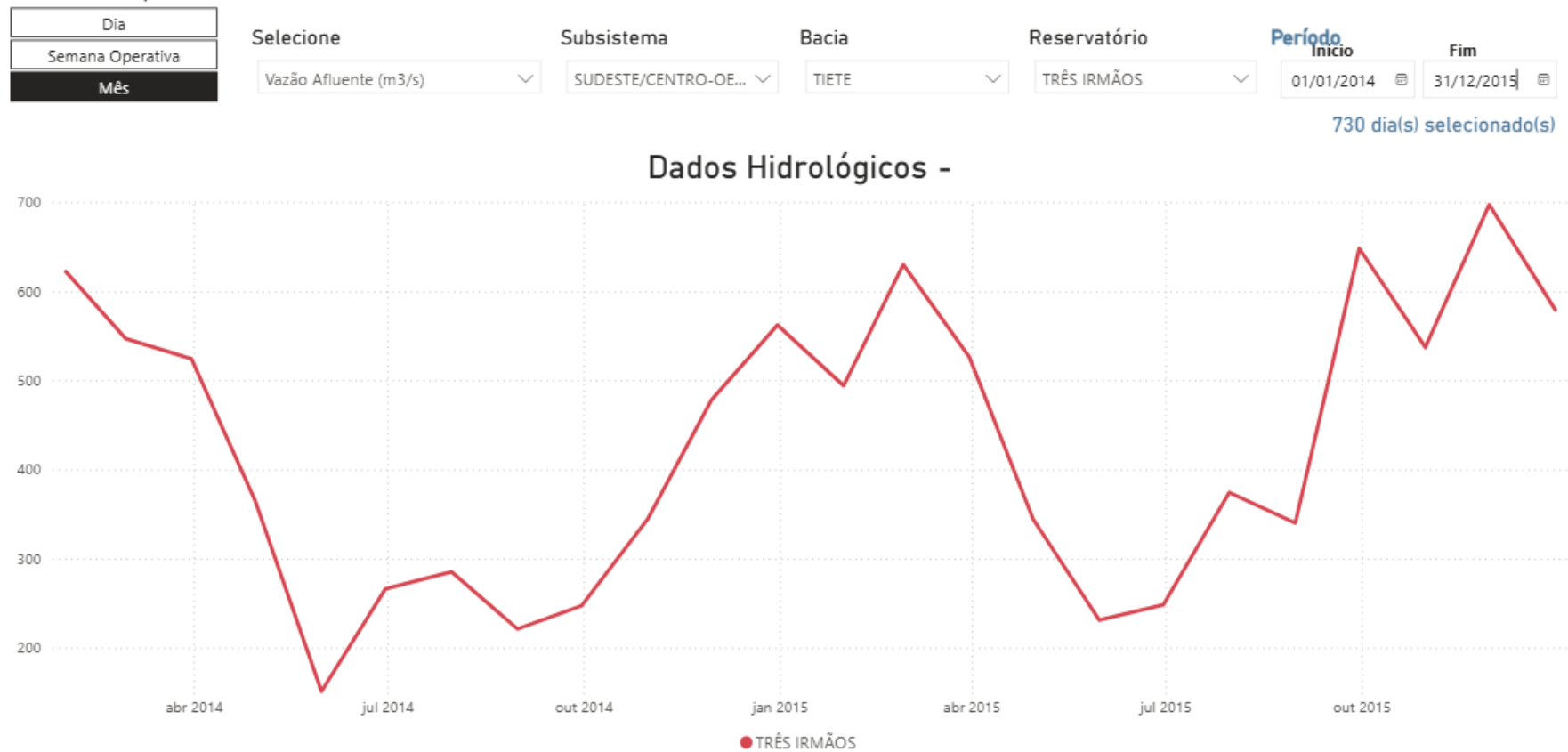
SIMON, Thomas P.; LYONS, John. Application of the index of biotic integrity to evaluate water resource integrity in freshwater ecosystems. In: DAVIS, Wayne S.; SIMON, Thomas P. (ed.). **Biological assessment and criteria**: tools for water resource planning and decision making. Boca Raton: CRC Press, 1995. cap. 16, p. 243-260.

SUZUKI, Harumi Irene *et al.* Reproductive ecology of the fish assemblages. *In*: THOMAZ, Sadi M.; AGOSTINHO, Angelo Antonio; HAHN, Norma Segatti (ed.). **The Upper Paraná River and its floodplain**: physical aspects, ecology and conservation. Leiden: Backhuys Publishers, 2004. p. 271-291.

ZANIN, Paulo Rodrigo; BONUMÁ, Nadia Bernardi; FRANCO, Davide.
Comportamento hidrossedimentológico de bacia hidrográfica com reservatório. [S. l.: s. n.], 2018. 1 recurso eletrônico.

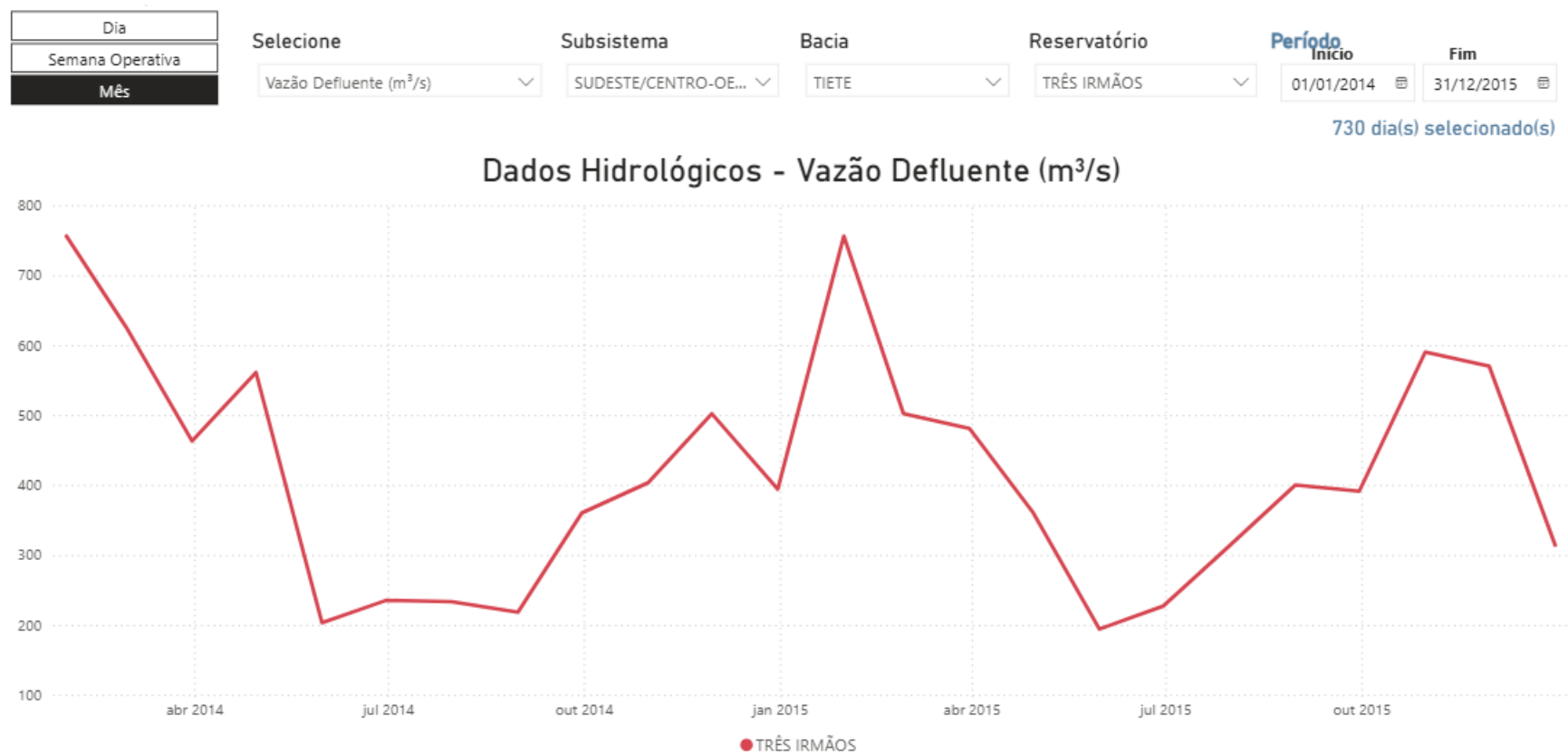
APÊNDICE

Figura 28 - Dados de vazão afluente (m^3/s) do reservatório da UHE Três Irmãos no período de janeiro de 2014 a dezembro de 2015



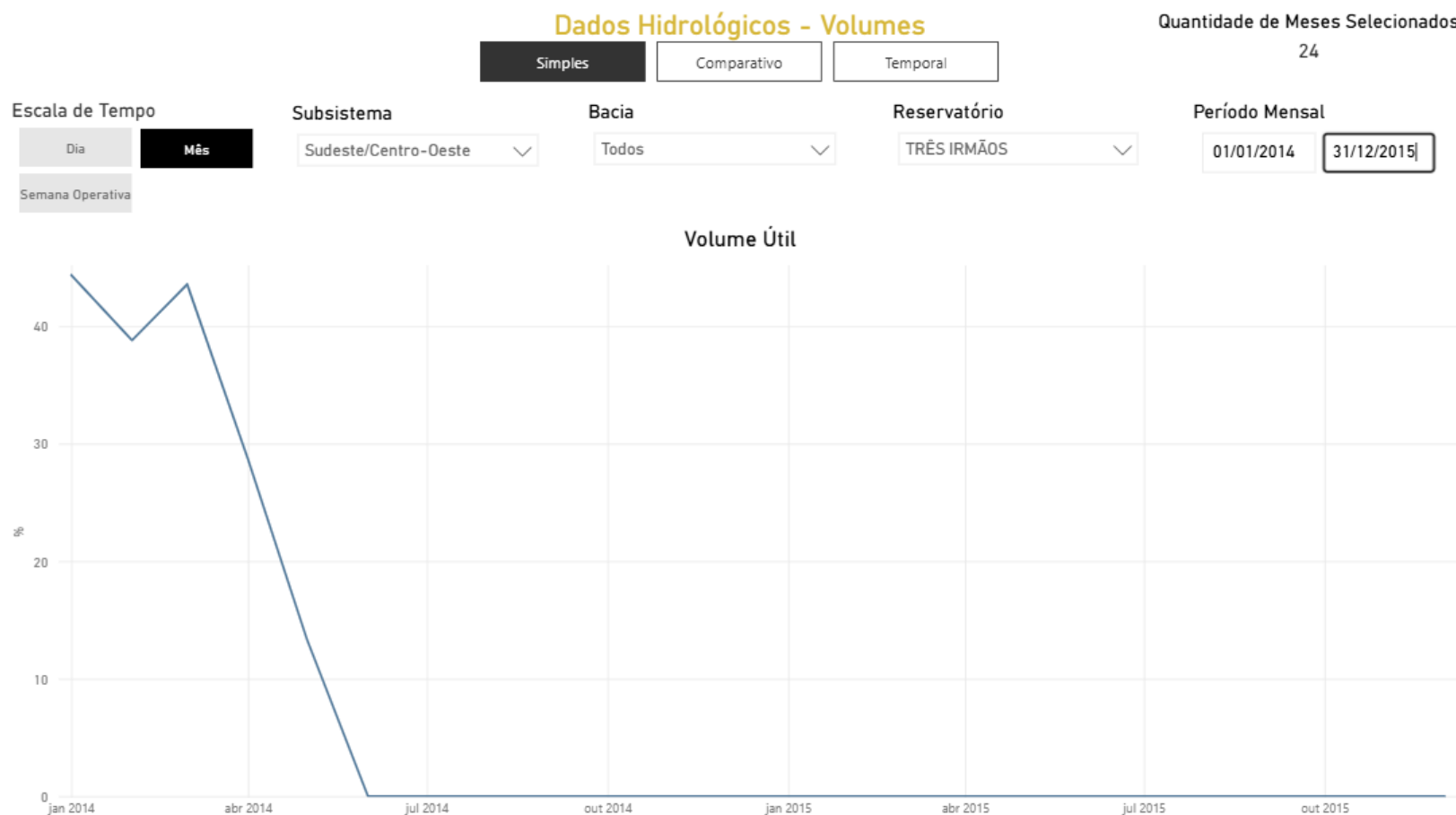
Fonte: Operador Nacional do Sistema (ONS), 2026.

Figura 29 - Dados de vazão defluente (m^3/s) do reservatório da UHE Três Irmãos no período de janeiro de 2014 a dezembro de 2015



Fonte: Operador Nacional do Sistema (ONS), 2026.

Figura 30 - Dados de volume útil em % do reservatório da UHE Três Irmãos no período de janeiro de 2014 a dezembro de 2015



Fonte: Operador Nacional do Sistema (ONS), 2026.