

RESSALVA

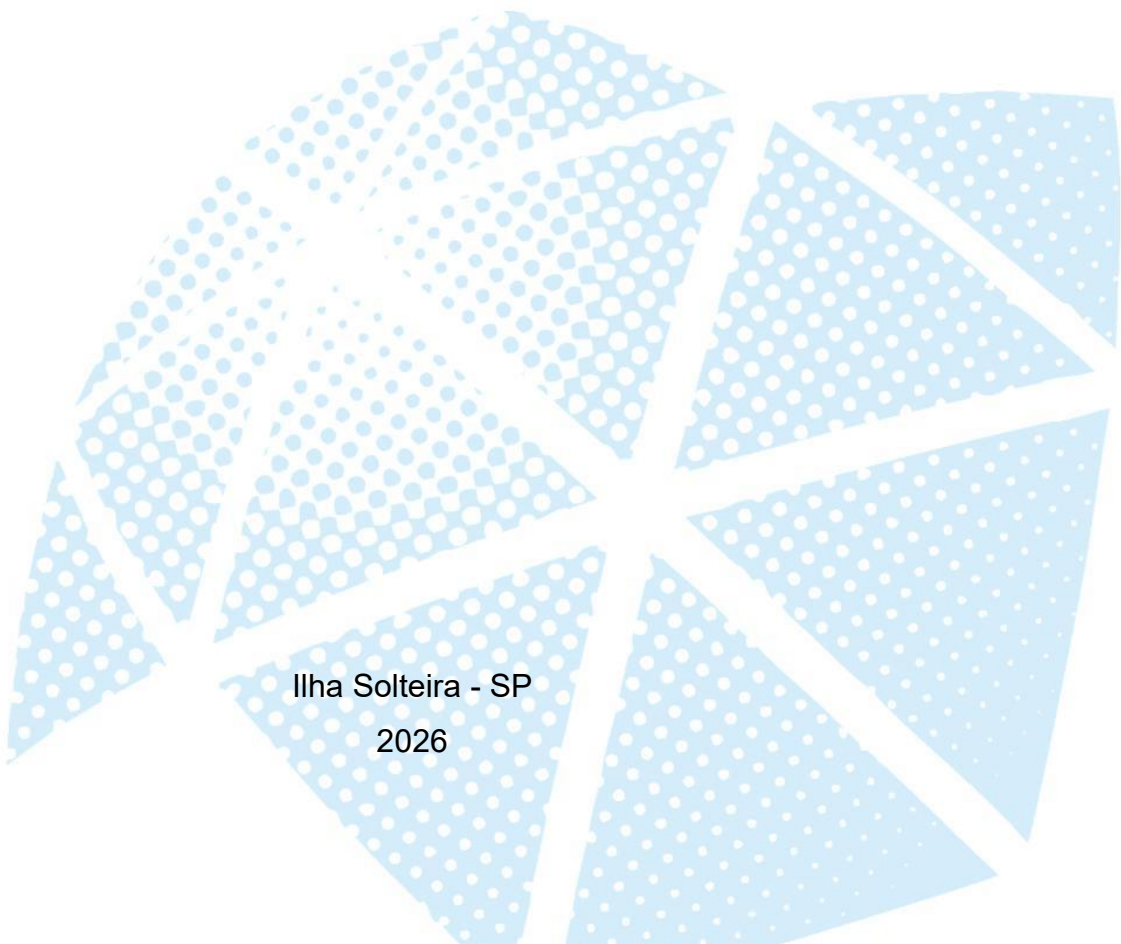
Atendendo a solicitação do autor, o arquivo completo desta dissertação só será disponibilizado somente a partir de 20/02/2028.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CRISTIELI FERNANDA BELANCIERI SOUZA

Temperatura elevada da água e seus efeitos na morfohistologia hepática
de *Brycon orbignyanus* (Characiformes: Characidae)



Ilha Solteira - SP
2026

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA ANIMAL

CRISTIELI FERNANDA BELANCIERI SOUZA

Zootecnista

**Temperatura elevada da água e seus efeitos na morfohistologia hepática de
Brycon orbignyanus (Characiformes: Characidae)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Animal da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Unesp, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Rosicleire Veríssimo Silveira

Coorientadora: Dra. Bruna Caroline Kotz Kliemann

Ilha Solteira - SP

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

S729t Souza, Cristieli Fernanda Belancieri.
Temperatura elevada da água e seus efeitos na morfohistologia hepática de *Brycon orbignyanus* (characiformes: characidae) / Cristieli Fernanda Belancieri Souza. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
71 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciência e Tecnologia Animal, 2026.

Orientadora: Rosicleire Veríssimo Silveira
Coorientadora: Bruna Caroline Kotz Kliemann
Inclui bibliografia

1. Alterações histológicas. 2. Fígado. 3. Índice hepatossomático. 4. Estresse térmico.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa apresenta impacto socioeconômico ao ampliar o entendimento sobre os efeitos do estresse térmico em *Brycon orbignyanus*, espécie nativa, ameaçada e de interesse para a piscicultura. Os resultados podem subsidiar estratégias de conservação e manejo, além do desenvolvimento de práticas mais sustentáveis na produção de peixes nativos frente às mudanças ambientais.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research demonstrates socioeconomic impact by expanding the understanding of the effects of thermal stress on *Brycon orbignyanus*, a native, threatened species of interest to fish farming. The results can support conservation and management strategies, as well as the development of more sustainable practices in native fish production in the face of environmental changes.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Temperatura elevada da água e seus efeitos na morfohistologia hepática de Brycon orbignyanus (Characiformes: Characidae)

AUTORA: CRISTIELI FERNANDA BELANCIERI SOUZA

ORIENTADORA: ROSICLEIRE VERISSIMO SILVEIRA
ORIENTADORA: BRUNA CAROLINE KOTZ KLIEMANN

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências ,
pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ROSICLEIRE VERISSIMO SILVEIRA (Participação Virtual)
Departamento de Biologia e Zootecnia / UNESP / Câmpus de Ilha Solteira - FEIS

Documento assinado digitalmente
gov.br LUIS ANTONIO JUSTULIN JUNIOR
Data: 21/02/2026 19:18:24-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. LUIS ANTONIO JUSTULIN JUNIOR (Participação Virtual)
Departamento de Biologia Estrutural e Funcional / UNESP / Câmpus de Botucatu - IBB

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCELO MATTOS PEDREIRA
Data: 20/02/2026 18:23:20-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. MARCELO MATTOS PEDREIRA (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM

Ilha Solteira, 20 de fevereiro de 2026.

Dedico este trabalho a Deus e à minha família por toda a coragem e força. Em especial, à minha mãe Rosineia “in memoriam”, pelo apoio emocional e pessoal, essenciais para a minha continuação na pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha profunda gratidão a Deus por toda a força e persistência desde o início, pois apesar das dificuldades, a fé me sustentou e me guiou até o momento.

Agradeço o apoio estrutural da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), que permitiu o suporte, fornecendo todos os subsídios materiais para cada etapa de minha pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Animal Interunidades Ilha Solteira/Dracena pela oportunidade de realizar meu ensino superior.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) Código de Financiamento 001 e pela concessão de bolsa de pesquisa , processo nº 88887.149519/2025-00.

Agradeço em especial à minha orientadora Rosicleire Veríssimo Silveira e à minha coorientadora Bruna Caroline Kotz Kliemann por todo o apoio, ensinamentos, paciência e encorajamento. Vocês foram muito importantes para a minha persistência e continuidade no mundo da pesquisa; serei imensamente grata.

Agradeço à banca examinadora pela disponibilidade para participar deste momento e por expressar sugestões e conhecimentos que contribuíram para o aprimoramento da minha pesquisa.

Ao grupo do Laboratório de Ictiologia Neotropical (LINEO) pela disponibilidade de acesso ao laboratório e à estufa de experimentação, não irei listar especificamente, pois todos os que o compõem ajudaram de alguma forma durante esses dois longos anos da minha vida, sendo alicerce e companhia nos momentos mais difíceis que passei.

Agradeço imensamente à minha família por todo o encorajamento, apoio emocional e pessoal, que foram essenciais para a minha continuação na pesquisa, sem vocês eu não estaria aqui. Em especial, a minha falecida mãe, por todo o apoio, oração e compartilhamento dos meus sonhos, de força, persistência e resiliência para sempre.

“Os que se encantam com a
prática sem a ciência são como
os timoneiros que entram no
navio sem timão nem bússola,
nunca tendo certeza do destino”
(Leonardo da Vinci)

RESUMO

Brycon orbignyanus (piracanjuba) é uma espécie neotropical de elevada importância ecológica e econômica, atualmente classificada como ameaçada de extinção, cuja sensibilidade às variações ambientais, especialmente ao aumento da temperatura da água, reforça a necessidade de compreender seus limites fisiológicos em sistemas de cultivo. O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do estresse térmico prolongado sobre o fígado de machos de *B. orbignyanus*, por meio de análises histológicas, histoquímicas e ultraestruturais, associadas ao índice hepatossomático (IHS), visto que o órgão é um indicador relevante para avaliar os impactos de estressores ambientais em peixes. Foram utilizados 50 exemplares com aproximadamente um ano de idade, distribuídos em dois grupos experimentais, mantidos a 27 °C (G27) e 34 °C (G34) em sistemas de recirculação de água por 395 dias. O tecido hepático foi coletado em cinco períodos amostrais e analisado por microscopia de luz, histoquímica e microscopia eletrônica de transmissão. As análises histológicas revelaram alterações hepáticas leves, incluindo hiperemia, congestão vascular e núcleo em posição lateral, predominantemente classificadas nos estágios I e II, com frequências inferiores a 25%. As colorações histoquímicas evidenciaram a presença de glicogênio, proteínas e lipídios no citoplasma dos hepatócitos, com padrões de distribuição variáveis entre os grupos experimentais. A análise ultraestrutural confirmou a preservação geral da organização celular. O índice hepatossomático apresentou redução progressiva ao longo do experimento, mais acentuada no grupo mantido a 34 °C, sugerindo mobilização antecipada das reservas energéticas hepáticas, possivelmente associada à ativação precoce do ciclo reprodutivo induzida pelo estresse térmico. Os resultados indicaram que *B. orbignyanus* apresentou capacidade de adaptação fisiológica ao estresse térmico prolongado, mantendo a integridade hepática mesmo sob temperatura elevada, embora com potenciais custos metabólicos. Esses achados contribuem para o entendimento dos efeitos da temperatura sobre espécies nativas ameaçadas e fornecem subsídios para o manejo térmico em sistemas de aquicultura.

Palavras-chave: alterações histológicas; fígado; índice hepatossomático; estresse térmico.

ABSTRACT

Brycon orbignyanus (piracanjuba) is a Neotropical species of high ecological and economic importance, currently classified as endangered. Its sensitivity to environmental variations, especially increased water temperature, highlights the need to understand its physiological limits in aquaculture systems. This study aimed to evaluate the effects of prolonged thermal stress on the liver of male *B. orbignyanus* through histological, histochemical, and ultrastructural analyses, associated with the hepatosomatic index (HSI), as the liver is an important indicator for assessing the effects of environmental stressors in fish. Fifty specimens approximately one year old were used and distributed into two experimental groups maintained at 27 °C (G27) and 34 °C (G34) in recirculating aquaculture systems for 395 days. Liver tissue was collected at five sampling periods and analyzed using light microscopy, histochemistry, and transmission electron microscopy. Histological analyses revealed mild hepatic alterations, including hyperemia, vascular congestion, and laterally positioned nuclei, predominantly classified as stages I and II, with frequencies below 25%. Histochemical staining demonstrated the presence of glycogen, proteins, and lipids in the cytoplasm of hepatocytes, with variable distribution patterns between the experimental groups. Ultrastructural analysis confirmed the overall preservation of cellular organization. The hepatosomatic index showed a progressive reduction throughout the experiment, more pronounced in the group maintained at 34 °C, suggesting early mobilization of hepatic energy reserves, possibly associated with early activation of the reproductive cycle induced by thermal stress. The results indicate that *B. orbignyanus* exhibits physiological capacity to adapt to prolonged thermal stress, maintaining hepatic integrity even under elevated temperatures, although with potential metabolic costs. These findings contribute to the understanding of warming effects on threatened native species and provide support for thermal management strategies in aquaculture systems.

Keywords: histological changes; liver; hepatosomatic index; heat stress.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplar da espécie <i>Brycon orbignyanus</i> (Valenciennes, 1850).....	36
Figura 2. (A) Estufa de Experimentação do Laboratório de Ictiologia Neotropical, UNESP/FEIS, Ilha Solteira/SP. (B) Sistemas de recirculação de água (4.500 L).	37
Figura 3. Representação esquemática da amostragem histológica do fígado, indicando o número de cortes analisados por espécime e a seleção dos campos microscópicos (40×) utilizados na avaliação histopatológica.	39
Figura 4. Fígado de <i>Brycon orbignyanus</i> – microscopia de luz. (A) Fígado inteiro evidenciando os três lobos distintos, lobo esquerdo (Le), mediano (Lm) e direito (Ld). (B) Hepatócitos arranjados em cordões, capilares sinusoides bem definidos. (C) Ducto biliar (DB) do tipo isolado, composto de tecido epitelial prismático simples (setas brancas), e artéria hepática (AH). (D) Espaço porta composto de artéria hepática (AH), ducto biliar (DB) e veia porta (VP), associados ao pâncreas intra-hepático (PIH) composto de células acinosas (*). Coloração: Hematoxilina e Eosina (HE).....	42
Figura 5. Fígado de <i>Brycon orbignyanus</i> – microscopia eletrônica de transmissão. (A) Visão geral do parênquima hepático com núcleos (N) e mitocôndrias (M). (B) Células de hepatócitos com núcleos (N), mitocôndrias (M), retículo endoplasmático (RE) e lisossomos (seta). (C) Desmossomos (círculo) em amarelo e depósitos de glicogênio (seta). (D) Pâncreas intra-hepático (PIH) associado à veia porta (VP), evidenciando grânulos de zimogênio (*) e retículo endoplasmático (RE). (E) Hepatócitos com núcleo, e depósitos de glicogênio (setas). (F) Hepatócito com presença de gotas lipídicas (L).	43
Figura 6. Alterações hepáticas em <i>Brycon orbignyanus</i> . (A) Hiperemia (HIP) e capilares sinusoides (CS) em microscopia de luz. (B) Dilatação dos capilares sinusoides (hiperemia) ampliada em microscopia de luz. (C) Núcleo em posição lateral (NPL) em microscopia de luz. (D) Núcleo em posição lateral (NPL) em microscopia eletrônica de transmissão. (E) Congestão vascular (CV) em microscopia de luz. (F) Congestão vascular em microscopia eletrônica de transmissão. Coloração: Hematoxilina e Eosina (HE).	45
Figura 7. Análise histoquímica dos hepatócitos de <i>B. orbignyanus</i> . (A–B) Hematoxilina-eosina (HE), com variações de coloração basófila e eosinófila e hepatócitos com núcleo em posição lateral. (C–D) Reação positiva ao PAS no	

citoplasma dos hepatócitos, indicativo de glicogênio intracelular. (E–F) Marcação difusa pelo Fast Green, compatível com a presença de proteínas citoplasmáticas. (G–H) Reação positiva ao Sudan III, reagindo com lipídios neutros no citoplasma dos hepatócitos, com destaque para gotículas lipídicas (asteriscos). PIH: pâncreas intra-hepático; DB: ducto biliar.....47

Figura 8. Comparação dos índices hepatossomáticos entre os grupos G27 e G34 para *B. orbignyana* considerando a temperatura da água e o tempo de exposição.....48

APÊNDICES

Apêndice A. Diagnóstico do Modelo no grupo G27. Pressupostos da regressão linear (linearidade, homocedasticidade, normalidade dos resíduos).

Apêndice B. Diagnóstico do Modelo no grupo G34. Pressupostos da regressão linear (linearidade, homocedasticidade, normalidade dos resíduos).

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Classificação das alterações, e estágio de danos observados no tecido hepático, segundo propostas de Cerqueira e Fernandes(2002), adaptado de Poleksic e Mitrovic-Tutundzic (1994).	20
--	----

CAPÍTULO 2

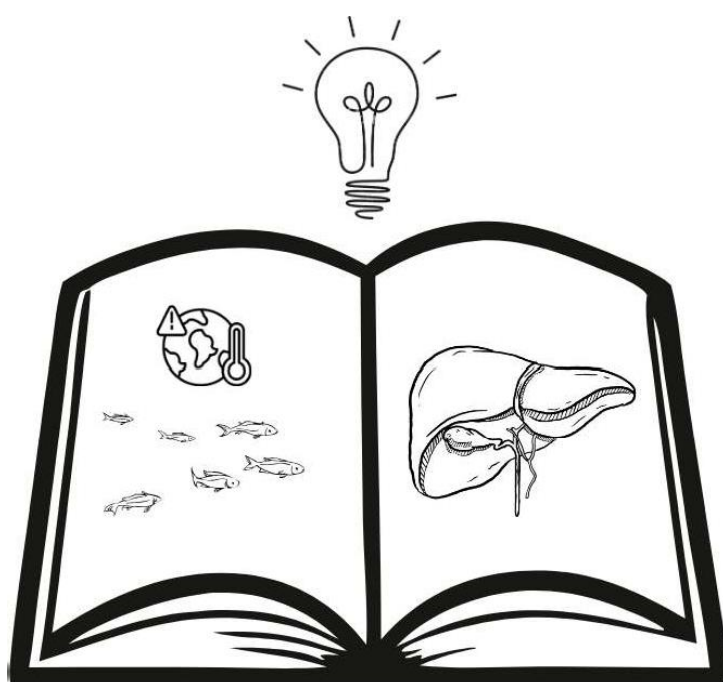
Tabela 1. Médias ($\pm$ desvio padrão) dos parâmetros de qualidade de água para as espécies tropicais submetidos a condições naturais e estresse térmico, ao longo de 395 dias de cultivo..	38
Tabela 2. Quantificação ($\pm$ desvio padrão) das análises hepáticas observadas no tecido hepático de <i>B. orbignyana</i>	46
Tabela 3. Coeficientes do modelo linear demonstrando o efeito dos meses de coleta sobre o IHS.	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	16
1.1	AVANÇOS E DESAFIOS DA AQUICULTURA NO CENÁRIO GLOBAL E NACIONAL	16
1.2	ESTRESSORES AMBIENTAIS, MUDANÇAS CLIMÁTICAS E HOMEOSTASE EM PEIXES	18
1.3	FÍGADO COMO ÓRGÃO ALVO: HISTOPATOLOGIA DOS PEIXES E FISIOLOGIA HEPÁTICA.....	19
1.4	<i>Brycon orbignyanus</i> (Valenciennes, 1849): STATUS DE CONSERVAÇÃO E VULNERABILIDADE.....	21
1.5	HIPÓTESE.....	22
1.6	OBJETIVOS.....	23
1.6.1	Objetivo Geral	23
1.6.2	Objetivos Específicos.....	23
	REFERÊNCIAS	24
2.1	INTRODUÇÃO	34
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	35
2.2.1	Obtenção dos animais.....	36
2.2.2	Delineamento experimental	36
2.2.3	Manutenção e período experimental.....	37
2.2.4	Análises laboratoriais.....	38
2.2.5	Análise em Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET).....	40
2.2.6	Análise dos dados	40
2.3	RESULTADOS	41
2.3.1	Caracterização hepática de <i>B. orbignyanus</i> em microscopia de luz	41
2.3.2	Caracterização ultraestrutural hepática por microscopia eletrônica de transmissão.....	42
2.3.3	Alterações histológicas evidenciadas sob elevada temperatura	44
2.3.4	Caracterização e análise histoquímica dos hepatócitos.....	46

2.3.5	Análise estatística do índice hepatossomático	48
2.4	DISCUSSÃO.....	49
2.5	CONCLUSÃO	54
2.6	AGRADECIMENTOS.....	54
	REFERÊNCIAS	56

CAPÍTULO 1



1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 AVANÇOS E DESAFIOS DA AQUICULTURA NO CENÁRIO GLOBAL E NACIONAL

A aquicultura destaca-se como um dos setores mais expressivos do agronegócio, apresentando crescimento contínuo e contribuindo significativamente para a economia mundial. De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, em 2022, a produção total de pescado atingiu um recorde histórico de 223,2 milhões de toneladas, acompanhada de um consumo global per capita estimado em 20,7 kg (FAO, 2025). Esse aumento no consumo foi diretamente relacionado ao crescimento populacional e à ampliação dos canais de distribuição, impulsionados pelo avanço do comércio internacional e da própria aquicultura (De Oliveira; Souza, 2024). Nesse cenário, estima-se que, até 2032, a aquicultura seja responsável por um aumento de 10% da produção mundial de pescado destinado ao consumo humano, alcançando uma média de 21,3 kg per capita, reforçando sua relevância para a segurança alimentar global e para a economia (FAO, 2024).

No Brasil, a aquicultura também apresenta uma expressiva expansão. No ano de 2025, a produção aquícola nacional registrou crescimento de aproximadamente 4,41% em relação a 2024, totalizando cerca de 1,01 milhão de toneladas de peixes cultivados (PeixeBR, 2026). Apesar desse avanço, observou-se uma redução de 0,06% na produção de peixes nativos, com produtividade estimada em 257.070 toneladas (PeixeBR, 2026). Esse declínio pode ser atribuído a diversos desafios, como pressões antrópicas, mudanças climáticas, práticas inadequadas de manejo, restrição de mercado, consumo concentrado em certas regiões, necessidade de intensificar avanços tecnológicos e pesquisas (Souagro, 2025; Ummus *et al.*, 2025, PeixeBR, 2026).

Entre as principais pressões antrópicas destacam-se a construção de usinas hidrelétricas, a poluição por metais pesados e a intensificação da pesca predatória, fatores que, associados às mudanças climáticas, têm alterado significativamente a dinâmica térmica e hidrológica dos ecossistemas aquáticos. Essas alterações afetam diretamente a produção, a reprodução e a sobrevivência de espécies nativas (Islam; Kunzmann; Slater, 2022), comprometendo a estabilidade das comunidades aquáticas (Sharma *et al.*, 2022; Neto *et al.*, 2023; Rocha; Santo; Akama, 2025).

Observa-se também a preferência dos produtores para o cultivo de espécies não nativas, especialmente a tilápia, cuja expansão está associada à sua consolidação como uma commodity aquícola, caracterizada pela ampla aceitação no mercado, tecnologias de cultivo bem estabelecidas e menores custos de produção (Ummus *et al.*, 2025). Além disso, muitas espécies nativas ainda apresentam desafios tecnológicos relacionados à nutrição, reprodução e exigências ambientais, o que limita sua competitividade produtiva e comercial (Cyrino *et al.*, 2010; PeixeBR, 2021; PeixeBR, 2026). Entretanto, a redução da produção dessas espécies acende um alerta para a aquicultura nacional, considerando sua importância ecológica, econômica e cultural, além de seu potencial para diversificação produtiva (Norte, 2025). A ausência de informações consolidadas sobre aspectos biológicos, fisiológicos e produtivos de muitas espécies nativas ainda representa um dos principais entraves para o avanço da piscicultura dessas espécies (Ross; Palacios; Morales, 2008).

Diante desse cenário, têm sido implementadas estratégias de manejo voltadas à mitigação dos impactos ambientais e ao fortalecimento da produção aquícola. Entre essas ações, o repovoamento — ou peixamento — de espécies nativas tem se destacado por contribuir para a recuperação de ecossistemas aquáticos e a recomposição de estoques naturais (Castro *et al.*, 2019; Ministério da Pesca e Aquicultura, 2025). Nesse contexto, insere-se o programa Rio Vivo, que promove a soltura de diversas espécies nativas, como traíra (*Hoplias malabaricus*), jundiá (*Rhamdia quelen*), lambari (*Astyanax* spp.), cará (*Geophagus brasiliensis*), dourado (*Salminus brasiliensis*), pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*), piaui (*Leporinus friderici*), piapara (*Megaleporinus obtusidens*) e pacu (*Piaractus mesopotamicus*) (IAT, 2025).

Outra abordagem relevante é o sistema de recirculação de água (RAS), técnica que promove maior sustentabilidade nas pisciculturas, por meio do reuso da água e do controle de variáveis ambientais, permitindo a produção ao longo de todo o ano e integrando-se às estratégias de conservação e preservação das espécies nativas (Owatari *et al.*, 2022, Fugde *et al.*, 2023). Assim, o RAS se torna uma alternativa viável para o cultivo de espécies em diferentes fases com relevância ecológica e econômica, como *Colossoma macropomum* (Da Silva *et al.*, 2024), *Brycon orbignyanus* (Pedreira, 2003), além de *Piaractus mesopotamicus* e *Rhamdia quelen* (Medina *et al.*, 2022).

1.2 ESTRESSORES AMBIENTAIS, MUDANÇAS CLIMÁTICAS E HOMEOSTASE EM PEIXES

Alguns estressores ambientais têm influenciado os ecossistemas aquáticos, especialmente as alterações nos parâmetros físico-químicos da água, como o pH e as concentrações de amônia. Tais parâmetros desempenham papéis fundamentais na manutenção da homeostase dos peixes, influenciando os mecanismos fisiológicos associados ao equilíbrio ácido-base, à osmorregulação, à respiração e ao metabolismo energético, podendo também afetar indiretamente o transporte de oxigênio no sangue (Tresguerres; Hamilton, 2017; Marium *et al.*, 2023). Dessa forma, alterações nesses parâmetros ambientais, em níveis superiores ao limite de tolerância dos organismos, podem comprometer processos fisiológicos essenciais, como os metabólicos (Little; Loughland; Seebacher, 2020) e os reprodutivos (Alix; Kjesbu; Anderson, 2020; Naziat *et al.*, 2024).

Além das alterações físico-químicas da água, a poluição por elementos químicos também constitui um importante fator de risco ecológico nos ambientes aquáticos (Vieira *et al.*, 2016; Justus *et al.*, 2020). Em tributários do rio Paraná, por exemplo, diferentes contaminantes, incluindo metais potencialmente tóxicos como arsênio, mercúrio, selênio, cobalto, manganês, chumbo e cádmio, têm sido registrados acima dos valores recomendados para a conservação da vida aquática, tanto na água quanto nos sedimentos (Gavino *et al.*, 2025). A exposição a esses compostos pode afetar organismos aquáticos, especialmente peixes, uma vez que tecidos metabolicamente ativos, como fígado e brânquias, tendem a responder de forma sensível às pressões ambientais, comprometendo funções fisiológicas e aumentando a vulnerabilidade das espécies (Moiseenko; Gashkina, 2020; Vegh *et al.*, 2022).

Nas últimas décadas, o aquecimento global tem promovido mudanças significativas nos regimes térmicos dos ecossistemas aquáticos, configurando-se como um dos principais fatores de estresse ambiental para organismos aquáticos (Dabbadie *et al.*, 2019; Alfonso; Gesto; Sadoul, 2020; Gerasimov *et al.*, 2024). De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, Sixth Assessment Report – AR6, 2021), a temperatura média global encontra-se em torno de 1,1 °C acima dos níveis pré-industriais, intensificando as alterações nos regimes térmicos e afetando o funcionamento dos ecossistemas aquáticos em escala global.

1.3 FÍGADO COMO ÓRGÃO ALVO: HISTOPATOLOGIA DOS PEIXES E FISIOLOGIA HEPÁTICA

Entre os órgãos mais sensíveis às variações térmicas destaca-se o fígado, estrutura central no metabolismo energético, na detoxificação e na regulação das reservas energéticas (Junqueira; Carneiro, 2017; Fraga, 2022). Diante dessas funcionalidades, o fígado de peixes é um importante órgão utilizado para avaliar variações e impactos ambientais nos ecossistemas aquáticos em resposta as influências antrópicas (Yancheva *et al.*, 2016).

O fígado é considerado a maior glândula do corpo, sendo dividido por fissuras em lobos que variam dependendo do grupo animal, como exemplo, os ruminantes e os suínos apresentam quatro lobos (Ntonas *et al.*, 2020; Bourscheid, Menegooti, 2022), e os caninos seis lobos (De Carvalho *et al.*, 2024). No caso dos peixes, é mais comum a presença de dois como em *Oreochromis niloticus* (Lima *et al.*, 2025) e *Cyprinus carpio* (Horalskyi *et al.*, 2023) e três lobos (lobo esquerdo, mediano e direito) como em *Brycon amazonicus* (Ziemniczak *et al.*, 2021), *Hoplias malabaricus* (Sales *et al.*, 2017) e *Colossoma macropomum* (Costa *et al.*, 2012). Entretanto, há exceções, como por exemplo, a *Boulengerella cuvieri*, que se constitui de apenas um lobo (Costa *et al.*, 2015).

Estruturalmente, o parênquima hepático é composto por hepatócitos, capilares sinusoides, vasos sanguíneos, ductos biliares, tecido pancreático e espaço porta (Brunetti *et al.*, 2022). Os hepatócitos são células poligonais e arredondadas mais abundantes no parênquima, formando 80% da massa hepática, distribuídos em cordões. São envolvidos pelo citoplasma granular rico em organelas que fazem a síntese e secreção dos lipídios a partir de precursores como a glicose, resultando em triglicerídeos e fosfolipídios, que são essenciais para o metabolismo (Macêdo *et al.*, 2020; Mescher; Junqueira, 2016; Yoon *et al.*, 2021). Os capilares sinusoides estão presentes entre os hepatócitos, sendo responsáveis pela passagem e troca de oxigênio e nutrientes entre o tecido e a corrente sanguínea (Santos; Lima, 2016; Correia, 2024). O pâncreas é encontrado ligado ao parênquima separado por tecido conjuntivo envolvendo os vasos sanguíneos (Ziemniczak *et al.*, 2021).

Devido as suas importantes funções fisiológicas, o fígado atua como indicador de alterações nos ambientes aquáticos, quando estas promovem estresse fisiológico nos peixes que compromete o funcionamento do organismo. Estudos realizados com

Lophiosilurus alexandri, por exemplo, observaram que parâmetros ambientais como a amônia podem ocasionar danos histopatológicos, como a presença de vacuolização e inchaço dos hepatócitos (Silva *et al.*, 2018). Da mesma forma, Paulino *et al.* (2014) identificaram alterações histológicas nas espécies *Astyanax lacustris* e *Pimelodus maculatus* após exposição a metais pesados. Para isso, os autores realizaram uma classificação quanto ao:

- tipo de alteração: hiperemia, agregados de melanomacrófagos, necrose focal, hipertrofia nuclear, núcleo picnótico;

- estágio de danos de cada alteração: I: alterações reversíveis em que a estrutura normal do órgão pode ser recuperada; II: alterações mais graves e que afetam o funcionamento do órgão, mas que podem ser reparáveis após melhoria ambiental; e III: alterações nas quais a restauração da estrutura dos órgãos não é possível mesmo após a melhoria ambiental (Tabela 1);

- frequência de alterações no tecido hepático: 0, ausência de lesões (ausência ou lesões em até 10% do total do tecido analisado); 0+, raramente presente (ocorrência de lesões de 11% a 25% do tecido analisado no total); +, presente (ocorrência de lesões em 26% a 50% do tecido analisado); ++, frequente (ocorrência de lesões de 51% a 75% do tecido analisado) e +++, lesões muito frequentes (ocorrência de lesões em 76% a 100% do tecido analisado).

Tabela 1. Classificação das alterações, e estágio de danos observados no tecido hepático, segundo propostas de Cerqueira e Fernandes, 2002, adaptado de Poleksic e Mitrovic-Tutundzic, 1994.

Alteração histológica	Estágio	Descrição
Hipertrofia nuclear Núcleo em posição lateral Agregados de melanomacrófagos Hiperemia	I	Alterações reversíveis, com recuperação da estrutura normal do órgão
Infiltração leucocitária Degeneração citoplasmática Congestão vascular	II	Alterações mais graves, que afetam o funcionamento do órgão, mas podem ser reversíveis após melhoria ambiental
Necrose Núcleo picnótico	III	Alterações nas quais a restauração da estrutura do órgão não é possível, mesmo após melhoria ambiental

Fonte: Cerqueira e Fernandes (2002); Poleksic e Mitrovic-Tutundzic (1994).

Para compreender as condições fisiológicas dos animais, um dos indicadores fisiológicos é o índice hepatossomático (IHS), que demonstra as condições fisiológicas baseadas na massa do fígado e na massa do animal (Bernet *et al.*, 1999; Adams; Brown; Goede, 1993). Pois, apesar de sua estrutura complexa e das funções vitais que desempenha no organismo, o fígado é sensível a fatores estressores que podem levar a alterações histológicas em sua estrutura e fisiologia (De Araújo *et al.*, 2021; Sunardi *et al.*, 2021). Em condições de estresse térmico, essas alterações estão associadas ao aumento da demanda metabólica e à maior produção de espécies reativas de oxigênio, tornando-se um importante órgão-alvo para a avaliação dos efeitos do ambiente sobre a saúde dos peixes (Roychowdhury *et al.*, 2021).

1.4 *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1849): STATUS DE CONSERVAÇÃO E VULNERABILIDADE

Diante do cenário de impactos antrópicos nos ecossistemas aquáticos, a bacia do alto rio Paraná, que drena uma das regiões mais desenvolvidas e ambientalmente impactadas do sudeste brasileiro, destaca-se por abrigar uma ictiofauna neotropical amplamente documentada, porém também entre as mais ameaçadas pela intensificação das atividades humanas e ambientais (Toussaint *et al.*, 2016; Dagosta *et al.*, 2024).

Brycon orbignyanus (Valenciennes, 1850), conhecida popularmente como piracanjuba, é uma espécie neotropical de grande relevância ecológica e econômica, destacando-se pela elevada qualidade de sua carne e pelo comportamento agressivo, característica valorizada na pesca esportiva (De Oliveira *et al.*, 2017). Pertencente à família Bryconidae e à ordem Characiformes, a espécie apresenta hábito alimentar onívoro, ocupando posição intermediária na cadeia trófica e exercendo papel importante na estruturação das comunidades aquáticas (García-Carreño *et al.*, 2002; Pedreira *et al.*, 2025).

Historicamente, a piracanjuba apresentava ampla distribuição na Bacia do Prata, abrangendo os rios Paraná, Uruguai e Paraguai (Lima, 2017). Entretanto, de acordo com a lista oficial de espécies ameaçadas de extinção (Portaria MMA nº 148/2022), sua distribuição atual encontra-se restrita a aproximadamente 25.000 km² na região do alto rio Paraná, representando uma redução estimada de cerca de 97% de sua área de ocorrência original. Em função dessa expressiva perda de habitat e do

acentuado declínio populacional, a espécie foi classificada como “Criticamente em Perigo de Extinção (CR)” (ICMBIO, 2018; Brasil, 2022).

Para *B. orbignyanus*, a temperatura da água constitui um fator ambiental crítico, diretamente relacionado à migração reprodutiva sazonal, ao sucesso do recrutamento e à manutenção das populações naturais (Ceccarelli *et al.*, 2010). A espécie apresenta faixa de tolerância térmica relativamente estreita, entre 25 °C e 28 °C (Mathias, 2015; Lima, 2017, Carvalho *et al.*, 2023), sendo que elevações acima desse intervalo afetam negativamente o crescimento, a sobrevivência, a resposta imunológica e o metabolismo energético, além de reduzirem o consumo alimentar (Jimenez; Zaniboni-Filho, 2013; Lefevre; McKenzie; Nilsson, 2017; Dawood *et al.*, 2021).

Com base nos pontos apresentados, a aquicultura brasileira configura-se como um setor de grande importância econômica e estratégica, especialmente no contexto da segurança alimentar. No entanto, o avanço da produção aquícola ainda enfrenta desafios significativos, sobretudo no que se refere à conservação de espécies nativas. Apesar da relevância ecológica e econômica da *B. orbignyanus*, ainda são escassos os estudos que avaliem de forma integrada os efeitos de variações térmicas prolongadas sobre parâmetros fisiológicos e histopatológicos, o que limita o desenvolvimento de estratégias de manejo adequadas para a espécie. O fígado desempenha papel central na resposta a estressores ambientais, atuando como órgão-chave nos processos metabólicos e de manutenção da homeostase, sendo um importante indicador da saúde dos peixes.

1.5 HIPÓTESE

O aumento e o tempo de exposição a alta temperatura podem alterar significativamente e funcionalmente o tecido hepático da espécie, devido à sensibilidade e à maior frequência de histopatologias em resposta a esse estresse térmico.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo Geral

Considerando a importância ecológica e econômica de *B. orbignyana*, o status “Criticamente em perigo de extinção”, as dificuldades de produção de espécies nativas e a influência da temperatura sobre a fisiologia do tecido hepático, o objetivo desse estudo foi avaliar os efeitos do estresse térmico prolongado sobre o fígado de *B. orbignyana*, analisando possíveis alterações histológicas, além de avaliar o índice hepatossomático.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar as alterações histológicas no tecido hepático de indivíduos submetidos ao estresse térmico prolongado.
- Quantificar as alterações histológicas observadas no tecido hepático, utilizando o referencial proposto por outros autores.
- Verificar as respostas fisiológicas dos animais as mudanças de temperatura por meio da comparação do índice hepatossomático entre as temperaturas avaliadas e os meses de coleta.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, S. M.; BROWN, A.M.; GOEDE, R. W. 1993. A quantitative health assessment index for rapid evaluation of fish condition in the field. **Transactions of the American Fisheries Society**, Bethesda, v. 122, n. 1, p. 63-73. DOI: [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1993\)122%3C0063:AQHAIF%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1993)122%3C0063:AQHAIF%3E2.3.CO;2)
- ALFONSO, S.; GESTO, M.; SADOUL, B. Temperature increase and its effects on fish stress physiology in the context of global warming. **Journal of Fish Biology**, Chichester, v. 98, n. 6, p. 1496–1508, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfb.14599>
- ALIX, M.; KJESBU, O.S.; ANDERSON, K.C. From gametogenesis to spawning: How climate-driven warming affects teleost reproductive biology. **Journal of Fish Biology**, Chichester, v. 97, n. 3, p. 607-632, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfb.14439>
- BERNET, D. *et al.* Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. **Journal of Fish Diseases**, Chichester, v. 22, n. 1, p. 25–34, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.1999.00134.x>
- BOURSCHEID, N.; MENEGOTI, J.P. Principais causas de condenações de fígados de bovinos em abatedouro frigorífico no município de aripuanã-mt. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 8, n. 11, p. 618-636, 2022. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v8i11.7439>
- BONACINA, L. *et al.* Effects of water temperature on freshwater macroinvertebrates: a systematic review. **Biological Reviews**, Chichester, v. 98, n. 1, p. 191–221, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/brv.12903>
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria MMA nº 148, de 7 de junho de 2022. Altera os Anexos da Portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014, da Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014, e da Portaria nº 445, de 17 de dezembro de 2014, referentes à atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jun. 2022. Seção 1, p. 74. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/aves-silvestres/arquivos/portaria-148-2022.pdf>. Acesso em: 18 set. 2025.
- BRF. **BRF**: novas tecnologias, sustentabilidade e os rumos do setor. 2025. Disponível em: <https://www.brfeedingredients.com/pt-br/blog/posts/aquicultura-em-2025-novas-tecnologias-sustentabilidade-e-os-rumos-do-setor/>. Acesso em: 13 set. 2025.
- BRUNETTI, I. A. *et al.* Histological biomarkers and protein expression in *Hyphessobrycon eques* fish exposed to atrazine. **Water, Air, & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 233, n. 3, p. 97, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05569-x>.
- CARVALHO, H. R., *et al.* Temperature modulates gonadal development and sex ratio of piracanjuba *Brycon orbignyanus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 565, p. 739099, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739099>

CASTRO, P. L., *et al.* Variabilidade genética de larvas e alevinos de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, p. 696-702, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10312>

CECCARELLI, O. S. *et al.* Piracanjuba (*Brycon orbignyanus*, Valenciennes, 1849). In: BALDISSEROTTO, B., GOMES, L. C. (ed.). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. Santa Maria: Ed UFMS, 2010. p.121-147.

CERQUEIRA, C. C. C., Fernandes, M. N. Gill tissue recovery after copper exposure and blood parameter responses in the tropical fish *Prochilodus scrofa*. **Ecotoxicol Environ Saf**. 52, 83 91, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1006/eesa.2002.2164>

CYRINO, J. E. P. *et al.* A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, supl. 1, p. 68–87, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300009>

CORREIA, B. R. O. **Capilares**. Kenhub, 2024. Disponível em: <https://www.kenhub.com/pt/library/anatomia/capilares-pt>. Acesso em: 20 set. 2025.

COSTA, G. M. *et al.* Estrutura morfológica do fígado de tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Seropédica, v. 32, p. 947-950, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2012000900022>

COSTA, G. M. *et al.* Histomorfologia do fígado de bicuda, *Boulengerella cuvieri* (Agassiz, 1829) (Teleostei, Ctenoluciidae). **Revista de Ciências Agroambientais**, Caceres, v. 13, n. 2, p. 45–49, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5327/rcaa.v13i2.1182>

DABBADIE, L. *et al.* **Effects of climate change on aquaculture: drivers, impacts and policies**. In: FAO. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture. Rome: FAO, 2019. p. 449.

DAGOSTA, F. C. P., *et al.* Fishes of the upper rio Paraná basin: diversity, biogeography and conservation. **Neotropical Ichthyology**, Sao Paulo, v. 22, n. 1, p. e230066, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2023-0066>

DA SILVA, A.C. B. *et al.* Tambaqui e RAS: viabilidade de biofiltros com LECA para a piscicultura intensiva em sistema de recirculação de água. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. e3730-e3730, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv22n3-102>

DAWOOD, M. A. O. *et al.* Long term salinity disrupts the hepatic function, intestinal health, and gills antioxidative status in Nile tilapia stressed with hypoxia. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Philadelphia, v. 220, p. 112 122, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112412>.

DE ARAÚJO, T. P. *et al.* Toxicity of nitrogen compounds in fish influenced by physico-chemical water parameters: a review. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 10, n. 11, p. e359101119779- e359101119779, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19779>

DE CARVALHO, T.C.S. *et al.* Descrição anatomotopográfica da vascularização hepática em carnívoros domésticos. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, São Paulo, v. 7, n. 3, p. e73120-e73120, 2024. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv7n3-099>

DE OLIVEIRA, D. J. *et al.* Conservation status of the "piracanjuba" *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1850) (Characiformes, Bryconidae): basis for management programs. **Biodiversidade Brasileira**, Pirassununga, v. 7, n. 1, p. 18-33, 2017. DOI: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v7i1.612>

DE OLIVEIRA, L. P.; SOUZA, A. L. M. Consumo de pescado no Brasil e ocorrências de falsificações na cadeia produtiva: revisão. **Pubvet**, Maringa, v. 18, n. 4, e1571, 2024. DOI: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v18n04e1571>

FAO. **FAO report: Global fisheries and aquaculture production reaches a new record high**. Rome; San José, Costa Rica, 07 jun. 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-report-global-fisheries-and-aquaculture-production-reaches-a-new-record-high/en>. Acesso em: 30 jan. 202

FAO. **Aquicultura mundial atinge quantidade recorde**. 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1696371/>. Acesso em: 23 ago.2025.

FRAGA, R.S. **Funções do fígado**: veja quais são e a importância de cada. Dra. Raquel, 1 Jun. 2022. Disponível em: <https://draraquel.com.br/2022/06/funcoes-do-figado/>. Acesso em: 17 set. 2025.

FUDGE, M. *et al.* Social acceptability and the development of commercial RAS aquaculture. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 568, p. 739295, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739295>

GARCÍA-CARREÑO, F. L. *et al.* Digestive proteinases of *Brycon orbignyanus* (Characidae, Teleostei): characteristics and effects of protein quality. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: **Biochemistry and Molecular Biology**, New York, v. 132, n. 2, p. 343-352, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1096-4959\(02\)00038-6](https://doi.org/10.1016/S1096-4959(02)00038-6)

GAVINO, N. F. *et al.* Assessment of metal and metallcoid contamination in surface waters of the Pirapó river, Paraná State (PR), Brazil, and its environmental and human health risks. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 14, n. 12, p. e151141250409-e151141250409, 2025. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v14i12.50409>

GERASIMOV, Y. V., *et al.* Effect of Global Warming on Fish Population Parameters in Upper Volga Reservoirs. **Inland Water Biology**, Moscow, v. 17, n. 4, p. 602-618, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1134/S199508292470024X>

HORALSKYI, L. P. *et al.* Species-specific morphology of the liver of the fishes of the Cyprinidae family. **Regulatory Mechanisms in Biosystems**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 234-241, 2023. DOI: <https://doi.org/10.15421/022335>

IAT. **Rio Vivo: conheça as espécies de peixes que estão repovoando as águas doces do Paraná.** Governo do Paraná, 07 fev. 2025. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/Noticia/Rio-Vivo-conheca-especies-de-peixes-que-estao-repovoando-aguas-doces-do-Parana?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 31 jan. 2026.

ICMBIO. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume I.** 1. ed. Brasília, DF: ICMBio/MMA, 2018.

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

IPCC. **Ecossistemas terrestres e de água doce e seus serviços . Em Mudanças climáticas 2022: Impactos, adaptação e vulnerabilidade - Contribuição do Grupo de Trabalho II para o sexto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.** Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

ISLAM, M. J.; KUNZMANN, A.; SLATER, M.J. Responses of aquaculture fish to climate change-induced extreme temperatures: A review. **Journal of the World Aquaculture Society**, Hoboken, v. 53, n. 2, p. 314-366, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/jwas.12853>

JIMENEZ, J. E.; ZANIBONI-FILHO, E. Adaptations of the piava (*Leporinus obtusidens*) juvenile exposed to hypoxia. **Boletim do Instituto de Pesca**, [s. l.], v. 39, n. 4, p.439 444, 2013.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Histologia básica: texto e atlas.** 13. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2017.

JUSTUS, C. M. *et al.* Chemical elements in the water of the São Pedro river basin, Faxinal - Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, Helsinki, v. 41, n. 3, p. 743-752, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n3p743>

KOCHHANN, D. *et al.* Take time to look at the fish: behavioral response to acute thermal challenge in two Amazonian cichlids. **Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology**, Hoboken, v. 335, n. 9 10, p. 735 744, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/jez.2541>.

LEFEVRE, S.; MCKENZIE, D. J.; NILSSON, G. E. Models projecting the fate of fish populations under climate change need to be based on valid physiological mechanisms. **Global Change Biology**, Chichester, v. 23, n. 9, p. 3449 3459, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13652>.

LIMA, F. C. A. A revision of the cis-andean species of the genus Brycon Müller & Troschel (Characiformes: Characidae). **Zootaxa**, St Lukes, v. 4222, n. 1, p. 1 189, 2017. DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4222.1.1>.

LIMA, Y. S. *et al.* Histopatologia de brânquias e fígado de tilápias *Oreochromis niloticus*, provenientes de um canal urbano de Belém. **Revista Uniaraguaia**, Goiânia, v. 20, n. 1, p. 391–409, 2025.

LITTLE, A.G.; LOUGHLAND, I; SEEBACHER, F. What do warming waters mean for fish physiology and fisheries?. **Journal of Fish Biology**, Chichester, v. 97, n. 2, p. 328-340, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfb.14402>.

MACÊDO, A. K. S. *et al.* Histological and molecular changes in the gill and liver of fish (*Astyanax lacustris* Lütken, 1875) exposed to water from the Doce basin after the rupture of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 735, e139505, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139505>.

MARIUM, A. *et al.* Effect of temperature, pH, salinity and dissolved oxygen on fishes. **Journal of Zoology and Systematics**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 1-12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.56946/jzs.v1i2.198>

MATHIAS, J. **Como criar Piracanjuba: cultivo da espécie, que corre risco de extinção em muitos rios, pode propiciar negócio para quem tem água de boa procedência**. Globo Rural, 2015. Disponível em: <https://globorural.globo.com/vida-na-fazenda/como-criar/noticia/2015/08/como-criar-piracanjuba.html> . Acesso em: 13 set. 2025.

MEDINA, L.S. *et al.* Sistema de recirculação aquícola: relações peso-comprimento e fatores de condição de quatro espécies de peixes tropicais. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 11, n. 4, p. e52811427368-e52811427368, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27368>

MESCHER, A. L.; JUNQUEIRA, L. C. U. **Junqueira's basic histology: text and atlas**. 14. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2016. ISBN 978-1260083281. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283490690_Junqueira's_Basic_Histology_Text_Atlas_14th_ed. Acesso em: 17 Jan de 2026.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. **MPA realiza workshop sobre repovoamento da ictiofauna nas bacias hidrográficas**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mpa/pt-br/assuntos/noticias/mpa-realiza-workshop-sobre-repovoamento-da-ictiofauna-nas-bacias-hidrograficas>. Acesso em: 18 set. 2025.

MOISEENKO, T. I.; GASHKINA, N. A. Distribution and bioaccumulation of heavy metals (Hg, Cd and Pb) in fish: Influence of the aquatic environment and climate. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 115013, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abbf7c>

NAZIAT, A. *et al.* Elevated temperature impairs gonadal development by suppressing the expression of the genes for kisspeptin, GnRH1 and GTH subunits in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, Philadelphia, v. 297, p. 111714, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2024.111714>

NETO, A.S.P. *et al.* A ecologia humana e (des)umanidade: da pesca insustentável aos resíduos plásticos. *In*: PACHECO, C. S. G. R. **Mudanças climáticas e seus impactos socioambientais concepções, fundamentos, teorias e práticas mitigadoras**. [S. l.]: Científica Digital, 2023. p.14-44. DOI: <https://doi.org/10.37885/978-65-5360-384-4>.

NIELSEN, M. E.; LEHMANN, P.; GOTTHARD, K. Longer and warmer prewinter periods reduce post-winter fitness in a diapausing insect. **Functional Ecology**, Chichester, v. 36, n. 5, p. 1151–1162, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14037>

NORTE, D.B. **Pesquisadores defendem desenvolvimento da aquicultura na Amazônia como ferramenta para combater mudanças climáticas e recuperar floresta**. *Jornal da Unesp*, 19 jun. 2025. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2025/06/19/pesquisadores-defendem-desenvolvimento-da-aquicultura-na-amazonia-como-ferramenta-para-combater-mudancas-climaticas-e-recuperar-floresta/>. Acesso em: 14 mar. 2026.

NTONAS, A. *et al.* Comparative anatomical study between the human and swine liver and its importance in xenotransplantation. **Cureus**, San Francisco, v. 12, n. 7, 2020. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.9411>

OWATARI, M. S. *et al.* **Sistemas de recirculação e reúso de água na aquicultura: uma ferramenta para sustentabilidade**. *In*: Ciências agrárias: a multidisciplinaridade dos recursos naturais. [S. l.]: Poisson, 2022. p. 148 161. Disponível em: <https://doi.org/10.37423/221206928>.

PAULINO, M. G. *et al.* The impact of organochlorines and metals on wild fish living in a tropical hydroelectric reservoir: bioaccumulation and histopathological biomarkers. **Sci Total Environ**. 497, 293 306. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.122>

PEDREIRA, M.M. Comparação entre três sistemas no cultivo de larvas de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*). **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 50, n. 292, 2003.

PEDREIRA, M.M. *et al.* Hábito alimentar da piracanjuba *Brycon orbignyanus* (VALENCIENNES, 1855), em cultivo semi-intensivo. **Revista de Geopolítica**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. e763-e763, 2025. <https://doi.org/10.56238/revgeov16n5-013>

PEIXE BR. **Anuário Peixe BR da Piscicultura 2021**. [S. l.]: Peixe BR, 2021. Disponível em: Anuário 2021 | Peixe BR. Acesso em: 15 mar. 2026.

PEIXE BR. **Anuário Peixe BR da Piscicultura 2026**. [S. l.]: Peixe BR, 2026. Disponível em: Anuário 2026 | Peixe BR. Acesso em: 15 mar. 2026.

POLEKSIC, V., MITROVIC-TUTUNDZIC, V. Fish gills as a monitor of sublethal and chronic effects of pollution. *In*: MULLER, R.; LLOYD, R. (ed.). **Sublethal and chronic effects of pollutants on freshwater fish**. Fishing News Books, Oxford, 339 352, 1994.

REID, A. J. *et al.* Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. **Biological Reviews**, Chichester, v. 94, n. 3, p. 849-873, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/brv.12480>.

ROCHA, Y.; SANTO, R.V.; AKAMA, A. Políticas públicas de proteção às espécies ameaçadas de extinção: uma análise dos impactos sobre os peixes continentais amazônicos. **Revista Uniaraguaia**, Goiânia, v. 20, n. 1, p. 368-390, 2025.

ROSS, L. G.; PALACIOS, C. A.M.; MORALES, E. J. Developing native fish species for aquaculture: the interacting demands of biodiversity, sustainable aquaculture and livelihoods. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 39, n. 7, p. 675-683, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01920.x>.

ROYCHOWDHURY, P. *et al.* Thermal stress induced oxidative damages in the liver and associated death in fish, *Labeo rohita*. **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht, v. 47, n. 1, p. 21-32, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-020-00880-y>.

SALES, C.F. *et al.* Comparative histology in the liver and spleen of three species of freshwater teleost. **Neotropical Ichthyology**, São Paulo, v. 15, n. 01, p. e160041, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20160041>

SANTOS, A. A.; LIMA, J. M. C. **Fisiologia hepática**. In: ORIÁ, R. B.; BRITO, G. A. C. (org.). Sistema digestório: integração básico-clínica. São Paulo: Blucher, 2016. p. 575-602.

SHARMA, P. *et al.* Role of microbes in bioaccumulation of heavy metals in municipal solid waste: Impacts on plant and human being. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 305, p. 119248, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119248>

SILVA, M.J.S. *et al.* Biological responses of Neotropical freshwater fish *Lophiosilurus alexandri* exposed to ammonia and nitrite. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 616, p. 1566-1575, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.157>

Souagro. **PEIXES NATIVOS: Rentabilidade, mas com recuo da produção**. Sou Agro, 2025. Disponível em: <https://souagro.net/noticia/2025/03/peixes-nativos-rentabilidade-mas-com-recuo-da-producao/>. Acesso em: 14 set. 2025.

SUNARDI, S. *et al.* Citarum river water pollution and stress responses in the tolerant and sensitive fish. **Indonesian Journal of Limnology**, Jakarta, v. 2, n. 1, p. 53-64, 2021. DOI: <https://doi.org/10.51264/inajl.v2i1.10>

TOUSSAINT, A. *et al.* Global functional diversity of freshwater fish is concentrated in the Neotropics while functional vulnerability is widespread. **Scientific Reports**, London, v. 6, n. 1, 22125, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep22125>.

TRESGUERRES, M.; HAMILTON, T.J. Acid base physiology, neurobiology and behaviour in relation to CO₂-induced ocean acidification. **Journal of Experimental**

Biology, Cambridge, v. 220, n. 12, p. 2136-2148, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1242/jeb.144113>.

VEGH, S. L. *et al.* Distribution and Accumulation of Trace Elements in Organs of Juvenile Fishes from a Freshwater System (Paraná River, South America). **Biological Trace Element Research**, Heidelberg, v. 200, p. 2416–2431, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02849-1>.

VIEIRA, C. E. D. *et al.* Multiple biomarker responses in *Prochilodus lineatus* subjected to short-term in situ exposure to streams from agricultural areas in Southern Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 542, p. 44-56. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.071>.

YANCHEVA, V. *et al.* Histological biomarkers in fish as a tool in ecological risk assessment and monitoring programs: a review. **Applied Ecology And Environmental Research**, Budapest, v. 14, n. 1, p. 47-75, 2016. DOI: https://doi.org/10.15666/aeer/1401_047075.

YOON, H. *et al.* Lipid metabolism in sickness and in health: Emerging regulators of lipotoxicity. **Molecular Cell**, Cambridge, v. 81, n. 18, p. 3708-3730, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2021.08.027>.

ZIEMNICZAK, H. M. *et al.* Anatomical and histological traits of *Brycon amazonicus* liver cultivated in a semi-intensive system. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 83, e244784, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.244784>.