



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA
BIODIVERSIDADE - PPGE CB

VERDSON FRAZÃO FERREIRA

INFLUÊNCIA DA ATIVIDADE PESQUEIRA NA CONTAMINAÇÃO POR
PLÁSTICOS EM PEIXES DO LAGO VIANA, ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
(APA) DA BAIXADA MARANHENSE

São Luís – MA
2025

VERDSON FRAZÃO FERREIRA

**INFLUÊNCIA DA ATIVIDADE PESQUEIRA NA CONTAMINAÇÃO POR
PLÁSTICOS EM PEIXES DO LAGO VIANA, ÁREA DE PROTEÇÃO
AMBIENTAL (APA) DA BAIXADA MARANHENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade da Universidade Estadual do Maranhão, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre na área de Ecologia e Conservação da Biodiversidade.

Orientadora: Profa. Dra. Débora Martins Silva Santos

Coorientador: Prof. Dr. Diego José Nogueira

São Luís–MA
2025

Ferreira, Verdson Frazão.

Influência da atividade pesqueira na contaminação por plásticos em peixes do Lago Viana, Área de Proteção Ambiental (APA) da Baixada Maranhense. / Verdson Frazão Ferreira. - São Luís - MA, 2025.

116f.

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade) - Universidade Estadual do Maranhão, 2025.

Orientadora: Profa. Dra. Débora Martins Silva Santos.

Coorientador: Prof. Dr. Diego José Nogueira.

1. Plásticos. 2. Pesca Artesanal. 3. Polímeros. 4. Biota Aquática. 5. Risco Ambiental. I. Título.

CDU: 639.2:678.5(812.1)

VERDSON FRAZÃO FERREIRA

**INFLUÊNCIA DA ATIVIDADE PESQUEIRA NA CONTAMINAÇÃO POR
PLÁSTICOS EM PEIXES DO LAGO VIANA, ÁREA DE PROTEÇÃO
AMBIENTAL (APA) DA BAIXADA MARANHENSE**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ecologia e Conservação da
Biodiversidade da Universidade
Estadual do Maranhão, como parte
dos requisitos para a obtenção do
grau de Mestre na área de Ecologia
e Conservação da Biodiversidade.

Data da aprovação: 30/12/2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **DEBORA MARTINS SILVA SANTOS**
Data: 12/02/2026 17:42:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Débora Martins Silva Santos - (Orientadora)

PPG Ecologia e Conservação da Biodiversidade Universidade Estadual do Maranhão -
UEMA

Documento assinado digitalmente
 **Diego Jose Nogueira**
Data: 12/02/2026 15:40:56-0300
CPF: ***.044.236-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Diego José Nogueira - (Coorientador)

Pós-Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Documento assinado digitalmente
 **ICARO GOMES ANTONIO**
Data: 12/02/2026 16:25:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ícaro Gomes Antonio (Avaliador 1)

PPG Ecologia e Conservação da Biodiversidade Universidade Estadual do Maranhão -
UEMA

Documento assinado digitalmente
 **Miguel Angel Saldana Serrano**
Data: 12/02/2026 16:05:26-0300
CPF: ***.533.921-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Miguel Angel Saldanã Serrano (Avaliador 2)

Pós-Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC

AGRADECIMENTOS

É com profunda gratidão que agradeço a todos que contribuíram para a realização desta etapa da minha trajetória acadêmica e pessoal. Primeiramente, agradeço a Deus e à espiritualidade, que me sustentaram, guiaram meus passos e me deram força para seguir adiante, mesmo diante dos desafios.

À minha orientadora, Profa. Dra. Débora Martins Silva Santos, agradeço pela orientação, confiança, ensinamentos e incentivo ao longo desta caminhada. Ao meu coorientador, Dr. Diego José Nogueira, sou grato pelas contribuições, disponibilidade e orientações que enriqueceram este trabalho.

À minha família, em especial à minha mãe, Paula Cristina, e ao meu pai, Valdir de Sena, agradeço pelo amor, cuidado e incentivo constantes. À minha irmã, Verônica, à minha avó Nilce, à minha tia Francly, ao meu tio Elias e aos meus sobrinhos, deixo meu carinho e gratidão pelo apoio e afeto.

À minha amiga/irmã Suena, agradeço de forma especial pela amizade, apoio e presença constante. Sua irmandade tornou essa jornada mais leve e possível.

Ao meu noivo, Matheus Sales, agradeço pelo amor, paciência, companheirismo e incentivo diário.

Aos colegas do Laboratório de Biologia e Ambiente Aquático (LABIOAQUA), agradeço pela parceria e apoio nas atividades de campo e laboratório, em especial à Natália Jovita, ao Ítalo e à Ingrid. Aos colaboradores do LABCAI da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), agradeço pela parceria científica.

Por fim, agradeço à FAPEMA pelo apoio financeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade da UEMA (PPGECB/UEMA) pela formação acadêmica e pelas oportunidades oferecidas.

RESUMO

A poluição plástica nos ecossistemas aquáticos representa um desafio para a conservação da biodiversidade e a segurança alimentar, especialmente em regiões onde a pesca artesanal é uma atividade social relevante. Este estudo avaliou a ocorrência e caracterizou as partículas plásticas em duas espécies de peixes biomonitores, espécimes de *Pygocentrus nattereri* e *Hypostomus plecostomus* foram coletadas no Lago Viana - Maranhão durante os períodos de estiagem e chuvoso. Foram obtidos dados biométricos (peso, comprimento total e comprimento padrão) e analisados conteúdos estomacais para identificação de partículas plásticas quanto ao tipo, cor, tamanho e composição polimérica. As análises estatísticas incluíram testes de comparação entre períodos sazonais e espécies, bem como correlação entre biometria e quantidade de partículas ingeridas. Identificaram-se 79 partículas plásticas, com predominância absoluta de fibras (94–100%), e ocorrência menos frequente de fragmentos. As cores mais observadas foram transparentes e azuis, variando conforme a espécie e o período sazonal. A análise por espectroscopia de infravermelho indicou predominância de poliamida (51,9%) e rayon (24,1%), seguidos por polipropileno, poliéster, poliestireno, polietileno e poliuretano. Não foram observadas diferenças significativas na ingestão de plásticos entre espécies ou períodos sazonais. O risco ecotoxicológico, avaliado pela composição química e categorias de perigo dos polímeros, indicou predominância de materiais classificados como risco moderado, embora polímeros de alto risco, como poliestireno e poliuretano, também tenham sido detectados. A avaliação do risco potencial, baseada na composição química e nos aditivos presentes, revelou que os polímeros identificados possuem propriedades físico-químicas e aditivos capazes de atuar como veículos de substâncias tóxicas e bioacumulativas, um risco potencial à biota aquática e à saúde humana. Os resultados reforçam que a exposição às partículas plásticas no Lago Viana é mais influenciada pela disponibilidade e persistência ambiental dos resíduos do que por características individuais das espécies, ressaltando a necessidade de estratégias integradas de mitigação. O estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre poluição plástica em ambientes continentais tropicais e se conecta diretamente a metas da Agenda 2030, especialmente os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 3, 12 e 14.

Palavras- chave: Plásticos. Pesca Artesanal. Polímeros. Biota Aquática, Risco Ambiental.

ABSTRACT

Plastic pollution in aquatic ecosystems poses a challenge to biodiversity conservation and food security, especially in regions where artisanal fishing is a socially relevant activity. This study evaluated the occurrence and characterized plastic particles in two biomonitor fish species, *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus*, collected in Lake Viana, Maranhão, during the dry and rainy seasons. Biometric data (weight, total length, and standard length) were recorded, and stomach contents were analyzed to identify plastic particles according to type, color, size, and polymeric composition. Statistical analyses included comparisons between seasonal periods and species, as well as correlations between biometric variables and the number of ingested particles. A total of 79 plastic particles were identified, with an absolute dominance of fibers (94–100%) and a smaller proportion of fragments. The most frequent colors were transparent and blue, varying according to species and season. Infrared spectroscopy revealed a predominance of polyamide (51.9%) and rayon (24.1%), followed by polypropylene, polyester, polystyrene, polyethylene, and polyurethane. No significant differences were found in plastic ingestion between species or seasonal periods. The ecotoxicological risk assessment, based on chemical composition and polymer hazard categories, indicated that most detected polymers are classified as moderate risk, although high-risk materials such as polystyrene and polyurethane were also present. The results indicate that exposure to plastic particles in Lake Viana is more strongly influenced by the environmental availability and persistence of plastic debris than by species-specific traits, highlighting the need for integrated mitigation strategies. This study contributes to advancing knowledge on plastic pollution in tropical freshwater environments and aligns with the goals of the 2030 Agenda, particularly Sustainable Development Goals 3, 12, and 14.

Keywords: Plastics. Artisanal fishing. Polymers. Aquatic biota. Environmental risk.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1. Localização do município de Viana. No estado do Maranhão, em destaque os limites municipais, corpos hídricos e Lago Viana, Brasil, 2025.	44
Figura 2. Exemplar de <i>Pygocentrus nattereri</i> capturado no Lago Viana, Maranhão (Ma), Brasil, 2025.....	46
Figura 3. Exemplar de <i>Hypostomus plecostomus</i> capturado no Lago Viana, Maranhão (Ma), Brasil, 2025.....	47
Figura 4. Ponto de coleta no Lago Viana, Maranhão (Ma), Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense, Brasil, 2025.	47
Figura 5. Gaiola de aço, utilizada na pesca artesanal no Lago Viana, Maranhão (Ma), Brasil, 2025.	49
Figura 6. Em A, amostras em processo de digestão química em incubadora com agitação orbital em B; amostras após digestão química. Material biológico das espécies coletadas no Lago Viana, Maranhão (Ma), Brasil, 2025.....	51
Figura 7. Em A: exemplares de filtros de fibra de vidro após processo de filtração das amostras em; em B: microscópio estereoscópio Olympus SZX18, Brasil, 2025.	52
ARTIGO: Occurrence of plastics in freshwater fish associated with fishing gear in eastern Amazonia	
Figure 1. Location of the sampling area in Lake Viana, Maranhão, Brazil, highlighting the sampling point situated in a zone of higher environmental preservation. Cartographic data: CPRM (2013, 2018) and IBGE (2022). Coordinate system: Transverse Mercator	61
Figure 2. (A) Proportion (%) of plastic particle colors ingested by <i>Pygocentrus nattereri</i> and <i>Hypostomus plecostomus</i> during the dry and rainy seasons. (B) Proportion of size classes of ingested plastic particles (Micro < 5 mm; Meso = 5–25 mm; Macro > 25 mm) in <i>Pygocentrus nattereri</i> and <i>Hypostomus plecostomus</i> during the dry and rainy seasons.	68
Figure 3. Non-metric multidimensional scaling (NMDS) of polymer composition (Bray–Curtis dissimilarity) in <i>Pygocentrus nattereri</i> (blue) and <i>Hypostomus plecostomus</i> (green) during the	

dry (square symbols) and rainy (diamond symbols) seasons. Ellipses represent 95% confidence intervals for each species. The overlap among groups indicates no significant differences in polymer composition between species or seasons (PERMANOVA, $p > 0.05$; stress < 0.2). .. 70

Figure 4. Plastic fragments isolated from the gastrointestinal tract of *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus* and their corresponding μ -FTIR spectra. The samples correspond to the following polymers: (A) rayon (NACP), (B) polyamide (PA), (C) polypropylene (PP), (D) polystyrene (PS), (E) polyester (PES), and (F) polyethylene (PE). 71

Quadro 1. Número de espécimes de *Pygocentrus nattereri* e *Hypostomus plecostomus* coletados nos períodos chuvoso (junho) e de estiagem (outubro) de 2024 no Lago Viana (MA). n indica o total de indivíduos coletados por período. 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físico-químicas dos polímeros e aditivos comumente utilizados em suas formulações. 25

ARTIGO: Occurrence of plastics in freshwater fish associated with fishing gear in eastern Amazonia

Table 1. Biometric data (mean $\pm$ standard deviation) and occurrence of plastics in *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus*. 66

Table 2. Frequency of occurrence of plastic particle forms ingested by *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus*. 67

Table 3. Absolute frequency of polymers identified in *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus* from Lake Viana (Maranhão, Brazil), 2025. 69

Table 4. Ecotoxicological risk classification of polymers identified in *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus* from Lake Viana (MA, Brazil), 2025, based on the toxicity categories proposed by Lithner et al. (2011). 72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA - Área de Proteção Ambiental
MMA - Ministério do Meio Ambiente
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CEEA - Comitê de Ética e Experimentação Animal
UEMA - Universidade Estadual do Maranhão
SEMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais
ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
LABCAI - Laboratório de Biomarcadores de Contaminação Aquática e Imunoquímica
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
FTIR - Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier
KOH - Hidróxido de Potássio
PTFE - Politetrafluoretileno
PPG - Programa de Pós-Graduação
PVC - Policloreto de Vinila
PS - Poliestireno
PA - Poliamida (Nylon)
PLA - Polímero de Ácido Láctico
BPA - Bisfenol A
ACP - Partículas Celulósicas Artificiais
PET - Polietileno Tereftalato
PE - Polietileno **PP** - Polipropileno **PA** - Poliamida **PS** - Poliestireno
PMMA - Polimetilmetacrilato
PU - Poliuretano
PVC - Policloreto de Vinila
BHT - Hidroxitolueno Butilado
HALS - Hindered Amine Light Stabilizers
PBDEs - Éteres Difenílicos Polibromados **ABS** - Acrilonitrila Butadieno Estireno **LDPE** - Polietileno De Baixa Densidade **HDPE** - Polietileno De Alta Densidade **LLDPE** - Polietileno Linear de Baixa Densidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Geral.....	15
2.2 Específicos	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 Área de Proteção Ambiental (APA) da Baixada Maranhense	16
3.2 Degradações Ambientais na APA da Baixada Maranhense	17
3.3 Espécies Bioindicadoras e Biomonitoras em Ecossistemas Aquáticos	19
3.4 <i>Pygocentrus nattereri</i> (Kner, 1858) Características Ecológicas.....	20
3.5 <i>Hypostomus plecostomus</i> (Linnaeus, 1758) Características Ecológicas	21
3.6 A Origem e Características dos Polímeros	22
3.6.1 Polietileno (PE).....	26
3.6.2 Polipropileno (PP).....	26
3.6.3 Policloreto de Vinila (PVC).....	27
3.6.4 Poliestireno (PS)	27
3.6.5 Poliéster (PET).....	27
3.6.6 Nylon (PA - Poliamida)	28
3.6.7 Policarbonato (PC).....	29
3.6.8 Acrílico (PMMA)	30
3.6.9 Politetrafluoretileno (PTFE)	31
3.6.10 Poliuretano (PU)	32
3.6.11 Polímero de Ácido Lático (PLA).....	33
3.6.12 ACPs (Artificial Cellulosic Particles)/ Fibras artificiais celulósicas	34
3.7 Aditivos Químicos em Polímeros	35
3.7.1 Plastificantes	35
3.7.2 Estabilizantes UV	36
3.7.3 Antioxidantes	37

3.7.4 Retardantes de Chama	37
3.8 Metais Tóxicos e Outros Aditivos	38
3.9 Plásticos na Indústria Pesqueira.....	38
4. Bioacumulação e Biomagnificação de plásticos.....	40
5. Efeitos da poluição plástica sobre o desenvolvimento da ictiofauna.....	41
4 MATERIAL E MÉTODOS	43
4.1 Caracterização da Área de estudo	43
4.2 Licenças Ambientais e Comitê de Ética	45
4.3 Espécies em estudo	45
4.3.1 <i>Pygocentrus nattereri</i> (Kner, 1858).....	45
4.3.2 <i>Hypostomus plecostomus</i> (Linnaeus, 1758).....	46
4.4 Obtenção das amostras biológicas	47
4.5 Biometria das Espécies	49
4.6 Procedimentos laboratoriais.....	50
4.6.1 Digestão do material biológico e identificação das partículas plásticas	50
4.7 Tratamento Estatístico dos Dados.....	53
4.8 Fator de Risco	54
4.8.1 Avaliação do potencial de risco dos polímeros	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
ARTIGO.....	55
<i>Occurrence of plastics in freshwater fish associated with fishing gear in eastern Amazonia</i>	<i>55</i>
6 CONCLUSÃO	84
REFERÊNCIAS	85
ANEXOS	109
ANEXO 1 - Comitê de Ética e Experimentação Animal (CEEAA)	109
ANEXO 2 - Autorização de Órgão Gestor de Unidade de Conservação Estadual- SEMA	111
ANEXO 3 - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio/SIBIO)	113

1 INTRODUÇÃO

A Baixada Maranhense abriga uma exuberante diversidade ecológica, encontra-se integrada ao Bioma Amazônia, sendo parte da Amazônia Legal Brasileira. Além disso, é reconhecida por abrigar o mais extenso complexo lacustre do Nordeste (Araújo *et al.*, 2021; Carvalho, 2018; Machado, 2016). Designada como Área de Proteção Ambiental (APA) por meio do Decreto nº 11.900 de 11 de junho de 1991, conforme legislação estadual do Maranhão (1991), possui 1.775.035,6 hectares e abrange 21 municípios. A Baixada Maranhense destaca-se por sua relevância ambiental e por sua rica biodiversidade, sendo, inclusive, reconhecida como uma Zona Úmida de Importância Internacional, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011). Os principais objetivos da APA da Baixada Maranhense são preservar a diversidade biológica, proteger os ecossistemas aquáticos e as áreas úmidas, promover o uso sustentável dos recursos naturais, além de valorizar a cultura e o conhecimento tradicional das comunidades locais (Amaral, 2022).

O município de Viana localizado no Estado do Maranhão a 210 km da capital São Luís, região Nordeste do Brasil, está inserido na APA da Baixada Maranhense (MMA, 2011; SEMA, 2019). O município possui extensas planícies de inundações, recebendo o epíteto: “cidade dos lagos”, o maior e principal lago do município é o Lago Viana, com uma área de 40,62 Km² expressa sua importância socioeconômica e ecológica devido o desenvolvimento da atividade pesqueira, de transporte para as comunidades locais adjacentes e abrigar uma rica variedade de espécies de peixes, aves aquáticas e vegetação aquática (Santos, 2007; Franco, 2008; Franco, 2012).

A pesca ocupa uma posição de destaque na economia do Maranhão, com mais de 260 mil pescadores artesanais registrados na atividade (MPA, 2024). Na Baixada Maranhense, encontra-se o maior complexo lacustre do Nordeste brasileiro, responsável pelo fornecimento de pescados capturados por meio da pesca artesanal para o estado. Em Viana, a pesca artesanal é uma das principais atividades econômicas, sendo uma importante fonte de sustento para a comunidade de pescadores. Os pescados abastecem não apenas o município, mas também as cidades vizinhas. As principais espécies de valor comercial capturadas na região são: *Cetengraulis edentulus* (anchovinha), *Hypostomus plecostomus* (bodó), *Plagioscion squamosissimus* (pescada-branca), *Prochilodus nigricans* (curimatá) e *Pygocentrus nattereri* (piranha-vermelha) (Gutman, 2005; Costa *et al.*, 2006; Da Silva, 2016; Marques, 2022).

Por outro lado, o Maranhão ocupa o terceiro lugar no ranking dos estados com maior percentual de população sem acesso à coleta de esgoto, ultrapassando os 85%. Viana é o 22º município mais populoso do estado, com mais de 50 mil habitantes, apenas 7% da população possuem coleta direta de esgoto, mais de 78% utilizam fossas (séptica, filtro, rudimentar ou buracos) e mais de 5% recorrem a soluções alternativas para o descarte de resíduos. Além disso, cerca de 41% da população não possui acesso à coleta de lixo (IBGE, 2022; SNIS, 2023). Essa pressão antrópica é refletida no ecossistema local, os principais lagos: Viana e Aquiri, enfrentam desafios como o despejo de efluentes domésticos, o descarte de lixo em suas margens, o desmatamento das matas ciliares, a pesca excessiva e a expansão da bubalinocultura (Silva, 2015).

A urbanização exerce influência direta para a contaminação do ar, do solo e da água doce. Como consequência dessas alterações ambientais antrópicas, a biota aquática está exposta a diversas fontes de contaminantes, principalmente os resíduos sólidos provenientes de lixos descartados irregularmente e apetrechos de pescas (Bertora, 2022; Ferreira *et al.*, 2021). Além desses, os efluentes domésticos lançados em corpos d'água, são responsáveis pela emissão de produtos farmacêuticos, matéria orgânica, microplásticos (provenientes de cosméticos, fármacos e degradação de plásticos maiores) e outros contaminantes em ecossistemas de água doce da Amazônia brasileira (Castro, 2021; Fabregat-Safont *et al.*, 2021; Shrivastava *et al.*, 2019; De Sousa *et al.*, 2018), o que reduz a qualidade das águas e resulta na perda da biodiversidade aquática (Costa *et al.*, 2021; Junior *et al.*, 2022).

Os búfalos presentes nos campos alagados da Baixada Maranhense, alimentam-se principalmente de forrageiras que se desenvolvem em áreas inundadas. Essas gramíneas servem de refúgio e alimentação para muitas espécies, como a *Hypostomus plecostomus*, *Hoplias malabaricus* e *Pygocentrus nattereri*. A supressão da vegetação de áreas inundáveis aumenta o assoreamento, os processos erosivos causados pelo pisoteio dos búfalos e turbidez da água, os quais estão relacionados a alterações na comunidade de macroinvertebrados, que compõem a dieta de muitas espécies da ictiofauna (Tavares, 2024; Tolkkinen, 2021; Reis, 2016).

Um dos principais agentes poluentes tanto em ecossistemas terrestres quanto aquáticos são os plásticos (Dalu *et al.*, 2019). Contaminantes de natureza complexa e persistentes do ponto de vista ambiental, uma vez que o plástico, devido à sua fácil dispersão, durabilidade e resistência, fragmenta-se em partículas menores, inclusive em escala nanométrica (Angmo *et al.*, 2025). Nos últimos anos, a poluição causada por plásticos tornou-se uma das principais preocupações ambientais (Persson, 2022). O aumento no descarte de

resíduos plásticos, especialmente decorrente de atividades humanas como a pesca, tem sido uma das fontes dessa poluição (UNEP, 2021). Esses plásticos variam em tamanho e formato. O pesquisador Thompson *et al.* (2004) classificou-os em cinco categorias: Nano (< 1mm), Micro (1mm - 5mm), Meso (5-25mm) e Macro (> 25mm).

Os resíduos plásticos não ameaçam apenas a saúde dos organismos aquáticos, mas também impactam toda a cadeia alimentar, prejudicando a biodiversidade e a segurança alimentar humana. Peixes e outros animais que ingerem esses resíduos acabam acumulando partículas plásticas no sistema digestivo. Isso pode comprometer a nutrição, já que os plásticos dificultam a absorção de nutrientes e afetam o funcionamento do trato gastrointestinal (Andrade *et al.*, 2019; Silva-Cavalcanti *et al.*, 2017).

Além dos danos físicos, a presença de plásticos no ambiente aquático pode causar estresse oxidativo nos peixes, aumentando sua vulnerabilidade a doenças e afetando comportamentos como alimentação e migração (Castro, 2020). A contaminação por plástico também pode alterar os padrões reprodutivos dos organismos aquáticos, comprometendo as populações e impactando a biodiversidade (Miguel, 2023; Paz, 2021). Por isso, entender os efeitos da poluição plástica é importante para a formulação de políticas ambientais eficazes.

Estudos como os de Cózar *et al.* (2014) e Vivekanand (2021) demonstram que os plásticos, além de serem um poluente ambiental, atuam como vetores de substâncias tóxicas que se aderem às suas superfícies, como pesticidas e metais pesados. Estes contaminantes químicos podem ser transferidos para os organismos aquáticos e acumulados ao longo da cadeia alimentar (Santos, 2024), representando riscos tanto para a fauna quanto para os seres humanos (Castro, 2021).

A fauna aquática do Lago Viana tem sido afetada por múltiplas pressões antrópicas, como o descarte inadequado de resíduos sólidos, o lançamento de efluentes domésticos sem tratamento e o uso excessivo de apetrechos de pesca descartáveis (Lima, 2024; Gomes, 2021). Essas fontes contribuem diretamente para a presença de plásticos no ambiente e, consequentemente, na alimentação dos peixes, o que pode comprometer sua saúde, alterar cadeias alimentares e colocar em risco a segurança alimentar das populações que consomem esses organismos (Dhanker *et al.*, 2024; Scoton, 2021).

O Lago Viana é um ecossistema de grande importância para a economia e o meio ambiente do Maranhão, especialmente pela pesca artesanal constitui uma das principais atividades de subsistência das comunidades locais (Costa *et al.*, 2006; Franco, 2008; Gutman, 2005). No entanto, a ausência de estudos voltados à ingestão de plásticos por peixes nessa região é uma lacuna para o conhecimento científico e impede o entendimento real dos

impactos da poluição sobre a ictiofauna.

Diante desse cenário, parte-se da hipótese de que peixes capturados no Lago Viana ingerem resíduos plásticos, especialmente oriundos de apetrechos de pesca abandonados ou descartados, evidenciando um quadro de poluição crônica com potenciais implicações ecológicas e sanitárias.

Nesse contexto, este estudo busca compreender o impacto ambiental da pesca como potencial fonte poluente e contribuir com dados inéditos que possam contribuir com ações de monitoramento, conservação e educação ambiental voltadas à proteção do ecossistema lacustre. Em tempos em que a contaminação por plásticos se torna um desafio global (Panequi; Dantas, 2025), investigar seus efeitos em ambientes negligenciados como o Lago Viana é um passo essencial para proteger tanto a biodiversidade quanto as comunidades humanas que dela dependem.

Além disso, a pesquisa se alinha com as metas estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU) com vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2015, p.12). Ao investigar a contaminação plástica em espécies locais, a pesquisa contribui para o ODS 14 (Vida na Água), a análise dos impactos dessa contaminação sobre a sanidade da ictiofauna contribui para o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), pois pode influenciar na saúde pública. Por fim, ao abordar o impacto da atividade pesqueira e o descarte de lixo plástico, a pesquisa conecta-se ao ODS 12 (Produção e Consumo Responsáveis).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a influência da atividade pesqueira, para a contaminação por plásticos em *Pygocentrus nattereri* e *Hypostomus plecostomus* no Lago Viana, Área de Proteção Ambiental (APA) da Baixada Maranhense, considerando os diferentes hábitos ecológicos dessas espécies.

2.2 Específicos

- Identificar e comparar a presença de partículas plásticas no trato gastrointestinal de *Pygocentrus nattereri* e *Hypostomus plecostomus* capturados no Lago Viana, considerando diferentes períodos sazonais (estiagem e chuvoso);
- Quantificar, classificar (quanto a forma, cor e tamanho) e caracterizar quimicamente os polímeros dos plásticos;

- Avaliar a correlação entre o peso e comprimento total dos peixes e a quantidade de plásticos ingeridos;
- Avaliar o risco potencial das partículas plásticas para a saúde humana decorrente do consumo das espécies estudadas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Área de Proteção Ambiental (APA) da Baixada Maranhense

O Lago Viana, localizado no município de Viana, insere-se na Área de Proteção Ambiental (APA) da Baixada Maranhense, região norte do estado do Maranhão. A economia local é predominantemente baseada na atividade pesqueira, que sustenta boa parte da população rural, na agricultura, bubalinocultura e turismo (Jeronymo, 2021; Serra, 2017).

A APA da Baixada Maranhense, localizada no estado do Maranhão, abrange aproximadamente 1,5 milhão de hectares e é reconhecida internacionalmente como Sítio Ramsar, devido à sua importância ecológica e para a regulação dos recursos hídricos. É gerida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), com participação colaborativa de instituições governamentais e das comunidades locais para monitoramento e fiscalização (MMA, 2016). O complexo ambiental da APA é composto por um sistema hidrológico dinâmico formado por rios como o Gurupi, Mearim, Itapecuru, Pindaré e Pericumã, que desempenham um importante papel na manutenção dos ciclos hidrológicos e na biodiversidade regional (MMA, 2016; RAMSAR, 2023; SEMA 2022).

A vegetação predominante é típica de várzeas e áreas alagadas, com gramíneas, arbustos e árvores adaptadas a inundações sazonais. A Baixada Maranhense situa-se em uma zona de transição entre a Amazônia Legal e o bioma do Cerrado, o que confere características mistas à sua flora (SEMA, 2022; Farias Filho, 2013). Essa diversidade biológica faz do lago um habitat essencial para a reprodução, alimentação e abrigo de várias espécies importantes para a manutenção do equilíbrio ecológico na área (Costa *et al.*, 2006).

A economia local baseia-se na agricultura de várzea, os solos férteis são propícios para o cultivo de culturas como arroz, milho, feijão e mandioca, além da bubalinocultura, que é uma atividade tradicional na região devido à adaptação dos búfalos às áreas alagadas. O estado do Maranhão destaca-se nacionalmente com um efetivo 97. 212 cabeças de búfalos, concentrado principalmente na Baixada Maranhense, sendo Viana o maior produtor (IBGE, 2020). Portanto, a bubalinocultura contribui para a geração de renda e alimentação das comunidades rurais, destacando-se pela produção de carne, leite e couro (Cunha *et al.*, 2025;

Maranhão, 2002).

Mesmo assegurada por lei estabelecida pelo Decreto no 11.900 de 11 de junho de 1991 (Maranhão, 1991) como área de preservação permanente, sob a responsabilidade da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais - SEMA, a APA da baixada maranhense sofre com as ações antrópicas que degradam seus ecossistemas à medida que os municípios que integram à região se desenvolvem (Lima *et al.*, 2024; Gomes, 2021).

3.2 Degradações Ambientais na APA da Baixada Maranhense

As Áreas de Proteção Ambiental (APAs) têm um papel fundamental na conservação dos ecossistemas e na regulação de processos ecológicos essenciais, como o ciclo da água e o controle da erosão (Silva, 2024). Elas são áreas destinadas à preservação da natureza, enquanto permitem o uso sustentável dos recursos naturais, equilibrando a proteção ambiental com as necessidades econômicas das comunidades locais. As APAs também são responsáveis por proteger a biodiversidade e garantir o funcionamento adequado dos ecossistemas, oferecendo serviços ambientais como a filtragem da água, a preservação dos solos e a manutenção da qualidade do ar (Amaral, 2022; Araújo, 2025).

A APA da Baixada Maranhense, representa um exemplo de área protegida com grande diversidade biológica e ecológica. A região é composta por uma série de ecossistemas, incluindo campos alagados, igarapés, lagoas e áreas de várzea, que desempenham funções vitais para o equilíbrio ecológico local. Esses ambientes oferecem recursos essenciais para as comunidades que dependem deles para atividades como a pesca, a agricultura e a criação de animais (Abreu, 2013; Nascimento, 2022). A Baixada Maranhense é também uma zona de transição entre o bioma amazônico e o cerrado, o que confere uma riqueza de vegetação e fauna, além de ser um importante ponto para a preservação de espécies ameaçadas (Costa *et al.*, 2006). O desenvolvimento da região traz benefícios econômicos, porém tem provocado impactos ambientais, principalmente em relação à fragmentação dos habitats naturais. O crescimento urbano, a expansão de atividades agrícolas e a intensificação da pecuária extensiva podem comprometer a integridade dos ecossistemas da Baixada Maranhense (Abreu *et al.*, 2013; Ferreira *et al.*, 2023).

Embora a bubalinocultura seja uma importante atividade econômica na região, causa impactos ambientais. O pisoteio dos búfalos em áreas de várzea compacta o solo, reduz a infiltração da água e aumenta o risco de erosão. Os dejetos animais também contribuem para a eutrofização dos corpos d'água, processo que leva ao aumento da concentração de

nutrientes e pode causar a proliferação de algas, afetando a qualidade da água e a saúde de espécies aquáticas (Tavares, 2024; Tolkkinen, 2021).

Outra atividade econômica que degrada as paisagens desse ecossistema é a expansão das plantações agrícolas, especialmente arrozais, tem resultado no desmatamento da mata ciliar, que desempenha funções essenciais, como a proteção contra a erosão e a preservação da qualidade da água (Amaral, 2022; Reis, 2016). A retirada da vegetação ciliar diminui a capacidade de retenção de sedimentos e a filtração de poluentes, o que prejudica a qualidade das águas e compromete os ecossistemas aquáticos locais. O uso intensivo de fertilizantes e agrotóxicos nas plantações também contribui para a contaminação dos corpos d'água, afeta diretamente a fauna aquática e a saúde das comunidades que dependem desses recursos para sua subsistência (Abreu *et al.*, 2013; Nascimento, 2022).

Além dos impactos causados pelas práticas agrícolas e pecuárias, a urbanização e o crescimento das cidades ao redor da Baixada Maranhense têm intensificado a degradação ambiental (Cunha, 2025). A expansão urbana desordenada e a ocupação irregular de áreas de preservação contribuem para o aumento da pressão sobre os ecossistemas naturais, resultam na perda de habitats e na destruição de corredores ecológicos (Da Silva, 2022). O descarte inadequado de resíduos sólidos e a falta de tratamento de esgoto agravam ainda mais a situação, com efluentes domésticos e industriais sendo lançados diretamente nos corpos d'água, contribuindo para a poluição e a degradação da qualidade ambiental (Strokal *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2024).

A Baixada Maranhense enfrenta um cenário complexo de desafios ambientais, que envolvem não apenas as pressões diretas da urbanização, como a falha na gestão de resíduos sólidos, uso irregular da terra na agricultura e na pecuária, mas também a necessidade urgente de políticas de gestão integrada e sustentável (Silva da Silva *et al.*, 2022; Morais *et al.*, 2023). A fragmentação da vegetação nativa e a perda de áreas de vegetação ripária, fundamentais para a proteção das margens dos corpos d'água, são algumas das consequências do desenvolvimento não planejado. Além de todos esses fatores, há também o aumento da pressão sobre os recursos naturais que gera um declínio na qualidade dos ecossistemas aquáticos, impactando a fauna e flora locais (Barrada, 2023; Pereira, 2020). Entre elas a pesca excessiva (Abreu *et al.*, 2013). A captura predatória de espécies e o uso de técnicas insustentáveis reduzem as populações de peixes e à alteração dos ecossistemas aquáticos. A pressão causada pela pesca excessiva pode reduzir a biodiversidade e afetar negativamente os serviços ecológicos que esses ambientes prestam (Maranhão, 2023; Yoshikawa, 2022).

A ictiofauna é afetada diretamente por alterações no ambiente, e a utilização de peixes como bioindicadores e biomonitores tem se mostrado uma ferramenta eficaz na avaliação da qualidade ambiental de ecossistemas aquáticos (Pereira, 2019). Devido à sua posição estratégica na cadeia trófica e à capacidade de bioacumular diversos contaminantes ao longo do tempo, essas espécies permitem identificar com precisão a presença de poluentes como metais pesados, microplásticos e compostos tóxicos (Authman *et al.*, 2015; Azevedo-Santos *et al.*, 2018). Além disso, alterações em parâmetros fisiológicos, hematológicos e comportamentais observadas nesses organismos podem indicar precocemente os efeitos adversos da exposição a contaminantes, permitindo a tomada de estratégias e ações de manejo ambiental mais eficazes (Espinosa *et al.*, 2021).

3.3 Espécies Bioindicadoras e Biomonitoras em Ecossistemas Aquáticos

Espécies bioindicadoras e biomonitoras desempenham um papel importante na avaliação dos ecossistemas devido à sua capacidade de responder de maneira perceptível e mensurável as mudanças ambientais, principalmente em relação aos contaminantes presentes em seu habitat e que reagem a efeitos antropogênicos sobre seu ecossistema (Gerhardt, 2002; Jenkins, 2004).

Organismos aquáticos, como os peixes, ocupam posições-chave nas cadeias alimentares e são essenciais em pesquisas sobre a saúde dos ecossistemas. A capacidade de acumular substâncias presentes no ambiente como plásticos, metais pesados e outros poluentes permite que esses organismos funcionem como bioindicadores eficazes (Javed; Usmani, 2019). Assim, a análise das respostas biológicas dos peixes, incluindo alterações fisiológicas e comportamentais, são usadas para monitorar os impactos ambientais provocados pela poluição (Lins *et al.*, 2010).

Esses organismos são frequentemente utilizados como bioindicadores, ao refletirem qualitativamente o estado do ambiente por meio de suas respostas fisiológicas, comportamentais ou populacionais, e biomonitores, ao quantificarem a intensidade da exposição a contaminantes acumulados em seu organismo provenientes da água, dos sedimentos e das presas consumidas (Subaramaniam *et al.*, 2023; Sousa, 2016). A presença de fragmentos plásticos, metais tóxicos e produtos químicos persistentes nos tecidos dos peixes causa impactos diretos na saúde das espécies aquáticas, como redução do crescimento, alterações no comportamento alimentar, reprodutivo, danos hepáticos, intestinais e vulnerabilidade do sistema imunológico (Ghosh, 2024; Lundin *et al.*, 2024).

Além dos efeitos fisiológicos, mudanças no comportamento dos peixes também são exploradas como indicativos de desequilíbrios nos ecossistemas aquáticos. Alterações nos padrões alimentares, na locomoção e nas respostas a estímulos ambientais podem sinalizar de forma precoce a presença de poluentes nos corpos d'água (Ghosh, 2024). Como exemplo, a ingestão de fragmentos plásticos prejudica os processos digestivos dos peixes, comprometendo sua capacidade de absorver nutrientes de maneira eficiente (Lundin *et al.*, 2024; Prata *et al.*, 2021).

O uso de peixes como bioindicadores e biomonitores consolidou-se como uma das abordagens mais eficazes para a detecção e monitoramento dos impactos da poluição nos ecossistemas aquáticos. (Pereira, 2019; Maceda-Veiga *et al.*, 2012).

Essas alterações de comportamentos ajudam a identificar a presença de contaminantes no ambiente, fornecem dados valiosos e uma base importante para a avaliação e a gestão sustentável dos recursos hídricos e para o desenvolvimento de estratégias ambientais de mitigação (Ghosh, 2024).

O *Pygocentrus nattereri* (piranha-vermelha) e o *Hypostomus plecostomus* (bodó) tornam-se exemplares para o estudo dos impactos da poluição plástica. Como predadores e presas em diferentes níveis da cadeia alimentar, essas espécies possuem capacidade de acumular plásticos, principalmente microplásticos, que são ingeridos diretamente ou absorvidos ao longo da cadeia trófica (García *et al.*, 2023). A presença de microplásticos, mesoplásticos e macroplásticos nos tecidos dessas espécies pode indicar o grau de contaminação do ambiente aquático, além de afetar a saúde e o comportamento dessas espécies e influenciar a biodiversidade local (Cardoso *et al.*, 2023; Subaramaniam *et al.*, 2025).

Estudos sobre a poluição plástica em ecossistemas aquáticos sugerem que a ingestão de microplásticos (partículas menores que 5 mm), mesoplásticos (entre 5mm e 25mm) e macroplásticos (maiores que 25 mm) pode causar modificações no comportamento alimentar, afetar o metabolismo, e prejudicar a saúde reprodutiva de diversas espécies de peixes (Tang, 2024; Cardoso *et al.*, 2023). Essas alterações podem ser usadas como indicadores para a avaliação de impactos ecológicos e para a gestão ambiental dos ecossistemas aquáticos contaminados por plásticos de diferentes tamanhos (Gomes, 2021; Silva, 2019).

3.4 *Pygocentrus nattereri* (Kner, 1858) Características Ecológicas

A espécie, popularmente conhecida como piranha-vermelha, pertence à classe

Actinopterygii, ordem Characiformes, família Characidae e subfamília Serrasalminae. É uma espécie de peixe predador, que pode atingir até 30 cm de comprimento e pesar aproximadamente 1 kg, embora indivíduos maiores também possam ser encontrados em ambientes naturais (Saint-Paul *et al.*, 2000; Bittencourt, 1994) Sua morfologia é caracterizada por sua estrutura delgada, com escamas prateadas e gradiente de coloração que varia do laranja para o vermelho dorsoventralmente, com dentes afiados e mandíbulas poderosas, adaptadas para arrancar pedaços de suas presas, o que reflete seu comportamento mais carnívoro (Silva; Araújo-Lima, 2003; Piorski *et al.*, 2005).

É uma espécie amplamente distribuída pela América do Sul, no Brasil abrange os rios amazônicos, a bacia do rio Amazonas e seus afluentes, Pantanal e regiões alagadas, incluindo a Baixada Maranhense (Calcagnotto *et al.*, 2005). Tem preferência por águas de fluxo lento e áreas de várzea ricas em vegetação aquática. A espécie é facilmente adaptável a diversos ambientes aquáticos, o que contribui para sua ampla distribuição dentro da região Neotropical (Piorski *et al.*, 2005).

A piranha-vermelha tem uma grande importância ecológica nos ecossistemas de água doce onde estão inseridas, como predadores de topo, controla as populações de peixes menores e outros organismos aquáticos e contribui para o equilíbrio da fauna aquática, também possui influência na economia, sua carne é muito apreciada em receitas tradicionais (Andrade *et al.*, 2024; Freeman *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2016; Piorski *et al.*, 2005).

A reprodução dessa espécie ocorre no início das cheias, o aumento do nível das águas cria condições favoráveis para a desova. A espécie apresenta desova parcelada, com os ovos depositados em várias fases ao longo da estação das chuvas (Fink, 1993; Santos *et al.*, 2016). A piranha-vermelha forma cardumes para a desova e a sobrevivência dos alevinos é protegida pela formação de grupos, minimizando o risco de predação (Piorski *et al.*, 2005).

Em relação à alimentação, é um peixe de hábitos carnívoros que se alimenta principalmente de outros peixes e invertebrados, mas pode preda ovos de aves, pequenos répteis, algas e até frutas que caem na água. E a sua posição no topo da cadeia alimentar a torna uma espécie chave para o controle das populações de outras espécies de peixes e invertebrados (Silva; Araújo-Lima, 2003; Fink, 1993; Piorski *et al.*, 2005).

3.5 *Hypostomus plecostomus* (Linnaeus, 1758) Características Ecológicas

Conhecido popularmente como bodó, cascudo, peixe-gato pertence à classe Actinopterygii, ordem Siluriformes, família Loricariidae (Burgess, 1989). Essa espécie é

nativa da América do Sul, também foi introduzida em outros ambientes tropicais e subtropicais ao redor do mundo, em grande parte devido ao comércio de peixes ornamentais. A espécie é resistente e tolerante a diferentes condições ambientais, o que facilita sua adaptação a novos habitats, embora em alguns locais tenham se tornado uma espécie invasora (Cardoso *et al.*, 2021; Ferreira, 2007).

O *Hypostomus plecostomus* pode atingir até 40 cm de comprimento e pesar cerca de 1,5 kg, com uma morfologia característica, incluindo uma boca em forma de ventosa, adaptada para se fixar a substratos rochosos e raspar algas e biofilmes. Sua carapaça dorsal é coberta por placas ósseas, o que o torna resistente à predação de outros peixes (Burgess, 1989; Mazzoni *et al.*, 2010).

O habitat dessa espécie inclui rios, lagos e córregos de água doce, geralmente em áreas com substratos heterogêneos, como seixos, pedras, lama e troncos submersos (Burgess, 1989; Lopes *et al.*, 2024). Esses ambientes oferecem o abrigo e os recursos alimentares necessários para a espécie, que se alimenta principalmente de algas, biofilmes e detritos orgânicos. Sua dieta é predominantemente herbívora-detritívora, e ele usa sua ventosa para se fixar às superfícies submersas e consumir essas matérias orgânicas. A espécie é uma das mais procuradas para aquários devido ao seu hábito alimentar, controlando o crescimento de algas (Zawadzki *et al.*, 2021; Cardoso *et al.*, 2021).

A reprodução ocorre na estação chuvosa, quando os níveis de água aumentam. A espécie realiza a desova em cavidades escavadas nas margens do ambiente que está inserido, os machos defendem os ovos contra predadores até o desenvolvimento dos alevinos (De Lucena *et al.*, 2021). Esse tipo de comportamento reprodutivo é relatado para muitas espécies da família Loricariidae e representa uma adaptação importante para o sucesso reprodutivo, um ambiente seguro garante a perpetuação da espécie (Oliveira, 2025; Mazzoni *et al.*, 2010). No entanto, o aumento dos resíduos plásticos desde sua origem, em ambientes aquáticos, altera características estruturais desses habitats. Ainda que os efeitos sobre o comportamento reprodutivo de espécies como *H. plecostomus* sejam pouco explorados, sabe-se que o acúmulo de plásticos pode interferir na qualidade ambiental e afeta processos ecológicos importantes, incluindo a reprodução (Feldman, 2008; Mecelis, 2020).

3.6 A Origem e Características dos Polímeros

Os plásticos são materiais sintéticos compostos por polímeros, macromoléculas formadas pela repetição de unidades menores chamadas monômeros. A origem dos plásticos

remonta ao final do século XIX, quando os primeiros compostos não naturais foram desenvolvidos com fins industriais. Em 1907, Leo Baekeland criou o primeiro plástico sintético, a baquelite, um material termoestável com elevada resistência ao calor e à degradação, inaugurando a era dos plásticos modernos (Feldman, 2008; CQR, 2025; Mercelis, 2020).

A baquelite foi muito utilizada em componentes elétricos, utensílios domésticos e equipamentos industriais, sendo um marco na indústria de materiais poliméricos (Mercelis, 2020). Por ser totalmente sintética e derivada de fenol e formaldeído, a baquelite abriu caminho para a produção de outros plásticos sintéticos ao longo do século XX, baseados em diferentes monômeros e processos de polimerização (Rothman, 2023).

Dentre os principais polímeros industriais, destaca-se o polietileno (PE), o polipropileno (PP), o policloreto de vinila (PVC) e o poliestireno (PS) (Sfreddo, 2022). O PE, produzido comercialmente desde os anos 1930, é utilizado em embalagens flexíveis devido à sua resistência e flexibilidade, o PP, desenvolvido na década de 1950, é conhecido por sua estabilidade química e resistência mecânica, sendo empregado principalmente em produtos domésticos, já o PVC, conhecido desde o final do século XIX, tem grande aplicação em tubulações, revestimentos e dispositivos médicos, sendo altamente versátil em suas formas rígidas e flexíveis, o PS é valorizado pela sua moldabilidade e baixo custo de produção, sendo bastante utilizado em embalagens descartáveis e materiais de isolamento térmico (Andrady, 2009; Bebianno *et al.*, 2023 ; Plastics Europe, 2023) .

Além desses, outros polímeros importantes incluem o polietileno tereftalato (PET), o nylon (PA), o policarbonato (PC), o polimetilmetacrilato (PMMA), o politetrafluoretileno (PTFE), o poliuretano (PU) e o polímero de ácido láctico (PLA) (Scott, 1999; Seymour, 1987). O PET é amplamente utilizado em embalagens e fibras têxteis, o nylon (PA) é essencial para a indústria têxtil, pesqueira e automotiva, e o PC é utilizado em aplicações que exigem alta resistência ao impacto e transparência (Feldman, 2008). O PMMA, ou acrílico, é requisitado por sua transparência, enquanto o PTFE destaca-se pela resistência a temperaturas extremas e produtos químicos, o PU é utilizado em espumas e isolamentos térmicos, e o PLA, por ser biodegradável, ganha destaque na fabricação de embalagens e filamentos para impressão 3D (De Oliveira, 2013; Da Fontoura, 2021; Amaral *et al.*, 2019).

Cada tipo de polímero possui sua composição química e características distintas (Cuthbertson *et al.*, 2024). Além dessas propriedades, as indústrias utilizam a adição de diversos aditivos químicos com o intuito de modificar ou aprimorar as características poliméricas, melhorando, assim, a aplicabilidade do produto final e tornando-o versátil no

mercado consumidor (Ambrogi *et al.*, 2017). Tais aditivos incluem plastificantes, estabilizadores térmicos, antioxidantes, estabilizadores UV e lubrificantes, que são utilizados para ajustar as propriedades do plástico, como flexibilidade, resistência térmica, durabilidade e resistência à degradação (Sfreddo, 2022; Schiller, 2015). A tabela 1 apresenta uma síntese dos polímeros mais comuns industrialmente, suas propriedades físico-químicas, bem como os aditivos comumente empregados em suas formulações.

Tabela 1. Características físico-químicas dos polímeros e aditivos comumente utilizados em suas formulações.

Polímero	Composição Química	Propriedades Físico-Químicas	Aditivos Comuns
Polietileno (PE)	$(C_2H_4)_n$	Flexibilidade, resistência a impactos, baixa densidade, resistência química.	Antioxidantes: BHT ($C_{17}H_{26}O$), Irganox 1010 ($C_{67}H_{111}NO_4$). Estabilizadores UV: Benzotriazole ($C_6H_5N_3$). Catalisadores: Triethylaluminum ($C_6H_{18}Al$). Estabilizadores térmicos: Compostos Ca/Zn, Stannous Octoate ($C_8H_{10}SnO_4$).
Polipropileno (PP)	$(C_3H_6)_n$	Resistência química e térmica, baixa densidade, resistência ao impacto.	Estabilizadores térmicos: Zinc Stearate ($C_{18}H_{36}ZnO_2$). Antioxidantes: BHT ($C_{17}H_{26}O$).
Policloreto de Vinila (PVC)	$(C_2H_3Cl)_n$	Alta rigidez, resistência química, baixa resistência ao impacto, versatilidade.	Plastificantes: DEHP ($C_{14}H_{22}O_4$). Estabilizadores térmicos: Ca/Zn.
Poliestireno (PS)	$(C_8H_8)_n$	Alta rigidez, transparência, moldável, baixa resistência ao impacto.	Estabilizadores térmicos: Tetrakis(2,4-di-tert-butylphenyl) e BHT. Antioxidantes: Octadecyl 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)-propionate.
Poliéster (PET)	$(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_n$	Resistência mecânica e térmica, transparência, baixa permeabilidade a gases, resistência à hidrólise.	Estabilizadores UV: Benzotriazole ($C_6H_5N_3$). Catalisadores: TiO_2 . Antioxidantes: Irganox 1010.
Nylon (PA)	$(C_6H_{11}NO)_n$	Resistência ao desgaste, resistência térmica e ao impacto, elasticidade.	Lubrificantes: PEG ($C_2H_4O_2$). Estabilizadores térmicos: TiO_2 . Antioxidantes: Irganox 1010.
Polycarbonato (PC)	$(C_{15}H_{16}O_3)_n$	Resistência ao impacto, transparência, resistência térmica.	Antioxidantes: Irganox 1010 ($C_{67}H_{111}NO_4$). Estabilizadores UV: Benzophenone (C_6H_5O). Estabilizadores térmicos: TiO_2 .
Acrílico (PMMA)	$(C_5H_8O_2)_n$	Transparência, resistência ao impacto, resistência UV, moldável.	Antioxidantes: BHT.
Politetrafluoretileno (PTFE)	$(C_2HF_4)_n$	Resistência química e térmica, isolante elétrico, baixa fricção.	Lubrificantes: Perfluoropolyether (PFPE). Antioxidantes: BHT.
Poliuretano (PU)	$(C_6H_{10}N_2O_3)_n$	Flexibilidade, resistência ao desgaste, elasticidade, resistência ao impacto.	Plastificantes: TPP ($C_{21}H_{19}O_4P$). Antioxidantes: Irganox 1010.
Polímero de Ácido Lático (PLA)	$(C_6H_{10}O_4)_n$	Biodegradável, transparência, rigidez.	Aditivos de impacto: PHB. Catalisadores: Tin Octoate ($C_8H_{10}SnO_4$).
Partículas Celulósicas Artificiais (ACPs)	$(C_6H_{10}O_5)_n$	Biodegradáveis, resistência mecânica, retenção de umidade.	Plasticizantes: Triacetin ($C_9H_{10}O_4$). Estabilizadores UV: Benzophenone (C_6H_5O).

Fonte: Autoria própria (2025), com base em Lahimer *et al.* (2013), Chang *et al.* (2019), Kühn (2020), Conti *et al.* (2021), Wiesinger *et al.* (2021), Luo *et al.* (2022), Tang *et al.* (2022) e Casagrande *et al.* (2024).

3.6.1 Polietileno (PE)

O Polietileno (PE), descoberto pelos químicos Reginald Gibson e Eric Fawcett em 1933 foi o primeiro polímero sintético a ser produzido comercialmente em grande escala, com a produção iniciada em 1933 pela empresa britânica ICI (Imperial Chemicals Industries), embora a descoberta do monômero etileno data de 1898 (Murder; Knot, 2001; Andrady, 2009). O polietileno é produzido por polimerização de etileno (C_2H_4), um gás derivado do petróleo. A técnica de polimerização desenvolvida inicialmente para o PE foi baseada na polimerização radical (Seymour, 1987; Teach *et al.*, 1960).

Existem diferentes tipos de PE, como o PE de baixa densidade (LDPE), PE de alta densidade (HDPE) e PE linear de baixa densidade (LLDPE), que variam conforme a estrutura das cadeias poliméricas. O LDPE é utilizado em sacolas plásticas e filmes, enquanto o HDPE é comum em garrafas plásticas e tubos (Feldman, 2008; Murder; Knot, 2001).

O PE representa o polímero mais produzido globalmente, com uma produção anual de mais de 100 milhões de toneladas, sendo amplamente utilizado em embalagens flexíveis e produtos de consumo devido à sua resistência ao impacto, flexibilidade e baixa permeabilidade (Bebianno *et al.*, 2023).

3.6.2 Polipropileno (PP)

O Polipropileno (PP) foi desenvolvido na década de 1950 por Giulio Natta e Karl Ziegler, que receberam o Prêmio Nobel de Química em 1963 pelo desenvolvimento do processo de polimerização de alta pressão (Gorni, 2003; Komatsu, 2016). O PP é produzido pela polimerização do monômero propileno (C_3H_6), utilizando catalisadores de Ziegler-Natta (Lima, 2011; Petry, 2011).

O PP é valorizado por sua resistência química, estabilidade térmica e baixa densidade, sendo utilizado em embalagens alimentícias, peças automotivas, materiais de construção e têxteis. A polimerização do PP pode ocorrer sob diferentes pressões e temperaturas, gerando diferentes formas de material, como o PP isotático, que possui propriedades superiores em termos de resistência e rigidez (Onofrio Neto, 2021; Petry, 2011).

Com mais de 60 milhões de toneladas produzidas anualmente, o PP é o segundo polímero mais consumido globalmente e encontra aplicações em uma variedade de produtos industriais e de consumo devido à sua durabilidade e custo-benefício (Plástico Industrial, 2023; Onofrio Neto, 2021).

3.6.3 Policloreto de Vinila (PVC)

O Policloreto de Vinila (PVC) é um dos polímeros mais antigos, conhecido desde 1872, mas sua produção em larga escala começou a se popularizar nas décadas de 1920 e 1930 (Gorni, 2003). O PVC é produzido pela polimerização do monômero cloreto de vinila (C_2H_3Cl) utilizando um iniciador de radicais livres (Castro, 2018).

O PVC pode ser produzido nas formas rígida, utilizado em tubulações, materiais médicos e perfis de construção, e flexível, utilizado em revestimentos de cabos, embalagens e têxteis. Para obter flexibilidade no PVC, são adicionados plastificantes, como os ftalatos, que, embora conferirem maleabilidade, trazem riscos ambientais e de saúde, já que podem migrar para o ambiente (Castro, 2018; Nunes *et al.*, 2002; Burgess, 2014).

O PVC é um dos polímeros mais versáteis, com uma produção anual superior a 40 milhões de toneladas, sendo amplamente utilizado em indústrias de construção civil, energia e telecomunicações, além de ter grande aplicação em produtos médicos, como tubos e cateteres (IBPVC, 2024).

3.6.4 Poliestireno (PS)

O Poliestireno (PS), descoberto em 1839 por Herman Staudinger, foi produzido em sua forma comercial no início do século XX. O PS é obtido pela polimerização do monômero estireno (C_8H_8), um derivado do petróleo (Gorni, 2023; Jacques, 2010). O PS é conhecido por sua facilidade de moldagem, baixo custo de produção e transparência, sendo utilizado principalmente em embalagens descartáveis, produtos de consumo e materiais de isolamento térmico (Tessari *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2021).

O PS pode ser encontrado em duas formas principais: PS cristal, que é transparente, e PS expandido, também conhecido como isopor, que possui estrutura celular e é utilizado em material de embalagem e isolamento térmico (Silva *et al.*, 2021). Embora amplamente utilizado, o PS é frágil e não possui resistência ao impacto. A produção anual de PS ultrapassa 20 milhões de toneladas, com grande uso em embalagens de alimentos, copos descartáveis e utensílios plásticos (Machado *et al.*, 2017; Arkin *et al.*, 2020).

3.6.5 Poliéster (PET)

O Poliéster (PET), mais especificamente o Polietileno Tereftalato (PET), pertence à família genérica de poliésteres, foi sintetizado pela primeira vez em 1941 pelos químicos britânicos John Rex Whinfield e James Tennant Dickson, enquanto trabalhavam para a empresa Calico Printers Association (Sinha; Patel; Patel, 2010). Sua descoberta foi um

marco, pois o PET começou a ser desenvolvido como uma alternativa sintética para a seda. No entanto, foi na década de 1950 que o processo de produção comercial do PET se consolidou, após as melhorias na polimerização que permitiram a produção em larga escala (Romão; Spinacé, 2009).

O PET é produzido por meio da polimerização do tereftalato de etileno (ETP) com etileno glicol (EG), em um processo de policondensação (Romão; Spinacé, 2009). Este polímero é altamente valorizado por sua transparência, resistência à umidade e resistência mecânica, sendo utilizado em garrafas PET, fibra de poliéster, filmes plásticos, fibras têxteis e materiais de embalagem flexíveis. A produção global de PET ultrapassa 50 milhões de toneladas anuais (Vidaletti, 2023; Arkin *et al.*, 2020).

3.6.6 Nylon (PA - Poliamida)

As poliamidas, também conhecidas como nylon, foram desenvolvidas em 1935 por Wallace Carothers e sua equipe na DuPont (Hage, 1998). O nylon foi o primeiro polímero sintético a ser utilizado como fibra têxtil, surgiu como alternativa à seda (Fantoni, 2012). A produção do nylon ocorre por meio da polimerização por condensação entre diaminas e ácidos dicarboxílicos, o que resulta na formação de uma fibra resistente e durável. Os dois principais tipos de nylon são o Nylon 6, derivado da caprolactama, e o Nylon 6,6, formado pela combinação de hexametileno-diamina e ácido adípico (Da Cruz, 2022; Passatore, 2013).

O nylon possui características como resistência ao desgaste, resistência ao impacto e flexibilidade, o que o torna ideal para uma variedade de aplicações industriais (Souza, 2024). É bastante utilizado em fibras têxteis, componentes automotivos, apetrechos de pesca como linhas, redes, e malhas, e em peças de engenharia, devido à sua durabilidade e versatilidade. É uma das principais escolhas para aplicação em tecidos como roupas esportivas, colchões e almofadas, pois mantém as propriedades do material ao longo do tempo, resiste ao desgaste mantendo a funcionalidade (Souza, 2024; Da Cruz, 2022; Cardoso *et al.*, 2009).

Além das fibras, o nylon é utilizado em componentes de engenharia devido à sua capacidade de suportar alto impacto e temperaturas elevadas. A aplicabilidade desse polímero se estende a engrenagens, rolamentos, mangueiras e outros componentes automotivos, onde a resistência ao desgaste e a longevidade são essenciais. Sua produção anual é superior a 5 milhões de toneladas, o que o torna um dos polímeros sintéticos mais produzidos e aplicados no mundo (Souza, 2024; Arkin *et al.*, 2020).

O uso do nylon também é utilizado em outras áreas, como na indústria aeroespacial, onde sua leveza e resistência a condições extremas tornam-no adequado para materiais de revestimento e peças internas. E devido à sua capacidade de ser moldado em diferentes formas, o material tem sido explorado em compósitos e em sistemas de armazenamento de energia (Souza, 2024; Gomes, 2020).

A produção de nylon é uma das mais relevantes na indústria de plásticos, e sua produção em alta escala enfrenta desafios relacionados à reciclagem e à sustentabilidade ambiental, embora o nylon seja altamente durável, as opções de reciclagem ainda são limitadas (Teles, 2020).

3.6.7 Policarbonato (PC)

O Policarbonato (PC) foi desenvolvido em 1953 pelo químico Alfred Einhorn e sua equipe da Bayer, que patenteou o polímero devido às suas propriedades de alta resistência ao impacto e à transparência (Dumont, 2007). O PC é produzido a partir da polimerização do bisfenol A (BPA) com fosgênio, o que resulta em uma estrutura molecular que combina rigidez, transparência e resistência térmica. Essas características tornam o policarbonato um material versátil e de alto desempenho, adequado para diversas aplicações em que a resistência a impactos e a clareza ótica são essenciais (Costa, 2025; Gorni, 2003).

O policarbonato é utilizado em uma variedade de indústrias, entre as principais aplicações, destacam-se as lentes de óculos, CDs e DVDs, além de materiais de construção e indústria automotiva (Giovanella *et al.*, 2008). A alta resistência ao impacto faz com que o policarbonato seja especialmente valorizado em produtos como painéis de proteção, capacetes de segurança e dispositivos eletrônicos, onde é necessário garantir a proteção física sem comprometer a transparência e a visibilidade. Além disso, devido à sua resistência a temperaturas elevadas e propriedades ópticas, o PC também é utilizado em lentes de contato e outros dispositivos ópticos (Balsamo, 2019; Costa, 2025; Gorni, 2003).

A produção anual de policarbonato ultrapassa 3 milhões de toneladas, com alta demanda em setores como eletrônicos, automotivo e telecomunicações (Arkin *et al.*, 2020). No setor automotivo, o policarbonato é utilizado em para-brisas, faróis e painéis internos de veículos, no campo eletrônico, o PC é empregado em dispositivos móveis, monitores e televisores, além de ser essencial para a fabricação de componentes de telecomunicações, como fibra ótica e conectores, por sua durabilidade e resistência a condições adversas (Balsamo, 2019; Costa, 2025; Giovanella *et al.*, 2008).

Apesar das suas várias vantagens, o uso de BPA na produção de policarbonato causa

preocupações devido ao seu efeito como desregulador endócrino, motivo pelo aumento das discussões sobre alternativas mais seguras e sustentáveis para a produção de plásticos de alto desempenho. Em resposta a essas preocupações, pesquisadores têm buscado novos processos de produção e materiais alternativos que possam oferecer desempenho semelhante ao policarbonato, sem os riscos associados ao BPA (Conceição *et al.*, 2024; Teleginski, 2016).

3.6.8 Acrílico (PMMA)

O Polimetilmetacrilato (PMMA), comumente conhecido como acrílico, é um polímero sintético produzido por meio da polimerização do metacrilato de metila (MMA) (Lourinho, 2022). Este polímero é reconhecido por suas propriedades ópticas, incluindo transparência de alta qualidade e resistência ao impacto. Essas características tornam o PMMA uma alternativa eficaz ao vidro em uma variedade de aplicações, especialmente onde a clareza ótica e a resistência mecânica são essenciais (Arimatéia *et al.*, 2014; Cotrim, 2013). Desde sua introdução comercial em 1936 pela Rohm and Haas Company, o PMMA tem sido utilizado em produtos que exigem uma combinação de estética e durabilidade, como em lentes de óculos, dispositivos de comunicação e painéis de sinalização (Brunner, 2021).

Além de suas aplicações mais tradicionais, o PMMA também se destaca em setores de alta tecnologia, como na indústria automotiva, aeroespacial e arquitetura, onde a durabilidade e a resistência a intempéries são requisitos essenciais (Fidanza, 2021). O acrílico é utilizado em janelas e parabrisas de automóveis, compósitos estruturais em aviões e telhados de edifícios, especialmente em locais onde a leveza e a transparência são necessárias sem comprometer a estética visual do ambiente, a resistência ao impacto e à degradação causada por condições ambientais (Arimatéia *et al.*, 2014; Martins *et al.*, 2024). No setor aeroespacial, o PMMA é utilizado em visores de capacetes e filtros ópticos, aproveitando sua resistência a temperaturas extremas e sua capacidade de manter a clareza ótica ao longo do tempo (Gomes, 2020).

A produção global de PMMA atinge cerca de 2 milhões de toneladas anuais, com uma parte dessa produção voltada para a indústria de embalagens, especialmente em materiais de revestimento e filmes plásticos (Arkin *et al.*, 2020). O PMMA também tem aplicações em fibras sintéticas, utilizado para a fabricação de tecidos e materiais de revestimento. As propriedades do PMMA também migraram para o setor médico, em dispositivos como próteses dentárias, implantes oculares, componentes médicos e em alguns casos específicos é utilizado para preenchimento facial (Cotrim, 2013; Arimatéia *et al.*, 2014).

Além disso, a resistência do PMMA à intempérie e sua alta durabilidade o faz

preferido para aplicações externas, como proteções em estruturas arquitetônicas, telhados e janelas de edifícios (Rosa, 2023). A sua estabilidade ao longo do tempo e a resistência a variações climáticas o tornam um material altamente eficiente para construção civil, especialmente em projetos arquitetônicos modernos que exigem materiais duráveis e translúcidos para maximizar a entrada de luz natural enquanto preservam a segurança estrutural (Oliveira; Dutra, 2019; Ali *et al.*, 2015).

Embora o PMMA seja valorizado por suas propriedades, o material também apresenta desafios, como sua sensibilidade a arranhões e a propensão à degradação UV, para mitigar esses efeitos, o PMMA em muitos casos é tratado com aditivos UV para prolongar sua durabilidade e manter suas propriedades ópticas e estéticas por mais tempo (Cremona, 2020). O desenvolvimento de novas tecnologias para aprimorar suas características e aumentar sua vida útil é um foco da indústria na pesquisa do material, que estuda maneiras de aumentar sua resistência ao desgaste e à exposição a agentes externos (Oliveira; Dutra, 2019).

3.6.9 Politetrafluoretileno (PTFE)

O Politetrafluoretileno (PTFE), conhecido como Teflon, foi desenvolvido em 1938 por Roy Plunkett enquanto trabalhava na DuPont (Olabisi; Adewale, 2016). Esse polímero possui propriedades como a alta resistência química e a capacidade de suportar temperaturas extremas (Soares, 2016). A produção envolve a polimerização do tetrafluoretileno (C_2HF_4), um composto muito reativo, mas que, uma vez convertido em PTFE, resulta em um material extremamente estável e não reativo (Romoaldo *et al.*, 2020).

Devido à sua resistência a produtos químicos agressivos, ao óleo e ao gás, o PTFE é utilizado em diversas aplicações industriais que exigem materiais duráveis e com baixa afinidade de aderência (Khoddamzadeh, 2009). A produção anual de PTFE ultrapassa as 200.000 toneladas, refletindo sua vasta utilização em setores que exigem resistência à corrosão, isolamento elétrico e baixa fricção (Camargo, 2023; Brasil, 2023).

O PTFE é empregado como isolante elétrico em cabos e fios, especialmente em ambientes industriais e eletrônicos de alta precisão, devido à sua excelente resistência à eletricidade (Camargo, 2023; Romoaldo *et al.*, 2020). Além disso, é bastante utilizado em revestimentos antiaderentes em utensílios de cozinha, como panelas e frigideiras, e em vedantes industriais, como gaxetas e juntas, devido à sua resistência ao desgaste e à corrosão (Soares, 2016).

O PTFE também tem aplicações em indústrias aeroespacial e automotiva, onde sua baixa densidade e resistência a temperaturas extremas o tornam ideal para vedações e outros

componentes críticos (Hromatka *et al.*, 2024; Gomes; 2020).

3.6.10 Poliuretano (PU)

O Poliuretano (PU) foi desenvolvido na década de 1940 pelo químico Otto Bayer, que patenteou o processo de síntese em 1947 (Vilar, 1999). Este polímero é formado por meio da reação entre diisocianatos e polióis, resultando em uma vasta gama de produtos com propriedades diversas, como espumas flexíveis, espumas rígidas e materiais sólidos (Costa, 2025; Passatore, 2013).

A versatilidade do PU está em sua capacidade de ser formulado para atender a uma variedade de necessidades industriais, variando desde componentes altamente elásticos até materiais rigidamente estruturados, o que o torna indispensável em diversas indústrias (Florez *et al.*, 2024). Suas propriedades únicas de resistência ao desgaste, elasticidade e capacidade de adaptação a diferentes formas explicam sua ampla aplicação em setores como automotivo, calçadista, móveis estofados, revestimentos industriais e isolamento térmico (Florez *et al.*, Carvalho, 2022).

O PU é encontrado principalmente em espumas flexíveis, que são utilizadas na produção de estofados, colchões e almofadas, além de espumas rígidas, que têm aplicação em isolamento térmico em edifícios e no setor de refrigeração (Carvalho, 2022). Além dessas formas, o poliuretano também é empregado em soluções sólidas para a fabricação de peças e componentes industriais, como parafusos, vedantes, rodas e rolamentos, devido à sua resistência mecânica e adaptabilidade a diferentes processos de moldagem (Cavalcante *et al.*, 2025).

A produção global de poliuretano ultrapassa as 10 milhões de toneladas anuais, o que o posiciona como um dos polímeros mais consumidos no mundo, principalmente para aplicações que exigem alta resistência à abrasão, elasticidade e capacidade de adaptação a várias formas (Plastic Europe, 2019). A versatilidade do PU, embora seja um de seus maiores atributos, também apresenta desafios em termos de segurança no processo de fabricação (Kemoni; Piotrowska, 2020).

Os diisocianatos, substâncias químicas usadas para a produção de poliuretano, são conhecidos por sua toxicidade respiratória e por serem potencialmente prejudiciais à saúde humana, principalmente durante as etapas de sintetização e processamento do material (Souza *et al.*, 2023). A exposição a esses compostos pode causar reações alérgicas e dificuldades respiratórias em trabalhadores expostos, aumentando as preocupações sobre segurança e à necessidade de técnicas de produção mais seguras (Barreto; Sabino, 2025).

Como resultado, tem-se intensificado a pesquisa e o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis, incluindo o uso de diisocianatos menos tóxicos ou processos de produção alternativos que visam minimizar o impacto ambiental e os riscos à saúde humana, além de melhorar a reciclabilidade do PU (Delgado, 2024; Barreto; Sabino, 2025).

3.6.11 Polímero de Ácido Lático (PLA)

O polímero de ácido lático (PLA) é um bioplástico produzido a partir de fontes renováveis, como milho, canola e outras matérias-primas vegetais (Van Beilen, 2008). A produção do PLA ocorre por meio da fermentação do açúcar presente nesses materiais, o que gera ácido lático. Este, por sua vez, passa por um processo de polimerização para formar longas cadeias de polímero, resultando no PLA (Lambert, 2017).

Por ser derivado de fontes renováveis e sua capacidade de ser biodegradável, o PLA é considerado uma alternativa mais sustentável em relação aos plásticos convencionais à base de petróleo, especialmente para aplicações em embalagens alimentícias, filamentos para impressão 3D e outros produtos descartáveis (Lambert, 2017). Sua utilização cada vez maior se alinha com a demanda por soluções mais ecológicas e menos impactantes ao meio ambiente, além de representar uma oportunidade para a substituição de plásticos de uso único (Snell, 2009).

O PLA possui várias vantagens, como biodegradabilidade e menor impacto ambiental durante sua produção e degradação, se comparado aos plásticos tradicionais. Contudo, sua taxa de degradação pode ser afetada por fatores como as condições ambientais e o tipo de exposição, sendo mais eficiente em ambientes controlados, como compostagem industrial (Sallenave, 2022; Snell, 2009).

A produção global de PLA registra aumento, estima-se uma produção anual de cerca de 1 milhão de toneladas, com previsões de crescimento contínuo devido à alta demanda por alternativas sustentáveis no mercado de embalagens e impressão 3D (Cardoso, 2016; Sallenave, 2022).

Apesar de ser uma opção mais ecológica, a produção de PLA também envolve desafios, como a necessidade de grandes áreas de cultivo para as matérias-primas vegetais, o que pode gerar impactos relacionados ao uso de solo e recursos naturais. No entanto, suas vantagens ambientais ainda fazem do PLA uma escolha importante para a indústria de plásticos sustentável (Mores *et al.*, 2018; Sallenave, 2022).

3.6.12 ACPs (Artificial Cellulosic Particles)/ Fibras artificiais celulósicas

As Partículas Celulósicas Artificiais (ACPs) são materiais derivados da celulose, um polímero natural encontrado em plantas (Murherjee *et al.*, 2023). A celulose passa por modificação química em processos industriais para ser transformada em formas utilizáveis, como partículas, fibras ou filmes, com propriedades ajustáveis para diversas aplicações industriais. Ao contrário dos plásticos convencionais, que são derivados de fontes fósseis, as ACPs são feitas a partir de fontes renováveis, como bambu, madeira, linter de algodão e milho (Amaral *et al.*, 2019; Asgher *et al.*, 2020).

O processo de modificação química da celulose envolve a dissolução desse material em soluções químicas, como hidróxido de sódio e dissulfeto de carbono, o resultado é uma solução viscosa. Essa solução é transformada em formas sólidas ou fibrosas, adaptáveis às necessidades específicas de diversas indústrias. Durante o processo, a estrutura celular da celulose é manipulada, o que resulta em partículas com maior área superficial, tornando-as altamente reativas e adequadas para a produção de materiais como embalagens, fibras têxteis e materiais compósitos (Asgher *et al.*, 2020; Lambert, 2017; Snell, 2009).

O rayon, uma fibra celulósica regenerada, é um exemplo clássico de ACPs (Vidal, 2013). Embora o rayon seja derivado da celulose, sua biodegradabilidade não ocorre de forma tão rápida e eficiente quanto a da celulose natural. Devido ao processo de modificação química durante sua produção, o rayon pode persistir por anos no ambiente, especialmente em condições desfavoráveis à degradação (Custódio *et al.*, Asgher *et al.*, 2020).

Em contrapartida, outras ACPs podem ser formuladas para se degradar de maneira mais rápida, especialmente quando desenhadas para aplicações específicas em embalagens biodegradáveis ou materiais de uso único. No entanto, existem desafios para garantir a eficiência de decomposição das ACPs em ecossistemas naturais, principalmente quando comparadas aos bioplásticos como que possuem uma biodegradabilidade mais controlada e rápida (Lambert, 2017; Amaral *et al.*, 2019).

O potencial das ACPs vai além das aplicações em embalagens e indústria têxtil. Elas têm sido exploradas no campo da biomedicina para a liberação controlada de fármacos, implantes médicos e dispositivos biomédicos, devido à sua biocompatibilidade e biodegradabilidade, especialmente em aplicações temporárias no organismo (Amaral *et al.*, 2019; Cruz, 2013).

Apesar de suas características que a difere dos polímeros sintéticos, a produção de ACPs apresenta desafios parecidos ao polímero de ácido láctico (PLA), em relação à escala

industrial e à eficiência de produção (Murherjee *et al.*, 2023). O cultivo das matérias-primas para a celulose, pode competir com a produção de alimentos e gerar pressões sobre o uso da terra. A modificação da celulose durante a produção de ACPs, além de envolver substâncias químicas, pode resultar em impactos ambientais (Amaral *et al.*, 2019; Mores *et al.*, 2018; Sallenave, 2022).

3.7 Aditivos Químicos em Polímeros

Os plásticos não são formados exclusivamente por polímeros; diversas substâncias auxiliares, denominadas aditivos químicos, são incorporadas aos plásticos para ajustar ou melhorar propriedades como flexibilidade, estabilidade à radiação UV, índice de fluidez e comportamento ao fogo (Cremona, 2020; Rabello, 2000).

Esses aditivos servirão para conferir características desejáveis aos plásticos, como resistência à oxidação, proteção contra radiação UV, maior durabilidade e desempenho em altas temperaturas (Schiller, 2015). Entretanto, muitos desses aditivos, devido à sua mobilidade e ao fato de não estarem quimicamente ligados à cadeia polimérica, podem migrar para o ambiente e representar riscos à saúde ecológica e humana (Montero-Campos *et al.*, 2023).

3.7.1 Plastificantes

Os plastificantes são aditivos utilizados em plásticos, como o PVC e o PE, com o objetivo de conferir flexibilidade e maleabilidade aos materiais (Silva, 2016). Entre os plastificantes mais comuns estão os ésteres de ácido ftálico, como o dibutilftalato (DBP), o benzil butilftalato (BBP), o ftalato de di(2-etilhexil) (DEHP) e o adipato de diisodecil (DIDP) (Sfreddo, 2022; Barros, 2010). Esses compostos são adicionados aos polímeros para os tornar mais maleáveis e resistentes ao desgaste (Sinha; Patel; Patel, 2010).

Contudo, sua utilização tem sido associada a preocupações toxicológicas, especialmente no que diz respeito à toxicidade reprodutiva e à desregulação endócrina. A exposição a esses plastificantes pode afetar sistemas hormonais, prejudicando a fertilidade e o desenvolvimento fetal em humanos e animais (Garcia; Rodrigues, 2024).

A migração dos plastificantes para os ecossistemas aquáticos gera preocupações ambientais (Candeias *et al.*, 2024). A bioacumulação desses compostos em organismos aquáticos pode comprometer a saúde de espécies de baixo nível trófico, como moluscos e zooplânctons, e se propagar ao longo da cadeia alimentar. Isso resulta em efeitos adversos sobre espécies predadoras de topo, incluindo peixes e mamíferos marinhos (Rani-Borges; Pompêo, 2022).

Outro plastificante utilizado é o bisfenol A (BPA), presente em policarbonato e resinas epóxi. O BPA é reconhecido como um desregulador endócrino, com efeitos adversos sobre sistemas hormonais, tanto em humanos quanto em animais (González-Parra *et al.*, 2024). A exposição ao BPA além das disfunções hormonais, está associada ao aumento do risco de câncer de mama e próstata. O BPA pode estar presente em embalagens de alimentos, garrafas plásticas e recipientes reutilizáveis (González-Parra *et al.*, 2024; Conceição *et al.*, 2024; Teleginski, 2016).

3.7.2 Estabilizantes UV

As principais alterações que polímeros sofrem quando expostos aos raios UV é o amarelecimento, embaçamento, superfície quebradiça ou endurecimento superficial, por isso, a indústria encontrou nos estabilizantes UV, uma maneira de retardar ou evitar esses efeitos adversos, são aditivos utilizados para prolongar a vida útil dos plásticos, protegendo-os contra a degradação fotoquímica induzida pela radiação ultravioleta (UV) (Lodi, 2003; Marçal, 2012). Compostos como o benzotriazol são aplicados em plásticos como o polipropileno (PP) e o poliestireno (PS) para evitar danos causados pela exposição prolongada à luz solar (Freddo *et al.*, 2024).

Estes estabilizantes UV aumentam a resistência dos materiais à radiação UV, melhorando sua durabilidade e manutenção das propriedades físicas ao longo do tempo, especialmente em produtos expostos às condições climáticas externas, como embalagens plásticas e componentes de construção (Galvão, 2025; Freddo *et al.*, 2024).

Embora eficazes na proteção contra a degradação dos plásticos, os estabilizantes UV podem se liberar no ambiente aquático, especialmente quando os plásticos são descartados ou se fragmentam (Peng *et al.*, 2018). Esses compostos bioacumulam-se ao longo da cadeia alimentar. Isso pode resultar em efeitos adversos sobre a fertilidade e o desenvolvimento de diversas espécies aquáticas, como peixes, moluscos e outros organismos (Fonseca, 2024).

Estudos indicam que o benzotriazol e outros estabilizantes UV podem interferir na reprodução e nos processos hormonais de organismos aquáticos, afetar a saúde geral das populações e comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas (Khare *et al.*, 2023; Mizukawa *et al.*, 2017).

A exposição prolongada a essas substâncias no ambiente aquático representa riscos à saúde de organismos de diversas cadeias alimentares, incluindo seres humanos, que podem ser expostos a esses compostos através do consumo de produtos contaminados (Khare *et al.*, 2023).

3.7.3 Antioxidantes

Os antioxidantes são aditivos utilizados na indústria de plásticos para prevenir a oxidação e melhorar a estabilidade térmica dos materiais. Compostos como o hidroxitolueno butilado (BHT), hindered amine light stabilizers (HALS) e Benzotriazol são comumente utilizados em plásticos. Esses antioxidantes evitam a degradação dos materiais plásticos, aumentam sua durabilidade e resistência ao calor e à exposição ao oxigênio (Achem, 2025; Dai *et al.*, 2023; Khare *et al.*, 2023).

O BHT é utilizado em poliméricos e borrachas, oferece proteção contra a oxidação térmica e prolonga a vida útil de materiais expostos a temperaturas elevadas (Dai *et al.*, 2023). Os HALS são usados como estabilizadores de luz para prevenir a degradação fotoquímica em plásticos expostos à luz solar, enquanto o benzotriazol protege os plásticos contra a radiação ultravioleta (Reisinger; Beissmann; Buchberger, 2013; Mizukawa *et al.*, 2017).

No entanto, a liberação desses antioxidantes no ambiente causa efeitos toxicológicos. O BHT, especificamente, tem sido associado a efeitos carcinogênicos. Outros antioxidantes são considerados potenciais fontes de toxicidade acumulada em organismos aquáticos, afetando a saúde reprodutiva e o desenvolvimento de várias espécies. Embora esses antioxidantes melhorem a estabilidade dos plásticos, sua migração para ecossistemas aquáticos contribui para a bioacumulação de contaminantes, afeta a biodiversidade e a qualidade dos recursos hídricos (Khare *et al.*, 2023; Mizukawa *et al.*, 2017).

3.7.4 Retardantes de Chama

Os retardantes de chama, como os éteres difenílicos polibromados (PBDEs), são compostos utilizados para reduzir a inflamabilidade de plásticos como poliestireno (PS), acrilonitrila butadieno estireno (ABS) e resinas epóxi. Esses aditivos desempenham um papel importante em aplicações industriais e comerciais, onde a prioridade é a resistência ao fogo, como em materiais de construção, dispositivos eletrônicos e equipamentos automotivos (Guerra *et al.*, 2025; Rahman, 2010).

Os PBDEs são eficazes para proteger materiais contra o fogo, mas, devido à sua persistência ambiental e à bioacumulação em organismos, apresentam sérios riscos ambientais e à saúde humana (Turner, 2022). Organismos expostos a PBDEs podem sofrer alterações neurocomportamentais, e perder funções essenciais como desenvolvimento cognitivo e neurotransmissão (Aquino, 2024). Estudos também indicam que os PBDEs podem interferir nos sistemas hormonais dos organismos e imunotoxicidade, afetando o desenvolvimento e a função do sistema imunológico (De Sousa *et al.*, 2018; Peng *et al.*,

2018).

A exposição crônica a esses compostos também é vinculada ao risco de câncer, especialmente em órgãos como o fígado e os pulmões, devido à capacidade dos PBDEs de interferir na regulação hormonal (Akortia *et al.*, 2016). A natureza persistente e lipofílica dos PBDEs, que facilita sua acumulação nos tecidos gordurosos, contribui para a sua toxicidade acumulada ao longo do tempo, principalmente em populações expostas a níveis elevados de PBDEs, seja por meio da alimentação ou do ar ambiente (Zarfl, 2010).

3.8 Metais Tóxicos e Outros Aditivos

Em alguns plásticos, metais tóxicos como chumbo, cádmio e mercúrio são utilizados como estabilizantes ou aditivos pigmentantes para melhorar a durabilidade e as propriedades estéticas dos materiais (Sall *et al.*, 2020). Embora esses metais possam aumentar a resistência dos plásticos à degradação e proporcionar cores duráveis, sua presença nos plásticos é prejudicial do ponto de vista ambiental e de saúde pública (Jadoun *et al.*, 2023).

O chumbo, por exemplo, é reconhecido como um neurotóxico, com efeitos adversos bem documentados no sistema nervoso central, especialmente em crianças, os resultados são déficits cognitivos e comportamentais (Paula, 2016). O cádmio, por sua vez, é classificado como um carcinógeno humano, associado a danos renais, câncer de pulmão e outros efeitos adversos à saúde, além da toxicidade ao fígado e aos ossos (Negherbon *et al.*, 2022). O mercúrio, também utilizado como aditivo, tem efeitos devastadores no sistema nervoso e pode causar distúrbios neurológicos e problemas de coordenação motora (Rebelo, 2016).

A presença desses metais em plásticos, especialmente brinquedos e em materiais reciclados, pode agravar os riscos ambientais e à saúde humana (Flora, 2021). Quando plásticos que contêm metais tóxicos não são adequadamente descartados ou reciclados, há um risco de contaminação ambiental (Jadoun *et al.*, 2023). Isso ocorre principalmente quando os plásticos são incinerados ou se decompõem no meio ambiente, liberando essas substâncias tóxicas para o solo, água e ar (Sall *et al.*, 2020).

Além disso, esses materiais contaminados podem ser ingeridos por organismos aquáticos ou terrestres, promovendo a bioacumulação e biomagnificação de toxinas ao longo das cadeias alimentares (Ferreira *et al.*, 2025; Rocha *et al.*, 2023).

3.9 Plásticos na Indústria Pesqueira

A indústria pesqueira depende do uso de plásticos e polímeros sintéticos em equipamentos essenciais, como redes de pesca, linhas de pesca, cordas, boias, caixas de iscas

e revestimentos de cabos, devido à sua resistência, flexibilidade e durabilidade (Siles-Martínez, 2022). Os principais polímeros utilizados incluem o polietileno (PE), o polipropileno (PP), nylon (PA) e o policloreto de vinila (PVC), cada um com características que os tornam adequados para diferentes aplicações na pesca (Neto *et al.*, 2023; Ramos *et al.*, 2025; Ssempijja; Einarsson, 2024).

O PE é utilizado em redes e linhas de pesca por sua resistência ao impacto e flexibilidade, enquanto o PP é empregado em cordas e boias devido à sua resistência química e estabilidade térmica. O nylon (PA), com sua alta resistência à tração e resistência à abrasão, é escolhido para redes e linhas de pesca, enquanto o PVC é aplicado principalmente em revestimentos de cabos de pesca, bóias e flutuadores por sua resistência à abrasão e durabilidade (Dhanker *et al.*, 2024; Juan *et al.*, 2021; Ramos *et al.*, 2025; Tippet, 2023).

Além desses polímeros, o polietileno tereftalato (PET), utilizado em embalagens de alimentos, também é utilizado na indústria pesqueira para a fabricação de caixas de iscas e materiais de embalagem, devido à sua resistência mecânica e à capacidade de preservar a integridade dos produtos (Romão; Spinacé, 2009). O policarbonato (PC), conhecido por sua resistência ao impacto e transparência, também é utilizado em lentes de equipamentos de observação e dispositivos de sinalização nas embarcações pesqueiras (Bebianno *et al.*, 2023). Essa combinação de propriedades dos polímeros utilizados em redes de pesca, cordas, boias e embalagens de iscas dinamizam as operações pesqueiras (Neto *et al.*, 2023).

No entanto, a utilização desses materiais plásticos na indústria pesqueira gera preocupações ambientais. O descarte inadequado de redes de pesca, linhas, cordas e boias contribui para o aumento da poluição plástica nos ambientes aquáticos, esses materiais descartados no ambiente aquático podem se fragmentar em partículas de diferentes tamanhos e causar impactos negativos ao meio ambiente (Neto *et al.*, 2023; Dhanker *et al.*, 2024; Tippet, 2023).

Os fragmentos maiores (macroplásticos), podem causar obstrução e danos mecânicos em organismos aquáticos, além de se degradarem lentamente, permanecendo por longos períodos nos ecossistemas (Nadal; Deudero, 2016). As partículas menores, como os microplásticos, são ainda mais problemáticas, uma vez ingeridas por organismos aquáticos, desde plânctons até grandes mamíferos marinhos, podem ser acumuladas ao longo da cadeia trófica (Cannon; Figueiredo, 2016).

A presença desses fragmentos plásticos nos ecossistemas aquáticos prejudica a sanidade da ictiofauna, interferem em seus processos fisiológicos e reprodutivos. A

bioacumulação desses materiais pode afetar espécies de interesse comercial, como peixes e mariscos, e impactar diretamente as comunidades pesqueiras, prejudicando tanto a qualidade do pescado quanto às atividades econômicas relacionadas (Peng *et al.*, 2021; Savoca *et al.*, 2021; Nadal; Deudero, 2016).

4. Bioacumulação e Biomagnificação de plásticos

A poluição por plásticos em ecossistemas aquáticos é um problema que afeta diretamente a biota, com implicações em diferentes níveis tróficos (Peng *et al.*, 2021). A ingestão de plásticos de diversos tamanhos (micro, meso e macrolásticos) compromete a saúde da ictiofauna e interfere em sua alimentação, desenvolvimento, reprodução e bem-estar geral (Cannon; Figueiredo, 2016).

Peixes, por sua posição em diversas cadeias alimentares, possuem a capacidade de acumular contaminantes ao longo do tempo, tornando-se bioindicadores e biomonitores da poluição ambiental. A bioacumulação de plásticos e os produtos químicos presentes nos plásticos, como ftalatos, bisfenol A (BPA) e metais tóxicos, representam um risco para a saúde dos ecossistemas aquáticos e para as populações que dependem desses recursos naturais (Peng *et al.*, 2021, Savoca *et al.*, 2021; Brennecke *et al.*, 2016)

A bioacumulação de microplásticos, que são partículas com tamanho inferior a 5 mm, ocorre quando esses materiais são ingeridos por organismos aquáticos, como peixes e invertebrados (Peng *et al.*, 2021). Esse processo resulta no acúmulo de microplásticos nos tecidos dos organismos ao longo do tempo (Angmo *et al.*, 2025). Além de serem plásticos em si, essas partículas frequentemente transportam contaminantes químicos, que podem incluir antioxidantes, estabilizantes UV, metais pesados e outros produtos tóxicos usados na fabricação dos plásticos. Esses contaminantes, ao se acumularem nos organismos, podem afetar sua saúde e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos (Ferreira *et al.*, 2025; Jadoun *et al.*, 2023; Rocha *et al.*, 2023).

A biomagnificação consiste no aumento progressivo da concentração de contaminantes ao longo dos níveis tróficos, à medida que os organismos predadores acumulam substâncias presentes em suas presas. Predadores de topo, como peixes maiores, aves e mamíferos marinhos, podem absorver toxinas ao se alimentar de organismos contaminados, como peixes e invertebrados (Peng *et al.*, 2021; Rocha *et al.*, 2023).

Esse fenômeno, relacionado à bioacumulação e biomagnificação, tem implicações diretas não apenas para a saúde dos ecossistemas, mas também para as comunidades pesqueiras (Maceda-Veiga *et al.*, 2012). Os contaminantes acumulados nos organismos

aquáticos podem afetar a saúde humana, animal e ambiental, alinhando-se ao conceito de Uma Só Saúde, que reconhece a interconexão entre a saúde dos seres humanos, dos animais e do meio ambiente (Pitt, 2024; Jadoun *et al.*, 2023; Rocha *et al.*, 2023).

5. Efeitos da poluição plástica sobre o desenvolvimento da ictiofauna

A poluição por plásticos nos ecossistemas aquáticos é um desafio ambiental que aumentou ao longo dos anos, estima-se que aproximadamente 25 milhões de toneladas de resíduos plásticos sejam despejadas anualmente nos oceanos e corpos d'água (UNEP, 2025). No Brasil, esse volume é alarmante, com mais de 3 milhões de toneladas de plásticos lançados anualmente ao mar (Lima; Coutinho; 2024). A origem dessa poluição é principalmente o descarte inadequado de resíduos urbanos e o uso excessivo de plásticos de uso único, com impactos diretos nos ecossistemas aquáticos e nas espécies que deles dependem (UNEP, 2025; Bebianno *et al.*, 2023).

Os plásticos encontrados mais comuns são sacolas plásticas, garrafas PET, canudos, embalagens de alimentos e apetrechos de pesca (Dhanker *et al.*, 2024; Panequi; Dantas, 2025). Esses materiais, devido à sua alta durabilidade, permanecem por longos períodos nos ecossistemas aquáticos, fragmentando-se em diferentes tamanhos. Esses fragmentos podem ser ingeridos por organismos aquáticos, desde plâncton até grandes mamíferos marinhos, alterando a dinâmica ecológica dos ambientes e comprometendo a saúde das espécies (Casagrande, 2018; Andrade *et al.*, 2019).

A presença de fragmentos plásticos nos corpos d'água afeta diretamente os hábitos alimentares da ictiofauna, especialmente das espécies que se alimentam de fitoplânctons e zooplânctons, que, ao consumirem essas partículas suspensas, acabam se contaminando (Casagrande, 2018). A ingestão de fragmentos plásticos maiores compromete o sistema digestivo dos peixes, pode causar obstruções intestinais e redução da capacidade de absorção de nutrientes (Andrade *et al.*, 2019; Silva-Cavalcanti *et al.*, 2017).

Durante o processo digestivo, os fragmentos plásticos podem sofrer alterações químicas no trato gastrointestinal (Tang, 2024; Prata *et al.*, 2021). Mesmo quando não se fragmentam, essas partículas liberam aditivos químicos presentes em sua composição, que podem ser absorvidos pelos organismos (Montero-Campos *et al.*, 2023). Essa liberação de substâncias tóxicas prejudica o crescimento e o desenvolvimento das espécies, interfere nos processos fisiológicos e aumenta a vulnerabilidade dos organismos a doenças e a mudanças ambientais (Candeias *et al.*, 2024; Ghosh, 2024).

Além dos efeitos diretos sobre o crescimento e a nutrição, a ingestão de fragmentos plásticos também afeta processos biológicos em nível celular e molecular. Os plásticos e seus aditivos químicos podem interagir com as células do trato digestivo dos peixes, e em alguns casos, as partículas ingeridas podem entrar na corrente sanguínea, afetar órgãos internos e o sistema imunológico (Ghosh, 2024; Castro, 2020; Barbosa, 2017).

A exposição prolongada a esses contaminantes pode reduzir a fertilidade e alterar as taxas de sobrevivência dos peixes, resultar em populações com taxas de crescimento reduzidas e declínio na reprodução, comprometer a sustentabilidade das populações e afetar negativamente o equilíbrio ecológico da biodiversidade dos ecossistemas aquáticos e as práticas pesqueiras (Prata *et al.*, 2021; Ghosh, 2024).

A poluição por plásticos afeta a saúde dos peixes, causando impactos também na reprodução das espécies (Tang, 2024; Prata *et al.*, 2021). A presença de substâncias hormonais nos plásticos, como o bisfenol A (BPA), pode interferir na regulação hormonal dos peixes, aditivo que interfere na maturação dos ovos e na fertilidade (Cervantes-Camacho *et al.*, 2024). Essa interferência compromete a saúde reprodutiva das populações de peixes e, conseqüentemente, afeta a dinâmica populacional, principalmente das espécies de interesse comercial, que são importantes para alimentação e renda das comunidades pesqueiras (Costa, 2024; Rani-Borges; Pompêo, 2022).

Os fragmentos plásticos também afetam outros organismos aquáticos essenciais para o equilíbrio dos ecossistemas, como os invertebrados bentônicos, que desempenham um papel fundamental na ciclagem de nutrientes e no processamento de matéria orgânica (Curty *et al.*, 2024). A ingestão de fragmentos plásticos por esses organismos prejudica suas funções ecológicas, afeta desde os produtores primários até os predadores de topo, como peixes maiores, mamíferos marinhos e aves, prejudicando o funcionamento do ecossistema como um todo (Cruz; Silva, 2025).

A bioacumulação de fragmentos plásticos ao longo da cadeia trófica representa um alerta sobre os riscos à saúde humana, uma vez que as toxinas associadas aos plásticos podem ser transferidas para produtos pesqueiros (Ghosh, 2024). A ingestão de peixes contaminados por microplásticos e substâncias tóxicas pode resultar em riscos diretos à saúde humana, como o desenvolvimento de doenças neuroendócrinas, disfunções hormonais e até cânceres (Ferreira *et al.*, 2025; Rocha *et al.*, 2023).

A indústria pesqueira é diretamente afetada pela poluição por plásticos, uma vez que depende da saúde das populações de peixes para garantir a produção de alimentos e sustento

para as comunidades locais (Costa *et al.*, 2006). A presença de fragmentos plásticos nos peixes compromete a qualidade do pescado. Esses efeitos têm impactos econômicos, especialmente em regiões onde a pesca representa uma das principais fontes de renda e atividade econômica (Neto *et al.*, 2023; Gutman, 2005).

O monitoramento contínuo da qualidade da água, da fauna aquática e da presença de plásticos deve ser parte integrante das estratégias de gestão ambiental (Casagrande, 2018). O controle da poluição por plásticos nos ecossistemas exige uma abordagem integrada, que envolva governos, instituições de pesquisa e as comunidades para desenvolver estratégias eficazes de manejo sustentável e promover práticas que minimizem o impacto ambiental da poluição plástica (Miguel, 2023).

É importante que as comunidades pesqueiras sejam engajadas no processo de gestão de resíduos plásticos, adote práticas de descarte adequado e busque alternativas sustentáveis no uso de plásticos (Siles-Martínez, 2022). A implementação de tecnologias de reciclagem mais eficientes, bem como o desenvolvimento de plásticos biodegradáveis, pode reduzir o impacto da poluição plástica nos ambientes aquáticos e nas atividades pesqueiras (Mukherjee *et al.*, 2023).

A educação ambiental também é aliada no combate à poluição plástica, pois sensibiliza a população sobre os impactos negativos do uso excessivo de plásticos e incentiva práticas de consumo responsável e reciclagem (Campos Da Rocha *et al.*, 2024). Programas de educação e engajamento das comunidades pesqueiras contribuem para a redução do uso de plásticos e promovem a adoção de alternativas mais sustentáveis no setor pesqueiro (Maia; Silva, 2024).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de estudo

A pesquisa foi conduzida no município de Viana (Figura 1), situado no estado do Maranhão, Brasil, ocupando uma área de 1.166,745 km² e com uma população estimada de 53.115 habitantes, conforme dados do IBGE de 2024. O município está localizado entre as coordenadas 2°56'57" e 3°21'02" de latitude sul e 44°46'06" e 45°26'51" de longitude oeste (IBGE, 2021; Google Earth, 2023). Viana é banhada pelo rio Pindaré, que integra a bacia hidrográfica do rio Mearim, drenando a área do município (Miranda, 2006).

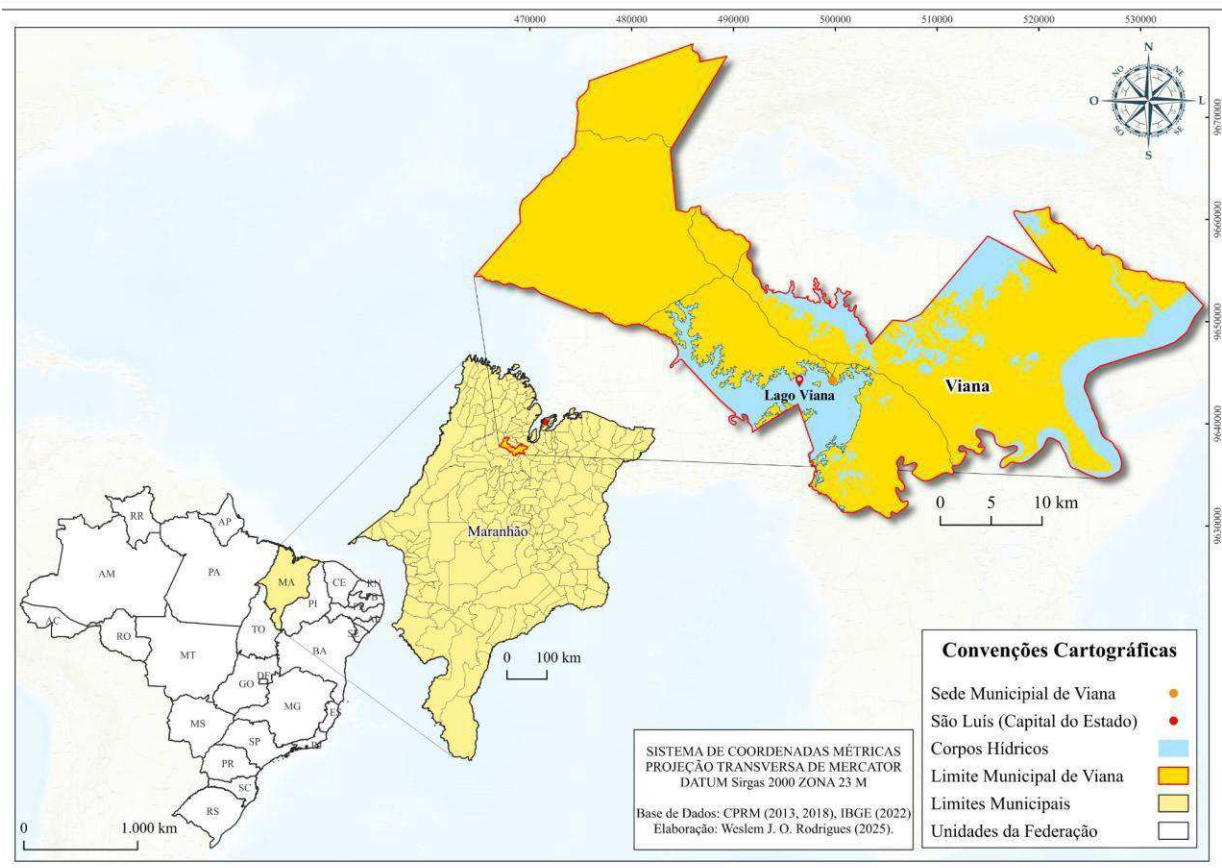
A região abriga um ecossistema diversificado composto por rios, lagos, lagoas, campos inundáveis e vegetação de manguezal. Essa diversidade de ambientes contribui para

uma biodiversidade única, com diversas espécies de fauna e flora adaptadas às condições locais (Maranhão, 2002).

O Lago Viana, com uma área de 40,62 Km², é um importante corpo d'água na região, servindo como fonte de sustento para a comunidade pesqueira e como abastecimento de água para o município (Santos, 2007). Este habitat lacustre é essencial para uma diversidade de espécies, incluindo peixes, aves aquáticas e vegetação submersa (Pinheiro, 2022).

O lago é refúgio para diversas espécies e contribui para a manutenção do equilíbrio ecológico da região (Carvalho, 2021). Possui características como águas de fluxo lento, zonas de inundação sazonal e vegetação submersa rica, criam condições ideais para a preservação da biodiversidade e o funcionamento ecológico do ecossistema aquático (Pinheiro, 2022; Santos, 2007).

Figura 1. Localização do município de Viana. No estado do Maranhão, em destaque os limites municipais, corpos hídricos e Lago Viana, Brasil, 2025.



Fonte: Elaborado por Oliveira (2025)

4.2 Licenças Ambientais e Comitê de Ética

Todos os procedimentos realizados neste estudo seguiram as normas éticas estabelecidas pelo Comitê de Ética e Experimentação Animal (CEEAA) do Curso de Medicina Veterinária da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), conforme o protocolo nº 044/25 (Anexo 1). Além disso, as licenças ambientais necessárias para a realização do trabalho na Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense foram obtidas junto à Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA), sob os números A16-23 (Anexo 2).

Também foi obtida a autorização para a realização de atividades com biodiversidade de finalidade científica, concedida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), através do processo nº 69518-8 (Anexo 3). Todos os procedimentos foram conduzidos em conformidade com as normas de bem-estar animal estabelecidas pela Resolução CFMV nº 1.236/2018 e pela Lei nº 11.794/2008, garantindo o cumprimento dos princípios éticos e legais relacionados à pesquisa com animais.

4.3 Espécies em estudo

4.3.1 *Pygocentrus nattereri* (Kner, 1858)

O *Pygocentrus nattereri* (Figura 2) conhecido como piranha-vermelha, é um predador da família Characidae e subfamília Serrasalminae, comum em lagos de várzea amazônicos. Sua dieta carnívora, composta por outros peixes e invertebrados aquáticos, e sua posição de topo na cadeia alimentar tornam essa espécie ideal para estudos sobre contaminantes tróficos (Saint- Paul *et al.*, 2000; Biterncourt, 1994; Calcagnotto *et al.*, 2005).

A piranha-vermelha é bem adaptada a diferentes ambientes aquáticos, o que facilita sua presença em diversas áreas da região amazônica, tornando-a um excelente modelo para avaliar os impactos da poluição, como a ingestão de plásticos e outros contaminantes (Andrade *et al.*, 2024).

Figura 2. Exemplar de *Pygocentrus nattereri* capturado no Lago Viana, Maranhão (Ma), Brasil, 2025.



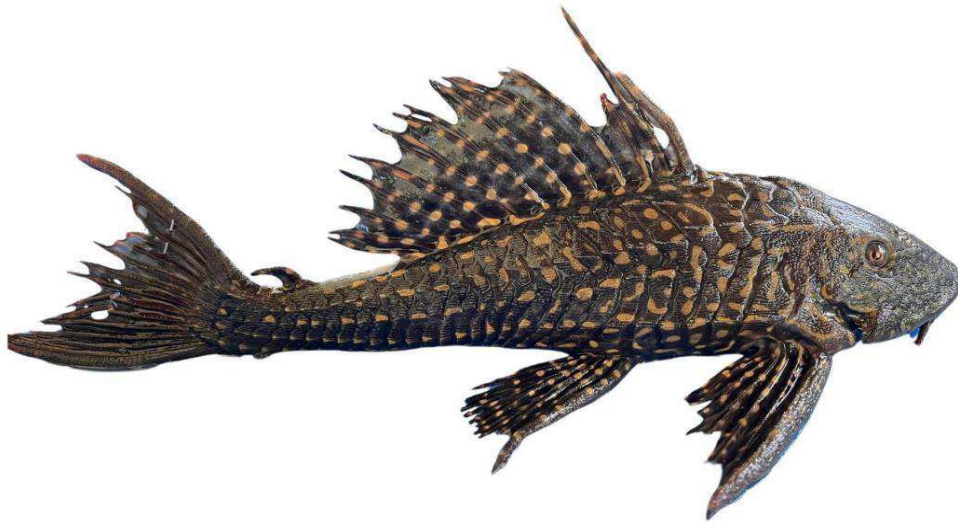
Fonte: Autoria própria (2025)

4.3.2 *Hypostomus plecostomus* (Linnaeus, 1758)

O *Hypostomus plecostomus* (Figura 3) popularmente conhecido como cascudo, bodó ou peixe-gato, é uma espécie herbívora e detritívora da família Loricariidae, comumente encontrada em rios e lagos de água doce da América do Sul (Cardoso *et al.*, 2021). Sua alimentação baseada em algas e biofilmes, aliada à capacidade de se adaptar a diferentes condições ambientais, torna o *H. plecostomus* um modelo adequado para investigar os impactos de poluentes ambientais, como o lixo plástico (Zawadzki *et al.*, 2021).

Além disso, o comportamento bentônico e a tolerância a ambientes com baixa concentração de oxigênio aumentam a sua relevância como organismo indicador de qualidade ambiental (Perna; Fernandes, 2016).

Figura 3. Exemplar de *Hypostomus plecostomus* capturado no Lago Viana, Maranhão (Ma), Brasil, 2025.



Fonte: Autoria própria (2025).

4.4 Obtenção das amostras biológicas

A coleta dos peixes foi realizada em um ponto específico (Figura 4) do lago Viana, localizado nas coordenadas 3°12'.658"S; 44°58'.566"W, uma área distante da zona urbana e em uma região de maior preservação ambiental.

Figura 4. Ponto de coleta no Lago Viana, Maranhão (Ma), Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense, Brasil, 2025.



Fonte: Autoria própria (2025)

Foram realizadas duas coletas (Quadro 1), nos meses de junho e outubro de 2024, correspondendo aos períodos de chuva e estiagem, respectivamente. Cada período de coleta incluiu 21 espécimes de *Pygocentrus nattereri* e 13 espécimes de *Hypostomus plecostomus*, totalizando 34 indivíduos por período. A escolha desses períodos visou acompanhar as alterações nos níveis de água e nas condições ambientais típicas das estações chuvosa e estiagem da região.

Quadro 1. Número de espécimes de *Pygocentrus nattereri* e *Hypostomus plecostomus* coletados nos períodos chuvoso (junho) e de estiagem (outubro) de 2024 no Lago Viana (MA). **n** indica o total de indivíduos coletados por período.

Período Sazonal	Mês de Coleta	<i>P. nattereri</i>	<i>H. plecostomus</i>	n
Chuvoso	Junho	21	13	34
Estiagem	Outubro	21	13	34
N Total	—	42	26	68

Fonte: Autoria própria (2025)

Os peixes foram capturados por meio de pesca artesanal, realizada por pescadores locais utilizando gaiolas de aço (Figura 5), os pescadores utilizaram vísceras de peixes como atrativo. Evitou-se o uso de qualquer tipo de apetrecho plástico durante a captura, garantindo que o material utilizado não interferisse na análise de contaminação por plásticos.

Figura 5. Gaiola de aço, utilizada na pesca artesanal no Lago Viana, Maranhão (Ma), Brasil, 2025.



Fonte: Autoria própria (2025)

Após a captura, os peixes foram mantidos em tanque de concreto e posteriormente insensibilizados com eugenol, empregando-se concentração de 100mg/L, faixa reconhecida como eficaz para indução de anestesia profunda em peixes teleósteos (Ferreira *et al.*, 2022). A eutanásia dos espécimes foi realizada por meio da secção medular, conforme as diretrizes estabelecidas pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal (CEEAA) da Universidade Estadual do Maranhão (protocolo nº 022/2019).

4.5 Biometria das Espécies

Após a eutanásia dos espécimes, foram obtidas as medidas biométricas dos peixes, incluindo o Comprimento Total (Lt) e o Comprimento Padrão (Lp), que foram registrados com o uso de paquímetro manual. O peso (W) foi medido utilizando uma balança de precisão. Esses dados biométricos são fundamentais para o estudo da saúde dos peixes e sua adaptação às condições ambientais.

Logo após, foi realizada a necropsia dos espécimes para a remoção do trato gastrointestinal, procedimento que foi realizado sobre uma prancha de vidro para garantir a higienização e o manejo adequado dos órgãos. Para a dissecação, foram utilizadas lâminas de

bisturi (n° 21), tesouras Metzenbaum reta, e pinças anatômicas (dente de rato e anatômica de dissecação).

Após a retirada do trato gastrointestinal, os órgãos foram cuidadosamente embalados em folhas de papel alumínio, que foram previamente limpas com água filtrada por um sistema de filtração utilizando fibra de vidro, para evitar qualquer contaminação. Cada amostra foi identificada com o nome do espécime, número do animal, data e estação de coleta.

As amostras embaladas foram armazenadas em caixas isotérmicas com gelo, para manter a integridade das amostras até o momento do congelamento. Posteriormente, as amostras foram transferidas para um freezer para posterior análise e preservação para estudo da contaminação por plásticos no trato gastrointestinal.

4.6 Procedimentos laboratoriais

4.6.1 Digestão do material biológico e identificação das partículas plásticas

O processamento das amostras foi realizado em colaboração com o Laboratório de Biomarcadores de Contaminação Aquática e Imunoquímica (LABCAI) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), utilizando técnicas adaptadas das metodologias de Dhimmer (2017), Dehaut (2016) e Foekema (2013).

A digestão química foi realizada para a dissolução dos tecidos moles do trato gastrointestinal dos espécimes, utilizando hidróxido de potássio (KOH) a 10%. A quantidade de KOH foi ajustada conforme o peso do material biológico de cada amostra, e os tratos gastrointestinais foram acondicionados em frascos de vidro de 250 mL, previamente limpos com água destilada filtrada por filtro de fibra de vidro.

A solução de KOH foi adicionada aos frascos em volumes variando de 150 mL a 200 mL, dependendo da quantidade de material biológico, adaptando a concentração para garantir uma diluição eficaz, especialmente devido à presença de argila e areia no trato gastrointestinal do *Hypostomus plecostomus*. Os frascos foram tampados e levados à incubadora (Figura 6A), onde permaneceram em agitação orbital a 160 RPM a 60°C por 12 horas. Após o processo de digestão (Figura 6B), as amostras foram filtradas em sistema de filtração a vácuo, sendo rigorosamente controlado para evitar qualquer risco de contaminação cruzada.

Figura 6. Em **A**, amostras em processo de digestão química em incubadora com agitação orbital em **B**; amostras após digestão química. Material biológico das espécies coletadas no Lago Viana, Maranhão (Ma), Brasil, 2025.



Fonte: Autoria própria (2025)

Laboratório de Biomarcadores de Contaminação Aquática e Imunoquímica (LABCAI)

Durante o processo de filtração, foi utilizado um microfiltro de fibra de vidro Whatman GF-1 (diâmetro de 47 mm, com poros de aproximadamente 1.6 μm) para reter as partículas plásticas. A filtração a vácuo foi realizada sob condições estritas, com o material utilizado, incluindo vidrarias e pinças, sendo limpo e lavado com água destilada filtrada pelo sistema de filtração a vácuo.

Um filtro de fibra de vidro (amostra controle/branca) foi utilizado dentro de uma placa de Petri durante todos os procedimentos laboratoriais. Para evitar qualquer risco de contaminação, o uso de jaleco de algodão foi obrigatório, sendo proibido o uso de tecidos sintéticos durante a manipulação e processamento. Além disso, o uso de luvas de nitrilo foi exigido durante todas as etapas, assegurando a segurança e a integridade das amostras.

Após a filtragem, os filtros de fibra de vidro contendo as partículas plásticas foram armazenados em placas de Petri limpas (Figura 7A) para posterior inspeção visual. Durante essa etapa, os filtros foram cuidadosamente examinados para identificar a presença de fragmentos plásticos. As amostras controle (brancas) passaram pelo mesmo procedimento,

permitindo a comparação dos resultados e a verificação de possíveis contaminações externas. Esse processo garantiu que as análises fossem feitas de forma padronizada e livre de contaminantes externos.

A identificação das partículas plásticas foi realizada em duas etapas. Primeiramente, as amostras foram inspecionadas visualmente utilizando um microscópio estereoscópio Olympus SZX18 (Figura 7B), acoplado a uma câmera digital Olympus DP73. Durante a inspeção, as partículas encontradas foram classificadas de acordo com suas características morfológicas (fragmentos, pellets ou fibras) e coloração. Cada partícula foi fotografada, medida e organizada em filtros de fibra de vidro limpos, sendo separadas por espécie e período de coleta.

Figura 7. Em **A**: exemplares de filtros de fibra de vidro após processo de filtração das amostras em; em **B**: microscópio estereoscópio Olympus SZX18, Brasil, 2025.



Fonte: Autoria própria (2025)

Laboratório Multiusuário de Estudos em Biologia da UFSC (LAMEB)

Após as análises de inspeção visual, as amostras foram enviadas para análise no Laboratório de Processos Ambientais e Contaminantes Emergentes (LAPACE) da

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), para a identificação química das partículas plásticas por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). As análises foram realizadas no modo reflectância atenuada (FTIR-ATR), utilizando o microscópio Nicolet-6700 / Continuum da Thermo Scientific, na faixa de 4000 a 600 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} , 128 varreduras e velocidade óptica de 1,89. A utilização de espectroscopia proporcionou informações detalhadas sobre a natureza química das partículas, permitindo a identificação precisa dos polímeros presentes e minimizando erros que poderiam ocorrer com base apenas na análise visual.

A técnica de espectroscopia FTIR foi essencial para reduzir a margem de erro durante a análise, a técnica permitiu distinguir com maior precisão as diferentes categorias de plásticos (como polietileno (PE), polipropileno (PP) e policloreto de vinila (PVC) presentes nas amostras. Esse método espectroscópico também permitiu avaliar os polímeros de forma qualitativa, oferecendo uma caracterização química das partículas, o que é fundamental para compreender a origem e a composição dos plásticos ingeridos pelas espécies estudadas.

4.7 Tratamento Estatístico dos Dados

A normalidade das variáveis, peso corporal, comprimento total e quantidade de plásticos ingeridos, foi avaliada pelo teste de Shapiro Wilk. Como a maioria não apresentou distribuição normal ($p < 0,05$), aplicaram-se testes não paramétricos. As comparações entre períodos sazonais (estiagem vs. chuvoso) e entre espécies foram conduzidas pelo teste de Mann–Whitney. As diferenças na prevalência de indivíduos contaminados foram avaliadas pelo teste exato de Fisher, e a correlação entre o peso úmido do trato gastrointestinal (SGI) e a quantidade de plásticos ingeridos foi determinada pelo coeficiente de Spearman. Todas as análises estatísticas foram realizadas no RStudio (v. 4.3.1).

Os resultados foram descritos por mediana e intervalo interquartil, além de frequências relativas de cores, morfologias e tipos de partículas. A composição dos polímeros ingeridos foi analisada a partir das contagens individuais por tipo (poliamida, polipropileno, polietileno, poliuretano, poliéster, poliestireno e ACPs/Rayon), transformadas pelo método de Hellinger. A dissimilaridade de Bray Curtis foi utilizada para a ordenação por Escalonamento Multidimensional Não Métrico (NMDS), e as diferenças entre espécies e períodos sazonais foram testadas por PERMANOVA (*Permutational Multivariate Analysis of Variance*). O nível de significância adotado foi $p < 0,05$.

4.8 Fator de Risco

4.8.1 Avaliação do potencial de risco dos polímeros

A avaliação do potencial de risco ecotoxicológico dos polímeros identificados foi realizada com base na abordagem de Lithner *et al.* (2011), que classifica os polímeros conforme a toxicidade dos monômeros, o uso de aditivos perigosos e o potencial de liberação de compostos tóxicos. Essa classificação foi complementada por Andradý (2017), Groh *et al.* (2018) e Hahladakis *et al.* (2018), considerando persistência ambiental, adsorção de contaminantes e degradação química. Os polímeros identificados por μ -FTIR foram enquadrados em três categorias de risco ecotoxicológico (baixo, moderado ou alto), conforme o Hazard Score de Lithner *et al.* (2011), que reflete a periculosidade química dos monômeros e o potencial de bioacumulação indireta de poluentes orgânicos persistentes (POPs), fármacos e metais pesados. O Índice de Risco Ambiental Relativo (RR_{env}) foi calculado para estimar o risco ecotoxicológico cumulativo, integrando a frequência de ocorrência e o grau de risco de cada tipo de polímero, conforme a expressão adaptada de Lithner *et al.* (2011):

$$RR_{env} = \sum_{i=1}^n (f_i \times R_i)$$

onde:

f_i = frequência relativa (%) do polímero i ;

R_i = fator de risco atribuído (1 = baixo; 2 = moderado; 3 = alto);

n = número total de polímeros identificados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desta dissertação foram organizados em formato de artigo científico e submetidos ao periódico “*Journal of Contaminant Hydrology*”, sob o manuscrito de número: CONHYD-D-25-01285, intitulado “*Occurrence of plastics in freshwater fish associated with fishing gear in eastern Amazonia*”. O periódico integra a área de Ciências Ambientais e Recursos Hídricos, possui fator de impacto de 4,4 e, na última avaliação do Qualis/CAPES 2021-2024, está classificado como A2 no estrato de periódicos científicos.

ARTIGO

Occurrence of plastics in freshwater fish associated with fishing gear in eastern Amazonia

Verdson Frazão Ferreira^{a*}, Diego José Nogueira^b, Natália Jovita Pereira^a, Cauã Farias Trindade Lins^a, Marianna D'Marco Araújo Laranja Pinto^a, Claudinéia Damaceno^b, Aline Conceição de Oliveira da Silva^b, Miguel Saldaña-Serrano^b; Afonso Celso Dias Bainy^b, Raimara de Souza Gomes^c, Andreia Neves Fernandes^c, Débora Martins Silva Santos^a.

Affiliations

^a Department of Biology, State University of Maranhão (UEMA), São Luís, MA, 65055-970, Brazil.

^b Laboratory of Biomarkers of Aquatic Contamination and Immunochemistry-LABCAI, Federal University of Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, SC, 88034-257, Brazil.

^c Institute of Chemistry, Federal University of Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, RS 91501-970, Brazil

*Corresponding Author: Verdson Frazão Ferreira – pesquisampsmestrado@gmail.com

Graduate Program in Ecology and Biodiversity Conservation, Department of Biology, State University of Maranhão (UEMA), São Luís, MA, 65055-970, Brazil. Telephone: (+55) (98) 2016-8100

Abstract

The presence of plastic particles in aquatic ecosystems poses increasing challenges to biodiversity conservation and environmental quality. This study investigated the occurrence, types, and polymeric composition of plastic particles ingested by two fish species, *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus*, in Lake Viana, Maranhão, Brazil, assessing the influence of local anthropogenic sources. Sampling campaigns were conducted during the dry

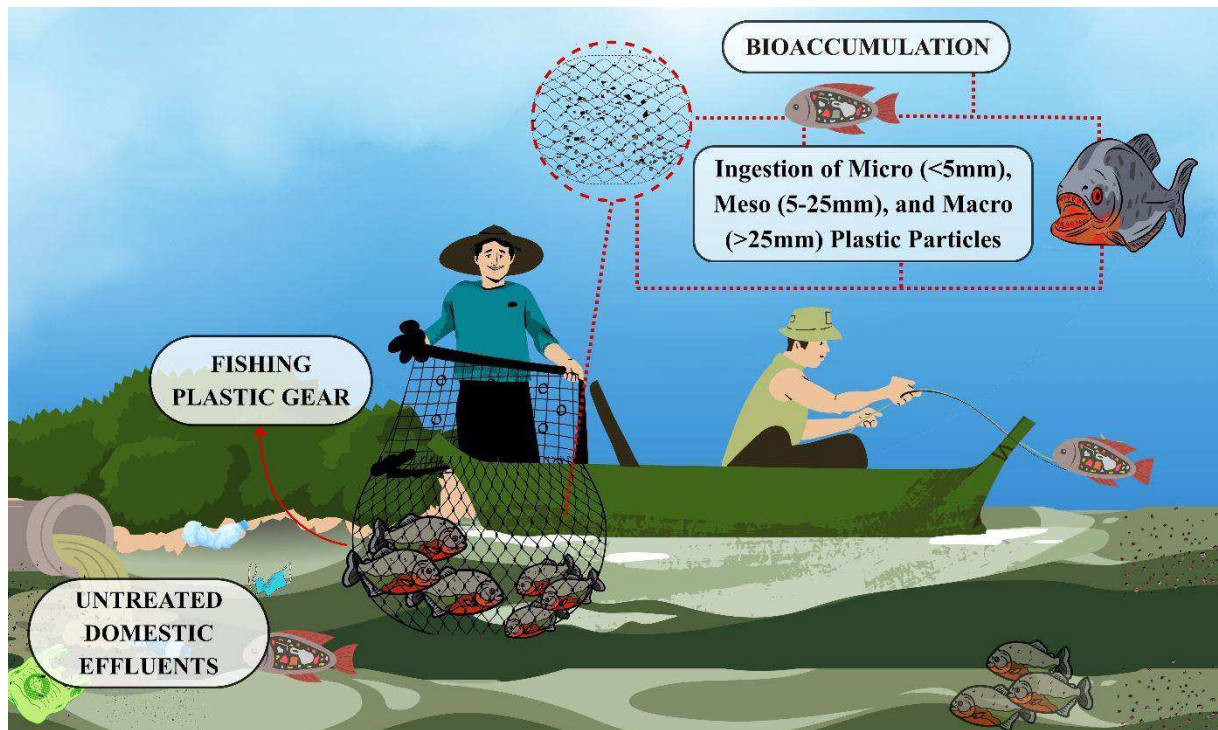
and wet seasons of 2024. Plastic particles were extracted through alkaline digestion, physically characterized under a stereomicroscope, and analyzed for polymer composition using μ -FTIR spectroscopy. The potential toxicity of the identified polymers was classified according to ecotoxicological risk categories. Both species contained plastic particles in their gastrointestinal tracts, with no significant differences between seasons or species. Polyamide (PA) was the most frequent polymer, followed by Rayon (NACP), polypropylene (PP), and polyester (PES). The predominance of transparent and blue fibers (94–100%) indicates contributions from domestic effluents and degradation of fishing nets. The predatory behavior of *P. nattereri*, combined with the frequent tearing of nylon nets, likely contributes to the release of plastic fragments into the environment. Most polymers were classified as moderate risk; however, the presence of high-risk materials, such as polystyrene (PS) and polyurethane (PU), suggests potential for chronic contamination. These findings highlight Lake Viana as a retention and redistribution zone for plastic pollution and reinforce the need for integrated monitoring and management strategies in tropical lacustrine ecosystems.

Keywords: Eastern Amazonia; Plastic Pollution; Small-Scale Fisheries; Ecotoxicological Risk; Amazonian Fish.

Highlights

- Amazonian fish ingest microplastics from fishing gear and domestic effluents.
- Polyamide (PA) and semi-synthetic fibers are the most frequent polymers in fish.
- Moderate/high ecotoxicological risk of PS and PU in freshwater fish is evident.
- Plastic ingestion by fish did not vary between dry and rainy seasons.

Graphic Abstract



Introduction

The presence of plastics in terrestrial and aquatic ecosystems represents a persistent form of environmental pollution (Richon et al., 2023). The high durability and resistance of these materials to degradation promote their breakdown into particles of different sizes, commonly classified into five categories: nano (<1 mm), micro (<5 mm), meso (5–25 mm), and macro (>25 mm) (Thompson et al., 2004). This fragmentation increases their environmental availability and the likelihood of interactions with aquatic organisms (Law et al., 2024; Shankar et al., 2025). Over recent decades, the expansion of plastic consumption and disposal has become a major global environmental concern (Law et al., 2024; Richon et al., 2023).

Among the most relevant sources of plastic release into aquatic environments are fishing, industrial, and domestic activities (Law et al., 2024). Fishing nets and lines manufactured from synthetic polymers such as nylon, polyethylene, and polypropylene are widely used due to their mechanical strength and low cost (Shankar et al., 2025). When lost,

damaged, or improperly discarded, this equipment becomes a source of plastic debris collectively referred to as Abandoned, Lost, or Otherwise Discarded Fishing Gear (ALDFG), which is recognized as a significant contributor to both marine and freshwater plastic pollution (Kammann et al., 2023; Shankar et al., 2025).

Despite the growing body of research on the impacts of ALDFG in marine and coastal ecosystems, information on their occurrence and effects in freshwater environments, particularly in tropical regions, remains limited (Rijkure et al., 2024; Ssempijja et al., 2024). This gap is especially relevant in Brazil, which holds one of the largest freshwater reserves in the world and where inland fisheries and aquaculture have been rapidly expanding, suggesting potentially underestimated environmental impacts (Kammann et al., 2023; Ssempijja et al., 2024).

The Baixada Maranhense, located within the Amazon biome and designated a Ramsar Site since 2000, is characterized by extensive lakes and seasonally flooded plains that support high biological diversity and sustain traditional and riverine communities (Haddad et al., 2024; Machado & Pinheiro, 2016; MMA, 2016). Lake Viana, the principal waterbody in the municipality of Viana (MA), the 22nd most populous in the state, with over 50,000 inhabitants (IBGE, 2022), hosts intense artisanal fishing activity and constitutes an important source of food and income for the local population (Calazans et al., 2021; Carvalho et al., 2021).

Despite its ecological and socioeconomic importance, the municipalities within the Environmental Protection Area (APA) face substantial anthropogenic pressures. The state of Maranhão ranks among the most severe in sanitation infrastructure and has the third-highest proportion of residents without access to sewage collection, exceeding 85%. Viana is among the municipalities with the greatest deficiencies in basic sanitation and solid waste management. Only 7% of its population has access to a sewage system, and approximately 41% lack regular

waste collection services (IBGE, 2022; SNIS, 2023). The discharge of untreated domestic effluents, combined with riparian vegetation removal, irregular solid waste disposal, predatory fishing in lakes and streams, and the continuous use of degraded fishing gear, contributes to the accumulation of plastic particles in this aquatic ecosystem (Castro, 2021; Chakraborty et al., 2021; Sousa et al., 2021).

Artisanal fishing is one of the main economic activities in Maranhão, with more than 260,000 registered fishers (Brasil-MPA, 2025). The Baixada Maranhense hosts the largest lacustrine complex in northeastern Brazil, which supplies a substantial portion of the artisanal fish consumed in the state. The most commonly harvested species include *Cetengraulis edentulus*, *Hypostomus plecostomus*, *Plagioscion squamosissimus*, *Prochilodus nigricans*, and *Pygocentrus nattereri* (Sousa et al., 2021; Carvalho et al., 2021).

Growing anthropogenic pressures in the region directly affect water and soil quality, exposing aquatic organisms to multiple contamination sources, particularly solid waste and plastic debris originating from fishing activities and urban disposal (Bertora et al., 2022; Chakraborty., 2021; Ferreira et al., 2021). In this context, the present study evaluated the ingestion of plastic particles by *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus* in Lake Viana, examining the occurrence and polymer composition of ingested plastics in relation to local fishing practices. In addition to identifying polymer types, the study assessed associated ecotoxicological risks, providing scientific evidence to support monitoring efforts and sustainable management of this Amazonian lacustrine ecosystem.

The ecological and socioeconomic relevance of Lake Viana also supports the incorporation of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) into the study context, particularly those related to water quality (SDG 6), waste management (SDG 12), and the protection of aquatic and terrestrial ecosystems (SDGs 14 and 15) (Angmo et al., 2025; UN,

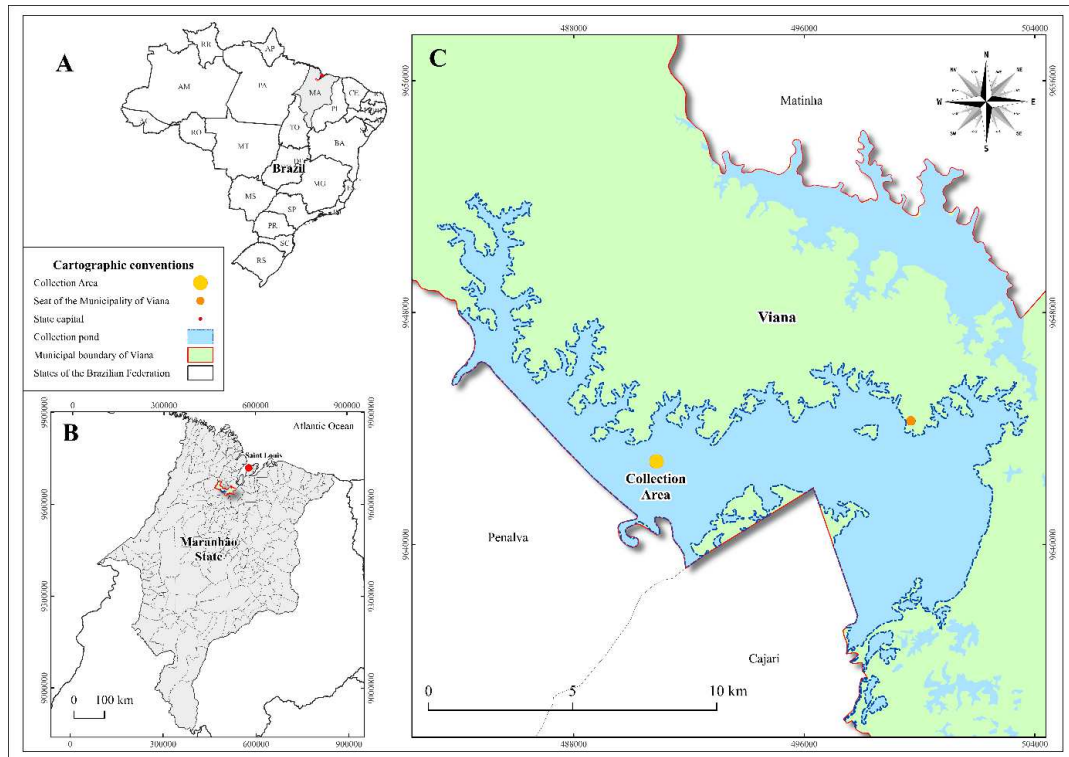
2015, p.12). In a global which plastic contamination has become a pervasive environmental challenge (Angmo et al., 2025), understanding its effects in historically overlooked environments such as Lake Viana is essential for safeguarding biodiversity and ensuring the well-being of the human communities that depend on this ecosystem.

Materials and Methods

Study Area Characterization

Fish were collected at a single sampling point in Lake Viana, Maranhão, Brazil (3°12'.658"S; 44°58'.566"W), located in an area distant from the urban zone and characterized by relatively higher environmental preservation (**Figure 1**). Sampling was conducted during two field campaigns, in June and October 2024, corresponding to the regional rainy and dry seasons, respectively. In each campaign, 21 individuals of *Pygocentrus nattereri* and 13 of *Hypostomus plecostomus* were obtained, totaling 34 specimens per period. These months were selected to capture hydrological and ecological variation associated with seasonal dynamics in the region. Fish were captured by local fishers using metal traps (**Figure S1**). To prevent interference with analyses of plastic contamination, no polymer-based fishing gear or handling materials were used during collection and processing.

All capture, handling, and euthanasia procedures are performed by spinal transection, followed by current ethical and legal standards. The experimental protocol was approved by the Animal Ethics Committee of the State University of Maranhão (UEMA; protocol no. 044/25, **Supplementary Material**) and authorized by the State Secretariat for the Environment (SEMA; license no. A16-23, **Supplementary Material**) and the Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation (ICMBio; process no. 69518-8, **Supplementary Material**), in accordance with Brazilian regulations governing animal welfare and scientific research.



Sample processing in the laboratory

After euthanasia, biometric measurements of the specimens were recorded, including total length, standard length, and body weight (**Table 1**). Necropsy was then performed to remove the gastrointestinal tract, using a glass board to ensure proper hygiene and handling conditions. The tissues were wrapped in aluminum foil previously washed with filtered water to minimize contamination risk and stored at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ until plastic contamination analyses.

Plastic particle extraction followed the alkaline digestion method described by Dehaut et al. (2016), with minor modifications. The gastrointestinal tract was digested in glass flasks containing 10% potassium hydroxide (KOH) solution at a 10:1 ratio (mL KOH per wet tissue weight). The flasks were covered and incubated at $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ under orbital agitation at 160 rpm for 12 hours. After digestion, the samples were filtered through glass fiber membranes (pore size: $1.6\text{ }\mu\text{m}$; diameter: 47 mm) using a vacuum filtration system. The filters were then transferred to pre-cleaned Petri dishes for further analysis.

Particle identification was performed in two stages. First, plastic particles were examined under a stereomicroscope (Olympus SZX18) equipped with a digital camera (Olympus DP73) and classified according to type (fragments, pellets, or fibers) and color. Subsequently, chemical analyses were carried out using Fourier-transform infrared spectroscopy coupled to a microscope (μ -FTIR; Nicolet 6700/Continuum, Thermo Scientific), operating from 4000 to 600 cm^{-1} in reflectance mode, with a silver-coated metal plate, spectral resolution of 4 cm^{-1} , 128 scans, and optical velocity of 1.89 (Bertoldi et al., 2023). All particle spectra were compared against the instrument's internal library and validated using the virtual Open Specy database (<https://openanalysis.org/openspecy/>). Spectra with a match confidence greater than 70% were considered reliable and included in the dataset. In addition, for spectra with a match of 60–70%, the core polymer structure was characterized by key diagnostic peaks, and the spectra align qualitatively with the known characteristics of polymers. Cellulose based materials such as rayon and cellophane, which undergo industrial processing, were classified into a specific category: Natural and Artificial Cellulosic Particles (NACP), following the approach proposed by Santana et al. (2025).

To prevent contamination during the digestion and screening procedures, all instruments were washed with deionized water that had been triple-filtered through Whatman GF/F glass microfiber filters (1.2 μm). The KOH solution underwent the same triple-filtration process before being stored in glassware previously cleaned with alcohol and dried in an oven. The number of people inside the laboratory was kept to a minimum, and researchers wore cotton lab coats and nitrile gloves. Petri dishes containing moistened glass-fiber filters were left open in the laboratory as airborne contamination controls; these blank samples underwent the same experimental procedures, allowing the detection of potential external interferences. All these measures ensured analytical standardization and the reliability of the results.

Risk Analysis

The assessment of the ecotoxicological risk potential of the identified polymers followed the approach proposed by Lithner et al. (2011), which classifies polymers according to monomer toxicity, the use of hazardous additives, and the likelihood of releasing toxic compounds. This classification was complemented by recent advances demonstrating that plastics and their additives can migrate, leach, and exert toxicity depending on polymer composition, environmental aging processes, and the presence of chemical additives widely used during manufacturing (Casagrande et al., 2024; Luo et al., 2022; Wiesinger et al., 2021). Additional evidence shows that chemicals associated with plastics including plasticizers, stabilizers, and flame retardants can be transferred to aquatic organisms and incorporated into biological matrices, raising concerns about indirect exposure pathways and long-term ecological impacts (Conti et al., 2021; Kühn & Booth, 2020).

The polymers identified by μ -FTIR were categorized into three ecotoxicological risk levels (low, moderate, or high) according to the Hazard Score established by Lithner et al. (2011), which reflects both monomer hazardousness and the potential for indirect bioaccumulation of persistent organic pollutants (POPs), pharmaceuticals, and heavy metals. This is further supported by expanded toxicological frameworks that quantify the ecotoxicity of additives and their implications for aquatic biota (Tang et al., 2022) as well as by updated assessments of additive-related risk within environmental and regulatory contexts (Mahire et al., 2023).

The Relative Environmental Risk Index (RR_{env}) was calculated to estimate cumulative ecotoxicological risk by integrating the occurrence frequency and risk level of each polymer type, following the expression adapted from Lithner et al. (2011):

$$RR_{env} = \sum_{i=1}^n (f_i \times R_i)$$

Where:

f_i = relative frequency (%) of polymer i ;

R_i = assigned risk factor (1 = low; 2 = moderate; 3 = high);

n = total number of polymers identified.

Statistical Analyses

The normality of the variables, body weight, total length, and number of ingested plastic particles, was assessed using the Shapiro–Wilk test. Because most variables did not follow a normal distribution ($p < 0.05$), non-parametric tests were applied. Comparisons between seasonal periods (dry vs. rainy) and between species were performed using the Mann–Whitney test. Differences in the prevalence of contaminated individuals were evaluated using Fisher’s exact test, and the correlation between the wet weight of the gastrointestinal tract (WGI) and the number of ingested particles was determined using Spearman’s rank coefficient. All statistical analyses were performed in RStudio (v. 4.3.1).

Results were described using medians and interquartile ranges, as well as relative frequencies of particle colors, morphologies, and types. The composition of ingested polymers was analyzed from individual counts by polymer type (polyamide, polypropylene, polyethylene, polyurethane, polyester, polystyrene, and rayon (NAPC)), transformed using the Hellinger method. Bray–Curti’s dissimilarity was used for ordination through Non-metric Multidimensional Scaling (NMDS), and differences between species and seasonal periods were tested with PERMANOVA (*Permutational Multivariate Analysis of Variance*). A significance level of $p < 0.05$ was adopted.

Results

Biometric analysis of *Pygocentrus nattereri* showed that individuals collected during the rainy season exhibited significantly greater total length compared to those collected during the dry season ($U = 75.5$; $p < 0.001$; $r = 0.56$), although body weight did not differ significantly between periods ($U = 222.5$; $p = 0.970$) (**Table 1**). Plastic ingestion was markedly higher during the dry season, with 41 particles recorded, compared with 18 during the rainy season. Despite this difference in total quantity, the prevalence of contaminated individuals remained statistically similar between seasons, 61.9% in the dry season and 57.1% in the rainy season ($p = 1.00$) (**Table 1**).

In *P. nattereri*, although body weight did not differ significantly between seasons, total length was greater during the rainy period (**Table 1**). Plastic particle ingestion was higher in the dry season, both in terms of total particle count and the number of particles per gram of gastrointestinal tract (WGI) (**Table 1**). Only during the dry season was a positive and significant correlation observed between WGI weight and the number of ingested particles ($\rho = 0.630$; $p = 0.002$) (**Table 1**).

For *H. plecostomus*, biometric parameters and the number of ingested particles showed no significant seasonal differences ($p > 0.05$) (**Table 1**). The prevalence of plastic particle contamination remained constant, with 38.5% of sampled individuals containing particles in both periods. Unlike *P. nattereri*, no significant correlation was found between WGI weight and plastic particle ingestion in either season (**Table 1**). In the interspecific analysis, the number of particles ingested per fish did not differ significantly between the two species at any of the evaluated time points ($p > 0.05$).

Table 1. Biometric data (mean $\pm$ standard deviation) and occurrence of plastics in *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus*.

Species / Period	N	WT (g) (mean $\pm$ SD)	TL (cm) (mean $\pm$ SD)	Fish with particles	Number of particles	Plastics/Fish	Plastics/WGI (g)
<i>P. nattereri</i> – Dry season	21	87,48 $\pm$ 13,80 ^{aa}	14,78 $\pm$ 0,89 ^{aa}	13	41	1,95	11,67 (WGI:3.51 $\pm$ 1.35g)
<i>P. nattereri</i> – Rainy season	21	87,52 $\pm$ 22,80 ^{aa}	16,29 $\pm$ 0,52 ^{ab}	12	18	0,86	3,14 (WGI:5.73 $\pm$ 2.14g)
<i>H. plecostomus</i> – Dry season	13	95,23 $\pm$ 13,73 ^{aa}	19,69 $\pm$ 2,38 ^{aa}	5	11	0,85	1,66 (WGI:6.63 $\pm$ 2.50g)
<i>H. plecostomus</i> – Rainy season	13	115,23 $\pm$ 45,02 ^{aa}	21,61 $\pm$ 3,37 ^{aa}	5	9	0,69	1,43 (WGI:6.32 $\pm$ 1.88g)

WT = body weight (g); TL = total length (cm); WGI = wet gastrointestinal tract. Plastics per WGI (g) = number of particles per gram of wet gastrointestinal tract. Means followed by the same letter do not differ significantly ($p > 0.05$); different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

Morphology, size, and color of ingested plastic particles

The morphological analysis of ingested plastic particles revealed an overwhelming predominance of fibers in both species and across both seasonal periods (**Table 2**). In *P. nattereri*, fibers accounted for 94.7% of the particles during the dry season and 88.9% during the rainy season. For *H. plecostomus*, this dominance was even more pronounced, with fibers representing 90.9% of all particles in the dry season and constituting the only morphological type found in the rainy period (100%).

Regarding particle coloration (**Figure 2A**), transparent fibers were the most frequent in *P. nattereri* during the dry season (65.8%). In contrast, in the rainy season, the distribution was more balanced between transparent (38.9%) and black particles (33.3%). In *H. plecostomus*, color diversity was lower. Transparent and blue particles predominated in the dry season, while blue fibers were the most common during the rainy period (55.6%) (**Figure 2A**).

Table 2. Frequency of occurrence of plastic particle forms ingested by *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus*.

Species / Period	Class / Type	N	%
<i>P. nattereri</i> – Dry season	Fiber	36	94,7%
	Fragment	2	5,3%
<i>P. nattereri</i> – Rainy season	Fiber	16	88,9%
	Fragment	2	11,1%
<i>H. plecostomus</i> – Dry season	Fiber	10	90,9%
	Fragment	1	9,1%
<i>H. plecostomus</i> – Rainy season	Fiber	9	100%
	Fragment	0	0%

The size distribution of plastic particles varied seasonally between the species (**Figure 2B**). In *P. nattereri*, a shift in ingestion patterns was observed: mesoplastics were predominant during the dry season (55.3%), whereas macroplastics dominated in the rainy period (66.7%) (**Figure 2B**). For *H. plecostomus*, ingestion during the dry season was more evenly distributed between microplastics (36.4%) and mesoplastics (36.4%). In the rainy season, however, there was a clear predominance of microplastics (66.7%), with no macroplastics detected (**Figure 2B**).

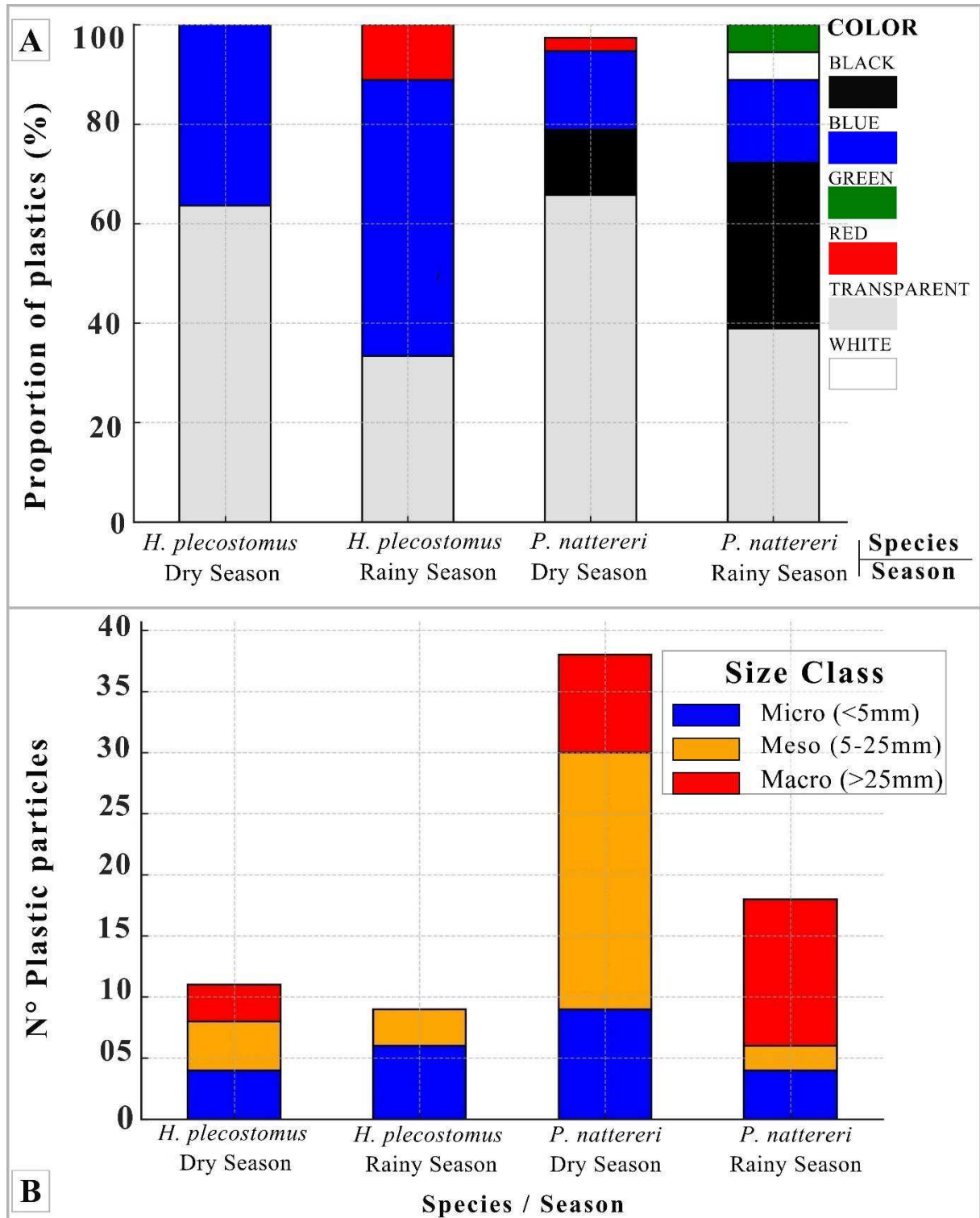


Figure 2. (A) Proportion (%) of plastic particle colors ingested by *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus* during the dry and rainy seasons. (B) Proportion of size classes of ingested plastic particles (Micro < 5 mm; Meso = 5–25 mm; Macro > 25 mm) in *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus* during the dry and rainy seasons.

Polymer Composition and Frequency

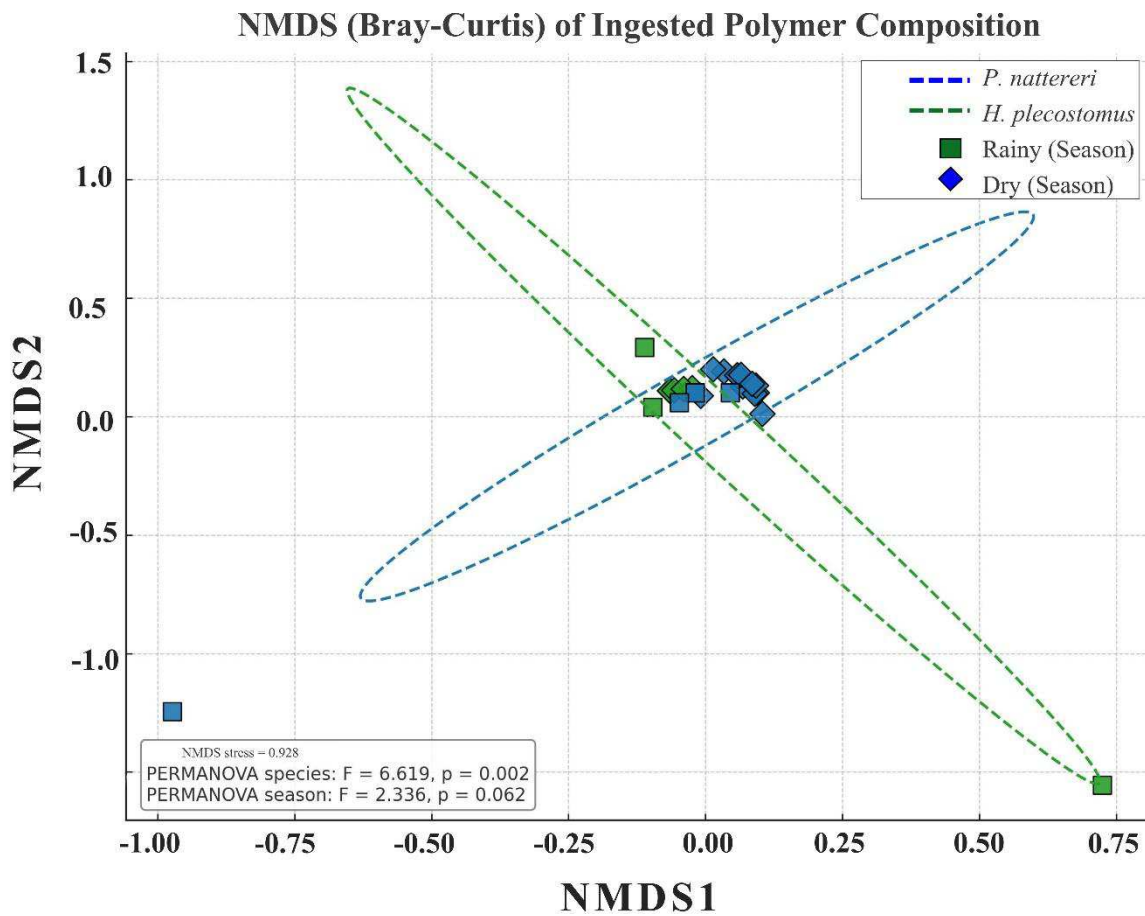


Figure 3. Non-metric multidimensional scaling (NMDS) of polymer composition (Bray–Curtis dissimilarity) in *Pygocentrus nattereri* (blue) and *Hypostomus plecostomus* (green) during the dry (square symbols) and rainy (diamond symbols) seasons. Ellipses represent 95% confidence intervals for each species. The overlap among groups indicates no significant differences in polymer composition between species or seasons (PERMANOVA, $p > 0.05$; stress < 0.2).

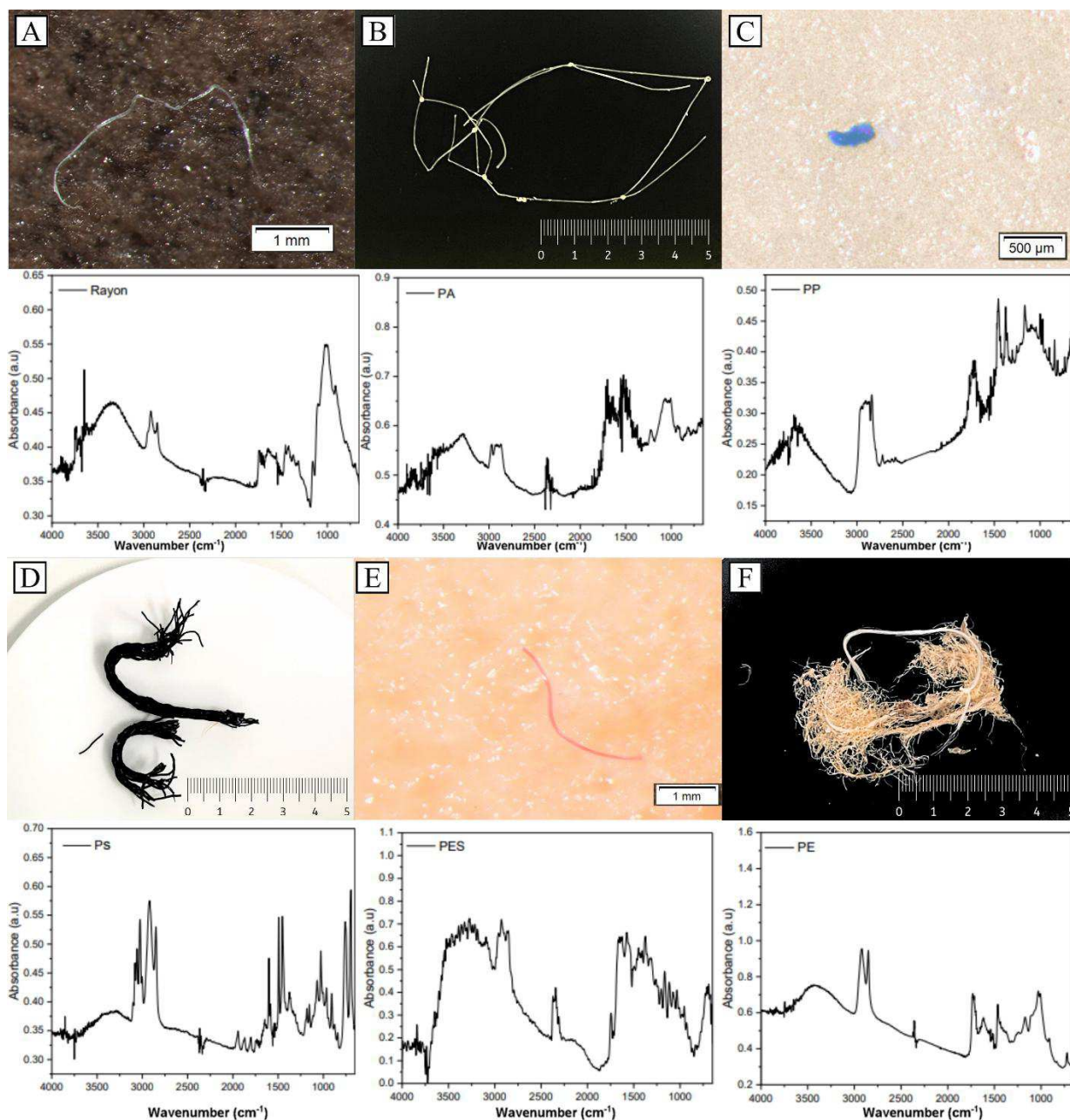


Figure 4. Plastic fragments isolated from the gastrointestinal tract of *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus* and their corresponding μ -FTIR spectra. The samples correspond to the following polymers: (A) rayon (NACP), (B) polyamide (PA), (C) polypropylene (PP), (D) polystyrene (PS), (E) polyester (PES), and (F) polyethylene (PE).

Potential Risk of the Identified Polymers

Polyamide (PA) was the most frequent polymer (51.9%), followed by rayon (24.1%) (Table 4). High-risk polymers such as polystyrene (PS) and polyurethane (PU) occurred at low frequencies (2.5% and 1.3%, respectively). The calculated Relative Environmental Risk Index (RR_{env}) for the polymer assemblage was 2.1, indicating a moderate environmental risk for the

contamination scenario in Lake Viana (**Table 4**).

Table 4. Ecotoxicological risk classification of polymers identified in *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus* from Lake Viana (MA, Brazil), 2025, based on the toxicity categories proposed by Lithner et al. (2011).

Polymer	Frequency (%)	Risk category (Lithner <i>et al.</i> , 2011)	Main ecotoxicological effects (Casagrande et al., 2024; Conti et al., 2021; Kühn, 2020; Luo et al., 2022; Tang et al., 2022; Wiesinger et al., 2021)	Exposure potential
Polyamide	51.9	Moderate	Adsorption of POPs and heavy metals; high environmental persistence.	High
Rayon (NACP)	24.1	Moderate	Persistence in anoxic environments; transport of adsorbed contaminants.	High
Polypropylene	10.1	Moderate	Adsorption of aromatic hydrocarbons; fragmentation into microplastics.	Medium
Polyester	8.9	Moderate – High	Release of microfibers and textile additives; adsorption of pharmaceuticals and metals.	Medium
Polystyrene	2.5	High	Release of styrene (neurotoxic and carcinogenic).	High
Polyethylene	1.3	Low–Moderate	High environmental persistence; low intrinsic toxicity.	Medium
Polyurethane	1.3	High	Release of isocyanates and toxic aromatic compounds.	High

Discussion

The results of this study indicate persistent plastic contamination in Lake Viana, as evidenced by the presence of particles in the gastrointestinal tracts of *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus*. The simultaneous exposure of species with predatory and benthic feeding habits demonstrates that plastic particles are available throughout the water column, reinforcing the role of tropical lakes as retention and accumulation environments for these contaminants (Dusaucy et al., 2021; Nava et al., 2023; Prata et al., 2021). These findings also align with global targets associated with the Sustainable Development Goals, particularly those aimed at reducing water pollution and improving waste management (SDGs 6 and 12). In regions such as the Baixada Maranhense, where fishing activities and inadequate sanitation infrastructure overlap, these guidelines underscore the need for local measures that reduce

improper waste disposal and promote less impactful fishing practices (Andrade et al., 2019; United Nations, 2015).

This study represents the first systematic assessment of plastic particle ingestion in fish from an Amazonian lake of international importance, located within an Environmental Protection Area designated as a Ramsar Site due to its ecological relevance and extensive interconnected lake systems that sustain high aquatic biodiversity (Ramsar Convention Secretariat, 2020). The study helps fill a knowledge gap that, until now, has been primarily addressed through investigations conducted in Brazilian rivers and coastal environments (Andrade et al., 2019; de Melo et al., 2025; Prata et al., 2021; Sarkar et al., 2020; Schmid et al., 2018). Compared to riverine systems, where water flow promotes the export of debris, lakes function as accumulation compartments, increasing particle residence time and the associated biological exposure (Nava et al., 2023; Dusaucy et al., 2021). This hydrological distinction helps explain the persistence and spatial homogeneity observed in Lake Viana (Sarkar et al., 2020; Wang et al., 2021).

Although the prevalence of ingestion was similar across species and seasons, the higher particle abundance in *P. nattereri* during the dry period suggests that hydrological fluctuations modulate the availability and concentration of plastic particles. The reduction in water volume during the dry season promotes the accumulation of floating and suspended particles, while the intensification of artisanal fishing during this period contributes to the release of synthetic fibers through the abrasion and fragmentation of nylon nets (Dhanker et al., 2024; Prata et al., 2021). The combination of these factors increases particle density and the likelihood of ingestion, a pattern also reported in floodplain and tropical estuarine ecosystems under strong fishing influence (Bezerra-Neto *et al.*, 2024; Cardoso et al., 2023). These findings are consistent with studies describing the role of seasonal variation in the redistribution of plastic particles in tropical ecosystems, particularly during periods of reduced water renewal (Bhatt et al., 2023).

The positive correlation between gastrointestinal tract mass and the number of ingested particles in *P. nattereri* indicates that feeding behavior plays a key role in exposure. Predatory species may ingest plastic particles both directly, by mistaking them for prey, and indirectly, through the consumption of contaminated organisms or items entangled in fishing gear (Bezerra-Neto et al., 2024; Bhatt et al., 2023; Cardoso, 2023; Prata et al., 2021). This process suggests that predators act as secondary dispersal vectors. This dynamic, still poorly explored in tropical lakes, raises the hypothesis that ingestion by predators may contribute not only to trophic transfer but also to mechanical particle fragmentation during digestion, thereby increasing the availability of microfibers in the environment (Bhatt et al., 2023; Nava et al., 2023).

The interspecific differences observed here reflect the distinct ecological strategies of the two species. *P. nattereri*, an opportunistic predator with high mobility (Bezerra-Neto et al., 2024, Cardoso, 2023), exhibited a greater abundance of ingested plastic particles, likely due to its frequent interaction with suspended particles and prey-associated debris. In contrast, *H. plecostomus*, a benthic detritivore characteristic of sandy and muddy substrates (Rocha-Reis et al., 2021), ingested predominantly sediment-associated particles. Contrary results were reported by Subramaniam et al. (2023) in tropical Indian ecosystems, where benthic species exhibited higher rates of plastic ingestion than pelagic taxa. Although Rubio-Vargas et al. (2024) did not directly assess plastic ingestion, their multispecies biomarker evaluation in the Iguaçú River reservoir highlights differential physiological responses among fish taxa that may reflect contrasting exposure pathways. The divergence observed in Lake Viana suggests that, in Amazonian lentic environments, local factors, such as high intensity of artisanal fishing and the increased availability of suspended particles during the dry season, may elevate exposure for mobile predators, thereby reversing the pattern commonly described in fluvial and estuarine systems (Bhatt et al., 2023; Rubio-Vargas et al., 2024; Subramaniam et al., 2023). This

evidence reinforces that feeding behavior and hydrological structure interact in complex ways to determine the assimilation of plastic pollutants across trophic levels, expanding the understanding of exposure mechanisms in tropical Amazonian lakes (Silva-Cavalcanti et al., 2017; Bhatt et al., 2023).

Nevertheless, the compositional similarity of polymers between the two species indicates exposure to shared sources and pathways of contamination within the environment, confirming the systemic nature of plastic pollution in Lake Viana. Similar patterns have been reported in lakes and reservoirs monitored globally (Nava et al., 2023; Dusaucy et al., 2021; Popova, 2024). These studies demonstrate that compositional homogeneity among species with distinct feeding strategies reflects the diffuse distribution of plastic particles throughout the entire water column, resulting from low hydrological renewal and internal particle recirculation in lentic ecosystems.

The composition and characteristics of the particles provide consistent evidence of the primary sources of contamination. The predominance of transparent and blue fibers, mostly composed of polyamide (PA), is associated with the intensive use of nylon fishing nets and lines widely employed in local artisanal fisheries (Dhanker et al., 2024; Weis et al., 2022; Prata et al., 2021). The degradation of these gear items through mechanical abrasion, solar radiation, predation, and repeated use results in continuous fiber release into both the water column and sediments, a phenomenon documented in other inland ecosystems (Sarkar et al., 2020; Bhatt et al., 2023).

The high occurrence of rayon fibers suggests an additional domestic contribution related to household effluents. Although derived from cellulose, rayon is classified as a relevant anthropogenic fiber because its industrial processing involves chemical additives that enhance environmental persistence and the capacity to adsorb contaminants (Weis et al., 2022; Stelzer et al., 2025). Its elevated frequency in this study indicates local deficiencies in basic sanitation

and the overlap of fishing and urban pressures, a pattern characteristic of Amazonian riparian systems (SNIS, 2023).

The combined assessment of particle colors, types, and chemical composition further reinforces this interpretation. Blue and transparent fibers are frequently associated with fishing nets and lines, whereas other hues and finer fibers indicate textile and urban sources (Weis et al., 2022; Sarkar et al., 2020). Thus, the observed composition reflects the interaction between two predominant sources, artisanal fisheries and domestic effluents, and confirms the multifactorial nature of plastic pollution in Amazonian lentic ecosystems. This relationship highlights the need for integrated environmental management measures and public policies to reduce plastic waste disposal and expand sanitation infrastructure (SNIS, 2023; Weis et al., 2022).

The types of polymers identified and their respective risk categories highlight the ecological risks present in the system (Lithner et al., 2011). Moderate-risk polymers such as PA, PP, PES, and rayon were the most frequent, while high-risk materials including polystyrene (PS) and polyurethane (PU) were less common but remain concerning due to the release of toxic monomers and their capacity to adsorb persistent organic pollutants and heavy metals (Lithner et al., 2011; Wiesinger et al., 2021). Evidence shows that the release of plastic additives, particularly as polymers undergo environmental aging, enhances both the toxicity and mobility of chemical compounds, thereby increasing their hazard to aquatic organisms (Luo et al., 2022; Casagrande et al., 2024).

Additionally, the transport and trophic transfer of these additives can elevate ecotoxicological risks and contribute to sublethal effects, as reported in aquatic systems contaminated by plastics (Kühn and Booth, 2020; Tang et al., 2022). The ingestion of these materials by commercially important species, combined with the reliance of riparian communities on fish for food, suggests a potential threat to food safety, especially considering

cumulative exposure (Lima et al., 2024; Nava et al., 2023). Altogether, these results indicate that hydrodynamic and biological processes interact synergistically to regulate the retention and movement of plastic particles within the lake.

Based on the observed patterns, we propose an integrated set of mechanisms that explain the origin and fate of plastic pollutants in Lake Viana. The progressive fragmentation of fishing nets and gear emerges as the primary source of synthetic fibers. At the same time, annual hydrological fluctuations modulate the transport of these particles, promoting partial export during the high-water period and concentration during the dry season (Sarkar et al., 2020; Nava et al., 2023; Ramos et al., 2025). Additionally, predatory species may act as redistribution agents, ingesting and mechanically fragmenting particles, thereby contributing to their dispersal and persistence within the system (Dusaucy et al., 2021). These processes are also influenced by water renewal dynamics and seasonal connectivity with small tributaries and floodplain fields, reinforcing the role of Amazonian lakes as intermediate retention zones between urban areas and major rivers (Lima et al., 2024; Nava et al., 2023; Dusaucy et al., 2021). In summary, these mechanisms indicate that Amazonian lakes function not only as receivers but also as transformers and recirculators of plastic pollution.

The results of this study have direct implications for environmental management and the sustainability of artisanal fisheries in the region. Mitigating plastic contamination requires integrated actions, including the collection and recycling of damaged fishing nets, the promotion of biodegradable materials in fishing activities, and the strengthening of public policies related to basic sanitation. Environmental education programs targeting fishing communities may reduce improper disposal and enhance local engagement in the conservation of aquatic resources (Prata et al., 2021; SNIS, 2023; UNEP, 2024). These findings underscore the importance of coordinated strategies involving research, management, and community participation to mitigate plastic pollution in Amazonian lentic environments and to promote

more sustainable fishing practices. In this context, Lake Viana stands as a useful model for understanding the processes of generation, transport, and retention of plastic particles and adsorbed pollutants in tropical lakes.

Conclusion

This study provides the first integrated assessment of plastic contamination in two fish species from an internationally important Amazonian lake designated as a Ramsar Site. The results indicate persistent plastic pollution in Lake Viana, primarily driven by the degradation of fishing nets and the release of textile fibers from domestic effluents. The presence of particles in the gastrointestinal tracts of *Pygocentrus nattereri* and *Hypostomus plecostomus* demonstrates the broad availability of plastics throughout the water column, highlighting Amazonian lakes as environments that retain and redistribute synthetic debris.

The predominance of polyamide and rayon fibers, together with the detection of polymers with moderate to high ecological risk, highlights the overlapping influence of fisheries-related and urban sources and underscores the potential for cumulative impacts on biota and local food security. In this context, Lake Viana emerges as a key system for understanding the dynamics and effects of plastics in tropical lentic ecosystems. Future studies should incorporate broader temporal assessments and detailed ecotoxicological analyses to support the development of management strategies and more effective mitigation measures to address plastic pollution in the Amazon.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have influenced the work reported in this paper.

Data availability

Data will be made available on request.

Acknowledgments

This work was funded by the Coordination of Improvement of Higher Education Personnel (CAPES). We would like to thank the staff of the Multiuser Laboratory of Biology Studies (LAMEB) at the Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil for assistance with microscopy analysis. ACDB is a recipient of CNPq productivity fellowship.

References

- Andrade, M.C., Winemiller, K.O., Barbosa, P.S., Fortunati, A., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Giarrizzo, T., 2019. First account of plastic pollution impacting freshwater fishes in the Amazon: Ingestion of plastic debris by piranhas and other serrasalmids with diverse feeding habits. *Environmental Pollution* 244, 766–773. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.088>
- Angmo, S., et al., 2025. Microplastics in fish: An emerging environmental challenge. In: *Microplastics: Ecological and food security implications*. Springer, pp. 221–244. https://doi.org/10.1007/978-3-031-94480-2_9
- Bertora, A., Grosman, F., Sanzano, P., Rosso, J.J., 2022. Combined effects of urbanization and longitudinal disruptions in riparian and in-stream habitat on water quality of a prairie stream. *Knowl Manag Aquat Ecosyst* 15. <https://doi.org/10.1051/kmae/2022015>
- Bertoldi, C., Lara, L.Z., Fernandes, A.N., 2023. Revealing microplastic dynamics: the impact of precipitation and depth in urban river ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research* 30, 111231–111243. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30241-0>
- Bezerra-Neto, E.B., Garcez, R., Alves, J.A., 2024. Dieta e distribuição sazonal das populações de piranhas no rio São Miguel, Rondônia, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca* 50, e926. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2024.50.e926>
- Bhatt, V., Badola, N., Semwal, D., Chauhan, J.S., 2023. Status of microplastic pollution in freshwater ecosystems. In: *Current status of fresh water microbiology*. Springer Nature, Singapore, pp. 161–179. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5018-8_7
- Brasil – Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), 2025. Painel Unificado do Registro Geral da Atividade Pesqueira. Available at: <https://www.gov.br/mpa/pt-br/assuntos/cadastro-registro-e-monitoramento/painel-unificado-do-registro-geral-da-atividade-pesqueira> (accessed 26 November 2025).
- Calazans, A.M., et al., 2021. Lentic and lotic environments affect morphological diversity in

Characiformes fishes in the Neotropical São Francisco River Basin, Brazil. *Environmental Biology of Fishes* 104, 977–987. <https://doi.org/10.1007/s10641-021-01131-6>

Cardoso, A.L., 2023. Plastic ingestion by carnivore fish in a neotropical floodplain: Seasonal and interspecific variations. *Environmental Science and Pollution Research* 30, 40712–40723. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25135-0>

Cardoso, T., Costa, M.F., Silva, C.P., Pereira, J., et al., 2023. Influence of artisanal fishing activities on microplastic pollution in tropical estuaries. *Marine Pollution Bulletin* 194, 115204. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115204>

Carvalho, I.F.S., Cantanhêde, L.G., Diniz, A.L.C., Carvalho-Neta, R.N.F., Almeida, Z.S., 2021. Reproductive biology of seven fish species of commercial interest at the Ramsar site in the Baixada Maranhense, Legal Amazon, Brazil. *Neotropical Ichthyology* 19(2), e200067. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2020-0067>

Casagrande, N., Silva, C.O., Verones, F., Sobral, P., Martinho, G., 2024. Ecotoxicity effect factors for plastic additives on the aquatic environment: A new approach for life cycle impact assessment. *Environmental Pollution* 341, 122935. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122935>

Castro, L.G., 2021. Avaliação da contaminação de corpos aquáticos da cidade de Parintins (AM) por esgoto doméstico utilizando esteróis como marcadores moleculares. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Amazonas, Parintins. Available at: <https://ufam.edu.br> (accessed 26 November 2025).

Chakraborty, S.K., 2021. River pollution and perturbation: Perspectives and processes. In: *Riverine ecology volume 2*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53941-2_5

Conti, I., Simioni, C., Varano, G., Brenna, C., Costanzi, E., Neri, L.M., 2021. Legislation to limit environmental plastic and microplastic pollution and their influence on human exposure. *Environmental Pollution* 288, 117708. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117708>

De Melo, J.F., Tregidgo, D., Jesus, A., et al., 2025. Plastic pollution in the Amazon: The first comprehensive and structured scoping review. *Ambio*. <https://doi.org/10.1007/s13280-025-02245-2>

Dehaut, A., Cassone, A.L., Frère, L., Hermabessiere, L., Himber, C., Rinnert, E., Paul-Pont, I., Lacroix, C., Jezequel, R., Robbens, J., Duflos, G., 2016. Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization. *Environmental Pollution* 215, 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.018>

Dhanker, R., Sharma, D., Chatterjee, S., 2024. Fishing gears and nets as a source of microplastic. In: *Microplastic pollution*. Springer, Singapore, pp. 127–140. https://doi.org/10.1007/978-981-99-8357-5_8

Dusaucy, J., Gateuille, D., Perrette, Y., Naffrechoux, E., 2021. Microplastic pollution of worldwide lakes. *Environmental Pollution* 284, 117075.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117075>

Ferreira, M. da S., Fontes, M.P.F., Pacheco, A.A., Ker, J.C., Lima, H.N., 2021. Health risks of potentially toxic trace elements in urban soils of Manaus city, Amazon, Brazil. *Environ Geochem Health* 43, 3407–3427. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00834-0>

Haddad, E.A., Araújo, I.F., Feltran-Barbieri, R., et al., 2024. Economic drivers of deforestation in the Brazilian Legal Amazon. *Nature Sustainability* 7, 1141–1148.

<https://doi.org/10.1038/s41893-024-01387-7>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2022. Viana (MA) – Panorama. Available at: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/viana/panorama> (accessed 26 November 2025).

Kammann, U., et al., 2023. Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear (ALDFG) as part of marine litter at the seafloor of the Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* 194, 115348.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115348>

Kühn, S., Booth, A.M., 2020. Transfer of additive chemicals from marine plastic debris to the stomach oil of northern fulmars (*Fulmarus glacialis*). *Frontiers in Environmental Science* 8, 138. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00138>

Law, K.L., Sobkowicz, M.J., Shaver, M.P., et al., 2024. Untangling the chemical complexity of plastics to improve life cycle outcomes. *Nature Reviews Materials* 9, 657–667.

<https://doi.org/10.1038/s41578-024-00705-x>

Lima, I.C.M., Oliveira, I.C.S., da Silva Sousa, D., Couto, N.J.P., Carvalho Neta, R.N.F., Santos, D.M.S., 2024. Evaluation of the genotoxic and histological effects in Neotropical fish *Prochilodus lacustris* in Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 112(4). <https://doi.org/10.1007/s00128-024-04122-7>

Lithner, D., Larsson, Å., Dave, G., 2011. Environmental and health hazard ranking of plastic polymers. *Science of the Total Environment* 409(18), 3309–3324.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.04.038>

Luo, H., Liu, C., He, D., Sun, J., Li, J., 2022. Effects of aging on environmental behavior of plastic additives. *Science of the Total Environment* 849, 157951.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157951>

Machado, M.A., Pinheiro, C.U.B., 2016. Da água doce à água salgada: Mudanças na vegetação de igapó. *Revista Brasileira de Geografia Física* 9(5), 1410–1427. Available at:

<https://periodicos.ufpe.br/rbgfe> (accessed 26 November 2025).

Mahire, S., Tiwana, A.S., Khan, A., et al., 2023. Accumulation and effects of persistent organic pollutants. *Arabian Journal of Geosciences* 16, 570. <https://doi.org/10.1007/s12517->

[023-11675-9](#)

MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2016. Sítio Ramsar: Planejamento para o sucesso da conservação. APA Baixada Maranhense. Brasília. Available at: <https://www.gov.br/mma> (accessed 26 November 2025).

Nava, V., et al., 2023. Plastic debris in lakes and reservoirs. *Nature* 619(7969), 317–322. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06168-4>

Popova, A.Y. Microplastics in the Water of Transboundary Lake Khanka and Rivers of Its Basin. *Geogr. Nat. Resour.* 45, 146–152 (2024). <https://doi.org/10.1134/S1875372824700203>

Prata, J.C., da Costa, J.P., Lopes, I., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T., 2021. A One Health perspective on microplastics. *Science of the Total Environment* 777, 146094. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146094>

Ramos, S., Bessa, F., Oliveira, F., 2025. An integrated approach to assessing the potential of plastic fishing gear to release microplastics. *Water* 17, 1439. <https://doi.org/10.3390/w17101439>

Ramsar Convention Secretariat, 2020. Baixada Maranhense Environmental Protection Area. Available at: <https://rsis Ramsar.org> (accessed 26 November 2025).

Richon, C., Kvale, K., Lebreton, L., et al., 2023. Legacy oceanic plastic pollution must be addressed. *Microplastics and Nanoplastics* 3, 25. <https://doi.org/10.1186/s43591-023-00074-2>

Rijkure, A., Cerbule, K., Megnis, J., 2024. Abandoned fishing gear in Latvia. *Marine Policy* 165, 106187. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106187>

Rocha-Reis, D.A., Pasa, R., Kavalco, K.F., 2021. High congruence of karyotypic and molecular data on *Hypostomus* species. *Organisms Diversity & Evolution* 21, 135–143. <https://doi.org/10.1007/s13127-021-00478-z>

Rubio-Vargas, D.A., Morais, T.P., Randi, M.A.F., et al., 2024. Multispecies assessment of fish health. *Environmental Monitoring and Assessment* 196, 564. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12720-0>

Santana, M.F.M., Tonin, H., Vamvounis, G. et al. Predicting microplastic dynamics in coral reefs: presence, distribution, and bioavailability through field data and numerical simulation analysis. *Environ Sci Pollut Res* 32, 9655–9675 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36234-5>

Sarkar, D.J., Das, S., Mukherjee, S., Das, B.K., 2020. Impact and fate of microplastics in riverine ecosystems. In: *Contaminants in drinking and wastewater sources*. Springer, pp. 95–115. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4599-3_4

Schmid, K., Winemiller, K.O., Chelazzi, D., et al., 2018. First evidence of microplastic

ingestion by fishes from the Amazon estuary. *Marine Pollution Bulletin* 133, 814–821.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.016>

Shankar, V.S., et al., 2025. Marine litter risk in remote coral reefs. *Marine Pollution Bulletin* 212, 117591. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117591>

Silva-Cavalcanti, J.S., Silva, J.D.B., França, E.J., Araújo, M.C.B., Gusmão, F., 2017. Microplastics ingestion by a tropical freshwater fish. *Environmental Pollution* 221, 218–226.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.068>

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2023. Diagnóstico temático: Visão geral AE – SNIS 2023. Ministério das Cidades, Brasília. Available at: <https://www.gov.br/cidades> (accessed 26 November 2025).

Sousa, D., Oliveira, V.M., Santos, D.M.S., 2021. Biomarcadores histológicos em *Prochilodus lacustris*. *Águas e Florestas* 1(1), 100–113. <https://doi.org/10.37885/210404338>

Ssempijja, D., Einarsson, H.A., He, P., 2024. Abandoned fishing gear in inland fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 34, 671–683. <https://doi.org/10.1007/s11160-024-09843-5>

Stelzer, R.S., Strauss, E., Lucas, J.R., Kleinheinz, G., Schuttlefield, J.D., 2025. Rayon as the predominant microfiber in zebra mussels. *Water, Air & Soil Pollution* 236(10), 673.
<https://doi.org/10.1007/s11270-025-08248-9>

Subaramaniyam, S., Rajkumar, R., Thangaradjou, T., 2023. Microplastic ingestion by tropical benthic fishes. *Environmental Research* 220, 115142.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115142>

Tang, Y., Mankaa, R.N., Traverso, M., 2022. Effect factor approach for quantifying the impact of plastic additives. *International Journal of Life Cycle Assessment* 27.
<https://doi.org/10.1007/s11367-022-02046-9>

Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., et al., 2004. Lost at sea: Where is all the plastic? *Science* 304(5672), 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>

UNEP – United Nations Environment Programme, 2021. Visualizing the environmental impacts of the marine litter crisis. UNEP, Nairobi. Available at: <https://www.unep.org> (accessed 26 November 2025).

UNEP – United Nations Environment Programme, 2024. Plastic pollution. Available at: <https://www.unep.org/plastic-pollution> (accessed 26 November 2025).

United Nations (UN), 2015. Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations General Assembly, New York. Available at: <https://sdgs.un.org/2030agenda> (accessed 26 November 2025).

Wang, W., Ge, J., Yu, X., Li, H., 2021. Environmental fate and impacts of microplastics in freshwater ecosystems. *Water Research* 200, 117251.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117251>

Weis, J.S., De Falco, F., Cocca, M. (Eds.), 2022. Polluting textiles: The problem with microfibres. Routledge, New York. <https://doi.org/10.4324/9781003165385>

Wiesinger, H., Wang, Z., Hellweg, S., 2021. Deep dive into plastic monomers, additives, and processing aids. *Environmental Science & Technology* 55(13), 9339–9351.

<https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00976>

Normas de submissão: Journal of Contaminant Hydrology.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-contaminant-hydrology/publish/guide-for-authors>

6 CONCLUSÃO

A análise realizada neste estudo evidenciou a ingestão de partículas plásticas pelas espécies *Pygocentrus nattereri* e *Hypostomus plecostomus* no Lago Viana, sem diferenças significativas entre as espécies ou entre os períodos sazonais, mesmo não apresentando significância estatisticamente, os resultados visuais quanto ao comprimento e quantidade de partículas e fragmentos para a espécie *P. nattereri* foram maiores. Embora *P. nattereri* tenha apresentado variações sazonais no comprimento total e padrão, essas mudanças não influenciaram a quantidade de partículas ingeridas, indicando que fatores biométricos não são determinantes para a ingestão de plásticos nesse ecossistema.

A predominância de fibras, especialmente de poliamida e rayon, associadas às cores transparente e azul, sugere uma contribuição significativa de fontes antrópicas, principalmente relacionadas ao uso de equipamentos de pesca e efluentes domésticos. Esses dados indicam que a disponibilidade ambiental e a persistência dos resíduos plásticos exercem maior influência sobre a ingestão do que as características específicas das espécies.

Além disso, a caracterização polimérica e a identificação dos aditivos presentes nas partículas plásticas apontam para o potencial risco ecológico dessas substâncias, uma vez que os polímeros analisados podem adsorver e transportar contaminantes químicos persistentes, com implicações para a biota aquática e a saúde humana.

Esses resultados são alinhados com as metas da Agenda 2030, especialmente os ODS 14 (Vida na Água), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), e ressaltam a necessidade de ações integradas e políticas públicas voltadas para a

redução da poluição por plásticos, especialmente em ecossistemas como o Lago Viana. A implementação de estratégias de manejo, aliada a programas de conscientização e ao manejo adequado das fontes de poluição, é essencial para mitigar os impactos dessa contaminação no ambiente e nas comunidades locais que dependem desse ecossistema.

REFERÊNCIAS

ABILHOA, V.; VALDUGA, M. O.; FREHSE, F. A.; VITULE, J. R. S. Use of food resources and resource partitioning among five syntopic species of *Hypostomus* (Teleostei: Loricariidae) in an Atlantic Forest River in southern Brazil. *Zoologia*, v. 33, n. 6, p. e20160062, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1984-4689zool-20160062>.

ABREU, Flavya Cristina Moraes Gurgel de *et al.* Dinâmica territorial e políticas ambientais: uma análise da relação entre crescimento da renda per capita e ocorrência de desmatamento nos municípios da Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense. 2013. Tese de Doutorado. UEMA.

ÁGUA E SANEAMENTO. Viana (MA). Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/ma/viana#:~:text=Viana%20%C3%A9%20um%20dos%202017,est%C3%A1%20inserido%20no%20bioma%20Amaz%C3%B4nia>. Acesso em: 23 jul. 2025.

AKORTIA, Eric; *et al.* A review of sources, levels, and toxicity of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and their transformation and transport in various environmental compartments. *Environmental Reviews*, v. 24, n. 3, p. 253-273, 2016.

ALBERGHINI, L. *et al.* Microplastics in fish and fishery products and risks for human health: a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 20, p. 789, 2023. DOI: 10.3390/ijerph20010789.

ALI, Umar; KARIM, Khairil Juhanni Bt. Abd; BUANG, Nor Aziah. A review of the properties and applications of Poly (Methyl Methacrylate) (PMMA). *Polymer Reviews*, v. 55, n. 4, p. 678–705, 2015.

ALIMI, O. S.; BUDARZ, J. F.; HERNANDEZ, L. M.; TUFENKJI, N. Microplastics and nanoplastics in aquatic environments: Aggregation, deposition, and enhanced contaminant transport. *Environmental Science and Technology*, S.1, v. 52, n. 4, p. 1704–1724, 2018.

AMARAL, Murilo Alves do; BORSCHIVER, Suzana; MORGADO, Cláudia do Rosário Vaz. Análise do segmento de bioplásticos: prospecção tecnológica em “plásticos verdes”, PHA e PLA. *Engvista*, v. 21, n. 2, p. 228-241, 2019.

AMARAL, T. S. *et al.* Conservação das áreas úmidas: uma abordagem exploratória acerca da efetividade da convenção Ramsar na região norte. 2022.

AMBROGI, Veronica; *et al.* Additives in polymers. In: Modification of polymer properties. William Andrew Publishing, 2017. p. 87-108.

ANDRADE, F. S.; POSSAMAI, B.; FREITAS, C. E. C. et al. Niche partitioning and seasonality may mediate coexistence of piranha species in Amazonian floodplain lakes. *Hydrobiologia*, v. 851, p. 4325–4340, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10750-024-05536-z>.

ANDRADE, M. C.; WINEMILLER, K. O.; BARBOSA, P. S.; FORTUNATI, A.; CHELAZZI, D.; CINCINELLI, A.; GIARRIZZO, T. First account of plastic pollution impacting freshwater fishes in the Amazon: Ingestion of plastic debris by piranhas and other serrasalmids with diverse feeding habits. *Environmental Pollution*, v. 244, p. 766-773, 2019.

ANDRADY, Anthony L.; NEAL, Mike A. Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 364, n. 1526, p. 1977-1984, 2009.

ANGMO, S.; et al. Microplastics in Fish: An Emerging Environmental Challenge. In: *Microplastics: Ecological and Food Security Implications*. Springer, 2025. p. 221–244. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-031-94480-2_9.

APHA. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd. Water Environment Federation, 2017.

AQUINO, Alanna Letícia do Carmo. Revisão integrativa sobre a influência dos desreguladores endócrinos no TDAH e autismo na infância e na adolescência. 2024.

ARAÚJO, Francisca Laryssa Feitosa. Geoecologia das paisagens na APA do Estuário do Rio Ceará: dinâmica espacial e estratégias para o planejamento ambiental. 2025.

ARAUJO, N. A.; BARBIERI, R. (Orgs). *Sustentabilidade dos ecossistemas do Maranhão - Baixada Maranhense*, vol. 1, 1ª ed. Gradus Editora, 2021.

ARGESWARA, J.; HENDRAWAN, I. G.; DHARMA, I. G. B. S.; GERMANOV, E. What's in the soup? Visual characterization and polymer analysis of microplastics from an Indonesian manta ray feeding ground. *Marine Pollution Bulletin*, v. 168, p. 112427, 2021. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112427.

ARIMATÉIA, Rafaela Reis de; et al. Estudo e desenvolvimento de materiais híbridos de poli (metacrilato de metila) (PMMA) com argila organofílica e alumina visando aplicação tecnológica. 2014.

ARKIN, Claire et al. *Atlas del plástico: datos y cifras sobre el mundo de los polímeros sintéticos* 2020.

ASGHER, Muhammad et al. Bio-based active food packaging materials: Sustainable alternative to conventional petrochemical-based packaging materials. *Food Research International*, v. 137, p. 109625, 2020.

AUTHMAN, M. M. et al. Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. *Journal of Aquaculture Research & Development*, v. 6, n. 4, p. 1-13, 2015.

AZEVEDO-SANTOS, V. M.; VETHAAK, A. D.; LAVORANTE, B. R. B. O.; LUNDEBYE, A.-K.; GUILHERMINO, L. Marine microplastic debris: an emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine Pollution Bulletin*, v. 133, p. 336-348, 2018. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.05.047.

BALSAMO, Amanda Cristina Rustici; CABRAL, Bruna Vieira; SANFELICE, Rafaela Cristina. Estudo comparativo entre materiais à base de vidro e policarbonato em projetos de superfícies transparentes. *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação*, Uberaba, v. 4, n. 3, p. 327-345, 2019.

BARBOSA, Ana Cristina Borges. Efeitos ecotoxicológicos de microplásticos e outros contaminantes ambientais em *Daphnia magna*. 2017. 86f. Dissertação (Mestrado em Toxicologia e Contaminação Ambiental) - Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2017.

BARRADA, Dacélia Brito *et al.* Análise espacial da Amazônia Legal maranhense na região de influência da Matopiba: desmatamento e indicadores socioeconômicos nos anos de 2013 e 2023. 2024.

BARRETO ROMANEL, Felipe Augusto; JOSÉ SABINO, Evellyn de Souza. Riscos para a saúde quando exposta a contaminação por PU (poliuretano) usados como isolantes térmicos quando, não descartados corretamente no meio ambiente. *Revista Foco (Interdisciplinary Studies Journal)*, v. 18, n. 3, 2025.

BARROS, H. D. Estudo da exposição do consumidor aos plastificantes ftalato e adipato de di- (2-etil-hexila) adicionados a filmes de PVC, utilizados para acondicionamento de alimentos gordurosos. 2010.

BEBIANNO, Maria João; ROSAS, Eloah Garcia; MELISSA, Joanna. 1. O lixo marinho. O que são microplásticos e nanoplásticos? Como chegam ao oceano?. *Micro e Nanoplásticos: um Macroproblema*, p. 21, 2023.

BERTORA, Andrea *et al.* Combined effects of urbanization and longitudinal disruptions in riparian and in-stream habitat on water quality of a prairie stream. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, n. 423, p. 15, 2022.

BITTENCOURT, Maria Mercedes. Aspectos da demografia e do ciclo de vida de *Pygocentrus natterei* Kner, 1860 num lago de várzea da Amazônia central (Lago do Rei-Ilha do Careiro). 1994. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

BLAZER, V. S.; WALSH, H. L.; BRAHAM, R. P.; SMITH, C. Necropsy-based wild fish health assessment. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, n. 139, p. e57946, 2018.

BRASIL. Atualização do Plano Nacional de Implementação da Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs). 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/brasil-atualiza-plano-de-implementacao-da-convencao-de-estocolmo-sobre-poluentes-organicos-persistentes/atualizacao-do-plano-nacional-de-implementacao-da-convencao-de-estocolmo-sobre-pops.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. Painel Unificado do Registro Geral da

Atividade Pesqueira. Disponível em: <https://www.gov.br/mpa/pt-br/assuntos/cadastro-registro-e-monitoramento/painel-unificado-do-registro-geral-da-atividade-pesqueira>. Acesso em: 23 jul. 2025.

BRENNECKE, D.; DUARTE, B.; PAIVA, F.; CAÇADOR, I.; CANNING-CLODE, J. Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, S.l, v. 178, p. 189–195, 2016.

BROWNE, M. A. Sources and pathways of microplastics to habitats. In: BERGMANN, M.; GUTOW, L.; KLAGES, M. (Eds.) *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham, p. 229-244, 2015.

BRUNNER, Susanne. Transparent acrylic constructions before and after 1950 – from the 1935 Opel Olympia to the 1972 Olympic roof. In: *History of Construction Cultures*, vol. 1. CRC Press, 2021. p. 275-282.

BURGESS, R. H. *Manufacture and Processing of PVC*. CRC Press, 2014. ISBN 1482292831.

BURGESS, Warren E. *An atlas of freshwater and marine catfishes: a preliminary survey of the Siluriformes*. 1989.

CALCAGNOTTO, D.; SCHAEFE, S. A.; DESALLE, R. Relationships among characiformes fishes inferred from analysis of nuclear and mitochondrial gene sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, v. 36, p. 135-153, 2005.

CAMARGO, Guilherme Bianchin de. Estágio atual e desafios da reciclagem mecânica de plásticos de engenharia no Brasil. 2023.

CAMPOS DA ROCHA, Franciele Oliveira; *et al.* Nossos rios sem plástico: educação ambiental quanto à poluição plástica em corpos hídricos de Boa Vista, Roraima. *Revista Brasileira de Extensão Universitária*, v. 15, n. 1, 2024.

CANDEIAS, Ana Catarina Montalto; SILVA, Carla Ofélia Ferreira da; MARTINHO, Maria da Graça Madeira. Avaliação da ecotoxicidade de aditivos plastificantes em organismos aquáticos. 2024.

CANNON, S. M. E.; LAVERS, J. L.; FIGUEIREDO, B. F. Plastic ingestion by fish in the Southern Hemisphere: A baseline study and review of methods. *Marine Pollution Bulletin*, v. 107, n. 1, p. 286–291, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.057>.

CARDOSO, A. L. *et al.* Plastic ingestion by carnivore fish in a neotropical floodplain: seasonal and interspecific variations. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, p. 40712–40723, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-25135-0>. Acesso em: 26 jul. 2025.

CARDOSO, Frederico Aragão. Levantamento do cenário mundial dos bioplásticos em comparação aos plásticos petroquímicos: ênfase em aspectos produtivos e ambientais. 2016.

CARDOSO, Sergio Gomes *et al.* Study of mechanical properties and fracture mechanisms of synthetic fibers nylon-and-polyester type, used in engineering products. Instituto de Pesquisas Energeticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP), São Paulo, SP (Brazil), 2009.

CARDOSO, Yamila P. *et al.* Multilocus phylogeny and historical biogeography of *Hypostomus* shed light on the processes of fish diversification in La Plata Basin. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, p. 5073, 2021.

CARVALHO, Arthur Pimentel de. Redução do impacto ambiental provocado pela indústria de refrigeração com a reciclagem do resíduo de poliuretano na produção de compósitos a base de borracha natural/borracha sintética. 2022.

CARVALHO, I. F. D. S.; CANTANHÊDE, L. G.; DINIZ, A. L. C.; CARVALHO-NETA, R. N. F.; ALMEIDA, Z. D. S. D. Reproductive biology of seven fish species of commercial interest at the Ramsar site in the Baixada Maranhense, Legal Amazon, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, v. 19, 2021.

CARVALHO, Iraiana Fernanda S. Biologia reprodutiva aplicada ao ordenamento pesqueiro na Baixada Maranhense, Sítio Ramsar do Brasil. 2018. Dissertação (Mestrado em Recursos Aquáticos e Pesca) - Universidade Estadual do Maranhão, Maranhão, 2018.

CASAGRANDE, Naiara Machado. Inclusão dos impactos dos resíduos plásticos no ambiente marinho em avaliação de ciclo de vida. 2018. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2018.

CASTRO, Gleyson Borges. Efeitos tóxicos do microplástico polietileno em *Allonais inaequalis*, *Chironomus sancticarloi* e *Daphnia magna* sob exposições convencionais e de estresse. 2020. 141f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências, Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

CASTRO, Leonildo Garcia de. Avaliação da contaminação de corpos aquáticos da cidade de Parintins (AM) por esgoto doméstico utilizando esteróis como marcadores moleculares. 2021.

CASTRO, Thiago Sampaio. Modelagem quântica da produção de PVC catalisada por organometálicos. 2018.

CAVALCANTE, Julienne; *et al.* Estudo das propriedades mecânicas em espumas poliuretano flexíveis com o uso de resíduo. *Caderno Pedagógico*, v. 22, n. 8, p. e17304, 2025.

CERVANTES-CAMACHO, Isabel; RUIZ-PICOS, Ricardo Arturo; LÓPEZ-LÓPEZ, Eugenia. Efectos del Bisfenol A en tejido Gonadal Masculino de Peces Vivíparos: Evidencia Histopatológica en *Goodea atripinnis*. *International Journal of Morphology*, v. 42, n. 4, p.977-983, 2024.

CHANG, Yoonjee *et al.* Experimental and theoretical study of polypropylene: antioxidant migration with different food simulants and temperatures. *Journal of Food Engineering*, v. 244, p. 142-149, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.09.028>.

CONCEIÇÃO, Leandro Pierre da *et al.* Ocorrência de Bisfenol A e análogos no armazenamento de água envasada em diferentes materiais plásticos. 2024.

CONSELHO NACIONAL DE CONTROLE DE EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL - CONCEA. Resolução Normativa nº 37, de 15 de fevereiro de 2018. Diretriz da Prática de Eutanásia. Brasília: CONCEA, 2018.

CONTI, I., Simioni, C., Varano, G., Brenna, C., Costanzi, E., Neri, L.M., 2021. Legislation to limit environmental plastic and microplastic pollution and their influence on human exposure. *Environmental Pollution* 288, 117708.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117708>

COSTA, Clarissa Lobato da *et al.* Sustentabilidade da pesca artesanal no lago de Viana, Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense. 2006.

COSTA, Daniel Fernandes da. Os impactos dos plastificantes de preocupação emergente – BPS e BPAF – na espermatogênese, reprodução, qualidade espermática e desenvolvimento do zebrafish (*Danio rerio*). 2024.

COSTA, Diogo. Arqueologia dos plásticos: um estudo contemporâneo sobre os polímeros. *Vestígios - Revista Latino-Americana de Arqueologia Histórica*, v. 19, n. 1, p. 127-154, 2025.

COSTA, J. R. M. A.; MELA, M.; SILVA DE ASSIS, H. C.; PELLETIER, E.; RANDI, M.A.F.; OLIVEIRA RIBEIRO, C. A. Enzymatic inhibition and morphological changes in *Hoplias malabaricus* from dietary exposure to lead (II) or methylmercury. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 67, p. 82-88, 2007.

COSTA, Nicolle Martins da *et al.* Efeitos de lixiviado de resíduos sólidos urbanos em organismos aquáticos: uma revisão integrativa. 2021. Tese de Doutorado.

COTRIM, Rodrigo Pagani. Polimetilmetacrilato e suas aplicações na cirurgia bucomaxilofacial. 2013.

CREMONA, Marco. Estudo da influência de tratamentos térmicos e de aditivos nas propriedades ópticas de polímeros conjugados utilizados para células solares orgânicas. 2020. Tese (Doutorado) – PUC-Rio.

CRQ – Conselho Regional de Química. O que são plásticos? Disponível em: <https://crqsp.org.br/plasticos/>. Acesso em: 28 jul. 2025.

CRUZ, Ericka Venâncio Silva; SILVA, Adriana Maria Cunha da. Interação entre macrofauna bentônica e microplásticos em sedimentos inconsolidados de poças de maré em recifes de arenito, Piedade/PE. *Revista Contemporânea*, v. 5, n. 7, p. e8605, 2025.

CRUZ, Luciani Paola Rocha. Modificação superficial do tecido de malha de ácido polilático (PLA) por tratamento plasma. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CUNHA, João Vinicius Silva *et al.* Caracterização da bubalinocultura no Assentamento

Santa Bárbara, município de Viana, estado do Maranhão. In: *CIÊNCIA VETERINÁRIA APLICADA: DIAGNÓSTICOS, TRATAMENTOS E PRODUÇÃO ANIMAL*. Editora Científica Digital, 2025. p. 183-198.

CURTY, Adriana Favacho; *et al.* Características dos microplásticos ambientais presentes nos sedimentos inconsolidados das águas costeiras de 9 praias do Rio de Janeiro, Brasil. 2024.

CUSTÓDIO, Joana Rita Serra *et al.* Moda Ética e Sustentável Redefinida: O Papel Transformador da Celulose Bacteriana na Indústria Têxtil e do Vestuário. 2024. Tese de Doutorado.

CUTHBERTSON, Amy A.; *et al.* Characterization of polymer properties and identification of additives in commercially available research plastics. *Green Chemistry*, v. 26, n. 12, p. 7067- 7090, 2024.

DA CRUZ, Joziel Aparecido. Poliamida como material de engenharia para aplicações avançadas. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2022.

DA FONTOURA, Marina. Comportamento ao fogo dos polímeros halogenados (PVC, CPVC, PTFE). *Ignis: Revista Técnico Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina*, v. 6, n. esp., p. 1-14, 2021.

DA SILVA FREITAS, Francisca Wigna; DA SILVA, Márcia Regina Farias; DE ALENCAR GUEDES, Josiel. Classes de uso em áreas de preservação permanente (APP) de reservatórios públicos no alto-oeste potiguar. *Sociedade e Território*, v. 34, n. 2, p. 116-136, 2022.

DA SILVA, D. D. C.; VIEIRA, H. A. G.; ROLIM, V. S.; DA SILVA, W. F.; DE SOUSA, M. G.; PAULINO, M. G.; DOS SANTOS MARIANO, W. Contaminantes ambientais: efeitos dos microplásticos em organismos aquáticos e terrestres. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 7, p. e54310716761-e54310716761, 2021.

DA SILVA, Nivea Karina Andrade. Riqueza taxonômica e diversidade da assembleia de peixes na área de proteção ambiental da Baixada Maranhense. 2016.

DAI, Suyi; *et al.* Oxidation characteristics and thermal stability of Butylated hydroxytoluene. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 16, n. 7, p. 104932, 2023. DOI: 10.1016/j.arabjc.2023.104932.

DALU, Tatenda; MALESA, Bernad; CUTHBERT, Ross N. Avaliação dos fatores que determinam a distribuição e as características dos macroplásticos costeiros em um reservatório subtropical. *Science of the Total Environment*, v. 696, p. 133992, 2019.

DE LUCENA, Maria Dayanne Lima *et al.* Espécies de peixes da família Loricariidae com potencial ornamental, em duas reservas extrativistas na Terra do Meio – PA. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, v. 2, n. 2, p. 84, 2021.

DE OLIVEIRA, Sandra Catarina Bastos. Estudo de novos compósitos termoplásticos para a produção de cápsulas. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro (Portugal).

DE SOUSA, D. N. R.; *et al.* Spatio-temporal evaluation of emerging contaminants and their partitioning along a Brazilian watershed. *Environmental Science and Pollution Research International*, v. 25, n. 5, p. 4607–4620, fev. 2018.

DEHAUT, Alexandre *et al.* Microplásticos em frutos do mar: protocolo de referência para sua extração e caracterização. *Environmental Pollution*, v. 215, p. 223-233, 2016.

DELARIVA, R. L.; AGOSTINHO, A. A. Relationship between morphology and diets of six neotropical loriciids. *Journal of Fish Biology*, v. 58, n. 3, p. 832-847, 2001.

DELGADO RAMÍREZ, Leticia. Riesgos generales y específicos de los diisocianatos en el sector de la construcción. 2024. Dissertação (Mestrado).

DHANKER, R.; *et al.* Fishing Gears and Nets as a Source of Microplastic. In: *Microplastic Pollution*. Springer, 2024. p. 127–140. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-99-8357-5_8.

DHIMMER, Viren Rasiclal. Microplastics in gastrointestinal tracts of *Trachurus trachurus* and *Scomber colias* from the Portuguese Coastal Waters. 2017. 33f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa (FCT), Lisboa, 2017.

DOS SANTOS CATÂNEO, D. T. B.; GUZMAN, R. M. R.; DA COSTA DORIA, C. R.; FELDBERG, E.; DE CÁSSIA PAGOTTO, R. Caracterização cromossômica de *Hoplias malabaricus* (Characiformes: Erythrinidae) da Bacia do Rio Madeira, Rondônia. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon*, v. 9, n. 3, p. 26-35, 2020.

DUMONT, Jean Marie. Polycarbonates. Ed. Techniques Ingénieur, 2007.

ECHEM. Hindered Amine Light Stabilizers: Advantages and Disadvantages. Disponível em: https://ecochemchina.com/hindered-amine-light-stabilizers-advantages-and-disadvantages/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 28 jul. 2025.

ESPINOSA, C.; *et al.* Toxic effects on bioaccumulation, hematological parameters, oxidative stress, immune responses and neurotoxicity in fish exposed to microplastics: A review. *Water Research*, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389421003861>.

FABREGAT-SAFONT, David *et al.* Wide-scope screening of pharmaceuticals, illicit drugs and their metabolites in the Amazon River. *Water Research*, v. 200, p. 117251, 2021.

FANTONI, Roberto Filippini. Como a poliamida substituiu a seda: uma história da descoberta da poliamida 66. *Polímeros*, v. 22, p. 1-6, 2012.

FARIAS FILHO, M.S. *O Espaço Geográfico da Baixada Maranhense*. 2 ed. São Luís: EDUFMA, p. 236, 2013.

FAUSER, P.; VORKAMP, K.; STRAND, J. Residual additives in marine microplastics and their risk assessment—a critical review. *Marine Pollution Bulletin*, v. 177, p. 113467, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113467>.

FELDMAN, Dorel. Polymer history. *Designed Monomers and Polymers*, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2008.

FERREIRA, Andre Lima *et al.* Uso de diferentes anestésicos para manipulação biométrica e transporte de peixes de água doce. 2022.

FERREIRA, Katiane M. Biology and ecomorphology of stream fishes from the rio Mogi-Guaçu basin, Southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, v. 5, p. 311-326, 2007.

FERREIRA, Lana Costa; FARIAS FILHO, Marcelino Silva; FERREIRA, Vitoria Gleyce Sousa. Conflitos territoriais e problemas socioambientais nas áreas de campos inundáveis do município de São João Batista–Maranhão. *Revista Tocantinense de Geografia*, v. 13, n. 29, p. 01-19, 2023.

FERREIRA, Larissa Gabrielle Pinheiro; *et al.* Avaliação da contaminação ambiental no estuário do rio dos Cachorros: bioacumulação e percepção do risco químico de metais em peixes. 2025.

FERREIRA, M. da S.; FONTES, M. P. F.; PACHECO, A. A.; KER, J. C.; LIMA, H. N. Health risks of potentially toxic trace elements in urban soils of Manaus city, Amazon, Brazil. *Environmental Geochemistry and Health*, 2021. doi:10.1007/s10653-021-00834-0.

FIDANZA, Letícia Barbosa. Análise das propriedades ópticas do PMMA de origem renovável visando sua aplicação em telecomunicações. 2021.

FINK, William L. Revisão do gênero piranha *Pygocentrus* (Teleostei, Characiformes). *Copeia*, p. 665-687, 1993.

FLORA, Rosiane Ariane da Silva. Determinação dos metais chumbo, cádmio, níquel e cromo em massa de modelar (slime). 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FLOREZ, Neylla Marcela Avila; *et al.* Poliuretano. 2024.

FOEKEMA, E. M.; DE GRUIJTER, C.; MERGIA, M. T.; VAN FRANEKER, J. A.; MURK, A. J.; KOELMANS, A. A. Plastic in North Sea fish. *Environmental Science & Technology*, v. 47, n. 15, p. 8818-8824, 2013.

FONSÊCA, Letícia Monteiro da. Pellets plásticos em praias do litoral do Ceará: influência de atividades antropogênicas. 2024.

FRANCO, J. R. C. Sistema Lacustre Vianense: ensaios e propostas de bases conceituais para a região dos lagos do município de Viana-MA. 2008. Dissertação (mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas). Universidade Federal do Maranhão.

FREDDO, Icaro Pierre Schmitz; *et al.* Efeito da fotodegradação no comportamento tribológico e propriedades físico-químicas e mecânicas do polipropileno. 2024. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FREEMAN, B. *et al.* Sistemática molecular de Serrasalminidae: decifrando as identidades de

espécies de piranhas e desvendando suas histórias evolutivas. *Zootaxa*, v. 520, p. 1-238, 2004.

FRIAS, J. P. G. L.; NASH, R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, v. 138, p. 145-147, 2019.

FRIAS, João *et al.* Protocolo padronizado para monitoramento de microplásticos em sedimentos. Deliverable 4.2. 2018.

GALGANI, F.; HANKE, G.; WERNER, S. D. V. L.; DE VREES, L. Marine litter within the European marine strategy framework directive. *ICES Journal of Marine Science*, v. 70, n. 6, p. 1055-1064, 2013.

GALVÃO, Fernanda Mendonça Fontes. Estimativa da degradação de geomembranas de polietileno por radiação ultravioleta. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

GARCÍA, Daniel A. Torres; RODRÍGUEZ, Antonio De León. Amenaza silenciosa de los plastificantes a la salud. *Revista Universitarios Potosinos*, v. 21, n. 278, p. 28-31, 2024.

GARCÍA, J. *et al.* Microplastic occurrence in fish species from the Iquitos region, Amazonia occidental. *Ambiente & Água*, v. 18, n. 1, e2022022, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/KGgVNGGct9x7FWgk8vjvNpd/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

GERHARDT, A. Bioindicator species and their use in biomonitoring. *Environmental Monitoring I. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Oxford, 2002.

GEYER, Roland. Production, use, and fate of synthetic polymers. In: Plastic waste and recycling. Academic Press, 2020. p. 13-32.

GHOSAL, S.; CHEN, M.; WAGNER, J.; WANG, Z. M.; WALL, S. Molecular identification of polymers and anthropogenic particles extracted from oceanic water and fish stomach – A Raman micro-spectroscopy study. *Environmental Pollution*, v. 233, p. 1113-1124, 2018.

GHOSH, T. Microplastics bioaccumulation in fish: its potential toxic effects on hematology, immune response, neurotoxicity, oxidative stress, growth, and reproductive dysfunction. *Toxicology Reports*, v. 14, p. 101854, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101854>. Acesso em: 26 jul. 2025.

GIOVANELLA, J. *et al.* Reciclagem de materiais: estudo das propriedades mecânicas de policarbonato reciclado de discos compactos. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 13, p. 643-649, 2008.

GOMES, Janderson Bruzaca. Biomarcadores de efeito e parasitos para avaliação do impacto ambiental e sanidade de *Hoplias malabaricus* (Characiformes: Erythrinidae) de um ambiente lacustre da Baixada Maranhense, Maranhão. 2021.

GOMES, Saulo Salles. Processos de materiais compósitos de matriz polimérica para aplicações em aeronaves. 2020.

GONZÁLEZ-PARRA, Emilio *et al.* Bisfenol A en la insuficiencia renal: ¿hasta cuándo se

podrá usar? ¿Es la hora de evitarlo?. *Nefrologia*, v. 44, n. 3, p. 313-316, 2024.

GOOGLE EARTH. Versão 4.3 Terra Metrics, Map Link/Tele-Atlas. Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/lago+de+viana>. Acesso em: 16 out. 2023.

GORNI, Antonio Augusto. A evolução dos materiais poliméricos ao longo do tempo. *Revista plástico industrial*, p. 1-12, 2003.

GROH, K. J. *et al.* Chemicals associated with plastic packaging: inventory and hazards. *PeerJ Preprints*, 2018. DOI: 10.7287/peerj.preprints.27036v1.

GUERRA, P.; ALAEE, M.; ELJARRAT, E.; BARCELÓ, D. Introduction to brominated flame retardants: commercially products, applications, and physicochemical properties. In: ELJARRAT, E.; BARCELÓ, D. (Eds.). *Brominated Flame Retardants*. The Handbook of Environmental Chemistry, v. 16. Springer, 2010. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/698_2010_93. Acesso em: 28 jul. 2025.

GUIMARÃES, Karen Larissa. Estudos de taxonomia integrativa do complexo *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) na Bacia Amazônica e drenagens adjacentes. 2020. 64 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2020.

GUTMAN, Saul Menezes. Caracterização do sistema de produção lavrador-pescador em comunidades rurais no entorno do lago de Viana, na Baixada Maranhense. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2005.

HAGE JR, Elias. Aspectos históricos sobre o desenvolvimento da ciência e da tecnologia de polímeros. *Polímeros*, v. 8, p. 6-9, 1998.

HERMABESSIERE, L. *et al.* Occurrence and effects of plastic additives on marine environments and organisms: a review. *Chemosphere*, v. 182, p. 781-793, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.096>.

HROMATKA, Matheus; *et al.* Poliftalamida reforçada com fibra de vidro contendo politetrafluoretileno como lubrificante sólido: uma análise mecânica e tribológica. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária. Pesquisa da Pecuária Municipal, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=resultados>. Acesso em: 28 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Viana (MA) – Panorama 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/viana/panorama>. Acesso em: 28 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC – IBPVC. Relatório de Indicadores Anuais 2024. 2024. Disponível em: https://pvc.org.br/wp-content/uploads/2025/04/Relatorio_IBPVC_indicadores_anuais_2024_site.pdf. Acesso em: 28 jul. 2025.

JACQUES, Felipe Barcellos. Mercado brasileiro de poliestireno com ênfase no setor de eletrodomésticos. 2010.

JADOUN, Sapana; *et al.* A review on adsorption of heavy metals from wastewater using conducting polymer-based materials. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 11, n. 1, p. 109226, 2023.

JAVED, M.; AHMAD, I.; USMANI, N.; AHMAD, M. Studies on biomarkers of oxidative stress and associated genotoxicity and histopathology in *Channa punctatus* from heavy metal polluted canal. *Chemosphere*, v. 151, p. 210-219, 2016.

JENKINS, J. A. Fish bioindicators of ecosystem condition at the Calcasieu Estuary, Louisiana. USGS Open-File Report, 47p, 2004.

JERONYMO, C. A. L. *et al.* Boa governança e participação social: Uma revisão de caso das unidades de conservação da natureza do Brasil. *Rev-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 50, p. 107-135, 2021.

JUAN, R.; *et al.* Challenges and Opportunities for Recycled Polyethylene Fishing Nets: Towards a Circular Economy. *Polymers*, v. 13, n. 18, p. 3155, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym13183155>.

JUNIOR, Antonio Carlos Miranda; BORGES, Richard Carlos; DE GODOY LEME, Mariane Alves. Avaliação dos Parâmetros do Lançamento de Efluentes na Qualidade da Água do Rio Mogi Guaçu Compreendido No Perímetro Urbano Do Município De Mogi Guaçu SP. *FOCO: caderno de estudos e pesquisas*, n. 18, p. 22-47, 2022.

KEMONA, A.; PIOTROWSKA, M. Polyurethane Recycling and Disposal: Methods and Prospects. *Polymers (Basel)*, 2020.

KHARE; JADHAO, P.; VAIDYA, A.N.; *et al.* Benzotriazole UV stabilizers (BUVs) as an emerging contaminant of concern: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, p. 121370–121392, 2023. DOI: 10.1007/s11356-023-30567-9.

KHODDAMZADEH, A.; LIU, R.; WU, X. Novel Polytetrafluoroethylene (PTFE) Composites with Newly Developed Tribaloy Alloy Additive for Sliding Bearing. *Wear*, v. 266, p. 646-657, 2009.

KOMATSU, Luiz Gustavo Hiroki. Estudo comparativo de nanocompósitos de polipropileno modificado sob condições de envelhecimento ambiental e acelerado. 2016. Tese (Doutorado)- Universidade de São Paulo.

KÜHN, S., Booth, A.M., 2020. Transfer of additive chemicals from marine plastic debris to the stomach oil of northern fulmars (*Fulmarus glacialis*). *Frontiers in Environmental Science* 8, 138. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00138>

LAGHIIMER, Meriem Cherif *et al.* Characterization of plastic packaging additives: Food contact, stability and toxicity. *Food Packaging and Shelf Life*, 2013.

LAMBERT, Scott; WAGNER, Martin. Environmental performance of bio-based and biodegradable plastics: the road ahead. *Chemical Society Reviews*, v. 46, n. 22, p. 6855-

6871, 2017.

LIMA, Amanda Cardoso. Análise de desempenho de um novo catalizador para a produção de polipropileno. 2011.

LIMA, Ingrid Caroline Moreira. *Abordagem de múltiplos biomarcadores em peixe neotropical para avaliação de impactos no ambiente lacustre em área protegida da Baixada Maranhense, Brasil*. 2024. Dissertação – Universidade Estadual do Maranhão.

LIMA, I. C. M. *et al.* Biomarcadores histológicos em espécies nativas de peixes na avaliação da saúde do ecossistema Lago Açú, Maranhão. In: *Pesquisa em Ciência Aberta*, 9. ed. Pernambuco, 2022. p. 425–1440. DOI: 10.37885/221211316.

LIMA, Robson Jose Calixto de; COUTINHO, Ricardo. The Brazilian National Plan to Combat Marine Litter: A critical assessment. *Marine Pollution Bulletin*, v. 206, p. 116785, 2024.

LINS, J. A. P. N.; KIRSCHNIK, P. G.; DA SILVA QUEIROZ, V.; CIRIO, S. M. Uso de peixes como biomarcadores para monitoramento ambiental aquático. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, v. 8, n. 4, p. 469-484, 2010.

LITHNER, D.; LARSSON, Å.; DAVE, G. Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of the Total Environment*, v. 409, p. 3309-3324, 2011. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.038.

LLORCA, M. *et al.* Microplastics in Mediterranean coastal area: toxicity and impact for the environment and human health. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, v. 27, p. e00090, 2020.

LODI, Paulo César. Aspectos de degradação de geomembranas poliméricas de polietileno de alta densidade (PEAD) e de poli (cloreto de vinila) (PVC). 2003. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

LOPES, Bárbara Cristina *et al.* Diversidade e evolução cromossômica em Loricariidae (Rafinesque, 1815). 2024. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

LOURINHO, Cláudia Alexandra Mesquita. Propriedades mecânicas do polimetilmetacrilato como base protética: resina convencional vs resina de impressão 3D: revisão sistemática. PQDT-Global, 2022.

LOWE-MCCONNELL, R. H. *Ecological studies in tropical fish communities*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

LUNDIN, J. I. *et al.* Dietary exposure to environmentally relevant levels of chemical contaminants reduces growth and survival in juvenile Chinook salmon. *Environmental Science & Technology*, v. 58, n. 1, p. 132–142, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c06330>. Acesso em: 26 jul. 2025.

LUO, H., Liu, C., He, D., Sun, J., Li, J., 2022. Effects of aging on environmental behavior of plastic additives. *Science of the Total Environment* 849, 157951. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157951>

MACEDA-VEIGA, Alberto; MONROY, Mario; DE SOSTOA, Adolfo. Metal bioaccumulation in the Mediterranean barbel (*Barbus meridionalis*) in a Mediterranean River receiving effluents from urban and industrial wastewater treatment plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 76, p. 93-101, 2012.

MACHADO, Cyntia Esposti Veloso; *et al.* Estudo das propriedades mecânicas e térmicas do poliestireno de alto impacto. *Cadernos UniFOA*, v. 12, n. 35, p. 15-24, 2017.

MACHADO, M. A.; PINHEIRO, C. U. B. Da água doce à água salgada: mudanças na vegetação de igapó em margens de lagos, rios e canais no baixo curso do rio Pindaré, Baixada Maranhense. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 5, p. 1410-1427, 2016.

MAIA, Rafaela Camargo; SILVA, Gustavo Gleidson Nascimento. Marés de mudança: educação ambiental crítica no ensino médio integrado em pesca. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, v. 19, n. 3, p. 179-194, 2024.

MARANHÃO, Gerência de Desenvolvimento e Planejamento Econômico - GEPLAN. *Atlas do Maranhão*. São Luís: UEMA – Laboratório de Geoprocessamento, 2002.

MARANHÃO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais. Relatório de Fauna. 2023. Disponível em: <http://zee.ma.gov.br/wp-content/uploads/2023/02/Relatorio-de-Fauna.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2025.

MARÇAL, Rafael. Avaliação da permeabilidade em geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD). 2012.

MARQUES, Bruno Rafael. Análise das variáveis ambientais e distribuição de *Potamotrygon motoro* (Myliobatiformes: Potamotrygonidae) no complexo dos lagos de Viana. 2022.

MARTINS, Elydiane Lopes; KOCK, Paula Alessandra; FEDATTO, Paola Fernanda. Polimetilmetacrilato (PMMA) na prática clínica: revisão integrativa sobre abordagens estéticas, complicações e aspectos regulatórios. *Research, Society and Development*, v. 13, n. 6, p. e9013646046, 2024.

MARTINS, J. M. E. Biologia de *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) (Characiformes, Erythrinidae) na Represa de Capim Branco I, Rio Araguari, MG. 2015. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação dos Recursos Naturais) – Universidade Federal da Uberlândia, Uberlândia, 2015.

MAZZONI, Rosana *et al.* Alimentação e padrões ecomorfológicos das espécies de peixes de riacho do alto rio Tocantins, Goiás, Brasil. *Iheringia. Série Zoologia*, v. 100, p. 162-168, 2010.

MELO, Cesar Enrique de; MACHADO, Francisco de Arruda; PINTO-SILVA, Vangil. Feeding habits of fish from a stream in the savanna of Central Brazil, Araguaia Basin.

Neotropical Ichthyology, v. 2, p. 37-44, 2004.

MERCELIS, Joris. Beyond Bakelite: Leo Baekeland and the Business of Science and Invention. 2020. Disponível em: https://www.academia.edu/42079478/Beyond_Bakelite_Leo_Baekeland_and_the_Business_o_f_Science_and_Invention. Acesso em: 28 jul. 2025.

MIGUEL, Leonardo Marques. Panorama geográfico da poluição por microplásticos no solo no contexto do lixo moderno. 2023. 76 f. Trabalho de Curso (Graduação em Geografia – Bacharelado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Sítio Ramsar, APA da Baixada Maranhense – MA, 2011. Disponível em: <https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/index.php/estantes/gestao/3492-sitio-ramsarapa-da-baixada-maranhense-ma-planejamento-para-o-sucesso-de-conservacao>. Acesso em: 29 ago. 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). *Sítio Ramsar, Planejamento para o sucesso da conservação. APA da Baixada Maranhense, MA*. p. 27, 2016.

MIRANDA, Glaciane Penha Everton. Uso e ocupação do solo no entorno dos lagos Cajari e Formoso, Penalva-MA, APA Baixada Maranhense, e sua influência nas variáveis limnológicas. 2006. 61 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia e Limnologia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2006.

MIZUKAWA, A.; MOLINS-DELAGADO, D.; DE AZEVEDO, J.C.R.; *et al.* Sediments as a sink for UV filters and benzotriazoles: the case study of Upper Iguaçu watershed, Curitiba (Brazil). *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, p. 18284–18294, 2017. DOI: 10.1007/s11356-017-9472-9.

MONTERO-CAMPOS, Virginia; NOBOA-JIMÉNEZ, Lucía; GÓMEZ-VARGAS, Luis. Toxicología de micro y nanoplasticos: riesgo de tóxicos a dosis baja y cambios epigenéticos. *Revista Tecnología en Marcha*, v. 36, n. 4, p. 169-180, 2023.

MOORE, C. J. Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*, v. 108, n. 2, p. 131-139, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>.

MORAIS, Valdenir Pereira; ALVES, Edvania Aparecida Corrêa; BRESSIANI, Danielle; RODRIGUES, Maiane; RODRIGUES, Mayara; VIANA, Francine Vicentini. Análise espaço- temporal do uso da terra na Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense. Simpósio Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2023. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2023/CA_06655.pdf. Acesso em: 23 jul. 2025.

MORES, Giana de Vargas; FINOCCHIO, Caroline Pauletto Spanhol; BARICHELLO, Rodrigo; PEDROZO, Eugenio Avila. Sustainability and innovation in the Brazilian supply chain of green plastic. *Journal of Cleaner Production*, v. 177, p. 12-18, 2018.

MUKHERJEE, Chandrapaul *et al.* Recent advances in biodegradable polymers – Properties, applications and future prospects. *European Polymer Journal*, p. 112068, 2023.

NABI, Deedar; BECK, Aaron J.; ACHTERBERG, Eric P. Assessing aquatic baseline toxicity of plastic-associated chemicals: development and validation of the target plastic model. *Journal of Chemical Information and Modeling*, v. 64, n. 16, p. 6492-6505, 2024.

NADAL, M. A.; ALOMAR, C.; DEUDERO, S. High levels of microplastic ingestion by the semipelagic fish bogue *Boops boops* (L.) around the Balearic Islands. *Environmental Pollution*, v. 214, p. 517-523, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.054>.

NASCIMENTO, Brennda Kelly Sousa. Avaliação do potencial de restauração ambiental de matas ciliares em São Luís do Maranhão – especificamente na APA da Baixada Maranhense. 2022.

NEGHERBON, Igor Grespan; *et al.* Nefrotoxicidade relacionada à exposição crônica ao cádmio: uma revisão de escopo. 2022.

NETO, Antonio de Santana Padilha; *et al.* UMA ECOLOGIA HUMANA E (DES)UMANIDADE: DA INSUSTENTÁVEL PESCA AOS RESÍDUOS PLÁSTICOS. In: *Mudanças Climáticas e seus Impactos Socioambientais: Concepções, Fundamentos, Teorias e Práticas de Mitigação*. Editor Científico Digital, 2023. p. 14-44.

NUNES, L. R.; RODOLFO JR, A.; ORMANJI, W. Tecnologia do PVC. São Paulo: ProEditores/Braskem, 2002.

O'CONNOR, I. A.; GOLSTEIJN, L.; HENDRIKS, A. J. Review of the Partitioning of Chemicals into Different Plastics: Consequences for the Risk Assessment of Marine Plastic Debris. *Marine Pollution Bulletin*, v. 113, p. 17-24, 2016. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.07.021.

OLABISI, O.; ADEWALE, K. Handbook of thermoplastics. 2. ed. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016.

OLIVEIRA, Leide Regia Mendes *et al.* Análise dos problemas ambientais do trecho urbano do Rio Mearim em Arari, Maranhão, com base na percepção da população ribeirinha. *Revista DAE*, v. 72, n. 247, p. 1-15, 2024. Disponível em: https://www.revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_247_n_2271.pdf. Acesso em: 23 jul. 2025.

OLIVEIRA, M. C. C.; DUTRA, L. R. Polimetacrilato de Metila – Feofitinas: Uma Alternativa para o Processo de Reciclagem de Papel. *Revista Virtual de Química*, v. 11, n. 5, p. 1591-1603, 2019. Disponível em: <http://rvq.sbgq.org.br>. Acesso em: 28 jul. 2025.

OLIVEIRA, Rayssa Nayara dos Santos. Estudos sobre a composição de peixes e a assimetria flutuante na sub-bacia do Alto Rio Tocantins. 2025.

ONOFRIO NETO, João Cesar Fonseca. Análise e perspectivas do mercado de polipropileno. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. 2015. Disponível em: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/15801Brazil_Portuguese.pdf.

Acesso em: 7 ago. 2025.

PANEQUI, Ana Julia de Paula; DANTAS, Aldo Aloísio. O lixo plástico e seus desafios à Economia do Mar: um olhar sobre o potencial da rede Oceano Limpo. *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, n. 67, 2025.

PASSATORE, Claudio R. Química dos polímeros. Material didático, 3º módulo, 2013.

PAULA, Eloísa Silva de. Avaliação dos efeitos tóxicos resultantes da exposição crônica a baixas doses de chumbo e metilmercúrio, associados ou não, e do possível efeito protetor da niacina diante desta exposição. 2016. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

PAZ, Geysa Stéfanne Cutrim. Presença de partículas de polímeros sintéticos (microplásticos) em amostras de açúcar comercializado em supermercados de Brasília (Distrito Federal). 76 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Médicas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

PENG, Xianzhi; *et al.* Lifetime bioaccumulation, gender difference, tissue distribution, and parental transfer of organophosphorus plastic additives in freshwater fish. *Environmental Pollution*, v. 280, p. 116948, 2021.

PENG, Y.; *et al.* Screening hundreds of emerging organic pollutants (EOPs) in surface water from the Yangtze River Delta (YRD): occurrence, distribution, ecological risk. *Environmental Pollution*, v. 241, p. 484–493, 2018.

PEREIRA, Dayane Pestana. Avaliação de impactos ambientais no Lago Açú (Área de proteção ambiental da Baixada Maranhense e Sítio Ramsar) com a aplicação de biomarcadores em espécies nativas. 2019.

PEREIRA, João Victor Parga. Avaliar o efeito da inclusão de diferentes óleos vegetais na ração para juvenis de bodó (*Hypostomus plecostomus*), sobre o desempenho. 2020.

PERNA, F. M.; FERNANDES, M. N. Epithelial gill cells in the armored catfish, *Hypostomus cf. plecostomus*: morphology and distribution in relation to environmental hypoxia. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 76, n. 3, p. 421–429, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.00915>.

PERSSE, Linn *et al.* Outside the safe operating space of the planetary boundary for novel entities. *Environmental Science & Technology*, v. 56, n. 3, p. 1510-1521, 2022.

PETRY, André. Mercado brasileiro de polipropileno com ênfase no setor automobilístico. 2011.

PINHEIRO, C. U. B.; DE SOUZA, M. O. Sustentabilidade do uso de espécies vegetais ciliares em construções rurais na região da Baixada Maranhense. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 3, p. 1289-1307, 2022.

PINHEIRO, C.; OLIVEIRA, U.; VIEIRA, M. Occurrence and impacts of microplastics in freshwater fish. *Journal of Aquaculture & Marine Biology*, v. 5, n. 6, p. 00138, 2017.

PIORSKI, Nivaldo Magalhães *et al.* Alimentação e ecomorfologia de duas espécies de piranhas (Characiformes: Characidae) do lago de Viana, estado do Maranhão, Brasil. *Acta*

Amazonica, v. 35, n. 1, p. 63-70, 2005.

PIRES, Walna Micaelle de Moraes. Diversidade genética no complexo *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) (Characiformes, Erythrinidae) em Bacias Hidrográficas Maranhenses. 2016. 68

f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade, Ambiente e Saúde) – Centro de Estudos Superiores de Caxias, Universidade Estadual do Maranhão, Caxias, 2016.

PITT, Sarah J.; GUNN, Alan. The one health concept. *British Journal of Biomedical Science*, v. 81, p. 12366, 2024.

PLÁSTICO INDUSTRIAL. Polipropileno, um material em transição. 2023. Disponível em: https://www.arandanet.com.br/revista/pi/artigo_tecnico/34-Polipropileno,-um-material-em-transicao.html. Acesso em: 28 jul. 2025.

PLASTICS EUROPE. Plastics – The Facts 2023. 2023. Disponível em: <https://plasticseurope.org/media/plastics-europe-launches-the-plastics-the-fast-facts-2023/>. Acesso em: 28 jul. 2025. PLASTICSEUROPE ASSOCIATION OF PLASTICS MANUFACTURERS. Plastics—The Facts 2019: an analysis of European plastics production, demand and waste data. 2019. Disponível em: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2019/>. Acesso em: 28 jul. 2025.

PRATA, J. C. *et al.* A One Health perspective of the impacts of microplastics on animal, human and environmental health. *Science of the Total Environment*, v. 777, p. 146094, 2021.

POULIN, R.; LEUNG, T. L. F. Tamanho do corpo, nível trófico e o uso de peixes como vias de transmissão por parasitos. *Oecologia Australis*, v. 166, p. 731-738, 2011.

RABELLO, M. S. Aditivção de Polímeros. São Paulo: Artliber, 2000.

RABELLO, M.; DE PAOLI, M. Aditivção de termoplásticos. São Paulo: Artliber, 2013.

RAHMAN, F. Polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants. *Science of the Total Environment*, v. 408, n. 5, p. 1062–1069, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896970100852X>. Acesso em: 28 jul. 2025.

RAMOS, S. *et al.* An integrated approach to assessing the potential of plastic fishing gear to release microplastics. *Water*, v. 17, p. 1439, 2025. DOI: 10.3390/w17101439.

RAMSAR. Áreas Úmidas e Biodiversidade. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/areas-umidas/publicacoes/ramsar-50-factsheet-biodiversity-english-traduzido.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2023.

RANI-BORGES, Bárbara; POMPEO, Marcelo. Microplásticos como transportadores de poluentes em água doce e no solo. In: Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções. 2022.

REBELO, Rita de Sousa. Toxicidade do mercúrio e seus efeitos neurodegenerativos. 2016.

Dissertação (Mestrado) – Egas Moniz School of Health and Science, Portugal.

REIS, Mauricio Rodrigues dos. Diversidade e estrutura das assembleias de peixes em lagos da área de proteção ambiental da Baixada Maranhense, Brasil. 2016. Tese de Doutorado. UEMA.

REISINGER, M.; BEISSMANN, S.; BUCHBERGER, W. Quantitation of hindered amine light stabilizers in plastic materials by high performance liquid chromatography and mass spectrometric detection using electrospray ionization and atmospheric pressure photoionization. *Analytica Chimica Acta*, v. 803, p. 181-187, 2013. DOI: 10.1016/j.aca.2013.07.061.

ROCHA, Janaína Sobreira; *et al.* Bioacumulação de metais pesados em peixes: impactos sobre a saúde humana e meio ambiente. *Ciência Animal*, v. 33, n. 1, p. 40-43, 2023.

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M.-A. Poli(tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. *Polímeros*, v. 19, p. 121-132, 2009.

ROSA, Klichia Kelen Boni. Avaliação e caracterização de compósitos constituídos de finos residuais termoplásticos e vítreos para a construção civil. 2023.

ROTHMAN, Rachael; RYAN, Anthony J. The history and future of plastics. *Plastic Pollution in the Global Ocean*, v. 1, p. 21-46, 2023.

RUBERT, Marceléia. Estudos citogenéticos em diferentes populações do gênero *Hypostomus* (LORICARIIDAE, HYPOSTOMINAE). 2024.

SAINT-PAUL, Ulrich *et al.* Fish communities in central Amazonian white-and blackwater floodplains. *Environmental Biology of Fishes*, v. 57, n. 3, p. 235-250, 2000.

SALL, Mohamed Lamine; *et al.* Toxic heavy metals: impact on the environment and human health, and treatment with conducting organic polymers, a review. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 24, p. 29927-29942, 2020.

SALLENAVE, Gabriela Cerveira. Análise da degradação do PLA em ambiente marinho simulado. 2022.

SANTOS, Carlos Henrique dos A. dos *et al.* Genetic differentiation in red-bellied piranha populations (*Pygocentrus nattereri*, Kner, 1858) from the Solimões-Amazonas River. *Ecology and Evolution*, v. 6, n. 12, p. 4203-4213, 2016.

SANTOS, Ceália Cristine dos. Avaliação socioambiental da bubalinocultura e outros sensores ambientais nas unidades de paisagem do município de Viana-MA, área de proteção ambiental da Baixada Maranhense. 2007. Tese de Doutorado. UEMA.

SANTOS, G.; FERREIRA, E.; ZUANON, J. Peixes comerciais de Manaus. Ibama, Manaus, 2006.

SANTOS, Jônata Andrade dos; CAMARNEIRO, João Paulo Waller; LIMA FILHO, Alexandre Bueno de. Biodiversidade: importância, conservação e desafios. 2024.

- SANTOS, A. M.; SILVEIRA, E. L. Idade e crescimento de peixes de riacho: métodos e desafios para a obtenção de estimativas robustas. *Oecologia Australis*, v. 25, n. 2, p. 366, 2021.
- SAVOCA, Matthew S.; MCINTURF, Alexandra G.; HAZEN, Elliott L. Plastic ingestion by marine fish is widespread and increasing. *Global Change Biology*, v. 27, n. 10, p. 2188-2199, 2021.
- SCHILLER, M. PVC additives: performance, chemistry, developments, and sustainability. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2015. ISBN 1569905444.
- SCHMID, K.; WINEMILLER, K. O.; CHELAZZI, D.; CINCINELLI, A.; DEI, L.; GIARRIZZO, T. First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. *Marine Pollution Bulletin*, v. 133, p. 814-821, 2018.
- SCOTON, Samira; DE CASTRO CORRÊA, Gabriela; PÉREZ, Daniel Vidal. A poluição oceânica por plástico e as políticas públicas brasileiras relacionadas ao objetivo de desenvolvimento sustentável 14. *Revista da EGN*, v. 27, n. 3, p. 537-574, 2021.
- SCOTT, Gerald. *Polymers and the Environment*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, p. 1-148, 1999.
- SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais. Unidades de Conservação, 2022. Disponível em: <https://www.sema.ma.gov.br/unidades-de-conservacao>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- SEYMOUR, Raymond Benedict; CHENG, T. C. (Ed.). *Advances in polyolefins: The world's most widely used polymers*. Springer Science & Business Media, 1987.
- SFREDDO, Letícia Weidlich. Obtenção de plastificantes alternativos aos ftalatos. 2022.
- SHARMA, D. *et al.* Fishing gears and nets as a source of microplastic. In: *Microplastic pollution*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p. 127-140.
- SHRIVASTAVA, Manish *et al.* Urban pollution greatly enhances formation of natural aerosols over the Amazon rainforest. *Nature Communications*, v. 10, n. 1, p. 1046, 2019.
- SILES-MARTÍNEZ, Ariadna Fiorella; ABARCA-GUERRERO, Lilliana. Guia de boas práticas para a gestão de resíduos de artes de pesca. 2022.
- SILVA, Antonio Leandro Silva da; VERDE, Gabriel Chaves; SILVA, Antonio Cristian Alves. Desafios para a erradicação dos lixões nos municípios da Baixada Maranhense frente aos prazos estabelecidos pelo novo marco regulatório do saneamento básico brasileiro. *Revista Geama*, v. 8, n. 2, p. 34-41, 2022. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/4865>. Acesso em: 23 jul. 2025.
- SILVA, Beatriz Leonardo da. Desafios do planejamento para conservação de pequenas áreas úmidas isoladas: uma proposta de valoração. 2024.
- SILVA, Emerson Carlos Soares E.; ARAUJO-LIMA, Carlos ARM. Influência do tipo de alimento e da temperatura na evacuação gástrica da piranha caju (*Pygocentrus nattereri*) em condições experimentais. *Acta Amazônica*, v. 33, n. 1, p. 145-156, 2003.

SILVA, G. B. dos S. Avaliação do desempenho de diferentes plastificantes em composições de poli (cloreto de vinila). Dissertação Mestrado—Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2016.

SILVA, Maria Flávia Borges da; *et al.* Estudo de técnicas de reciclagem do poliestireno expandido: uma revisão sistemática e uma proposta de reaproveitamento. 2021.

SILVA, Nivea Karina Andrade. Riqueza taxonômica e diversidade da assembleia de peixes na Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense. 2015. Dissertação (Mestrado em Recursos Aquáticos e Pesca) – Universidade Estadual do Maranhão, Maranhão, 2015.

SILVA, R.; MELO, H.; SANTOS, J.; KEPPELER, E. C.; MENEGUETTI, D.; VIRGILIO, L. R. Influence of dry and flood on the occurrence of *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) monogenetics in western Amazon rivers. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 6, n. 3, p. 2199-2212, 2023.

SILVA, S. F. F.; DE GÓIS, L. M. N. Tecnologias para a produção e purificação do PVC. *Revista CIATEC-UPF*, v. 5, n. 1, p. 12-26, 2013. ISSN 2176-4565.

SILVA-CAVALCANTI, J. S.; SILVA, J. D. B.; DE FRANÇA, E. J.; DE ARAÚJO, M. C. B.; GUSMAO, F. Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource. *Environmental Pollution*, v. 221, p. 218-226, 2017.

SINHA, V.; PATEL, M. R.; PATEL, J. V. Pet waste management by chemical recycling: a review. *Journal of Polymers and the Environment*, v. 18, n. 1, p. 8-25, 2010.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico Temático - Visão Geral AE SNIS 2023. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-dos-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2023.pdf. Acesso em: 23 jul. 2025.

SNELL, Kristi D.; PEOPLES, Oliver P. PHA bioplastic: A value-added coproduct for biomass biorefineries. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining: Innovation for a sustainable economy*, v. 3, n. 4, p. 456-467, 2009.

SOARES, Bruno Meira. Determinação de elementos traço em fluoropolímeros por espectrometria de absorção atômica de alta resolução com fonte contínua com atomização em forno de grafite e análise direta de sólidos. 2016.

SORRENTINO, Lucas Gabriel Poerner. Delimitação de espécies do gênero *Hypostomus* da bacia do Alto rio Uruguai. 2018.

SOUSA, D.; OLIVEIRA, V. M.; SANTOS, D. M. S. Biomarcadores histológicos em *Prochilodus lacustris* (Steindachner, 1907) para avaliação de impactos ambientais em área de proteção maranhense. *Águas E Florestas: Desafios Para Conservação E Utilização*, v. 1, n. 1, p. 100-113, 2021. <https://dx.doi.org/10.37885/210404338>.

SOUZA, Adrian Gonçalves Fernandes de. A influência da estrutura de tecido jersey de composição poliéster e misturas com poliamida na resistência do tecido mantendo a laçada. 2024.

SOUZA, Cristiane da Costa. Análise da substituição dos suportes metálicos do cabeamento de uma aeronave por componentes termoplásticos. 2024.

SSEMPIJJA, Drake; EINARSSON, Haraldur Arnar; HE, Pingguo. Abandoned, lost, and otherwise discarded fishing gear in world's inland fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v. 34, n. 2, p. 671-683, 2024.

STOLTE, A. *et al.* Derelict fishing gear – removing a source of microplastics from the marine environment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICROPLASTIC POLLUTION IN THE MEDITERRANEAN SEA, Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 72-81.

STROKAL, Maryna *et al.* Urbanization: an increasing source of multiple pollutants to rivers in the 21st century. *npj Urban Sustainability*, v. 1, n. 24, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s42949-021-00026-w>. Acesso em: 23 jul. 2025.

SUBARAMANIYAM, U. *et al.* Effects of microplastics, pesticides and nano-materials on fish health, oxidative stress and antioxidant defense mechanism. *Frontiers in Physiology*, v. 14, art. 1217666, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1217666>. Acesso em: 26 jul. 2025.

SYVERSEN, T.; LILLENG, G. Microplastics derived from commercial fishing activities. *Advances and Challenges in Microplastics*, p. 1-19, 2022.

TAKAGUI, Fabio Hiroshi *et al.* Marcadores citogenéticos reforçam a redescritção do cascudo *Hypostomus spiniger* (Loricariidae-Hypostominae), espécie endêmica da bacia do Rio Uruguai e do sistema da Lagoa dos Patos. *Arquivos Brasileiros de Biologia e Tecnologia*, v. 66, p. e23220154, 2023.

TANG, Kuok Ho Daniel. Microplastics and antibiotics in aquatic environments: A review of their interactions and ecotoxicological implications. *Tropical Aquatic and Soil Pollution*, v. 4, n. 1, p. 60-78, 2024.

TAVARES, Beatriz Monteiro *et al.* Livestock in riparian areas: a neglected environmental issue. *Environmental Management*, v. 74, n. 5, p. 846-852, 2024.

TEACH, William Charles; KIESSLING, George Curt. Polystyrene. Reinhold, New York, NY, 1960.

TELEGINSKI, Larissa. Determinação de bisfenol A em água mineral armazenada em garrações de policarbonato. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.

TELES, João José da Silva. Sustentabilidade e economia circular: o desafio do plástico. 2020. Dissertação de Mestrado.

TESSARI, Janaina *et al.* Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil. 2006.

THE LANCET PLANETARY HEALTH. Microplastics and human health – an urgent problem. *The Lancet Planetary Health*, v. 1, n. 7, p. e254, 2017.

THOMPSON, Richard C. *et al.* Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, v. 304, n. 5672, p. 838, 2004. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1094559>. Acesso em: 23 jul. 2025.

TIPPETT, A. W. Life Cycle Assessment of Fishing and Aquaculture Rope Recycling. In: *Marine Plastics: Innovative Solutions to Tackling Waste*. Springer, 2023. p. 121–134. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-031-31058-4_7.

TOLKKINEN, Mikko; VAARALA, Saku; AROVIITA, Jukka. The importance of riparian forest cover to the ecological status of agricultural streams in a nationwide assessment. *Water Resources Management*, v. 35, n. 12, p. 4009-4020, 2021.

TURNER, Andrew. PBDEs in the marine environment: sources, pathways and the role of microplastics. *Environmental Pollution*, v. 301, p. 118943, 2022.

UNEP – United Nations Environment Programme. Plastic Pollution. Disponível em: https://www.unep.org/plastic-pollution?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 28 jul. 2025.

UNEP. Visualizing the Environmental Impacts of the Marine Litter Crisis. 2021. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36964/VITGRAPH.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 23 jul. 2025.

USMAN, S. *et al.* Microplastics pollution as an invisible potential threat to food safety and security, policy challenges and the way forward. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 24, p. 9591, 2020.

VAN BEILEN, Jan B.; POIRIER, Yves. Production of renewable polymers from crop plants. *The Plant Journal*, v. 54, n. 4, p. 684-701, 2008.

VIDAL, André Carvalho Foster. O renascimento de um mercado: o setor de celulose solúvel. 2013.

VIDALETTI, Tiago. Processo sustentável de glicólise de PET pós-consumo: estudo da reutilização do catalisador, etilenoglicol e água. 2023. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

VILAR, W.D. Química e tecnologia dos poliuretanos. Rio de Janeiro: Vilar, 1999. 340 p.

WEBER, Claude; COVAIN, Raphael; FISCH-MULLER, Sonia. Identidade de *Hypostomus plecostomus* (Linnaeus, 1758), com uma visão geral das espécies de *Hypostomus* das Guianas (Teleostei: Siluriformes: Loricariidae). *Cybio*, v. 36, n. 1, p. 195-227, 2012.

WIESINGER, H., Wang, Z., Hellweg, S., 2021. Deep dive into plastic monomers, additives, and processing aids. *Environmental Science & Technology* 55(13), 9339–9351. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00976>

WRIGHT, L. S.; NAPPER, I. E.; THOMPSON, R. C. Potential microplastic release from

beached fishing gear in Great Britain's region of highest fishing litter density. *Marine Pollution Bulletin*, v. 173, p. 113115, 2021.

XU, P. *et al.* Microplastic risk assessment in surface waters: a case study in the Changjiang Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin*, v. 133, p. 647-654, 2018. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.06.020.

YOSHIKAWA, Thoya Masako Bahia. Estrutura populacional do Bagrinho (*Trachelyopterus galeatus*) e da Piranha (*Serrassalmus rhombeus*) do rio Pericumã, Amazônia Maranhense - Brasil. 2022.

YOZUKMAZ, A. Investigation of microplastics in edible wild mussels from İzmir Bay (Aegean Sea, Western Turkey): a risk assessment for the consumers. *Marine Pollution Bulletin*, v. 171, p. 112733, 2021. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112733.

YUAN, Z.; NAG, R.; CUMMINS, E. Human health concerns regarding microplastics in the aquatic environment – from marine to food systems. *Science of the Total Environment*, v. 823, p. 153730, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.153730.

ZARFL, Christiane; MATTHIES, Michael. Are marine plastic particles transport vectors for organic pollutants to the Arctic? *Marine Pollution Bulletin*, v. 60, n. 10, p. 1810-1814, 2010.

ZAWADZKI, Claudio Henrique *et al.* Assessing two hundred years of taxonomic doubt with the rediscovery and taxonomic establishment of the Amazonian armored catfish *Hypostomus pantherinus* Kner 1854 (Siluriformes: Loricariidae). *Zootaxa*, v. 5067, n. 3, p. 401-416, 2021.

ANEXOS

ANEXO 1 - Comitê de Ética e Experimentação Animal (CEEa)

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO / PARECERISTA
PARA AUTORIZAÇÃO DE USO DE ANIMAIS EM EXPERIMENTAÇÃO – CEEa/UEMA

1. IDENTIFICAÇÃO PROJETO

TÍTULO DO PROJETO:	AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS EM ÓRGÃOS ALVOS DE PEIXES COMO FERRAMENTA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL NO LAGO VIANA APADA BAIXADA MARANHENSE.		
Nº PROTOCOLO	044/2025	DATA SUBMISSÃO: 04/07/2025	
Período de realização do experimento/estudo/ensino: 01/12/2024 a 31/12/2025			
RESPONSÁVEIS: <i>(citar apenas orientador e executor)</i>	Débora Martins Silva Santos e VERDSON FRAZÃO FERREIRA		
FINALIDADE :	☒ PESQUISA ☐ ENSINO ☐ OUTROS: Clique ou toque aqui para inserir o texto.		
FORMULÁRIO DE SUBMISSÃO FOI ANEXADO AO E-MAIL?	☒ SIM ☐ NÃO		
PROJETO COMPLETO DO TRABALHO FOI ANEXADO AO EMAIL	☒ SIM ☐ NÃO		
PROJETO UTILIZARÁ ANIMAIS DE VIDA LIVRE?	☒ SIM ☐ NÃO		
<i>Se SIM, apresentou número da solicitação ou autorização do SISBIO?</i> (Resolução Normativa nº 52/2021 CONCEA)	☒ SIM ☐ NÃO		
<i>Se SIM:</i>	Número da solicitação ou autorização do SISBIO: 69518-8 AUTORIZAÇÃO SEMA N° A16 - 2023		

2. AVALIAÇÃO DO PROJETO

Responsáveis possuem qualificação para execução do projeto?		SIM	
<i>Em caso de outros:</i> Clique ou toque aqui para inserir o texto.			
Existe planejamento estatístico adequado?		☐ SIM ☒ NÃO ☐ SIM, porém não detalhado	
<i>Em caso de NÃO ou NÃO DETALHAMENTO, apresentou justificativa?</i> ☐ NÃO ☒ SIM, qual(is)? - O critério utilizado foi baseado			
nas práticas de campo a serem realizadas e em literatura pertinente.			
PROCEDÊNCIA DOS ANIMAIS	OUTROS	OUTROS	LAGOS DE VIANA - MA

ANEXO 2 - Autorização de Órgão Gestor de Unidade de Conservação Estadual- SEMA

	AUTORIZAÇÃO DE ÓRGÃO GESTOR DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO ESTADUAL			
Nº da Autorização	Nº do Processo (SIGEP)	Período de Validade		
A16-2023	2308180022	01/09/2023 – 01/09/2024		
☐ Prosseguimento de Processo de Licenciamento Ambiental	☒ Pesquisa Científica	☐ Manejo da Natureza		
☐ Atividades didáticas	☐ Atividades Sócio- Culturais	☐ Visitação		
Localização				
Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense, no lago Açú, município de Conceição de Lago Açú, e lago de Viana, município de Viana				
Descrição				
O Projeto tem por finalidade: Avaliar a qualidade dos ambientes lacustres da Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense, especificamente nos lagos Açú e de Viana, utilizando biomarcadores bioquímicos, genotóxicos e histológicos em peixes na avaliação do grau de toxicidade a fim de gerar subsídios para formulação de políticas públicas a esses ecossistemas aquáticos				
Responsável (Professor/Coordenador)				
Nome: Débora Martins Silva Santos				
CPF: 407.533.103-25 Nº Identidade: 0547030620144 SESEP/MA				
Endereço: Rua Bacabal, Quadra 42, casa 09- Quintas do Calhau, São Luís, Maranhão CEP: 65072-868				
Telefone: (98) 99614-2205 e-mail: deborasantos@professor.uema.br				
Profissão: Professora/Pesquisadora				
Instituição				
Nome: Universidade Estadual do Maranhão				
CNPJ: 06.352.421/0001-68 Telefone: (98) 3245-2882				
Endereço: Campus Universitário Paulo VI, Tiriricai, São Luís, Maranhão CEP: 65055-970				
Será coleta de material biológico? SIM NÃO				
Hav	Espécie	Ordem	Nome comum	Quantidade
	<i>Psectrogaster amazonica</i>	Characiformes	branquinha	10 exemplares/lago
	<i>Prochilodus lacustris</i>	Characiformes	Curimatá	30 exemplares/lago
	<i>Hoplias malabaricus</i>	Characiformes	traíra	30 exemplares/lago
	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Characidae	piranha vermelha	30 exemplares/lago
Data e Local da Emissão São Luís, 31 de agosto de 2023				

AUTORIZAÇÃO VÁLIDA SOMENTE COM ASSINATURA ELETRÔNICA

	AUTORIZAÇÃO DE ÓRGÃO GESTOR DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO ESTADUAL																										
Nº da Autorização	Nº do Processo (SIGEP)	Período de Validade																									
A16-2023	2308180022	01/09/2023 – 01/09/2024																									
CONDICIONANTES																											
1- Devem ser enviados a esta Secretaria, para fins de controle interno e documentação, cópia dos relatórios da pesquisa com as imagens capturadas, bem como dos trabalhos científicos publicados (resumos técnicos, artigos, monografias, dissertações, teses), envolvendo temáticas associadas à Unidade de Conservação estudada; 2- Esta autorização não permite o uso de fogo, supressão de vegetação e a coleta de qualquer material biológico, salvo os determinados nesta autorização; 3- Essa autorização tem a validade de 1 (um) ano, prorrogação para igual período mediante ofício de solicitação e recebimento por parte desta SEMA dos resultados parciais da pesquisa em curso. Esta autorização atende aos preceitos contidos na Lei Federal n.º 9.985, de 18 de julho de 2000, Art. 4º, incisos I, III, X e XI, e na Lei Estadual n.º 9.413, de 13 de julho de 2011, Art. 4º, incisos I, III, X e XI, que dispõem sobre a pesquisa científica e contribuições para a preservação/conservação dos componentes bióticos das Unidades de Conservação. Em face da implementação do nosso banco de dados, os resultados alcançados, adicionalmente, deverão ser tabulados e apresentados em mídia digital, no formato de planilha eletrônica (.xls, .xlsx, ou .ods).																											
EQUIPE TÉCNICA																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nome</th> <th>Atuação</th> <th>CPF</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Débora Martins Silva Santos</td> <td>Coordenadora</td> <td>407.533.103-25</td> </tr> <tr> <td>Natália Jovita Pereira Couto</td> <td>Pesquisadora</td> <td>044.788.123-06</td> </tr> <tr> <td>Ingrid Caroline Moreira Lima</td> <td>Pesquisadora</td> <td>607.391.623-06</td> </tr> <tr> <td>Itallo Cristian da Silva de Oliveira</td> <td>Pesquisador</td> <td>047.108.263-58</td> </tr> <tr> <td>Clidilene Nogueira de Alencar Miranda</td> <td>Pesquisadora</td> <td>649.819.833-87</td> </tr> <tr> <td>Verdson Frazão Ferreira</td> <td>Pesquisador</td> <td>604.124.903-31</td> </tr> <tr> <td>Margareth Marques dos Santos</td> <td>Pesquisadora</td> <td>050.683.683-50</td> </tr> </tbody> </table>				Nome	Atuação	CPF	Débora Martins Silva Santos	Coordenadora	407.533.103-25	Natália Jovita Pereira Couto	Pesquisadora	044.788.123-06	Ingrid Caroline Moreira Lima	Pesquisadora	607.391.623-06	Itallo Cristian da Silva de Oliveira	Pesquisador	047.108.263-58	Clidilene Nogueira de Alencar Miranda	Pesquisadora	649.819.833-87	Verdson Frazão Ferreira	Pesquisador	604.124.903-31	Margareth Marques dos Santos	Pesquisadora	050.683.683-50
Nome	Atuação	CPF																									
Débora Martins Silva Santos	Coordenadora	407.533.103-25																									
Natália Jovita Pereira Couto	Pesquisadora	044.788.123-06																									
Ingrid Caroline Moreira Lima	Pesquisadora	607.391.623-06																									
Itallo Cristian da Silva de Oliveira	Pesquisador	047.108.263-58																									
Clidilene Nogueira de Alencar Miranda	Pesquisadora	649.819.833-87																									
Verdson Frazão Ferreira	Pesquisador	604.124.903-31																									
Margareth Marques dos Santos	Pesquisadora	050.683.683-50																									
Data e Local da Emissão São Luís, 31 de agosto de 2023																											
AUTORIZAÇÃO VÁLIDA SOMENTE COM ASSINATURA ELETRÔNICA																											

AS CONDICIONANTES DESTA AUTORIZAÇÃO ESTÃO LISTADAS NO VERSO



Documento assinado eletronicamente em 01/09/2023, às 13:32.

Assinado por: OQUERLINA MARIA COSTA SILVA - Cargo: SECRETÁRIO(A) ADJUNTO(A) DE RECURSOS AMBIENTAIS

Código Verificador: 21407095, Código CRC: 6G7QFCSN

Para consultar autenticidade acesse: <http://assinador.sema.ma.gov.br/assinador/fi/consulta-doc.xhtml>.

ANEXO 3 - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio/SIBIO)



Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 69518-8	Data da Emissão: 26/06/2023 13:18:33	Data da Revalidação*: 01/05/2024
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Débora Martins Silva Santos	CPF: 407.533.103-25
Título do Projeto: BIOMARCADORES PARA O MONITORAMENTO DE AMBIENTES LACUSTRES NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA BAIXADA MARANHENSE	
Nome da Instituição: UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO	CNPJ: 06.352.421/0001-68

Cronograma de atividades

#	Descrição da atividade	Início (mês/ano)	Fim (mês/ano)
1	Coleta de material biológico	01/2020	02/2020
2	Coleta de material biológico	08/2020	08/2020
3	Coleta de material biológico	05/2019	05/2019
4	Coleta de material biológico	05/2020	05/2020
5	Coleta de material biológico	11/2020	11/2020
6	Coleta de material biológico	01/2021	01/2021
7	Coleta de material biológico	11/2019	11/2019
8	Coleta de material biológico	08/2019	08/2019
9	Coleta de material biológico	01/2022	12/2023
10	Coleta de material biológico	01/2024	12/2024

Equipe

#	Nome	Função	CPF	Nacionalidade
1	Margareth Marques dos Santos	Análise parasitária e biomarcadores	050.683.683-50	Brasileira
2	Selma Patricia Diniz Cantanhede	Identificação Molecular de parasitos	007.401.583-41	Brasileira
3	MANOEL CLEBER SAMPAIO SILVA	Análise de biomarcadores histológicos	018.155.143-88	Brasileira
4	Ruan Luis Farias Do Vale	Análise hematológica e parasitária	063.788.133-88	Brasileira
5	Itallo Cristian Da Silva De Oliveira	Análise hematológica e parasitária	047.108.263-58	Brasileira
6	Tiago de Moraes Lenz	Análise de biomarcadores	033.249.129-38	Brasileira
7	JOSIELMA DOS SANTOS SILVA	Análise de biomarcadores	042.688.913-40	Brasileira
8	Verdson Frazão Ferreira	Análise de biomarcadores e parasitária	604.124.903-31	Brasileira

Número: 69518-8	Data da Emissão: 26/06/2023 13:18:33	Data da Revalidação*: 01/05/2024
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Débora Martins Silva Santos	CPF: 407.533.103-25
Título do Projeto: BIOMARCADORES PARA O MONITORAMENTO DE AMBIENTES LACUSTRES NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA BAIXADA MARANHENSE	
Nome da Instituição: UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO	CNPJ: 06.352.421/0001-68

Observações e ressalvas

1	A autorização não eximirá o pesquisador da necessidade de obter outras anuências, como: I) do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador quando as atividades forem realizadas em área de domínio privado ou dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso; II) da comunidade indígena envolvida, ouvido o órgão indigenista oficial, quando as atividades de pesquisa forem executadas em terra indígena; III) do Conselho de Defesa Nacional, quando as atividades de pesquisa forem executadas em área indispensável à segurança nacional; IV) da autoridade marítima, quando as atividades de pesquisa forem executadas em águas jurisdicionais brasileiras; V) do Departamento Nacional da Produção Mineral, quando a pesquisa visar a exploração de depósitos fossilíferos ou a extração de espécimes fósseis; VI) do órgão gestor da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, dentre outras.
2	Todos os membros da equipe de pesquisa devem estar cientes das recomendações e boas práticas a serem seguidas neste momento de emergência zoonossintária no Brasil devido à gripe aviária. Informe-se na página do CEMAVE na Internet: https://www.gov.br/cmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cehave/destaques/gripe-aviaria/gripe-aviaria-1 .
3	Deve-se observar as recomendações de prevenção contra a COVID-19 das autoridades sanitárias locais e das Unidades de Conservação a serem acessadas.
4	Esta autorização NÃO libera o uso da substância com potencial agrotóxico e/ou inseticida e NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de atender às exigências e obter as autorizações previstas em outros instrumentos legais relativos ao registro de agrotóxicos (Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, entre outros).
5	Esta autorização NÃO libera o uso da substância com potencial agrotóxico e/ou inseticida e NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de atender às exigências e obter as autorizações previstas em outros instrumentos legais relativos ao registro de agrotóxicos (Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, entre outros).
6	Este documento somente poderá ser utilizado para os fins previstos na Portaria ICMBio nº 748/2022, no que especifica esta Autorização, não podendo ser utilizado para fins comerciais, industriais ou esportivos. O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior.
7	Este documento não dispensa o cumprimento da legislação que dispõe sobre acesso a componente do patrimônio genético existente no território nacional, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva, ou ao conhecimento tradicional associado ao patrimônio genético, para fins de pesquisa científica, bioprospecção e desenvolvimento tecnológico. Veja maiores informações em www.mma.gov.br/cgen .
8	O titular de licença ou autorização e os membros da sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível, ao grupo taxonômico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos; e empregar esforço de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo taxonômico de interesse em condição in situ.
9	Esta autorização NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de obter as anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade, inclusive do órgão gestor de terra indígena (FUNAI), da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, ou do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador de área dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso.
10	Em caso de pesquisa em UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, o pesquisador titular desta autorização deverá contactar a administração da unidade a fim de CONFIRMAR AS DATAS das expedições, as condições para realização das coletas e de uso da infraestrutura da unidade.
11	O titular de autorização ou de licença permanente, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada pelo ICMBio, nos termos da legislação brasileira em vigor.
12	As atividades de campo exercidas por pessoa natural ou jurídica estrangeira, em todo o território nacional, que impliquem o deslocamento de recursos humanos e materiais, tendo por objeto coletar dados, materiais, espécimes biológicos e minerais, peças integrantes da cultura nativa e cultura popular, presente e passada, obtidos por meio de recursos e técnicas que se destinem ao estudo, à difusão ou à pesquisa, estão sujeitas a autorização do Ministério de Ciência e Tecnologia.

Número: 69518-8	Data da Emissão: 26/06/2023 13:18:33	Data da Revalidação*: 01/05/2024
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Débora Martins Silva Santos	CPF: 407.533.103-25
Título do Projeto: BIOMARCADORES PARA O MONITORAMENTO DE AMBIENTES LACUSTRES NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA BAIXADA MARANHENSE	
Nome da Instituição: UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO	CNPJ: 06.352.421/0001-68

Outras ressalvas

1	CEPAM Manaus-AM
2	CGPEQ

Locais onde as atividades de campo serão executadas

#	Descrição do local	Município-UF	Bioma	Caverna?	Tipo
1	APA da Baixada Maranhense	São João Batista-MA	Amazônia	Não	Dentro de UC Estadual
2	APA da Baixada Maranhense	Viana-MA	Amazônia	Não	Dentro de UC Estadual
3	APA da Baixada Maranhense	Conceição do Lago-Açu-MA	Amazônia	Não	Dentro de UC Estadual

Atividades

#	Atividade	Grupo de Atividade
1	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Fora de UC Federal
2	Captura de animais silvestres in situ	Fora de UC Federal
3	Coleta/transporte de espécimes da fauna silvestre in situ	Fora de UC Federal

Atividades X Táxons

#	Atividade	Táxon	Qtde.
1	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Curimatidae	-
2	Captura de animais silvestres in situ	Curimatidae	-
3	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Erythrinidae	-
4	Captura de animais silvestres in situ	Erythrinidae	-
5	Coleta/transporte de espécimes da fauna silvestre in situ	Cichlidae	40
6	Captura de animais silvestres in situ	Cichlidae	-
7	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Cichlidae	-
8	Coleta/transporte de espécimes da fauna silvestre in situ	Characidae	120
9	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Characidae	-
10	Captura de animais silvestres in situ	Characidae	-
11	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Sciaenidae	-
12	Coleta/transporte de espécimes da fauna silvestre in situ	Sciaenidae	40
13	Captura de animais silvestres in situ	Sciaenidae	-
14	Coleta/transporte de espécimes da fauna silvestre in situ	Anostomidae	40

Número: 69518-8	Data da Emissão: 26/06/2023 13:18:33	Data da Revalidação*: 01/05/2024
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Débora Martins Silva Santos	CPF: 407.533.103-25
Título do Projeto: BIOMARCADORES PARA O MONITORAMENTO DE AMBIENTES LACUSTRES NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA BAIXADA MARANHENSE	
Nome da Instituição: UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO	CNPJ: 06.352.421/0001-68

Atividades X Táxons

#	Atividade	Táxon	Qtde.
15	Captura de animais silvestres in situ	Anostomidae	-
16	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Anostomidae	-

A quantidade prevista só é obrigatória para atividades do tipo "Coleta/transporte de espécimes da fauna silvestre in situ". Essa quantidade abrange uma porção territorial mínima, que pode ser uma Unidade de Conservação Federal ou um Município.

A quantidade significa: por espécie X localidade X ano.

Materiais e Métodos

#	Tipo de Método (Grupo taxonômico)	Materiais
1	Amostras biológicas (Peixes)	Fragmento de tecido/órgão, Ectoparasita, Sangue, Outras amostras biológicas(Endoparasitos)
2	Método de captura/coleta (Peixes)	Tarrafa, Outros métodos de captura/coleta(Punção branquial ou caudal), Rede de emalhar (emalhe de deriva, de fundo, malhadeiras, caceio, feiteiras,tresmalhos e caçoeira)

Destino do material biológico coletado

#	Nome local destino	Tipo destino
1	UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO	Laboratório

Número: 69518-8	Data da Emissão: 26/06/2023 13:18:33	Data da Revalidação*: 01/05/2024
-----------------	--------------------------------------	----------------------------------

De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.

Dados do titular

Nome: Débora Martins Silva Santos	CPF: 407.533.103-25
Título do Projeto: BIOMARCADORES PARA O MONITORAMENTO DE AMBIENTES LACUSTRES NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA BAIXADA MARANHENSE	
Nome da Instituição: UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO	CNPJ: 06.352.421/0001-68

Registro de coleta imprevista de material biológico

De acordo com a Instrução Normativa nº 03/2014, a coleta imprevista de material biológico ou de substrato não contemplado na autorização ou na licença permanente deverá ser anotada na mesma, em campo específico, por ocasião da coleta, devendo esta coleta imprevista ser comunicada por meio do relatório de atividades. O transporte do material biológico ou do substrato deverá ser acompanhado da autorização ou da licença permanente com a devida anotação. O material biológico coletado de forma imprevista, deverá ser destinado à instituição científica e, depositado, preferencialmente, em coleção biológica científica registrada no Cadastro Nacional de Coleções Biológicas (CCBIO).

[illegible]

* Identificar o espécime do nível taxonômico possível.



Emitido em 02/03/2026

DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS Nº 209/2026 - DPARQ (11.14.68.07.05)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 02/03/2026 16:06)

CRISTIANE DE JESUS PEREIRA GASPAR

SECRETARIO III

866500

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sis.sig.uema.br/documentos/> informando seu número:
209, ano: **2026**, tipo: **DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS**, data de emissão: **02/03/2026** e o código de
verificação: **cda4e48e44**

