



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PESCA

FAUSTO HENRIQUE OLIVEIRA DE SOUZA SÁ

**CARACTERIZAÇÃO E DIVERSIDADE DA ICTIOFAUNA EM AMBIENTE DE
USO RECREATIVO NA ORLA FLUVIAL DO RESERVATÓRIO ITAPARICA,
PETROLÂNDIA, PERNAMBUCO.**

Serra Talhada
2025

FAUSTO HENRIQUE OLIVEIRA DE SOUZA SÁ

**CARACTERIZAÇÃO E DIVERSIDADE DA ICTIOFAUNA EM AMBIENTE DE
USO RECREATIVO NA ORLA FLUVIAL DO RESERVATÓRIO ITAPARICA,
PETROLÂNDIA, PERNAMBUCO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Bacharelado em Engenharia de
Pesca da Universidade Federal de
Rural de Pernambuco, como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro de Pesca.

Orientador (a): Elton José de França

Coorientador (a): Ávila Daniel de
Carvalho Barbosa

Serra Talhada

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário: Danilo Trindade Barbosa – CRB – 4 2285

S111c Sá, Fausto Henrique Oliveira de Souza
Caracterização e diversidade da ictiofauna em ambiente de uso recreativo na orla fluvial do reservatório itaparica, Petrolândia, Pernambuco. / Fausto Henrique Oliveira de Souza Sá. – Serra Talhada, 2026.
39 f. il.

Orientador(a): Elton José de França.
Coorientador(a): Ávila Daniel de Carvalho Barbosa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica Serra Talhada - UAST, Bacharelado em Engenharia de Pesca, Serra Talhada, PE- BR, 2026.

Inclui referências.

1. Ecologia. 2. Ictiologia. 3. Lago. 4. Submédio São Francisco. I. França, Elton José de, orient. II. Barbosa, Ávila Daniel de Carvalho, coorient. III. Título.

CDD 630

FAUSTO HENRIQUE OLIVEIRA DE SOUZA SÁ

**CARACTERIZAÇÃO E DIVERSIDADE DA ICTIOFAUNA EM AMBIENTE DE
USO RECREATIVO NA ORLA FLUVIAL DO RESERVATÓRIO ITAPARICA,
PETROLÂNDIA, PERNAMBUCO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Bacharelado em Engenharia de
Pesca da Universidade Federal Rural
de Pernambuco, como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro de Pesca.

Aprovado em: 14/02/2026



Documento assinado digitalmente

ELTON JOSE DE FRANCA

Data: 12/03/2026 18:21:13-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Elton José de França (Orientador)

Universidade Federal Rural de Pernambuco



Documento assinado digitalmente

RENATA AKEMI SHINOZAKI MENDES

Data: 13/03/2026 15:22:39-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Renata Akemi Shinozaki Mendes (Examinador Interno)

Universidade Federal Rural de Pernambuco



Documento assinado digitalmente

ANA CARLA ASFORA EL DEIR

Data: 16/03/2026 17:16:25-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Ana Carla Asfora El-Deir (Examinador Externo)

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedico este trabalho aos membros familiares que me apoiaram e foram meus pilares durante toda a graduação, minha mãe Kátia Cilene Oliveira de Souza, minha vó Maria das Graças Oliveira (in memoriam), minhas tias Solange Oliveira de Souza, Alzira Oliveira de Souza Neta e minhas irmãs Isadora Oliveira de Souza Silva, Maria Sophia Oliveira de Souza, Maria Alice Oliveira de Souza Sá, Ana Luiza Oliveira de Souza Sá, obrigado por me ajudarem a chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

À minha família, meu porto seguro. Agradeço imensamente à minha mãe, Kátia Cilene, por sua dedicação incansável e por sempre fazer o impossível por mim, sempre lutando diariamente para que eu nunca abaixasse a cabeça, eu te amo mainha.

Às minhas tias, Solange e Alzira, cuja presença foi fundamental em cada etapa do meu percurso e da minha vida, e a quem eu tenho o prazer de fazer raiva diariamente estando perto ou longe.

Às minhas irmãs, Isadora, Sophia, Alice e Ana Luíza, que foram companheiras de infância e serem os pilares que me sustentam, é muito bom encrencar vocês.

Ao meu pai César e meu tio Wildo, pelo apoio constante e por serem presentes de maneira leve e parceiros em minha jornada.

Ao meu primo Ryan, que foi muito mais que um primo, foi um verdadeiro irmão durante toda a minha vida e, especialmente, ao longo desta graduação.

À minha avó Gracinha (*in memoriam*), que partiu, mas deixou em mim a semente do conhecimento. Agradeço por ter me mostrado, com tanto carinho, a importância dos estudos e por ser a minha primeira e eterna professora e quem eu tinha o prazer de não chamar de vovó diariamente, mas sim de mãe.

Aos amigos que a vida me presenteou, em especial à Ávila, Ângela, Aline e Renata. Obrigado por serem ouvintes, por me incentivarem a não desistir e por dividirem comigo as angústias e alegrias desta etapa. A presença de vocês foi fundamental para o meu equilíbrio e felicidade. pela parceria constante, pelas trocas de conhecimento e por estarem ao meu lado nos momentos de desafio e de comemoração. Vocês foram fundamentais para essa conquista e pilares importantes na minha vida, sem o apoio de vocês, este caminho seria muito mais difícil.

Agradeço aos meus amigos pela lealdade e por serem a companhia divertida que me motivou durante toda a graduação. Em especial a: Antoni, Brown, Cícero Franquiélinton, Deyvid Rodrigo, Erick, Lucas, Jayslan, João Victor, Anderson Soares, Sara e Yasmine. Cada um de vocês, à sua maneira, foi fundamental para o meu crescimento pessoal e profissional, sendo peças-

chave na conclusão deste trabalho. Aos meus amigos de Petrolândia, Arlindo, Juninho, Marcelo. É gratificante contar com vocês nesta conquista.

Aos meus amigos e colegas do Laboratório de Ecologia e Sistemática de Peixes (LAESP), pela convivência diária, pelo suporte mútuo e por compartilharem comigo os desafios e as descobertas durante a jornada acadêmica.

Ao meu orientador, Elton José de França, por toda a confiança depositada em mim, tornando este processo muito mais leve com sua sabedoria e amizade.

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco é um dos ecossistemas mais vitais do Brasil, desempenhando um papel estratégico na integração nacional e na subsistência das populações do semiárido. Caracterizada por um elevado índice de endemismo, a sua ictiofauna enfrenta constantes ameaças devido às transformações antropogênicas, com destaque para a construção de grandes reservatórios. A formação da Usina Hidroelétrica (UHE) Luiz Gonzaga, o Reservatório de Itaparica, em 1988, alterou drasticamente o regime hidrológico do Submédio São Francisco, convertendo ambientes lóticos em lênticos e fragmentando habitats essenciais para o ciclo de vida de diversas espécies, especialmente as migradoras. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo inventariar a composição e a estrutura da assembleia de peixes da área recreativa na orla fluvial do reservatório Itaparica, no município de Petrolândia, Pernambuco, uma área marcada pelo uso recreativo e pressão urbana. A metodologia envolveu levantamentos ictiofaunísticos durante o período de oito meses (janeiro a agosto de 2025), utilizando métodos de amostragem padronizados para capturar a diversidade local em diferentes pontos da área. Os espécimes capturados foram identificados ao menor nível taxonômico nas dependências da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST). A análise da composição ictiofaunística foi realizada com base em registros mensais de ocorrência das espécies ao longo de oito meses de amostragem. As análises estatísticas foram conduzidas no software Rstudio (versão 4.4.2), no Software Past (versão 4.03), e os dados foram organizados e tabulados no Microsoft Excel® 365. Os resultados indicaram a presença de 15 espécies, pertencentes a 6 ordens e 10 famílias. As ordens Characiformes e Cichliformes foram as mais representativas, seguindo o padrão esperado para a bacia. Entre as espécies coletadas, destacaram-se *Bryconops* cf. *affinis* e *Hemmigramus brevis* evidenciando uma estrutura de comunidade adaptada às condições de reservatório. Observou-se ainda a presença de espécies exóticas como a tilápia-do-nilo *Oreochromis niloticus* e o Pacu CD *Metynnis lippincottianus*. Conclui-se que a ictiofauna da orla de Petrolândia reflete os impactos da estabilização do nível da água e da ocupação das margens. Os dados gerados neste estudo fornecem uma linha de base crucial para o monitoramento ambiental e para a conservação da biodiversidade no Submédio São Francisco, ressaltando a importância na documentação da biota regional frente às constantes modificações ambientais.

Palavras-chave: Ecologia; Ictiologia; Lago; Pirambeba.

ABSTRACT

The São Francisco River Basin is one of Brazil's most vital ecosystems, playing a strategic role in national integration and the subsistence of the semi-arid population. Characterized by a high rate of endemism, its ichthyofauna faces constant threats due to anthropogenic transformations, particularly the construction of large reservoirs. The construction of the Luiz Gonzaga Hydroelectric Plant (UHE) and the Itaparica Reservoir in 1988 drastically altered the hydrological regime of the Lower São Francisco River, converting lotic environments into lentic ones and fragmenting habitats essential to the life cycle of several species, especially migratory ones. In this context, the present study aimed to inventory the composition and structure of the fish assemblage in the recreational area on the riverbank of the Itaparica reservoir, in the municipality of Petrolândia, Pernambuco, an area marked by recreational use and urban pressure. The methodology involved ichthyofaunal surveys during an eight-month period (January to August 2025), using standardized sampling methods to capture local diversity at different points in the area. The specimens captured were identified at the lowest taxonomic level at the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE), Serra Talhada Academic Unit (UAST). The analysis of the ichthyofaunal composition was based on monthly records of species occurrence over eight months of sampling. Statistical analyses were conducted using Rstudio software (version 4.4.2) and Past software (version 4.03), and the data were organized and tabulated in Microsoft Excel® 365. The results indicated the presence of 15 species belonging to 6 orders and 10 families. The orders Characiformes and Cichliformes were the most representative, following the expected pattern for the basin. Among the species collected, *Bryconops* cf. *affinis* and *Hemmigrammus brevis* stood out, evidencing a community structure adapted to reservoir conditions. The presence of exotic species such as Nile tilapia *Oreochromis niloticus* and Pacu CD *Metynnis lippincottianus* was also observed. It is concluded that the ichthyofauna of the Petrolândia coastline reflects the impacts of water level stabilization and occupation of the banks. The data generated in this study provide a crucial baseline for environmental monitoring and biodiversity conservation in the Lower São Francisco River, highlighting the importance of documenting regional biota in the face of constant environmental changes.

Keywords: Ecology; Ichthyology; Lake; Pirambeba.

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Mapa de localização dos pontos de coleta na área recreativa do município de Petrolândia – PE, banhado pelo reservatório Itaparica, no Submédio do Rio São Francisco.....	18
Figura 2. Dendrograma de análise de agrupamento baseado no índice de similaridade de Jaccard, comparando a composição da ictiofauna entre os meses de janeiro e agosto de 2025 no município de Petrolândia, PE.....	22
Figura 3. Variação mensal da riqueza de espécies de peixes em relação à cota do reservatório (m) e precipitação pluviométrica (mm) em Petrolândia, PE, entre janeiro e agosto de 2025. Os valores numéricos abaixo dos ícones indicam o número de espécies registradas em cada mês.....	24
Figura 4. Curva de rarefação (linhas contínuas) e extrapolação (linhas tracejadas) da diversidade de espécies de peixes em função do número de indivíduos coletados mensalmente em Petrolândia, PE. As áreas sombreadas representam o intervalo de confiança de 95%.....	25

LISTA DE TABELA

Pag.

Tabela 1. Tabela das espécies capturadas na área recreativa do município de Petrolândia – PE, banhada pelo reservatório Itaparica, no Submédio do Rio São Francisco, identificadas taxonomicamente a nível de espécie e atualizadas de acordo com a Lista de Eschmeyer (2025). **21**

Tabela 2. Índices de diversidade alfa e parâmetros de estrutura da comunidade ictiofaunística amostrada em Petrolândia (PE), no Reservatório de Itaparica, entre janeiro e agosto de 2025, onde: D = Dominância de Simpson; D' = Diversidade de Simpson; H' = Índice de Shannon-Wiener; J' = Equitabilidade de Pielou. Cálculos realizados no software PAST..... **23**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Ictiofauna e a Diversidade na Região Neotropical	12
2.2 Diversidade e a Fragmentação da Região Hidrográfica do Submédio São Francisco.....	13
2.3 Ictiofauna nos trechos do São Francisco e seus principais estudos de caso	14
2.4 Reservatório Itaparica e seu cenário regional.....	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 Objetivo Geral.....	17
3.2 Objetivos Específicos.....	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
4.1 Área de estudo	18
4.2 Coleta e amostragem.....	18
4.3 Triagem do material	19
4.4 Análise de dados	19
5. RESULTADOS	20
6. DISCUSSÃO	25
7. CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, desempenha um papel fundamental na integração nacional e na manutenção da vida no semiárido brasileiro, sendo considerado a maior bacia essencialmente brasileira, abrangendo uma área de drenagem de 639.000 km² estando inserida em sete unidades de federação, sendo elas: Alagoas, Sergipe, Pernambuco, Bahia, Distrito Federal, Goiás e Minas Gerais. Conhecido como o 'Rio da Integração Nacional', o São Francisco é vital para a geração de energia, o abastecimento humano, a agricultura irrigada e a pesca artesanal, sustentando uma biodiversidade ictiofaunística única, com altos índices de endemismo adaptados às condições da Caatinga (Lima et al., 2017; Silva et al., 2020).

Este cenário de elevada riqueza biológica, embora documentado em escalas regionais, passou a ser monitorado mais rigorosamente com o estabelecimento de inventários de referência para as áreas impactadas por grandes obras de engenharia hídrica (Silva et al., 2020). Contudo, o regime hidrológico natural do rio passou por profundas transformações devido a uma série de barragens voltadas à geração de energia elétrica.

Nesse contexto, a formação do Reservatório de Itaparica (atualmente conhecida como UHE Luiz Gonzaga) em 1988 marcou uma mudança definitiva na paisagem do Submédio São Francisco. A inundação de vastas áreas marginais para a criação deste lago artificial resultou na transição abrupta de um sistema lótico para um ambiente predominantemente lântico, de águas paradas e maior transparência (Agostinho et al., 2008).

Essas alterações ambientais impõem consequências severas à ecologia local, como o assoreamento de leitos e a perda de áreas de várzea essenciais para a reprodução de peixes migratórios. Ou seja, modificações hidrológicas decorrentes de empreendimentos hidroelétricos provocam alterações no ciclo de vida das espécies de peixes e na composição e estrutura de suas comunidades (De Araújo Pinto et al., 2018; Pelicice et al., 2015). A estabilização das águas em Itaparica não apenas desestruturou as assembleias nativas que dependiam da dinâmica de cheias, como também criou nichos favoráveis à proliferação de

espécies generalistas e ao estabelecimento de táxons exóticos invasores (Silva et al., 2020; Gutierre et al., 2023), consolidando um ecossistema artificializado e fragilizado diante das pressões antropogênicas.

Apesar da relevância desse cenário, o conhecimento sobre a composição da ictiofauna nas bacias hidrográficas brasileiras ainda é irregular e, em muitos locais, deficiente. Estudos de cunho taxonômico e ecológico são fundamentais para avaliar como as atividades antrópicas e os distúrbios ambientais, como a eutrofização e o uso recreativo das margens, organizam as assembleias de peixes. Tais dados são indispensáveis para a compreensão da diversidade local e para a elaboração de planos de manejo e conservação eficazes (Da Silva Filho et al., 2011; Dantas et al., 2020).

No contexto da bacia do Rio São Francisco, o monitoramento contínuo é crucial para avaliar a integridade dos ecossistemas aquáticos. Contudo, a grande extensão geográfica e a carência de inventários de linha de base em trechos específicos resultam em lacunas de conhecimento (Sales et al., 2021; Camargo, 2023). Diante dessa necessidade, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar e analisar a diversidade da ictiofauna na área de uso recreativo da orla fluvial do lago de Itaparica, no município de Petrolândia, Pernambuco, inserido na região do Submédio São Francisco.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ictiofauna e a Diversidade na Região Neotropical

A ictiofauna é o conjunto de espécies de peixes que habitam determinada região geográfica. A região Neotropical abriga uma diversidade ictiológica espetacular, incomparável a qualquer outra região biogeográfica do planeta. Atualmente, estima-se que existam mais de 6.200 espécies de peixes de água doce na região, distribuídas em 854 gêneros, 95 famílias e 39 ordens (Albert et al., 2020; Pelicice et al., 2021).

De acordo com a base de dados FishBase (2025), o Brasil abrange 3.716 espécies registradas, consolidando-se como o país com a maior diversidade de peixes de água doce do mundo. No entanto, a composição dessas comunidades

nos cursos d'água está intrinsecamente ligada à estrutura física do habitat e à sua localização geográfica, o que torna a captura e a determinação de parâmetros biológicos um desafio metodológico superior ao enfrentado no estudo da maioria dos grupos de vertebrados (Böhlke et al., 1978; Buckup, 2021).

Os peixes de rios constituem a grande maioria das espécies e apresentam uma ampla variedade de adaptações funcionais. A maior parte das espécies neotropicais de água doce pertence a apenas cinco grandes clados, convencionalmente classificados como ordens taxonômicas: Siluriformes (bagres e cascudos), Characiformes (piabas, tetras, piranhas e afins), Cyprinodontiformes (peixes anuais, rivulídeos e afins), Cichliformes (ciclídeos) e Gymnotiformes (peixes elétricos neotropicais) (Albert et al., 2020; Van Der Sleen; Albert, 2022).

Nesse cenário de vasta diversidade neotropical, a Bacia do Rio São Francisco destaca-se como um sistema complexo e altamente impactado, especialmente no trecho submédio.

2.2 Diversidade e a Fragmentação da Região Hidrográfica do Submédio São Francisco

A bacia do Rio São Francisco é a maior bacia hidrográfica inteiramente nacional, com aproximadamente 2.800 km de comprimento, sendo o terceiro rio mais longo do país. O rio atravessa três biomas (Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga) e é dividido geomorfologicamente em quatro segmentos: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco. Essa divisão reflete a grande diversidade e o elevado endemismo de sua ictiofauna (Medeiros et al., 2014; Belei et al., 2016; Soares et al., 2020; Soares et al., 2023).

Esta bacia apresenta uma ampla riqueza de habitats, como áreas de cachoeira, planícies inundadas, lagoas marginais e regiões estuarinas, além de uma infinidade de poças intermitentes ao longo de seu leito. Tal heterogeneidade ambiental confere ao sistema uma rica diversidade ictiofaunística, com a ocorrência de inúmeras espécies endêmicas (Barbosa et al., 2017).

Entretanto, boa parte dos estoques pesqueiros encontra-se sobre-explorada. Os conflitos pelo uso dos recursos foram agravados pelos barramentos do rio para a geração de eletricidade, o que se revelou uma realidade drástica para a manutenção dos estoques naturais em toda a bacia (Barbosa; Soares, 2009). Nos ecossistemas aquáticos, os represamentos tornam-se obstáculos ao longo do eixo longitudinal dos rios, com efeitos que ocorrem tanto a montante quanto a jusante das barragens. Dentre os organismos aquáticos, os peixes são os que mais sofrem com a influência dos reservatórios, especialmente as espécies reofílicas. Estas necessitam realizar migrações para a reprodução, mas deparam-se com obstruções verticais que bloqueiam a conectividade dos canais, impedindo a migração ascendente (Torres, 2023).

A redução da vazão de descarga afeta a dinâmica hidrológica, resultando, por exemplo, no aumento da influência da cunha salina sobre o rio e em alterações na estrutura das comunidades aquáticas. Tais mudanças justificam a realização de estudos de bioecologia, identificação e monitoramento de espécies, subsídios essenciais para ações que visem mitigar as adversidades decorrentes dessas ações antrópicas. Considerando que a estrutura física do habitat é determinante para a composição e a abundância das espécies, os impactos do represamento modificam significativamente a organização da ictiofauna (Barbosa et al., 2017; Gonçalves et al., 2023).

O trecho Submédio é um dos mais afetados, pois está inserido em um sistema de cascata de reservatórios, uma extensão livre de represamentos de aproximadamente 300 km entre a barragem de Sobradinho e o reservatório de Itaparica. Além disso, o Submédio São Francisco é alvo de estudos para a implantação de novos empreendimentos hidrelétricos, o que pode alterar ainda mais a composição e as características ecológicas da ictiofauna regional (Da Luz et al., 2012).

2.3 Ictiofauna nos trechos do São Francisco e seus principais estudos de caso

A ictiofauna da bacia do rio São Francisco apresenta uma riqueza expressiva, que vem sendo atualizada progressivamente por meio de

levantamentos sistemáticos. No final da década de 90, estimava-se a existência de 152 espécies de peixes conhecidas, com predominância absoluta das ordens Characiformes e Siluriformes (Sato; Godinho, 1999). Entretanto, o avanço das pesquisas e o refinamento taxonômico elevaram esses números significativamente, análises recentes revelam a presença de 248 espécies distribuídas em diversas ordens (Camargos, 2023). Nesse cenário atual, Characiformes, Siluriformes e Cyprinodontiformes consolidam-se como os grupos majoritários, respondendo por cerca de 90% da diversidade total, enquanto ordens como Gymnotiformes e Cichliformes apresentam menor representatividade, completando a estrutura das assembleias de peixes da bacia (Camargos, 2023). A compreensão da ictiofauna nesta bacia evoluiu de levantamentos puramente taxonômicos para estudos focados na ecologia de comunidades sob estresse ambiental.

A pesquisa científica na bacia tem se aprofundado na biologia pesqueira das espécies nativas como estratégia de conservação. No campo reprodutivo, estudos com o dourado *Salminus franciscanus* (Lima e Britski, 2007) revelam que as alterações térmicas e o bloqueio do fluxo impactam a maturação de oócitos e o sucesso da desova em nível celular (De Freitas et al., 2012). Complementarmente, o entendimento dos hábitos alimentares e das relações tróficas é determinante para avaliar a adaptação das espécies a habitats fragmentados (Silva, 2019).

O desenvolvimento inicial também se mostra um indicador ambiental sensível: a caracterização de ovos e larvas, como realizado por Santos (2025), para o curimatã-pacu *Prochilodus argenteus* (Spix e Agassiz, 1829), fornece dados cruciais sobre o recrutamento e a capacidade de sobrevivência de juvenis em trechos remanescentes. A integração entre a biologia pesqueira e a genética de populações, especialmente por meio da técnica de DNA barcoding, surge como um avanço vital. Essa ferramenta permite a identificação taxonômica rápida e precisa, garantindo que estratégias, como períodos de defeso e a criação de áreas protegidas, sejam direcionadas às reais entidades biológicas do rio, prevenindo a perda silenciosa da biodiversidade (Nunes et al., 2024).

2.4 Reservatório Itaparica e seu cenário regional

O Reservatório de Itaparica, construído na década de 80, oficialmente denominado Usina Hidrelétrica (UHE) Luiz Gonzaga e operado pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), representa um dos principais marcos da alteração antropogênica no Submédio São Francisco.

Com uma área inundada de cerca de 830 km² e um volume útil de 10,7 bilhões de metros cúbicos, o reservatório possui capacidade instalada de 1.480 MW, localiza-se entre os estados de Pernambuco e da Bahia, banhando os municípios de Tacaratu, Petrolândia, Floresta, Itacuruba e Belém do São Francisco no estado de Pernambuco (Lopes et al., 2015). No entanto, sua relevância transcende a geração de energia. Trata-se de um sistema multifuncional, essencial para o abastecimento público, a irrigação, a recreação e, notadamente, para o setor pesqueiro, englobando a pesca artesanal e a piscicultura intensiva em tanques-rede.

O município de Petrolândia, localizado no Sertão de Pernambuco, exemplifica de forma drástica as transformações decorrentes desse barramento. A inundação de parte de seu território original em 1988 forçou o reassentamento da população para a "Nova Petrolândia", alterando permanentemente a dinâmica socioeconômica e espacial da região (Do Carmo-Sobral et al., 2018). Atualmente, o município abrange uma área de 1.057 km², com população estimada em 35.991 habitantes e PIB per capita expressivo de R\$ 44.994,80 (IBGE, 2024).

A transição abrupta de um sistema lótico (rio com correnteza) para um sistema lêntico (ambiente de represa) provocou um declínio acentuado na pesca artesanal tradicional (Da Rocha; Vital, 2012). Em contrapartida, a região consolidou-se como um polo aquícola e turístico, impulsionado por elementos como a famosa igreja submersa (Santos, 2023). Contudo, essa nova configuração ambiental impõe desafios ecológicos severos. Apesar da importância econômica, uma lacuna crítica de conhecimento sobre a composição da ictiofauna local. O trecho compreendido entre Sobradinho e Itaparica apresenta as últimas características de um ambiente menos fragmentado nesta porção da bacia, considerado um trecho remanescente livre de reservatórios, tornando urgente o levantamento das espécies litorâneas para

compreender a biodiversidade que resiste e se adapta a essas profundas modificações hidrológicas. Visto as ações antrópicas e a escassez de estudos ecológicos sobre a ictiofauna que vive neste contexto, faz se necessário um estudo dessa comunidade, antes que ela seja mais alterada (Stegmann et al., 2007; Luz et al., 2009).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Caracterizar a composição e a estrutura da assembleia ictiofaunística na área recreativa do Reservatório Itaparica, (Petrolândia - PE), Submédio Rio São Francisco.

3.2 Objetivos Específicos

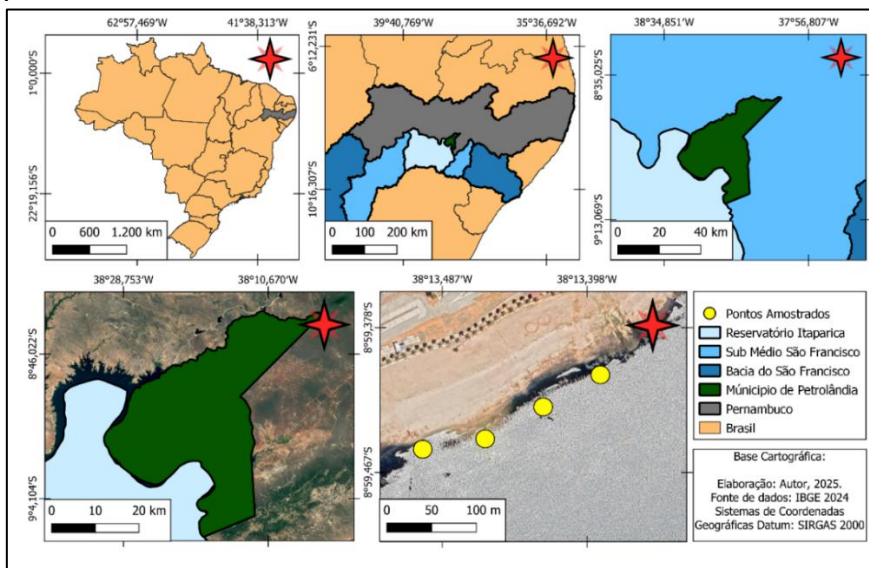
- Realizar o levantamento taxonômico das espécies de peixes presentes na área de estudo entre janeiro e agosto de 2025;
- Determinar a diversidade alfa da assembleia por meio dos índices de Shannon-Wiener, Equitabilidade de Pielou, Dominância e Diversidade de Simpson;
- Analisar a Similaridade temporal da composição e as características do ambiente lântico sob influência das atividades antrópicas;
- Discutir a relação entre a riqueza de espécies e as características do ambiente lântico sob influência de atividades antrópicas locais;
- Disponibilizar dados atualizados sobre a biodiversidade de peixes no Submédio São Francisco para subsidiar ações de conservação e manejo pesqueiro.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado na área de banho denominada “Praia do Toco”, localizada na orla fluvial do município de Petrolândia, Pernambuco (Figura 1). A Praia do Toco, no município de Petrolândia, está inserida no lago artificial Itaparica, é utilizada para atividades pesqueiras e recreativas, apresentando importância socioeconômica local, ponto turístico e potencial representatividade da ictiofauna do reservatório. O ponto de amostragem caracteriza-se como um ambiente de águas paradas (lêntico), apresentando a presença de macrófitas aquáticas que formam microhabitats essenciais que servem de refúgio e sítio de alimentação para a ictiofauna litorânea, o substrato nas margens coletadas é majoritariamente arenoso-argiloso, a água apresenta baixa turbidez e elevada transparência na maior parte do período amostrado, característica comum em reservatórios onde a velocidade da água é reduzida, permitindo a sedimentação de sólidos em suspensão.

Figura 1. Mapa de localização dos pontos de coleta na área recreativa do município de Petrolândia – PE, banhado pelo reservatório Itaparica, no Submédio do Rio São Francisco.



Fonte: Elaboração própria Autor, 2026.

4.2 Coleta e amostragem

Em conformidade com a autorização de coleta do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - SISBIO, nº 86438-2, e da Comissão de Ética no uso de animais (CEUA) da UFRPE. O inventário ictiológico

e a coleta de dados primários foram realizados em diferentes pontos da área de estudo com duração de 8 meses, iniciando em janeiro de 2025 e encerrando em agosto do mesmo ano. Foram realizadas coletas em 4 pontos da praia cada ponto foi definido com uma extensão de 8 m de comprimento sendo utilizado trena métrica para determinar o comprimento dos pontos, as coletas foram iniciadas a partir das 8 horas da manhã sendo empregada metodologia de captura do tipo ativa, ou seja, os peixes foram coletados com rede de arrasto (comprimento de 5 m, altura de 2,5 m em multifilamento com malha de 5 mm entre nós opostos) e puçá (diâmetro de 40 cm, de multifilamento com malha de 5 mm entre nós opostos), seguindo-se a metodologia apresentada por Uieda e Castro (1999).

4.3 Triagem do material

Na etapa de fixação, primeiramente os espécimes foram eutanasiados (Concea 2016, Fernandes et al. 2017, Alves et al. 2021), sendo assim, os espécimes coletados foram acondicionados em baldes contendo solução letal de Eugenol 5% (Lucena et al., 2013) em seguida colocados em sacos plásticos devidamente identificados e fixados em solução de formol a 10%. Sendo posteriormente transportado para o laboratório e identificado ao menor nível taxonômico possível, utilizando-se da bibliografia pertinente. O material encontra-se preservado em etanol 70% e depositado na coleção de peixes da Unidade Acadêmica de Serra Talhada.

A identificação taxonômica foi efetuada com base em literatura especializada, bem como bibliografia complementar para grupos taxonômicos específicos, e os dados qualitativos referentes aos registros individuais para cada espécie em cada estação foram convertidos em indivíduos por amostra, efetuando-se a comparação direta entre amostras, sendo uma para cada estação.

4.4 Análise de dados

A análise da composição ictiofaunística foi realizada com base em registros mensais de ocorrência das espécies ao longo de oito meses de

amostragem, considerando os quatro pontos da margem amostrada para compreender os dados relacionados à composição da comunidade, diversidade e equitabilidade da comunidade analisada, as análises estatísticas foram conduzidas no software Rstudio (versão 4.4.2), no Software Past (versão 4.03), e os dados foram organizados e tabulados no Microsoft Excel® 365, também utilizado para a elaboração de tabelas e gráficos descritivos. No software Past foram calculados os índices ecológicos de riqueza de espécies, diversidade de Shannon-Wiener (H'), equitabilidade de Pielou (J') e dominância de Simpson (D), com o objetivo de descrever a estrutura da comunidade ao longo do tempo.

A similaridade entre os meses foi avaliada por meio do índice de Jaccard, utilizando matriz de presença/ausência das espécies, e os agrupamentos foram representados por meio de dendrograma gerado pelo método UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean), para explorar padrões na composição da ictiofauna e possíveis agrupamentos por mês. Além disso, foram calculadas a frequência de ocorrência e a constância das espécies, permitindo identificar aquelas com distribuição mais ampla (espécies comuns) ou restrita (espécies raras) ao longo das coletas. Para a realização destas análises, foi utilizado o software Rstudio.

Os nomes científicos das espécies, famílias e ordens dos peixes coletados foram atualizados de acordo com o *status* do catálogo de peixes de Eschmeyer *Eschmeyer's Catalog of Fishes* (2025).

5. RESULTADOS

As amostragens realizadas durante o período de oito meses (janeiro a agosto de 2025) resultaram na captura de 305 exemplares, distribuídos em seis ordens, 10 famílias e 15 espécies (Tabela 1). No que se refere à composição taxonômica, a ordem Characiformes apresentou a maior riqueza, com sete espécies (46,67% do total), seguida pela ordem Cichliformes, com quatro espécies (26,67%). As ordens Cyprinodontiformes, Synbranchiformes, Siluriformes e Gymnotiformes apresentaram menor representatividade, com apenas uma espécie cada (6,67% por ordem).

Tabela 1. Tabela das espécies capturadas na área recreativa do município de Petrolândia – PE, banhada pelo reservatório Itaparica, no Submédio do Rio São Francisco, identificadas taxonomicamente a nível de espécie e atualizadas de acordo com a Lista de Eschmeyer (2025).

ORDEM	Família	Espécie	ENN
Characiformes	Erythrinidae	<i>Hoplias lacerdae</i> (Miranda Ribeiro, 1908)	
	Serrasalminidae	<i>Serrasalmus brandtii</i> (Lütken, 1875)	
	Serrasalminidae	<i>Metynnis lippincottianus</i> (Cope, 1870)	x
	Characidae	<i>Roeboides xenodon</i> (Reinhardt, 1851)	
	Characidae	<i>Phenacogaster franciscoensis</i> (Eigenmann, 1911)	
	Acestrorhamphidae	<i>Hemigrammus brevis</i> (Ellis, 1911)	
	Iguanodectidae	<i>Bryconops cf. affinis</i> (Günther, 1864)	
Cichliformes	Cichlidae	<i>Cichla kelberi</i> (Kullander e Ferreira, 2006)	x
	Cichlidae	<i>Saxatilia lepidota</i> (Heckel, 1840)	
	Cichlidae	<i>Cichlasoma sanctifranciscense</i> (Kullander, 1983)	
	Cichlidae	<i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)	x
Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Poecilia vivipara</i> (Bloch e Schneider, 1801)	
Synbranchiformes	Synbranchidae	<i>Synbranchus marmoratus</i> (Bloch, 1795)	
Siluriformes	Loricariidae	<i>Hypostomus sp.</i>	
Gymnotiformes	Gymnotidae	<i>Gymnotus carapo</i> (Linnaeus, 1758)	

Fonte: Elaboração própria Autor, 2026.

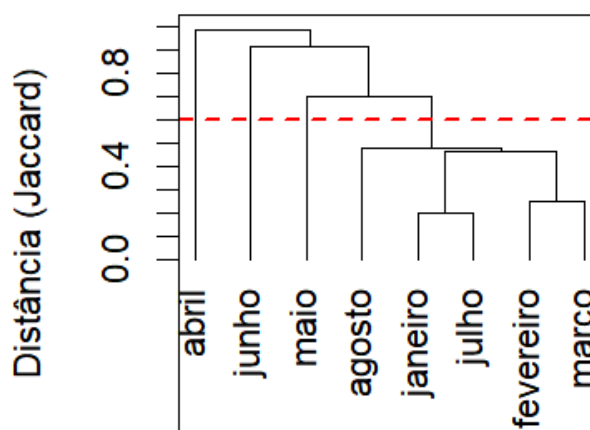
A variação temporal da riqueza, com pico em março (11 espécies), apresentou correlação inversa com a hidrodinâmica do reservatório. Durante este período, a menor cota e os baixos índices pluviométricos favoreceram a eficiência das artes de pesca ativas (rede de arrasto e puçá). A retração da linha de costa e a consequente concentração da ictiofauna em áreas marginais rasas facilitaram o manuseio dos aparelhos, ao mesmo tempo em que reduziram as áreas de refúgio disponíveis.

Em contrapartida, os meses de abril e junho, caracterizados por episódios de cheia e elevação do nível hídrico, representaram os maiores desafios amostrais. A inundação da vegetação ripária e o aumento da profundidade impuseram limitações físicas severas ao arrasto, conferindo maior proteção à fauna e resultando em uma menor detectabilidade e eficiência de captura nesses períodos.

A análise de agrupamento baseada no índice de Jaccard (Figura 2) revelou que as maiores similaridades na composição da ictiofauna ocorreram entre janeiro e julho, seguidas por fevereiro e março. Estes quatro meses, juntamente com agosto, formaram um bloco de maior afinidade taxonômica, situando-se abaixo da linha de corte de 0,6 na escala de distância.

Em contrapartida, os meses de maio, junho e abril apresentaram as maiores distâncias (menores similaridades) em relação aos demais períodos. O mês de abril destacou-se como o mais discrepante de toda a amostragem, situando-se no topo da estrutura hierárquica. Esse padrão de agrupamento corrobora as observações de campo, em que os episódios de cheia e elevação da cota do reservatório nesses meses alteraram a acessibilidade e a composição das espécies capturáveis, diferenciando-as significativamente dos períodos de águas baixas.

Figura 2. Dendrograma de análise de agrupamento baseado no índice de similaridade de Jaccard, comparando a composição da ictiofauna entre os meses de janeiro e agosto de 2025 no município de Petrolândia, PE.



Fonte: Elaboração própria Autor, 2026.

Os índices ecológicos calculados revelaram variações temporais significativas na estrutura da comunidade ictiofaunística de Petrolândia (Tabela 2). O índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') variou de 0,845 (maio) a 2,148 (julho). O valor mais elevado em julho, acompanhado do maior índice de equitabilidade de Pielou ($J' = 0,933$), indica que este foi o período com a distribuição de abundância mais uniforme entre as espécies capturadas.

Tabela 2. Índices de diversidade alfa e parâmetros de estrutura da comunidade ictiofaunística amostrada em Petrolândia (PE), no Reservatório de Itaparica, entre janeiro e agosto de 2025, onde: D = Dominância de Simpson; D' = Diversidade de Simpson; H' = Índice de Shannon-Wiener; J' = Equitabilidade de Pielou. Cálculos realizados no software PAST.

Índices de Diversidade	Meses							
	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto
Riqueza	8	10	11	X	6	X	10	10
Abundância	54	35	46	X	107	X	29	32
D	0,280	0,140	0,167	X	0,496	X	0,130	0,191
D'	0,720	0,860	0,833	X	0,505	X	0,870	0,809
H'	1,538	2,096	2,032	X	0,845	X	2,148	1,981
J'	0,740	0,911	0,848	X	0,472	X	0,933	0,861

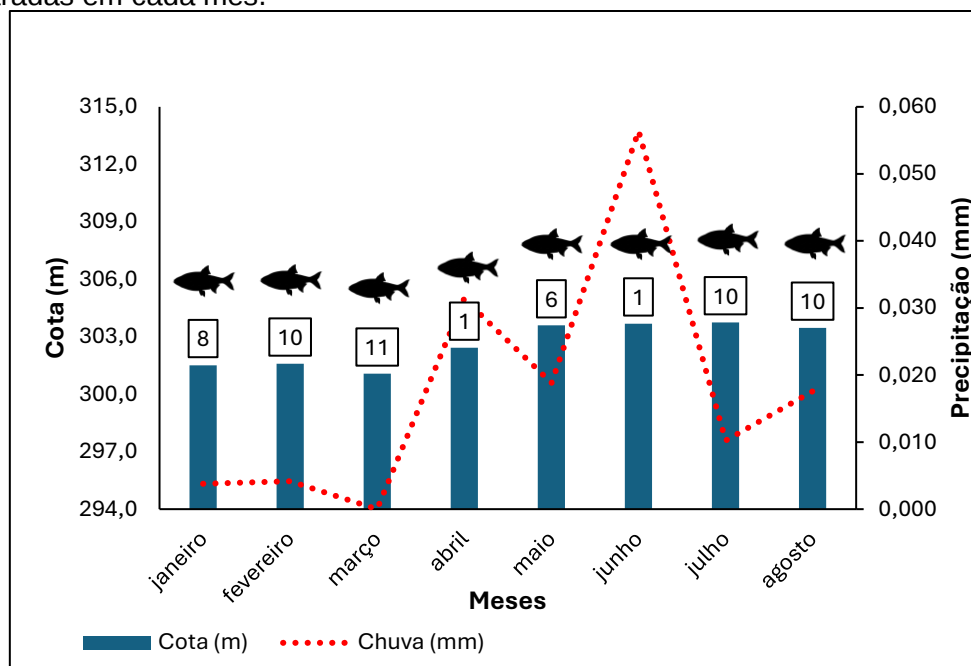
Fonte: Elaboração própria Autor, 2026.

Em contraste, o mês de maio apresentou a maior abundância absoluta do estudo (107 indivíduos), porém associada à menor riqueza (6 espécies) e ao maior índice de dominância de Simpson ($D = 0,496$). Esse cenário revela que a comunidade em maio foi fortemente dominada por poucas espécies, o que resultou nos menores valores de diversidade de Shannon-Wiener ($H' = 0,845$) e equitabilidade ($J' = 0,472$) registrados.

O mês de março, embora tenha apresentado a maior riqueza específica (11 espécies), obteve um índice de Shannon intermediário ($H' = 2,032$) devido à distribuição desigual da abundância entre os exemplares. É importante ressaltar que, nos meses de abril e junho, os índices não foram calculados devido às limitações amostrais severas impostas pelas cheias, que impediram a captura de um volume de espécimes representativo para as análises estatísticas, conforme apresentado na análise de similaridade (Figura 2).

A dinâmica da ictiofauna no município de Petrolândia apresentou estreita relação com as variações de pluviosidade e do nível do reservatório (Figura 3). Observou-se que o pico de riqueza específica (11 espécies) ocorreu em março, coincidindo com o período de menor precipitação (0,000 mm) e a menor cota registrada no estudo foi de aproximadamente 301,100 m. Esse cenário de águas baixas promoveu a concentração dos indivíduos e otimizou a eficiência das redes de arrasto e puçás.

Figura 3. Variação mensal da riqueza de espécies de peixes em relação à cota do reservatório (m) e precipitação pluviométrica (mm) em Petrolândia, PE, entre janeiro e agosto de 2025. Os valores numéricos abaixo dos ícones indicam o número de espécies registradas em cada mês.

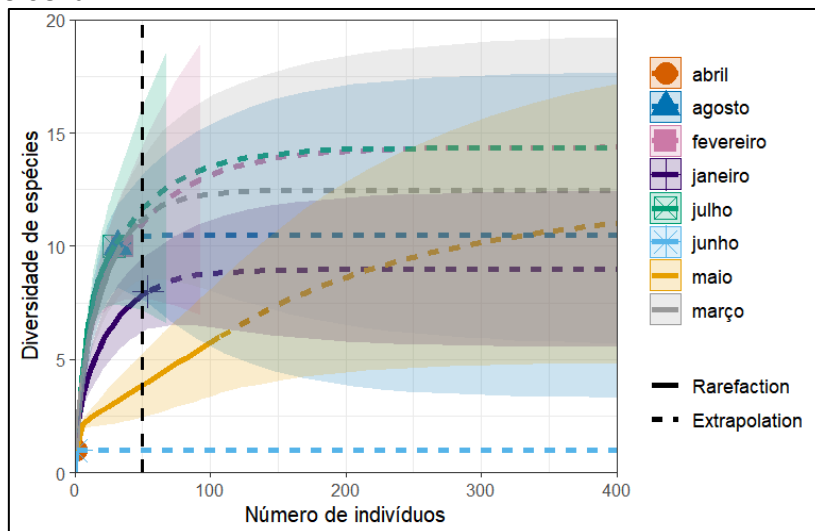


Fonte: Elaboração própria Autor, 2026.

Após os picos de cheia, os meses de julho e agosto apresentaram uma recuperação na riqueza observada (10 espécies cada), acompanhada por uma estabilização na cota do lago de aproximadamente 303,5 m e redução nas chuvas. Esse padrão reforça que a acessibilidade à ictiofauna marginal em Petrolândia é sazonal e depende da gestão hidrológica da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga e do regime pluviométrico local.

A análise de rarefação e extrapolação baseada no número de indivíduos (Figura 4) confirmou que o esforço amostral foi satisfatório para a caracterização da ictiofauna na maioria dos meses. As curvas correspondentes aos meses de março (cinza) e fevereiro (rosa) atingiram a assíntota (estabilização) de forma nítida, o que demonstra que a riqueza observada se aproxima da riqueza real esperada para o período.

Figura 4. Curva de rarefação (linhas contínuas) e extrapolação (linhas tracejadas) da diversidade de espécies de peixes em função do número de indivíduos coletados mensalmente em Petrolândia, PE. As áreas sombreadas representam o intervalo de confiança de 95%.



Fonte: Elaboração própria Autor, 2026.

É notável o comportamento da curva de maio: apesar de ter registrado a maior abundância absoluta (107 indivíduos), a curva apresenta uma inclinação menor, o que explica o alto índice de dominância ($D = 0,496$) e a baixa diversidade observada nesse mês. Já as curvas de abril e junho permaneceram lineares e próximas à base do eixo, refletindo a subamostragem decorrente das cheias. De forma geral, a proximidade entre os dados observados e as linhas de extrapolação (tracejadas) valida a representatividade das 15 espécies inventariadas para a região da área recreativa da orla fluvial de Petrolândia.

A integração dos índices de diversidade com a análise de rarefação permite concluir que a estrutura da ictiofauna da área recreativa foi sazonalmente moldada pela dominância de espécies específicas em períodos de transição hídrica, enquanto meses de águas baixas (março/julho) apresentam uma comunidade mais diversa e equitativa, o período pós-cheia (maio) exibe um surto de abundância concentrada em poucos grupos taxonômicos, padrão confirmado pela saturação precoce da curva de acúmulo de espécies.

6. DISCUSSÃO

A predominância da ordem Characiformes em Petrolândia reflete o padrão de colonização ictiofaunística em ambientes represados do Rio São Francisco, conforme discutido por Gutierre et al. (2023). Em levantamentos recentes nos

reservatórios do São Francisco, observou-se que este grupo não apenas apresenta a maior riqueza, mas também as maiores abundâncias absolutas, o que se repetiu no presente estudo.

A abundância de espécies como *Bryconops* cf. *affinis* e *Hemigrammus brevis* nas margens do reservatório pode ser explicada pelo comportamento oportunista e pela plasticidade trófica dessas espécies. Segundo Gutierre et al. (2023), essas espécies são classificadas como 'R' estrategistas, caracterizadas por um ciclo de vida curto e por uma rápida capacidade de ocupação de novos nichos. A área recreativa na orla fluvial de Petrolândia, ao oferecer abrigo e disponibilidade de recursos alóctones, como insetos e vegetação na margem, torna-se o habitat ideal para essas espécies, o que justifica sua alta captura com o uso de redes de arrasto e puçás.

A presença da espécie *Metynnis lippincottianus* em Petrolândia é um indicador relevante da alteração na composição original da ictiofauna local, classificada como espécie exótica na bacia do Rio São Francisco, tendo sido introduzida a partir de outras bacias hidrográficas brasileiras. De acordo com Souza e Amaral (2022), o *M. lippincottianus* possui características morfológicas adaptadas a ambientes de águas paradas, como o corpo alto, discoidal e comprimido lateralmente, o que facilita sua natação em áreas com baixa correnteza, a consolidação desta espécie exótica no reservatório de Petrolândia corrobora os achados de Gutierre et al. (2023), que apontam as espécies não-nativas e invasoras como colonizadores dominantes em novos barramentos artificiais na bacia do São Francisco. O sucesso do *M. lippincottianus* em Petrolândia, especialmente nos meses de cota elevada, deve-se ao seu hábito generalista e à sua forte associação à vegetação marginal inundada, que serve tanto de abrigo quanto de alimento. Assim, a detecção frequente desta espécie evidencia como a formação de ambientes lênticos favorece a expansão de espécies exóticas oportunistas, em detrimento da fauna nativa local.

A identificação taxonômica dos ciclídeos invasores no reservatório de Petrolândia é corroborada pelos achados moleculares de Luz et al. (2024), que confirmaram a ocorrência de *Cichla kelberi* no trecho do Submédio São Francisco. Segundo os autores, a dominância desta espécie, é impulsionada pela elevada transparência da água nos ambientes lênticos da região. Esta característica física do reservatório favorece a eficiência de caça do tucunaré,

um predador visual diurno, conferindo-lhe superioridade competitiva em relação às espécies nativas.

Somada a isso, a supressão de predadores de topo nativos, como o dourado (*Salminus franciscanus*) e o surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*), ocasionada pelo barramento do rio, eliminou o controle populacional natural sobre os juvenis de *C. kelberi*. Consequentemente, a detecção frequente desta espécie nas amostragens em Petrolândia sugere um impacto direto sobre a riqueza de Characiformes, visto que o tucunaré é reconhecido por desestruturar drasticamente as assembleias de peixes nativos em reservatórios neotropicais através de cascatas tróficas (Sato e Godinho, 2003; Pelicice e Agostinho., 2023; Luz et al. 2024).

De acordo com Alves (2005), acerca dos impactos ambientais do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) encontrou-se suporte empírico contemporâneo nos resultados de Luz et al. (2024), enquanto Alves (2005) alertava sobre os riscos de homogeneização biótica e o papel das modificações hidrológicas como vetores de dispersão de espécies não nativas, os estudos recentes confirmaram o sucesso desse processo com o estabelecimento do *C. kelberi*. Isso demonstra que a infraestrutura associada aos grandes projetos de integração hídrica e aos barramentos artificiais criou conectividade e habitats favoráveis a espécies oportunistas. No presente estudo, a estabilização de predadores exóticos e competidores eficientes, como tucunarés e tilápias, validou a hipótese de que as alterações ambientais discutidas por Alves (2005) não apenas permitiram a introdução, mas também garantiram o domínio ecológico desses organismos.

Nesse contexto, a ocorrência de *Oreochromis niloticus* em Petrolândia exemplifica o processo de invasão biológica descrito por Moreira e Silva (2024), que posicionam esta espécie entre as mais impactantes em águas brasileiras. O sucesso da tilápia-do-Nilo em colonizar reservatórios é atribuído à sua plasticidade fenotípica e resistência a estresses ambientais (Jara et al., 2024), como baixos níveis de oxigênio e variabilidades de temperatura, condições frequentes em zonas marginais de barramentos. Um fator determinante para o domínio desta espécie é sua estratégia reprodutiva e cuidado parental, incluindo a incubação bucal e proteção das larvas. Essa característica assegura uma vantagem competitiva frente às espécies nativas do São Francisco, as quais, em

sua maioria, dependem do pulso de inundação para a desova e não exibem proteção parental ativa.

Conforme destacado por Gutierre et al. (2023), a piscicultura em tanques-rede atua como um vetor crítico para a dispersão de peixes não nativos; nesse contexto, a introdução da tilápia em Petrolândia reflete a consolidação desse sistema de produção na região do Submédio São Francisco. O escape de espécimes de tanques-rede, aliado à homogeneização do habitat prevista por Alves (2005), permitiu que a espécie ocupasse nichos antes explorados por ciclídeos nativos, como o cará (*Cichlasoma sanctifranciscense*). Conforme reforçado por Moreira e Silva (2024), a tilápia é capaz de alterar a ciclagem de nutrientes e a estrutura da teia trófica local, o que contribui para explicar os baixos valores de equitabilidade (J') observados nos meses de elevada abundância de espécies generalistas no reservatório.

A análise de similaridade por Jaccard, que evidenciou a separação dos meses em dois agrupamentos, reflete as variações espaço-temporais dos impactos em ambientes represados, conforme discutido por Agostinho et al. (2008). Esse padrão indica que a operação do reservatório atua como um filtro ambiental, fragmentando a dinâmica da ictiofauna em períodos de relativa estabilidade e de ruptura estrutural.

A elevada similaridade observada no bloco composto por janeiro, fevereiro, março, julho e agosto confirma que, sob condições de cota estável ou em retração hídrica, a assembleia de peixes tende à persistência taxonômica. Esse cenário é reforçado pelo contexto regional apresentado por Lima et al. (2017), que destacam o Rio São Francisco como um sistema perenizado essencial na Caatinga, funcionando como refúgio permanente. Em Petrolândia, essa perenidade, aliada à estabilização operativa, favorece a predominância de espécies generalistas e invasoras, mantendo a composição da margem homogênea durante a maior parte do ano.

Por outro lado, o isolamento dos meses de abril, maio e junho, com abril como o mais discrepante, evidencia episódios de elevada diversidade beta temporal, conforme discutido por Buzo (2023). O autor argumenta que as flutuações na cota do reservatório e as mudanças na conectividade entre os microhabitats atuam como gatilhos para a substituição de espécies. No presente estudo, a expansão da lâmina d'água sobre a vegetação marginal nesses meses

altera a acessibilidade e o habitat, provocando uma reorganização biótica que afasta tais períodos do padrão de águas baixas. Assim, a análise de Jaccard confirma que a ictiofauna de Petrolândia é governada pela alternância entre a estabilidade operativa e a dinâmica hídrica sazonal.

Os índices de diversidade obtidos na Tabela 2 corroboram a estruturação observada na análise de similaridade, revelando como a abundância se distribui entre as espécies ao longo dos meses. O bloco de maior afinidade taxonômica (janeiro, fevereiro, março, julho e agosto) caracterizou-se por uma comunidade mais equilibrada, com valores de Shannon entre 1,53 e 2,14 e uma alta equitabilidade, que atingiu seu ápice em julho ($J' = 0,93$).

De acordo com Buzo (2023), altos valores de equitabilidade em períodos de estabilidade hídrica indicam que os recursos estão sendo compartilhados de forma mais uniforme entre as espécies residentes. Nesses meses, a menor dominância, com destaque para fevereiro ($D = 0,14$) e julho ($D = 0,13$), sugere que nenhuma espécie isolada, seja ela nativa ou exótica, conseguiu monopolizar o ambiente de Petrolândia, permitindo a coexistência de maior riqueza relativa.

Em contrapartida, o mês de maio apresentou um nítido desequilíbrio estrutural. Apesar de registrar a maior abundância absoluta da amostragem (107 indivíduos), este mês apresentou o menor índice de Shannon ($H' = 0,84$) e a menor equitabilidade ($J' = 0,47$). Esse fenômeno é explicado pela alta dominância registrada ($D = 0,49$), o que indica que quase metade da comunidade capturada em maio era composta por uma única espécie (ou por um grupo muito restrito).

Como discutido anteriormente, com base em Moreira e Silva (2024) e Luz et al. (2024), é frequentemente associado à explosão populacional de espécies exóticas oportunistas, como a tilápia ou o tucunaré, que aproveitam a elevação da cota para dominar nichos específicos. Assim, a discrepância de maio no gráfico de Jaccard não se deve apenas à troca de espécies, mas sim a uma drástica redução na qualidade da estrutura da comunidade, em que a dominância de táxons invasores reduz a diversidade funcional do sistema.

A relação entre o regime pluviométrico, a cota do reservatório e a riqueza de espécies (Figura 3) revela a influência direta da hidrodinâmica sobre a comunidade íctica. Observou-se que o pico de riqueza ocorreu em março (11 espécies), período que antecede os maiores níveis de cota, enquanto o mês de

maio, apesar de apresentar a maior abundância (107 indivíduos), registrou uma das menores riquezas (6 espécies).

Essa inversão entre abundância e riqueza em maio pode ser explicada pelo Conceito de Pulso de Inundação (Junk et al., 1989) e pelas alterações impostas pelos barramentos (Agostinho et al., 2008). A elevação da cota do lago expande a área inundada, criando um efeito de "diluição" das espécies nativas, que se dispersam para áreas de refúgio na vegetação recém-submersa. Simultaneamente, essa inundação favorece a agregação de espécies exóticas oportunistas, como a tilápia (*O. niloticus*), que dominam as capturas e reduzem a equitabilidade do sistema.

Além disso, a ausência de registros em abril e junho (meses de transição hidrológica) corrobora a análise de similaridade anterior: são períodos de instabilidade em que a flutuação brusca do nível da água dificulta a amostragem e altera a estrutura da comunidade de margem. Conforme Lima et al. (2017), em sistemas do semiárido, a previsibilidade do nível da água é um fator determinante para a estabilidade das assembleias, e a regulação artificial por meio de hidrelétricas rompe esse equilíbrio, favorecendo táxons com maior plasticidade ambiental.

A análise da relação entre cota e riqueza revela que a ictiofauna de Petrolândia é governada por uma dinâmica em que o nível do reservatório atua como o principal filtro ambiental, muitas vezes sobrepondo-se ao efeito da precipitação local. Conforme destacado por Silva (2017), as bacias impactadas pelo Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) sofrem uma alteração drástica na "assinatura hidrológica", em que o nível da água responde a demandas operacionais de bombeamento e geração de energia, desvinculando-se do ciclo sazonal natural.

Um aspecto de grande relevância ecológica e social observado durante as amostragens em Petrolândia foi a elevada captura e dominância de *Serrasalmus brandtii* (pirambebe). Embora seja uma espécie nativa da bacia, a pirambebe apresenta um sucesso adaptativo desproporcional em ambientes represados. De acordo com Teles e Godinho (1997), o ciclo reprodutivo desta espécie em reservatórios do São Francisco caracteriza-se pelo desovamento parcelado e pela ocupação preferencial de áreas marginais lânticas para a proteção da prole. Este comportamento territorial e de defesa de ninhos em

zonas rasas explica a alta detectabilidade do táxon nas redes de arrasto e corrobora a suposição de que os pontos de coleta, frequentemente utilizados por banhistas, funcionam como sítios ativos de reprodução e desova.

A consolidação de *S. brandtii* como um dos táxons dominantes no reservatório é reforçada por estudos recentes na região. Souza Alves et al. (2025), ao analisarem a espécie no reservatório de Moxotó, também situado no Submédio São Francisco, destacam a elevada densidade populacional e o hábito alimentar generalista da pirambeba em sistemas degradados. A presença massiva deste predador, aliada aos frequentes relatos de incidentes (ataques) em áreas de lazer de Petrolândia, reflete um desequilíbrio biótico em que a estabilização da cota e a oferta de habitats marginais (macrófitas e vegetação inundada) favorecem a explosão de espécies agressivas. Essa dominância exerce uma pressão de predação adicional sobre a ictiofauna nativa e altera a percepção de segurança no uso múltiplo das águas do reservatório, evidenciando que as modificações hidrológicas discutidas anteriormente têm impactos que transcendem a biodiversidade, atingindo diretamente a dinâmica socioambiental da região.

O pico de riqueza observado em março (11 espécies) ocorre em um período de baixa cota e relativa estabilidade. Segundo Silva (2017), a manutenção de níveis mínimos operacionais em trechos do Submédio São Francisco tende a concentrar os indivíduos espacialmente. Essa compactação de habitat aumenta a probabilidade de captura de espécies menos abundantes, o que justifica os maiores valores de Shannon e equitabilidade encontrados.

Por outro lado, a elevação da cota em maio resultou em uma explosão de abundância (107 indivíduos), porém, em uma queda drástica da riqueza (6 espécies). Este fenômeno é um sintoma da homogeneização biótica discutida por Silva (2017) e por Alves (2005). A subida artificial do nível da água inunda áreas marginais, mas, em vez de aumentar a diversidade, favorece espécies oportunistas com estratégias reprodutivas independentes do pulso natural, como a tilápia e o tucunaré. Essas espécies dominam os novos habitats e reduzem a detectabilidade das espécies nativas de pequeno porte, que acabam diluídas na massa d'água ou excluídas competitivamente.

A curva de rarefação baseada em indivíduos (Figura 4) sintetiza a eficiência do esforço amostral em relação a essa estrutura simplificada. Observa-

se que a curva apresenta uma tendência nítida à estabilização (assíntota), indicando que o esforço empregado foi suficiente para inventariar a riqueza litorânea acessível no período estudado.

Essa estabilização precoce é um reflexo do processo de homogeneização biótica previsto por Silva (2017) para as bacias do PISF. Em ambientes em que poucas espécies generalistas dominam a paisagem, a probabilidade de registrar novos táxons em amostragens subsequentes diminui drasticamente. Portanto, a amostragem suficiente demonstrada valida os dados de diversidade e confirma que a ictiofauna de Petrolândia é composta por uma comunidade previsível e fortemente moldada pelos impactos do barramento e das invasões biológicas.

7. CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou que a assembleia de peixes no reservatório de Petrolândia resulta da colaboração entre o regime hidrológico artificial e o sucesso de espécies exóticas invasoras. A predominância de Characiformes generalistas e a consolidação de predadores e competidores exóticos, como *Cichla kelberi* e *Oreochromis niloticus*, confirmam o processo de homogeneização biótica.

A baixa equitabilidade observada em meses críticos reforça o impacto dessas espécies na teia trófica local. Somado a isso, a expressiva ocorrência de *Serrasalmus brandtii* e os relatos de incidentes com banhistas indicam que as margens do reservatório, além de abrigarem invasores, tornaram-se locais de reprodução e de defesa de formas jovens de espécies nativas predadoras, intensificando o desequilíbrio ecológico e gerando conflitos no uso social do reservatório.

Concluiu-se que a área recreativa da orla fluvial de Petrolândia funciona como um filtro ambiental que favorece espécies de alta plasticidade e estratégias de cuidado parental tanto nativas quanto exóticas, em detrimento da fauna original de ambiente lótico. Diante da perenização do sistema e da conectividade imposta pela transposição, recomenda-se o monitoramento contínuo, o manejo de áreas de lazer e a fiscalização rigorosa das atividades de piscicultura, tornando-se medidas urgentes para mitigar a perda de diversidade funcional e preservar os remanescentes da ictiofauna endêmica da Caatinga.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, Angelo Antonio; PELICICE, Fernando Mayer; GOMES, Luiz Carlos. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian journal of biology*, v. 68, p. 1119-1132, 2008.
- ALBERT, James S.; TAGLIACOLLO, Victor A.; DAGOSTA, Fernando. Diversification of Neotropical freshwater fishes. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 51, n. 1, p. 27-53, 2020.
- ALVES, Carlos Bernardo Mascarenhas. Transposição do São Francisco: as incoerências e os peixes. **Jornal do Biólogo-Informativo do Conselho Regional de Biologia-4ª Região, Belo Horizonte**, p. 6-7, 2005.
- ALVES, Carlos Bernardo Mascarenhas et al. Avanços em métodos de coleta de peixes e caracterização de habitat de riachos tropicais. *Oecologia Australis*, v. 25, n. 2, p. 265-265, 2021.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de energia elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br>. Acesso em: 13 maio 2025.
- ARANHA, Mariana Barros et al. Análise espaço-temporal da ictiofauna no reservatório da usina hidrelétrica de Itá. 2022.
- BARBOSA, José Milton et al. Perfil da ictiofauna da bacia do rio São Francisco/Profile of the fish fauna of the São Francisco river basin. **Acta of Fisheries and Aquatic resources**, v. 5, n. 1, p. 70-90, 2017.
- BARBOSA, José Milton; SOARES, Emerson Carlos. Perfil da ictiofauna da bacia do São Francisco: estudo preliminar. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 4, n. 1, p. 155-172, 2009.
- BELEI, Frederico et al. Ictiofauna de área prioritária para conservação, Médio São Francisco, Minas Gerais, sudeste do Brasil. 2016.
- BETTENCOURT, Pedro et al. Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco. **Revista Recursos Hídricos**, v. 37, n. 1, p. 73-80, 2016.
- BÖHLKE, James E.; WEITZMAN, Stanley H.; MENEZES, Naercio A. Estado atual da sistemática dos peixes de água doce da América do Sul. **Acta Amazonica**, v. 8, n. 4, p. 657-677, 1978.
- BRITSKI, Heraldo A.; SATO, Yoshimi; ROSA, Albert. Manual de identificação de peixes da região de Três Marias:(com chaves de identificação para os peixes da bacia do São Francisco). 1984.
- BUCKUP, Paulo Andreas. Taxonomia e filogenia de peixes de riachos brasileiros. **Oecologia Australis**, v. 25, n. 2, p. 230-230, 2021.

BUZO, Matheus Gimenez. Diversidade beta espacial e temporal de peixes em um rio tropical fragmentado. 2023.

CALIFORNIA ACADEMY OF SCIENCES. Catalog of Fishes. San Francisco: California Academy of Sciences, [s.d.]. Disponível em: <https://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. Acesso em: 16 set. 2025

CAMARGOS, Kênia Ferreira. Dna ambiental: criação de uma biblioteca de dados referenciais para a Ictiofauna da Bacia do Rio São Francisco, Brasil. 2023.

CASTRO, R. M. C.; ARCIFA, M. S. Comunidades de peixes de reservatórios no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 47, n. 4, p. 493-500, 1987.

CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: relatório síntese. Salvador: CBHSF, 2016. Disponível em: <http://www.cbhsaofrancisco.org.br>. Acesso em: 13 maio 2025.

COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (CHESF). Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga. Disponível em: <https://www.chesf.com.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/LuizGonzaga.aspx>. Acesso em: 19 maio 2025.

CONCEA. Resolução Normativa nº 30 (2 de fevereiro de 2016). Baixa a Diretriz Brasileira para o Cuidado e a Utilização de Animais em Atividades de Ensino ou de Pesquisa Científica - DBCA. Brasília, DF: Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. 51p. 2016.

CONCEIÇÃO, Wellington Silva. Estudo da ictiofauna no reservatório da Pedra do Cavalo Rio Paraguaçu Geolândia Bahia Brasil. 2022.

DANTAS, Klisman José Santos et al. Composição ictiofaunística de reservatórios do semiárido brasileiro. In: **CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS (CONAPESC)**, 5., 2020, Campina Grande. *Anais [...]*. Campina Grande: Realize Editora, 2020. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/73138>. Acesso em: 03 jun. 2025.

DA LUZ, Sandra CS; LIMA, Helder C.; SEVERI, William. Composição da ictiofauna em ambientes marginais e tributários do médio-submédio rio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 2, p. 358-366, 2012.

DA ROCHA, Bruno Cardoso Gonçalves; VITAL, Tales. A piscicultura em tanque-rede no município de Petrolândia-PE: um arranjo produtivo local em construção. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 5, n. 3, 2012.

DA SILVA FILHO, Edgar G.; DA SILVA SANTANA, Fábio M.; SEVERI, William. Ictiofauna do reservatório de Duas Unas, bacia do rio Jaboatão, Pernambuco:

resultados preliminares da composição e estrutura da assembléia. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 2, p. 351-361, 2011.

DE ARAÚJO PINTO, Gabriela et al. Variação sazonal na dieta de *Triportheus guentheri* (Garman, 1890) (Actinopterygii: Characidae), no reservatório de Sobradinho, rio São Francisco, BA. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 37, n. 3, p. 295-306, 2018.

DO CARMO-SOBRAL, Maria et al. Impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos no submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco–Brasil. **REDE–Revista Eletrônica do Prodem**, v. 12, p. 95-106, 2018.

DE FREITAS, Leonardo José Alves et al. Biologia da reprodução do dourado *Salminus franciscanus* no Rio São Francisco, a jusante da barragem de Três Marias: estudo histológico, imuno-histoquímico e ultraestrutural. 2012.

DE SOUZA ALVES, Luca Adriel et al. ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DE MICROPLÁSTICOS NO TRATO GASTROINTESTINAL DA *Serrasalmus brandtii* (LÜTKEN, 1875) NO RESERVATÓRIO MOXOTÓ–SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO–BA. **Revista Contemporânea**, v. 5, n. 2, p. e7395-e7395, 2025.

FERNANDES, I. M. et al. The efficacy of clove oil as an anaesthetic and in euthanasia procedure for small-sized tropical fishes. **Brazilian Journal of Biology**, v. 77, n. 3, p. 444–450, 26 set. 2016.

FERNANDES, Milton Marques et al. Fragmentação florestal na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 1227-1246, 2022.

FISHBASE BRASIL. *Lista de espécies de peixes de água doce do Brasil*. Disponível em: https://www.fishbase.net.br/country/CountryChecklist.php?what=list&trpp=50&c_code=076&vhabitat=fresh. Acesso em: 02 jun. 2025.

GONÇALVES, Fernanda Anziliero et al. IV-171–DISTRIBUIÇÃO DA ICTIOFAUNA EM TRECHO DO RIO SANTA ROSA, SOB INFLUÊNCIA DE PEQUENO BARRAMENTO PARA ABASTECIMENTO DE ÁGUA, NO MUNICÍPIO DE SANTA ROSA, RS.

GUTIERRE, Silvia Maria Millan et al. Ictiofauna dos reservatórios do Projeto de Integração do Rio São Francisco. **Biota Neotropica**, v. 23, p. e20231499, 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades@ – Brasil. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 6 jun. 2025.

JARA, Washington Alexander Carrillo et al. Estudios de casos sobre la invasión de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Polo del Conocimiento**, v. 9, n. 11, p. 672-686, 2024.

JUNK, Wolfgang J. et al. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences**, v. 106, n. 1, p. 110-127, 1989.

LIMA, Sergio Maia Queiroz et al. Diversity, distribution, and conservation of the Caatinga fishes: advances and challenges. **Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America**, p. 97-131, 2017.

LOPES, Helio et al. Comportamento espacial da clorofila-a no reservatório de Itaparica, rio São Francisco. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 03, p. 475-484, 2015.

LUZ, Sandra Cristina Soares da et al. Estrutura da assembléia de peixes de uma lagoa marginal desconectada do rio, no submédio Rio São Francisco, Pernambuco. **Biota Neotropica**, v. 9, p. 117-129, 2009.

LUZ, S. C. S. et al. Reduced genetic diversity and the success of the invasive peacock bass (Cichliformes: Cichlidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e248656, 2024.

MEDEIROS, Paulo Petter et al. Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano. **Geochimica Brasiliensis**, v. 28, n. 1, p. 65-65, 2014.

MOREIRA, Elto Aparecido; SILVA, Daniel de Paiva. Uma dúzia de peixes: algumas espécies exóticas invasoras encontradas em águas brasileiras e seus impactos. **Ciência Animal Brasileira**, v. 24, p. e-74647E, 2023.

NASCIMENTO, Carolina Pedrozo do. Relação da influência antropogênica e da complexidade de habitat sobre a diversidade funcional da ictiofauna em um reservatório Neotropical. 2021.

PELICICE, Fernando Mayer; AGOSTINHO, Angelo Antonio. Fish fauna destruction after the introduction of a non-native predator (*Cichla kelberi*) in a Neotropical reservoir. **Biological Invasions**, v. 11, n. 8, p. 1789-1801, 2009.

PELICICE, Fernando M. et al. Human impacts and the loss of Neotropical freshwater fish diversity. **Neotropical Ichthyology**, v. 19, p. e210134, 2021.

PELICICE, Fernando M.; POMPEU, Paulo S.; AGOSTINHO, Angelo A. Large reservoirs as ecological barriers to downstream movements of Neotropical migratory fish. **Fish and Fisheries**, v. 16, n. 4, p. 697-715, 2015.

SALES, Naiara Guimarães et al. Dinâmica espaço-temporal no monitoramento de comunidades de peixes neotropicais usando metabarcoding de eDNA. **Ciência do Meio Ambiente Total**, v. 754, p. 142096, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142096>

SANTOS, Clélio Cristiano dos. Transformações das relações rural-urbano desencadeadas por grandes empreendimentos hidrelétricos: reflexões a partir de Petrolândia-PE. 2019.

SANTOS, Leonardo da Silva. Estudo dos impactos socioambientais decorrentes do uso e ocupação do solo às margens do lago de Itaparica, no município de Petrolândia-PE. 2023.

SANTOS, Victor Garcia Sales dos. Desenvolvimento inicial de *Prochilodus argenteus* Spix & Agassiz, 1829 (Characiformes: Prochilodontidae). 2025.

SATO, Yoshimi; GODINHO, Hugo P. Migratory fishes of the São Francisco River. **CAROLSFELD, J.; HARVEY, B.; ROSS, C**, p. 195-232, 2003.

SATO, Y.; GODINHO, H. P. Peixes da bacia do rio São Francisco. In: LOWE-McCONNELL, R. H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. São Paulo: Edusp, 1999. p. 401-413.

SILVA, Márcio J. et al. Freshwater fish richness baseline from the São Francisco Interbasin Water Transfer Project in the Brazilian Semiarid. **Neotropical Ichthyology**, v. 18, p. e200063, 2020.

SILVA, Márcio Joaquim da. Diversidade e conservação da ictiofauna das bacias envolvidas no Projeto de Transposição do rio São Francisco. 2017. 164 f. Tese (Doutorado em Sistemática e Evolução) - Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

SILVA, Milena Gonçalves da. Conexões tróficas e avaliação da sazonalidade na estrutura da ictiofauna associada a bancos de macrófitas no Baixo São Francisco. 2019. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.

SOARES, Emerson Carlos; SILVA, José Vieira; NAVAS, Rafael. O Baixo São Francisco: características ambientais e sociais. EDUFAL, 2020.

SOARES, Emerson Carlos et al. Pesca artesanal e ictiofauna no baixo São Francisco, após sete anos de redução de vazões na hidroelétrica de Xingó. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 1, p. e1112139271-e1112139271, 2023.

SOUZA, Elizângela Maria de; AMARAL, Daniel Ferreira. Peixes do Rio São Francisco: nativos, endêmicos e exóticos. 2022.

SOUZA, Thiago D'avilla Gomes de. Etnoecologia da pesca artesanal e percepção ambiental sobre os impactos à ictiofauna no submédio e baixo São Francisco. 2018. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2018.

STEGMANN, L. F. et al. Composição ictiofaunística dos seis tributários submédio do rio São Francisco, Brasil. In: **Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil. Caxambú: Sociedade Brasileira de Ecologia**. 2007. p. p1-2.

TELES, ME de O.; GODINHO, HUGO PEREIRA. Ciclo reprodutivo da pirambeba *Serrasalmus brandtii* (Teleostei, Characidae) na represa de Três Marias, rio São Francisco. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 57, n. 2, p. 177-184, 1997.

TORRES, Luana Goncalves. **Impactos da variação da vazão do submédio Rio São Francisco sobre a composição e estrutura das comunidades de peixes e seus efeitos na atividade pesqueira**. 2023. 101 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2023.

VAN DER SLEEN, Peter; ALBERT, James S. Patterns in freshwater fish diversity. **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**, v. 26, n. 3, p. 894-907, 2022.