



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AMBIENTAL**

BRUNA OLIVEIRA FERREIRA

**DISTRIBUIÇÃO E OCORRÊNCIA DE MICROPLÁSTICOS EM
ESTUÁRIOS DA BAÍA DE SÃO JOSÉ, MARGEM EQUATORIAL
BRASILEIRA**

SÃO LUÍS, MA

2025

BRUNA OLIVEIRA FERREIRA

DISTRIBUIÇÃO E OCORRÊNCIA DE MICROPLÁSTICOS EM
ESTUÁRIOS DA BAÍA DE SÃO JOSÉ, MARGEM EQUATORIAL
BRASILEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
CIÊNCIAS & TECNOLOGIA AMBIENTAL da
Universidade Federal do Maranhão como requisito à
obtenção do título de MESTRE.

Orientador (a): Prof. Dr^o. Marco Valério Jansen Cutrim
Coorientadora: Dr^a. Ana Karoline Duarte dos Santos Sá
Linha de pesquisa: Recursos Naturais

SÃO LUÍS, MA

2025

Defesa da dissertação de mestrado da discente **Bruna Oliveira Ferreira**, intitulada: **“Distribuição e Ocorrência de Microplásticos em Estuários da Baía de São José, Margem Equatorial Brasileira”**, orientado pelo(a) Prof. Dr. **Marco Valério Jansen Cutrim**, apresentado à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência & Tecnologia Ambiental, em **24 de fevereiro de 2025**.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marco Valério Jansen Cutrim (Orientador)

Prof. Dr. Ricardo Luvizotto Santos (Membro Interno)

Profa. Dra. Andrea C.G.de Azevedo-Cutrim (Membro Externo)

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Ferreira, Bruna Oliveira.

Distribuição e Ocorrência de Microplásticos em
Estuários da Baía de São José, Margem Equatorial
Brasileira / Bruna Oliveira Ferreira. - 2025.

58 f.

Coorientador(a) 1: Ana Karoline Duarte dos Santos Sá.

Orientador(a): Marco Valério Jansen Cutrim.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Ciência e Tecnologia Ambiental/ccet, Universidade Federal
do Maranhão, São Luís, 2025.

1. Polímeros. 2. Poluição Estuarina. 3. Resíduos
Sólidos. I. Cutrim, Marco Valério Jansen. II. Sá, Ana
Karoline Duarte dos Santos. III. Título.

*“Ao Senhor pertence a terra e tudo o que nela se contém,
o mundo e os que nele habitam.”*

Salmos 24:1 (ARA)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de aprender mais, por Sua bondade e misericórdia, que me alcançam todos os dias.

Aos meus pais, Wilson e Gracilene, e aos meus irmãos, Wiliam e Wanderson, pelo apoio e compreensão durante esse período.

Ao meu noivo, Josué Lopes, por ter me acompanhado de perto nos momentos mais difíceis, com muito carinho, amor e compreensão.

À minha prima e amiga Dalciane, pelo companheirismo, amizade e por sempre tornar tudo mais leve.

Aos amigos de turma, Mateus e Dandan, que acompanharam tudo de perto e me ajudaram em todas as etapas. Aos demais amigos que sempre estiveram disponíveis para dar o suporte necessário ou compartilhar desabafos acadêmicos.

À Lucialice, colega de turma e companheira de pesquisa e laboratório.

Às pessoas que tornaram esse mestrado muito especial, pois chegaram à minha vida como um gracioso presente: Karol e Quedy, não tenho palavras para expressar a admiração e o carinho que tenho por vocês. Serei eternamente grata a Deus por essa amizade!

Ao meu querido orientador, conselheiro e incentivador, Prof. Dr. Marco Valério, por todo o conhecimento repassado, pela paciência e pelo profissionalismo.

À coordenação do programa, pelo suporte e pela atenção.

À FAPEMA, órgão responsável pelo financiamento da bolsa deste mestrado.

A todos que, de alguma forma, me ajudaram ou estiveram envolvidos nessa etapa da minha vida, meu sincero OBRIGADA!

RESUMO

A poluição por microplásticos no ambiente aquático representa uma grande ameaça a este ecossistema, provocando graves impactos à vida marinha. Entre os maiores geradores de resíduos plásticos no planeta, o Brasil destaca-se na quarta colocação, produzindo cerca de onze milhões de toneladas por ano. O presente estudo visa investigar a poluição por microplásticos em dois importantes estuários da baía de São José (Tibiri e Paciência), em três compartimentos ambientais: água, sedimento e biota. A água e os sedimentos foram coletados nas margens e no centro dos estuários. A biota incluiu bivalves (*Mytella charruana*) e sete espécies de peixes. Os MPs foram analisados em microscópio óptico, categorizados por forma, tamanho e cor. Análises estatísticas (Shapiro-Wilk, Levene, ANOVA, Kruskal-Wallis, PERMANOVA, PERMDISP, PCoA) avaliaram diferenças entre áreas e amostras. Em relação a água e sedimento, os resultados indicaram uma distribuição heterogênea com diferenças significativas entre as duas áreas estudadas. Fragmento foi a forma predominante de microplásticos, seguido por fibras, o que corrobora com estudos anteriores que apresentam essas como as formas mais frequentes de microplásticos. A cor azul foi a mais frequente nas diferentes matrizes ambientais analisadas. A maioria das partículas estava na faixa de tamanho de 10^{-3} - 1 mm. A maioria dos organismos analisados apresentou microplásticos, sugerindo uma contaminação generalizada e evidenciando a relação entre hábitos alimentares e a bioacumulação dessas partículas. Os resultados ressaltam a necessidade do monitoramento contínuo dos microplásticos para compreender sua distribuição e impactos ambientais, além dos riscos à saúde humana.

PALAVRAS-CHAVE: polímeros; poluição estuarina; resíduos sólidos.

ABSTRACT

Microplastic pollution in the aquatic environment poses a major threat to this ecosystem, causing serious impacts to marine life. Among the largest generators of plastic waste on the planet, Brazil stands out in fourth place, producing around eleven million tons per year. The present study aims to investigate microplastic pollution in two important estuaries of the São José Bay (Tibiri and Paciência), in three environmental compartments: water, sediment and biota. Water and sediments were collected on the banks and in the center of the estuaries. The biota included bivalves (*Mytella charruana*) and seven species of fish. The MPs were analyzed under an optical microscope, categorized by shape, size and color. Statistical analyses (Shapiro-Wilk, Levene, ANOVA, Kruskal-Wallis, PERMANOVA, PERMDISP, PCoA) evaluated differences between areas and samples. Regarding water and sediment, the results indicated a heterogeneous distribution with significant differences between the two studied areas. Fragments were the predominant form of microplastics, followed by fibers, which corroborates previous studies that present these as the most frequent forms of microplastics. The blue color was the most frequent in the different environmental matrices analyzed. Most of the particles were in the size range of 10⁻³ - 1 mm. Most of the organisms analyzed presented microplastics, suggesting widespread contamination and evidencing the relationship between dietary habits and the bioaccumulation of these particles. The results highlight the need for continuous monitoring of microplastics to understand their distribution and environmental impacts, in addition to the risks to human health.

KEYWORD: estuarine pollution; polymers; solid waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de exposição do homem ao microplástico por meio da ingestão de organismos aquáticos.....	15
Figura 1 - Localização da área de estudo - estuários dos rios Tibiri e Paciência, Baía de São José, Maranhão.	25
Figura 2 - PERMDISP. (a) Padrão de gráfico de dispersão por área. (b) boxplot de heterogeneidade ambiental por área.	30
Figura 3 - Classificação das partículas de MPs na água quanto à morfologia e escala de tamanho. (a) Classificação morfológica das partículas de MPS quanto à forma (fibra, fragmento e esfera) por área. (b), (c) e (d) ocorrência das formas quanto aos tamanhos.....	31
Figura 4 - Variação da coloração das partículas de microplásticos na água e no sedimento	32
Figura 5 - Correlação do acúmulo de microplásticos entre água e Sedimento	33
Figura 6 - Correlação biomassa x partículas de MP. a) correlação entre peso e total de MP. b) Correlação entre comprimento e total de MP.....	36
Figura 7 - Variação morfológica de MPs em organismos. (a) fibra rosa (músculo <i>Cynoscion acoupa</i>). (b) fibra transparente (trato <i>Cynoscion leiarchus</i>). (c) esfera avermelhada (<i>Mytella charruana</i>). (d) fibra azul (músculo <i>Bagre bagre</i>). (e) fibra azul (músculo <i>Cynoscion acoupa</i>). (f) esfera alaranjada (<i>Mytella charruana</i>).....	37
Figura 8 - Classificação das partículas de MPs em <i>Mytella charruana</i> das áreas I e II. (a) número de partículas de microplásticos nos bivalves das áreas I e II. (b) classificação das partículas quanto as cores. (c) classificação das partículas quanto ao tamanho. (d) classificação das partículas quanto à forma.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das espécies de peixes analisadas nas áreas I e II	27
Tabela 2 - Resultado da análise de variância permutacional (PERMANOVA) das variáveis, considerando os pontos de coleta, a margem, a área e o estrato (superfície e profundidade) como fatores.....	29
Tabela 3. Resultado da análise de variância permutacional (PERMANOVA) das variáveis do sedimento, considerando os pontos de coleta, margem e a área como fatores.	31
Tabela 4 - Caracterização, biometria e abundância média de microplásticos por espécies de peixes	34
Tabela 5 - Concentração média de MPs nos órgãos por espécie.....	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 Impacto dos MPs no ambiente marinho	14
2.2 MPs em bivalves e peixes.....	15
2.3 Impactos na saúde humana	17
3. OBJETIVOS	17
3.1 Geral	17
3.2 Específicos.....	17
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
CAPÍTULO 1.....	
1. INTRODUÇÃO	23
2. MÉTODOS.....	25
2.2 Área de estudo	25
2.3 Procedimento de amostragem e laboratório	26
2.3.1 Água	26
2.3.2 Sedimento	26
2.3.3 Biota	26
2.4 Identificação de MPs	28
2.5 Medidas de controle de contaminação	28
2.6 Análise de dados.....	28
3. RESULTADOS	29
3.1 Água	29
3.2 Sedimento	31
3.3 Biota	33
Peixes.....	33
Bivalves	37
4. DISCUSSÃO	39
5. CONCLUSÃO.....	43
6. CONTRIBUIÇÕES ATRELADAS A DISSERTAÇÃO.....	44
6.1 Importância Social	44
6.2 Importância Econômica.....	44
6.3 Importância Ambiental	44
7. REFERÊNCIAS	45
NORMAS DA REVISTA.....	50

1. INTRODUÇÃO

A demanda por materiais plásticos no mundo tem aumentado consideravelmente, consolidando-os como o principal resíduo de origem antropogênica encontrado no meio ambiente (Geyer *et al.*, 2017). Esses resíduos são poluentes ambientais persistentes, cuja presença foi registrada em todas as regiões do planeta, incluindo áreas remotas da Antártida e do Ártico (Ali *et al.*, 2024; Khan *et al.*, 2023).

Grande parte dos resíduos plásticos gerados não possui destinação adequada, o que, aliado à lenta degradação desses materiais, aumenta os riscos ambientais. Esse cenário é agravado pela geração de partículas menores, como micro (1 μm - 5 mm) e nanoplásticos (<1 μm), que representam um desafio significativo para o meio ambiente e para a saúde humana. As consequências desses poluentes ainda permanecem pouco exploradas, exigindo investigações adicionais (Nguyen *et al.*, 2023).

O ambiente aquático destaca-se como um dos ecossistemas mais impactados pela poluição por plásticos (Jambeck, 2015). Esse material pode persistir no meio ambiente por décadas ou até séculos, causando impactos severos na biodiversidade (Tang *et al.*, 2020). Espécies aquáticas frequentemente ingerem fragmentos de plástico ao confundí-los com alimentos ou ficam presos nesses resíduos, o que pode levar a ferimentos, sufocamento ou morte (Thushari e Senevirathna, 2020). Além disso, as opções de remoção desses poluentes são limitadas, especialmente em grandes corpos d'água e regiões de difícil acesso, dificultando ainda mais a recuperação desses ecossistemas (Usman *et al.*, 2020).

O impacto do lixo plástico configura-se como uma questão emergente e preocupante. A tendência é de que o aumento da produção global de plásticos acompanhe o crescimento populacional, podendo atingir uma taxa anual superior a 600 milhões de toneladas em 2025 (Heinrich *et al.*, 2020; Olivatto *et al.*, 2018). Esse cenário evidencia a necessidade de investigações contínuas sobre os efeitos dessa poluição e suas implicações para os ecossistemas e a saúde humana.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O plástico surgiu por volta de 1900 com a “Baquelite”, primeira forma comercial de plástico totalmente sintético (Crespy, Bozonnet e Méier, 2008). No entanto, a utilização desse polímero em larga escala só se deu por volta de 1950 (ABIPLAST, 2020; Geyer *et al.*, 2017). Os principais monômeros utilizados para a produção do plástico

derivam de hidrocarbonetos fósseis como o petróleo e gás natural (Geyer *et al.*, 2017). As características físicas e químicas do plástico possibilitam o seu uso em praticamente todos os campos da vida social, desde pequenas atividades domésticas a grandes atividades industriais (Dere, 2021).

A maior parte dos produtos plásticos possui a finalidade de servir como uma embalagem de vida útil relativamente curta e, por isso, nas últimas décadas, o plástico tornou-se um problema ambiental crítico devido à falta de gestão dos resíduos e produção em larga escala, se destacando como o maior poluidor dos oceanos (Gimiliani, 2020; Lucio *et al.*, 2019)

Entre os polímeros mais utilizados no cotidiano destacam-se o polietileno (PE), polipropileno (PP), o policloreto de vinila (PVC) e tereftalato de polietileno (PET), que são compostos que podem ser encontrados em peças de automóveis, sacolas de compras, canos de água, dentre diversos outros produtos com diferentes funcionalidades (Olivatto *et al.*, 2018; Vargas *et al.*, 2022). O plástico é extremamente resistente à degradação natural e leva centenas ou milhares de anos para se decompor e, uma vez no oceano, esses resíduos apresentam grande capacidade de dispersão (Araújo, 2022; MMA, 2019).

Os microplásticos (MPs) são representados pelos fragmentos plásticos menores que 5mm de diâmetro (NOAA, 2023), registrados inicialmente por Carpenter e Smith (1972) na América do Norte como esférulas em amostras de plâncton ao longo da costa da Nova Inglaterra na década de 1970 (Masura *et al.*, 2015; Vieira *et al.*, 2021).

Os MPs podem ser classificados quanto à sua origem em primários e secundários. Os MPs primários são aqueles advindos de partículas produzidas em tamanhos microscópicos, largamente utilizadas na indústria de produtos cosméticos, bem como os *pellets*, que são esferas de plástico virgem utilizadas na produção de plásticos maiores pela indústria (Herrera, 2022). Enquanto os MPs secundários referem-se ao material resultantes da fragmentação de macro e mesoplásticos por meio da radiação ultravioleta (UV), aumento de temperatura e/ou do atrito, ou causas biológicas (Lucio *et al.*, 2019; Olivatto *et al.*, 2018). Além disso, essa classificação pode ser feita a partir da morfologia do MPs, sendo os principais tipos: *pellets*, fragmentos, filmes, fibras e espumas (Queiroz, 2022).

Os vários tipos de MPs advindos, principalmente, da fragmentação dos macroplásticos, têm sido documentados em diversos estratos ambientais, sobretudo em regiões costeiras. Essa distribuição também é influenciada pelas propriedades do polímero o que possibilita diferentes padrões de distribuição nas diferentes camadas de

água tornando essas partículas potenciais poluentes para a biota aquática (Huang et al. 2021).

2.1 Impacto dos MPs no ambiente marinho

A poluição por MPs no ambiente marinho tem se tornado uma preocupação crescente devido à sua persistência e capacidade de dispersão. Vários fatores influenciam a distribuição dos MPs no ambiente, sendo o mais importante a proximidade das fontes poluidoras. Todavia, fenômenos naturais como ventos, correntes oceânicas entre outros, podem influenciar o transporte desses poluentes para longas distâncias e atingir inclusive áreas remotas, mesmo aquelas isentas de possíveis ações antrópicas (Andrady, 2011; Cole *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2021).

No ambiente aquático, os MPs podem afundar, depositar-se em lodo ou sedimento, ou ficar suspensos dependendo da densidade do polímero, idade e níveis de incrustação. Assim, as partículas podem ser ingeridas por organismos aquáticos como plânctons, bivalves, crustáceos e peixes, sendo armazenadas em células ou tecidos (Vargas *et al.*, 2022).

A poluição por MPs nesses ambientes representa uma grave ameaça para diversas espécies, que não apenas ingerem esses materiais, mas também os transferem ao longo das teias alimentares. Esse problema é intensificado pela capacidade dos MPs de servirem como superfícies de contato para a adsorção de poluentes orgânicos presentes na água. Como resultado, ocorre bioacumulação e magnificação trófica, que se manifestam quando há um acúmulo progressivo de poluentes ao longo da cadeia alimentar devido à dieta (Kirsten *et al.*, 2022; MMA, 2019) (figura 1).

Figura 1 - Esquema de exposição do homem ao microplástico por meio da ingestão de organismos aquáticos.



Fonte: Autora, 2024

2.2 MPs em bivalves e peixes

A relação entre detritos plásticos e a vida marinha começou a ser bibliograficamente registrada na década de 1960 (Caldwell *et al.*, 1965). Desde então, a ingestão de MPs por espécies de importância para o consumo humano tornou-se cada vez mais preocupante, uma vez que tem sido observado em vários organismos marinhos a presença de MPs em seus conteúdos estomacais e em outros órgãos como brânquias, músculos e pele (Pinheiro *et al.*, 2022; Sequeira, 2020). A ingestão de MPs por organismos marinhos pode resultar em lesões nos tratos digestivos, acúmulo nos tecidos, favorecer a absorção de contaminantes tóxicos e o veículo de patógenos (Condor *et al.*, 2019; De Sá *et al.*, 2015).

As características ecológicas de muitas espécies propiciam seu contato com as partículas de MPs. Nos bivalves, por exemplo, a alimentação se dá através da filtração de material em suspensão (Narchi e Galvão-Bueno, 1983). De acordo com Machado *et al.* (2021), alguns moluscos chegam a filtrar até 100 litros de água por dia, concentrando, em seus tecidos, grande quantidade de substâncias químicas, micro-organismos e resíduos orgânicos e inorgânicos. Li *et al.* (2016), afirmam que os bivalves representam um dos grupos mais vulneráveis à poluição por MPs e por geralmente serem consumidos inteiros, representam uma das mais importantes fontes de exposição humana aos MPs através da dieta (Mercogliano *et al.*, 2020).

A exploração das espécies do gênero *Mytella* Scot-Ryen (1955), conhecidas popularmente como “mexilhão”, “marisco” ou “sururu” ocorre em zonas entremarés, águas rasas costeiras, manguezais e estuários e é favorecida principalmente por sua abundância e facilidade de captura (Monteles, *et al.* 2019; Narchi e Galvão-Bueno, 1983). Lemos *et al.* (1988), indicaram que a prospecção de moluscos do gênero *Mytella* no litoral maranhense indica um estoque nativo renovável de 30 mil toneladas, sendo composto por duas espécies: o sururu de pasta *Mytella charruana* d’Orbigny (1846) (considerada sinônimo de *Mytella falcata* de acordo com Bouchet e Hube (2015), que se caracteriza por apresentar conchas estreitas, e o sururu de dedo *Mytella guyanensis*, caracterizado por apresentar conchas largas (Barros *et al.*, 2020; Monteles *et al.*, 2019).

A espécie *M. charruana* está entre as mais extraídas dos estuários e manguezais maranhenses e representa um recurso de extrema importância na pesca artesanal pois auxilia no complemento da alimentação da população ribeirinha e também se destaca como complemento da renda familiar (Gomes *et al.*, 2019). Apesar disso, ainda faltam investigações em larga escala sobre a poluição por MPs em bivalves ao longo das águas costeiras na costa norte do Brasil, com destaque para a espécie *M. charruana* no Maranhão.

Em peixes, a contaminação por MPs pode ocorrer através da ingestão acidental das partículas ao confundi-las com alimento, ou quando estão no interior ou aderidas ao alimento (Jovanovic, 2017). Várias pesquisas têm indicado a presença de MPs no sistema digestivo e nos tecidos musculares de diversos peixes utilizados na alimentação humana (Ghosh, 2021; Harikrishnan *et al.*, 2023; Sequeira *et al.* 2021). Apesar do trato digestivo constituir uma parte normalmente não comestível pelos humanos, as partículas de MPs podem ser transferidas para partes comestíveis dos peixes (Fossi *et al.*, 2018).

Em relação à influência dos hábitos alimentares dos peixes na absorção de MPs, observa-se que os dados existentes na literatura são conflitantes (Parker *et al.*, 2020). Alguns estudos apontam que os peixes carnívoros apresentam maior taxa de absorção (Harikrishnan *et al.*, 2023), enquanto outros afirmam que a taxa de absorção de MPs independe dos hábitos alimentares das espécies (Dantas *et al.*, 2020; Lusher *et al.*, 2013).

No Brasil, o consumo de peixes pela população brasileira é de aproximadamente 9 kg/habitante/ano, em média (MAP, 2020). Os primeiros registros da ingestão de plásticos por peixes no Brasil foram relacionados à zona estuarina (Possatto *et al.*, 2011; Ramos, Barletta e Costa, 2012). Mercogliano *et al.* (2020), sugerem que mais pesquisas

sobre a ocorrência de MPs na cadeia trófica marinha são necessárias, não obstante, os efeitos de longo prazo em animais e humanos e as implicações para a saúde.

2.3 Impactos na saúde humana

O impacto dos MPs na saúde humana ainda é um tema em estágio inicial de investigação científica, mas os achados disponíveis apontam para a ampla presença dessas partículas no corpo humano. Estudos recentes demonstram a detecção de MPs em diversos órgãos e fluidos corporais, incluindo o sangue (Leslie *et al.*, 2022), fígado (Horvatits *et al.*, 2022), placenta (Ragusa *et al.*, 2021), bem como em amostras de fezes (Schwabl *et al.*, 2019) e urina (Pironti *et al.*, 2022). Esses resultados indicam que os MPs podem atravessar barreiras biológicas e se distribuir sistemicamente.

A principal rota de exposição aos MPs acredita-se ser o trato gastrointestinal, com a ingestão de alimentos e água contaminados sendo a via predominante (Kadac-Czapska, Knez e Grembecka, 2022). Além disso, outras vias, como a inalação de partículas presentes no ar, têm sido sugeridas como um meio significativo de entrada no organismo, especialmente em ambientes urbanos (Borgatta, 2024).

No que diz respeito à contaminação através de alimentos contaminados, os organismos de origem aquática desempenham um papel fundamental. Peixes, moluscos e crustáceos, frequentemente consumidos por humanos, têm mostrado altos níveis de contaminação por MPs. Portanto, monitorar e reduzir a presença de MPs nos ambientes aquáticos e nos organismos marinhos é essencial para minimizar os riscos à saúde humana e garantir a segurança alimentar.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar quali-quantitativamente a concentração de microplásticos nos compartimentos água/sedimento e biota aquática (bivalves e peixes) em dois estuários da Baía de São José-MA.

3.2 Específicos

- Quantificar as partículas de MPs nos compartimentos água/ sedimento, bivalves e peixes;
- Caracterizar os MPs quanto ao tamanho e forma em todos os compartimentos analisados;

- Relacionar a ocorrência do MPs com o hábito alimentar, tamanho, peso e órgãos/tecidos dos peixes e bivalves analisados;

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPLAST. **O Plástico no Mundo**. Disponível em: http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2020/09/Plastico_no_Mundo.pdf Acesso em: 23 de janeiro de 2023.

ALI, S. S. *et al.* Microplastics as persistent and vectors of other threats in the marine environment: Toxicological impacts, management and strategical roadmap to end plastic pollution. **Environmental Chemistry and Ecotoxicology**. 2024.

ANDRADY, A. L. Microplastics in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**. 62(8). 2011:1596-605.

ARAÚJO, D. GARCIA. **Avaliação dos efeitos de pellets e polímeros, oxibiodegradável e hidrossolúvel, em ambientes marinhos utilizando sedimento marcado e mexilhões da espécie *Mytella charruana***. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear). Instituto de Pesquisas energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN, São Paulo. 78p. 2022.

BARROS, M. R. F.; SANTOS, W. J. P.; CHAGAS, R. A. Morphometry and shell shape stabilization indicator (IEF) of the mussel *Mytella charruana* (d'Orbigny, 1842) (Bivalvia, Mytilidae). **Biota Amazônia**, v. 10, n. 1, p. 31-34, 2020.

BORGATTA, M.; FLORIAN B. Inhalation of Microplastics—A Toxicological Complexity. **Toxics** 12: n. pag. 2024.

BOUCHET, P e HUBER, M. ***Mytella charruana* (d'Orbigny, 1842)**. In: MolluscaBase (2015). Disponível em: <http://www.molluscabase.org/aphia.php?p=taxdetails&id=397146> on 2016-03-20 Acesso em 29/01/2023.

CALDWELL, M. C. *et al.* **Observations on captive and wild Atlantic bottlenosed dolphins, *Tursiops Truncatus*: In the northeastern Gulf of Mexico**. Los Angeles County Museum, 1965.

COLE, M. *et al.* Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. **Marine Pollution Bulletin**. 62, 12, 2011.

CONDOR, E. W. E. *et al.* Impacto de la ingesta de residuos plásticos en peces. **Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente**, (4), 79-92. 2019.

CRESPY, Daniel; BOZONNET, Marianne; MEIER, Martin. 100 Years of Bakelite, the Material of a 1000 Uses. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 47, n. 18, p. 3322-3328, 2008.

DANTAS, D. V., Barletta, M., de Assis Almeida Ramos, J., Lima, A. R. A., & da Costa, M. F. (2013). Seasonal diet shifts and overlap between two sympatric catfishes in an estuarine nursery. **Estuaries and Coasts**, 36, 237-256.

DE SÁ, L. C.; LUÍS, L. G.; GUILHERMINO, L. Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): confusion with prey, reduction of the

predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. **Environmental Pollution**, v. 196, p. 359-362, 2015.

DERE, Kishor. Mobilizing world public opinion against use of plastic products. **California Western Law Review**, v. 57, n. 1, p. 11, 2021.

FOSSI, Maria Cristina *et al.* Bioindicators for monitoring marine litter ingestion and its impacts on Mediterranean biodiversity. **Environmental Pollution**, v. 237, p. 1023-1040, 2018.

GEYER, R. *et al.* Production, use, and fate of all plastics ever made. **Sci. Adv.** v.3, 1700782, 2017.

GHOSH, Gopal C. *et al.* Microplastics contamination in commercial marine fish from the Bay of Bengal. **Regional Studies in Marine Science**, v. 44, p. 101728, 2021.

GIMILIANI, *et al.* Simple and cost-effective method for microplastic quantification in estuarine sediment: A case study of the Santos and São Vicente Estuarine System. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, 2, 100020. 2022.

HARIKRISHNAN, T. *et al.* Microplastic contamination in commercial fish species in southern coastal region of India. **Chemosphere**, v. 313, p. 137486, 2023.

HEINRICH, P. *et al.* The tox is in the detail: technical fundamentals for designing, performing, and interpreting experiments on toxicity of microplastics and associated substances. **Environmental Science Pollution Research**. 27, 22292–22318 (2020).

HERRERA, N R. **Microplásticos: Uma análise utilizando o modelo DPSIR (Drivers, Pressures, State, Impacts, Responses) sobre a situação do Brasil**. 2022. 173 f. Dissertação (Mestrado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia do Mar) - Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo. Santos, 2022.

HORVATITS, Thomas *et al.* Microplastics detected in cirrhotic liver tissue. **EBioMedicine**, v. 82, 2022.

HUANG, Wei *et al.* Microplastics and associated contaminants in the aquatic environment: A review on their ecotoxicological effects, trophic transfer, and potential impacts to human health. **Journal of Hazardous Materials**, v. 405, p. 124187, 2021.

JAMBECK, J. R. *et al.* Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 768-771, 2015.

JOVANOVIĆ, B. Ingestion of microplastics by fish and its potential consequences from a physical perspective. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 13, n. 3, p. 510-515, 2017.

KADAC-CZAPSKA, K., Knez, E., e GREMBECKA, M. Food and human safety: the impact of microplastics. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 64(11), 3502–3521. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2132212>. 2022.

KHAN, Md Badiuzzaman *et al.* Abundance, distribution and composition of microplastics in sediment and fish species from an Urban River of Bangladesh. **Science of the Total Environment**, v. 885, p. 163876, 2023

KIRSTEN, T. B. *et al.* **Pesquisas experimentais com microplástico em organismos aquáticos**. In *Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções* (Marcelo Pompêo,

Bárbara Rani-Borges, Teresa Cristina Brazil de Paiva - Organizadores). Instituto de Biociências – IB/USP Universidade de São Paulo. São Paulo, p 66-87. 2022.

LEMOS, L.C.P. **Enlatamento do sururu (*Mytella falcata* Orbigny 1846) ocorrente no litoral maranhense utilizando salmoura como líquido de cobertura**. Monografia (Bacharelado em Química) UFMA, 50 p. 1998.

LESLIE, Heather A. *et al.* Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. **Environment international**, v. 163, p. 107199, 2022.

LI, Jiana *et al.* Microplastics in mussels along the coastal waters of China. **Environmental pollution**, v. 214, p. 177-184, 2016.

LUCIO, F. T. *et al.* **Disponibilidade e Influência dos Microplásticos nos Seres Vivos e Ambiente: uma revisão**. Conexão Ci. Formiga/MG. Vol. 14, Nº 1, p.47-55. 2019.

LUSHER, A. L. *et al.* Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. **Marine Pollution Bulletin**. v. 67, n. 1-2, pág. 94-99, 2013.

MAP. **Ministério da Agricultura e Pecuária. Consumo e tipos de peixes no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/aquicultura-e-pesca/rede-do-pescado/consumo-e-tipos-de-peixes-no-brasil>

MASURA, J. *et al.* **Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments**. 2015.

MERCOGLIANO, R. *et al.* Occurrence of Microplastics in Commercial Seafood under the Perspective of the Human Food Chain. A Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 68 (19), 5296-5301. 2020.

MICHAELI, Walter *et al.* **Tecnologia dos plásticos**. Editora Blucher, 1995.

MMA. **Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana : Plano de Combate ao Lixo no Mar**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial, Coordenação Geral de Gerenciamento Costeiro. 40p. Brasília, DF, 2019.

MONTELES, J. S. *et al.* **Parâmetros Produtivos de *Mytella charruana* Cultivado em Manguezais de Macromaré da Costa Amazônica, Brasil**. SILVA, Flávio Ferreira. Aquicultura e Pesca: Adversidades e Resultados 2. P. 151-165. 2019.

NARCHI, Walter; GALVÃO-BUENO, Mário Sérgio. Anatomia funcional de *Mytella charruana* (D'Orbigny, 1846) (Bivalvia: Mytilidae). **Boletim de Zoologia**, v. 6, n. 6, pág. 113-145, 1983.

NGUYEN, M. K. *et al.* A comprehensive review on ecological effects of microplastic pollution: An interaction with pollutants in the ecosystems and future perspectives. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, 117294. 2023.

NOAA Marine Debris Program National Oceanic and Atmospheric Administration U.S. Department of Commerce Technical Memorandum NOS-OR&R-48. 2015.

NOAA. **What are microplastics?** 2023. Disponível em: <<https://oceanservice.noaa.gov/facts/microplastics.html>> Acesso em 18/01/2023

- OLIVATTO, Glaucia P. *et al.* Microplásticos: Contaminantes de preocupação global no Antropoceno. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 6, p. 1968-1989, 2018.
- PARKER, Brittney W. *et al.* Microplastic and tire wear particle occurrence in fishes from an urban estuary: Influence of feeding characteristics on exposure risk. **Marine Pollution Bulletin**, v. 160, p. 111539, 2020.
- PINHEIRO, P. B.; JÚNIOR, R. P. C.; FREITAS, F. L. Microplástico em peixes marinhos: um referencial teórico. **Engenharia de Pesca: aspectos teóricos e práticos**. V.3 (10), p163-172. 2022.
- PIRONTI, C., *et al.* First Evidence of Microplastics in Human Urine, a Preliminary Study of Intake in the Human Body. **TOXICS**, 2023, 11: 40-48.
- POSSATTO, Fernanda E. *et al.* Plastic debris ingestion by marine catfish: an unexpected fisheries impact. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 5, p. 1098-1102, 2011.
- QUEIROZ, L. G. **Microplásticos: uma abordagem introdutória**. In Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções (Marcelo Pompêo, Bárbara Rani-Borges, Teresa Cristina Brazil de Paiva - Organizadores). Instituto de Biociências – IB/USP Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 1-7. 2022.
- RAGUSA, Antonio *et al.* Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. **Environment international**, v. 146, p. 106274, 2021.
- RAMOS, Jonas AA; BARLETTA, Mário; COSTA, Monica F. Ingestion of nylon threads by *Gerreidae* while using a tropical estuary as foraging grounds. **Aquatic Biology**, v. 17, n. 1, p. 29-34, 2012.
- SCHWABL, Philipp *et al.* Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. **Annals of Internal Medicine**, v. 171, n. 7, p. 453-457, 2019.
- SEQUEIRA, Inês F. *et al.* Worldwide contamination of fish with microplastics: A brief global overview. **Marine Pollution Bulletin**, v. 160, p. 111681, 2020.
- TANG Y. *et al.* A review: Research progress on microplastic pollutants in aquatic environments. **Science of The Total Environment**, Volume 766, 2021, 142572, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142572>.
- THUSHARI, Gajahin Gamage Nadeeka; SENEVIRATHNA, Jayan Duminda Mahesh. Plastic pollution in the marine environment. **Heliyon**, v. 6, n. 8, 2020.
- USMAN, Sunusi *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.
- VARGAS, J. G. M. *et al.* Microplásticos: uso na indústria cosmética e impactos no ambiente aquático. **Química Nova**, Vol. 45, No. 6, 705-711, 2022.
- VIEIRA, K. S. *et al.* Occurrence of microplastics and heavy metals accumulation in native oysters *Crassostrea gasar* in the Paranaguá estuarine system, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, 166, 2021.
- WANG, Xinjie *et al.* A review of microplastics aggregation in aquatic environment: Influence factors, analytical methods, and environmental implications. **Journal of Hazardous Materials**, v. 402, p. 123496, 2021.

Título do artigo: Quantificação e caracterização de microplásticos em água, sedimento e organismos nos estuários da Baía de São José, Margem Equatorial Brasileira

Artigo a ser submetido

Nome da revista: Marine Pollution Bulletin

QUALIS da Capes para a área de Geociências: A1

Fator de Impacto da Revista: 5.3

Objetivos Específicos da Dissertação atrelados ao artigo:

Quantificação e caracterização das partículas de MPs nos compartimentos água, sedimento, bivalves e peixes da baía de São José, Margem Equatorial Brasileira.

CAPÍTULO 1

Ferreira, B. O. Cutrim, M. V. J.; Sá, A. K. D. S. Quantificação e caracterização de microplásticos em água, sedimento e organismos nos estuários da Baía de São José, Margem Equatorial Brasileira.

Quantificação e caracterização de microplásticos em água, sedimento e organismos nos estuários da Baía de São José, Margem Equatorial Brasileira

Bruna Oliveira Ferreira¹, Marco Valério Jansen Cutrim¹, Ana Karoline Duarte dos Santos Sá²

¹Universidade Federal do Maranhão - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia - PPGC&Tamb;

²Laboratório de Ficologia - ¹Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia - PPGC&Tamb;

RESUMO

A persistência do plástico no ambiente gera microplásticos, que afetam ecossistemas aquáticos, incluindo a Margem Equatorial Brasileira. Este estudo avaliou, de forma quali-quantitativa, a concentração de microplásticos na água, sedimento, bivalves e peixes dos estuários das bacias Tibiri e Paciência. A água e os sedimentos foram coletados nas margens e no centro dos estuários. A biota incluiu bivalves (*Mytella charruana*) e sete espécies de peixes. Os microplásticos foram analisados em microscópio óptico, categorizados por forma, tamanho e cor. Análises estatísticas (Shapiro-Wilk, Levene, ANOVA, Kruskal-Wallis, PERMANOVA, PERMDISP, PCoA) avaliaram diferenças entre áreas e amostras. A distribuição dos microplásticos foi heterogênea entre as áreas estudadas, com predominância de fragmentos e fibras, cor azul e faixa de tamanho entre 10^{-3} e 2 mm. Nos peixes, microplásticos foram detectados em 100% dos indivíduos da área I (1-29 partículas) e 90% da área II (1-7 partículas). A maioria tinha tamanho entre 10^{-3} e 1 mm. Nos bivalves, todos os indivíduos da área I continham microplásticos (1-4 itens), enquanto na área II a presença foi de 90% (1-5 itens). Fatores hidrodinâmicos e antrópicos influenciaram a distribuição das partículas, indicando contaminação ambiental significativa. A presença desse poluente em espécies consumidas pelo homem reforça a urgência de estratégias para mitigar a poluição plástica e seus impactos ecológicos, sociais e econômicos.

PALAVRAS-CHAVE: biota; impacto ambiental; poluição

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o consumo global de produtos plásticos aumentou significativamente (Nielsen et al., 2019). Entre os maiores geradores de resíduos plásticos, o Brasil assume a quarta colocação, com uma média anual de 11 milhões de

toneladas (Vargas et al., 2022). Esse cenário agrava a poluição por microplásticos (MPs), definidos como polímeros com menos de cinco milímetros de comprimento (NOAA, 2023; OCDE, 2022; Ding et al., 2021), que têm presença disseminada em ecossistemas marinhos, desde águas superficiais até as regiões mais profundas (Horton e Dixon, 2018).

Ecossistemas costeiros são particularmente suscetíveis à poluição plástica devido à proximidade com a foz dos rios, onde os resíduos plásticos são despejados no oceano, afetando vários tipos de ambientes (Harris et al., 2021). A presença de MPs nos habitats marinhos favorece a exposição da biota aquática a esse material, levando à ingestão por organismos aquáticos incluindo os bivalves e peixes (Issac e Kandasubramanian, 2021).

Por representarem um grupo importante para o consumo, muitas espécies aquáticas, ao serem contaminadas, tornam-se potenciais vetores de MPs para a população por meio da ingestão (Mercogliano et al., 2020). Nesse contexto, a poluição microplástica em estuários pode gerar consequências significativas para a saúde humana, uma vez que esses compostos podem bioacumular nos tecidos dos organismos aquáticos e serem transferidos ao longo da cadeia trófica, culminando nos seres humanos como principais consumidores (Neto et al., 2020, Usman et al., 2020).

A Margem Equatorial Brasileira, abriga uma diversidade de ecossistemas costeiros e ricos estuários, que sustentam intensa atividade pesqueira, com um número reduzido de estudos voltados para a poluição por MPs. No Maranhão, destacam-se os estuários das bacias dos rios Tibiri e Paciência, que desaguam na baía de São José. Essas áreas desempenham um papel central na pesca comercial, caracterizada principalmente pela pesca artesanal, utilizando variados tipos de artes de pesca e métodos voltados a diferentes recursos pesqueiros (Garcia et al., 2020; Santos, Marins e Alves, 2023). Apesar da relevância ambiental e econômica dessas regiões, os dados acerca da ocorrência e dos impactos dos MPs nesses ambientes são desconhecidos.

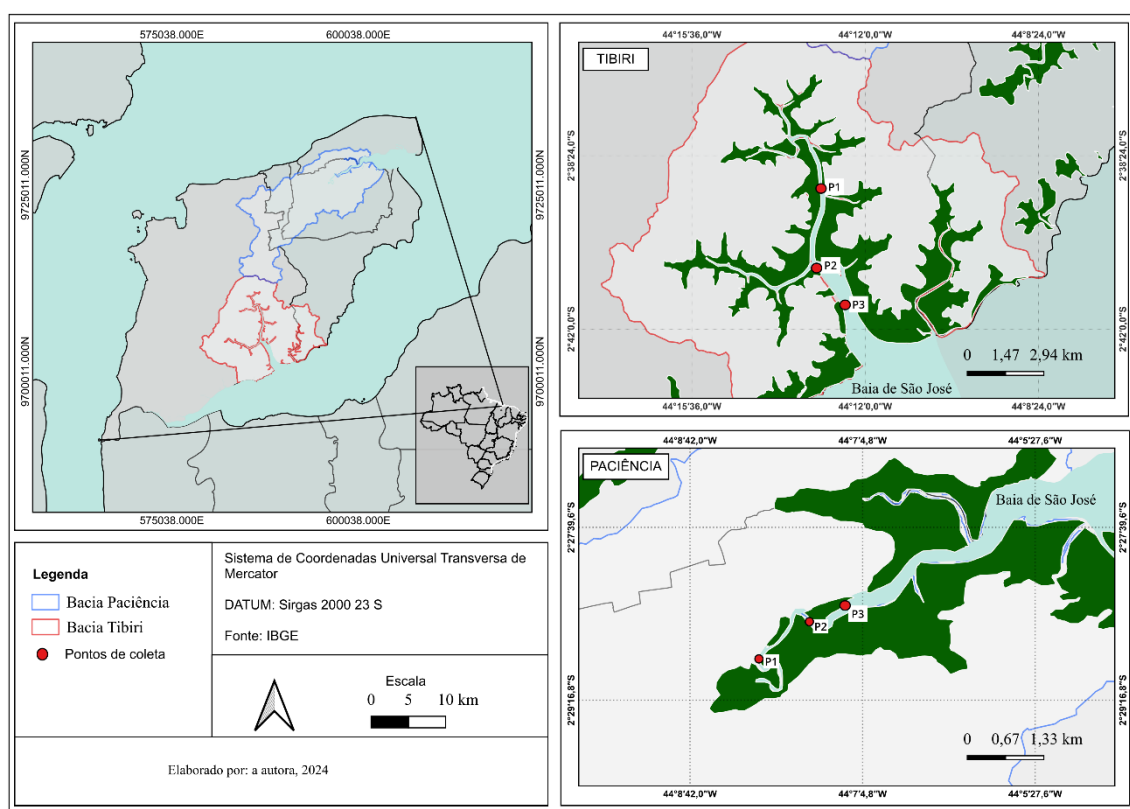
Diante das lacunas existentes, torna-se evidente a necessidade de estudos que investiguem a relação entre a poluição por MPs e os organismos marinhos consumidos pela população litorânea brasileira. Este trabalho busca preencher parte dessa lacuna ao avaliar, de forma quali-quantitativa, a concentração de microplásticos nos compartimentos ambientais (água e sedimento) e em organismos aquáticos (bivalves e peixes) dos estuários das bacias Tibiri e Paciência. Os resultados obtidos pretendem fornecer subsídios para a compreensão dos impactos dessa poluição na saúde dos ecossistemas e nas comunidades humanas que dependem desses recursos, além de contribuir no fortalecimento dos ODS 12, 13 e 14.

2. MÉTODOS

2.2 Área de estudo

As coletas foram feitas em dois estuários da baía de São José: Rio Tibiri (Área I) e rio Paciência (Área II), cujas localizações estão representadas na Figura 1. O rio Tibiri, com uma área de 140 km² e perímetro de 52,88 km, e o rio Paciência, com 5 km² de área e 58 km de perímetro, drenam para a baía de São José, caracterizando-se por extensos manguezais e rica biodiversidade (Cavalcanti et al. 2020; Silva et al., 2014).

Figura 1 - Localização da área de estudo - estuários dos rios Tibiri e Paciência, Baía de São José, Maranhão.



A bacia hidrográfica do Paciência abrange os municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, e é influenciada por macromarés semidiurnas, com amplitudes de até 6,24 m (DHN, 2024). A bacia hidrográfica do Tibiri encontra-se na parte Sudeste da Ilha do Maranhão. O rio Tibiri sofre expressiva intrusão de águas salinas do oceano Atlântico, onde a amplitude média das marés atinge seis metros (Silva et al., 2014). Ambos os estuários estão sob pressões antrópicas (por exemplo, urbanização e entrada de esgoto doméstico) que comprometem a qualidade do ambiente estuarino (Cavalcanti et al., 2020; Silva et al., 2014).

2.3 Procedimento de amostragem e laboratório

2.3.1 Água

Nove pontos de coleta de água e sedimento foram selecionados em cada um dos estuários. A coleta de água foi feita nas margens esquerda e direita e no centro (em direção a jusante) dos estuários. Em cada margem foram coletadas amostras de água em dois estratos, sub-superfície (0,50 m) e profundidade (~3 m) com auxílio de uma garrafa van Dorn, totalizando 18 amostras por área. Todas as amostras de água foram armazenadas em frascos de vidro e transportadas para o laboratório. Para a análise de MPs, 300 mL de cada amostra de água foram filtrados por meio de um filtro de fibra de vidro (GF/C) de 0,45 µm de porosidade (Whatman) utilizando um sistema de sucção a vácuo. A análise foi realizada em réplicas para todas as amostras.

2.3.2 Sedimento

As amostras de sedimentos foram coletadas nas margens direita e esquerda a uma profundidade de aproximadamente 15 cm com o auxílio de uma pá de silicone, e no centro com um amostrador de fundo (Gimiliani et al., 2020). As amostras foram armazenadas em sacos plásticos e mantidas em temperatura ambiente para posterior análise.

As amostras de sedimento foram homogeneizadas e cerca de 250 g foram colocadas em estufa por 24 horas a 60°C. As amostras secas foram divididas em lotes de 50 g, conforme a metodologia adotada por Zhao et al., (2018). Em seguida, foram maceradas e colocadas em béqueres de 500 mL onde foi adicionado 200 mL de cloreto de sódio (NaCl) (36%). O material ficou em sedimentação por 24 horas. O material suspenso foi transferido para outro béquer, e o processo de suspensão foi repetido por mais duas vezes utilizando 100 mL de NaCl. O material resultante da sedimentação foi submetido a degradação da matéria orgânica com 100 mL H₂O₂ 30% (Zhao et al., 2018). Após a degradação, a amostra foi filtrada por meio de um filtro de fibra de vidro (GF/C) de 0,45 µm de porosidade (Whatman) utilizando um sistema de sucção a vácuo.

2.3.3 Biota

O organismo bentônico escolhido foi a espécie *M. charruana*. Um ponto em cada área foi selecionado para a coleta dos bivalves. 10 indivíduos foram coletados manualmente em cada ponto amostral em maré baixa. Os organismos foram armazenados

em frascos de vidro e levados ao laboratório, onde permaneceram congelados até o processamento posterior das amostras (Bruzaca et al., 2022).

Outro grupo estudado foram os organismos nectônicos, peixes, dos quais foram selecionadas sete espécies de interesse comercial, sendo 5 indivíduos para cada espécie. Em cada uma das áreas foram escolhidas 4 espécies, sendo a espécie *Mugil Liza* comum às duas áreas (Tabela 1).

Tabela 1 – Lista de espécies de peixes analisadas nas áreas I e II

Nome científico	Nome popular	Área
<i>Cynoscion acoupa</i> Lacepède (1801)	Pescada amarela	I
<i>Bagre bagre</i> Linnaeus (1766)	Bandeirado	I
<i>Mugil liza</i> Valenciennes (1836)	Tainha	I e II
<i>Cynoscion leiarchus</i> Cuvier (1830)	Pescadinha, Pescada branca	I
<i>Centropomus irae</i> Carvalho-Filho, Oliveira, Soares & Araripe (2019)	Camorim	II
<i>Lutjanus analis</i> G.Cuvier (1828)	Cioba	II
<i>Cathorops agassizii</i> C. H. Eigenmann & R. S. Eigenmann (1888)	Bagre	II

A obtenção dos organismos foi mediada por pescadores e marisqueiros residentes nas áreas de estudo. Em laboratório, os organismos foram limpos com água destilada, e em seguida foi realizada a biometria (peso e medida) dos organismos com auxílio de paquímetro e balança analítica (Chinfak et al., 2021).

Em relação aos bivalves foram medidos o comprimento e a largura da concha de cada espécime. O tecido mole de cada amostra foi removido com um bisturi de inox, e o peso úmido do tecido foi obtido (Abd Rahman et al., 2024). As amostras individuais de cada espécime foram armazenadas em tubos Falcon de 50 mL estéreis. A análise dos peixes envolveu três órgãos (trato gastrointestinal, brânquia e músculo), que foram removidos de cada peixe com o auxílio de um bisturi e pinça de inox. Todos os tecidos separados foram pesados individualmente e armazenados em tubos Falcon estéreis de 50 mL.

Para o processo de digestão da matéria orgânica dos organismos foi utilizado hidróxido de potássio (KOH) (10%), que foi adicionado a todas as amostras em um volume proporcional a 3 vezes a massa do tecido de acordo com Vieira et al., (2021). Em seguida, as amostras foram colocadas em estufa a 60°C por cerca de 24 horas. Após a dissolução completa dos tecidos, as amostras foram filtradas por meio de um filtro de

fibra de vidro (GF/C) de 0,45 μm de porosidade (*Whatman*), utilizando um sistema de sucção a vácuo. Os filtros foram colocados em placas de Petri e mantidos em temperatura ambiente por 24 horas, para secagem e posterior análise.

Todos os métodos com organismos foram conduzidos seguindo o Ministério do Meio Ambiente do Brasil sob o número de autorização SISBIO: 88246.

2.4 *Identificação de MPs*

Os filtros foram analisados em um fotomicroscópio de luz (Zeiss) para identificar, quantificar e medir os MPs. Os MPs foram identificados e categorizados seguindo a metodologia de Zhao, Zhu e Li, (2015) e Bertoldi et al., (2020). Morfologicamente, foram classificados como fibras (filamentos finos e longos), fragmentos (partículas irregulares resultantes de degradação) e esferas (partículas esféricas). Quanto ao tamanho, foram divididos em quatro grupos: 10^{-3} – 1 mm, 1 – 3 mm, 3 – 4 mm e 4 - 5 mm (Zhao, Zhu e Li, 2015). A cor dos MPs também foi registrada para análise detalhada.

2.5 *Medidas de controle de contaminação*

Todos os equipamentos utilizados, incluindo vidraria, pinças, kit de filtração e ferramentas de dissecação, foram bem lavados com água destilada que foi filtrada antes do procedimento experimental. As soluções de hidróxido de potássio, cloreto de sódio e peróxido de hidrogênio também foram filtradas antes do uso. Amostras e soluções foram mantidas cobertas o máximo possível e luvas foram usadas durante o processo experimental para evitar possíveis contaminações. O processo de filtração de todas as amostras foi realizado na estrutura de uma capela de exaustão, totalmente limpa. Todo o material foi mantido coberto com placa de Petri ou papel alumínio, evitando ao máximo a exposição ao ar. Testes brancos foram feitos em diferentes etapas da análise, tais como: dissecação dos organismos, pesagem dos tecidos e no processo de filtração das diferentes amostras. Os MPs encontrados nas análises do branco foram descartados na caracterização visual comparando as características morfológicas tipo, cor e tamanho.

2.6 *Análise de dados*

Para análise de normalidade e heterogeneidade foram aplicados os testes de Shapiro Wilk e Levene, respectivamente. As comparações múltiplas foram analisadas pelo teste estatístico não-paramétrico de Kruskal–Wallis e/ou através do teste paramétrico de Análise de Variância (ANOVA) com nível de significância de $p < 0,05$. A diferença

entre os grupos foi evidenciada pelo teste HSD de Tukey (variâncias homogêneas) ou pelo teste de Tamhane-Dunnett (variâncias heterogêneas). Os valores são relatados como média $\pm$ desvio padrão (Zhao, Zhu e Li, 2015).

A análise dos dados de abundância, tamanho, forma e cor de MPs foram feitas usando o Microsoft Office Excel (2016). As demais análises foram feitas por meio do *Software R* (versão 4.4). Para testar as variações dos resultados da análise de água entre as áreas, pontos, margens (direita, esquerda e centro à jusante) e estrato (superfície e profundidade) e sedimento (áreas, pontos e margens), foi aplicada a análise de permutação multivariada (PERMANOVA) com nível de significância de $p < 0,05$. A heterogeneidade da ocorrência de MPs para os pontos e áreas foi testada por meio do teste de permutação da homogeneidade multivariada de dispersão de grupos (PERMDISP). Além disso, foi utilizada a distância euclidiana nos pontos e áreas através do beta-função dispersa no pacote *Vegan* (Oksanen et al. al., 2015). Posteriormente, uma análise de coordenadas principais (PCoA) foi realizada para identificar o padrão gráfico da distribuição espacial da heterogeneidade dos ambientes. Diferenças estatísticas ($p < 0,05$) na heterogeneidade entre os setores foi observada usando unidirecional ANOVA com 999 permutações.

As abundâncias de MPs na água foram expressas em itens.L⁻¹ (Karlsson et al., 2017), no sedimento em itens.kg⁻¹. Nos bivalves foram expressas como MPs por indivíduo (itens.indivíduo⁻¹) e itens.g⁻¹. Em peixes, a abundância foi avaliada nos órgãos (itens.g⁻¹) e por espécime (itens.indivíduo⁻¹ e itens.g⁻¹).

3. RESULTADOS

3.1 Água

A PERMANOVA indicou que houve diferença espacial significativa das concentrações de MPs entre as duas áreas ($p = 0,001$) e entre os pontos de coleta ($p = 0,009$) ao longo dos estuários. Contudo, não foram encontradas diferenças significativas entre as margens ($p = 0,136$) e os estratos ($p = 0,596$). Os resultados estão sintetizados na tabela 2.

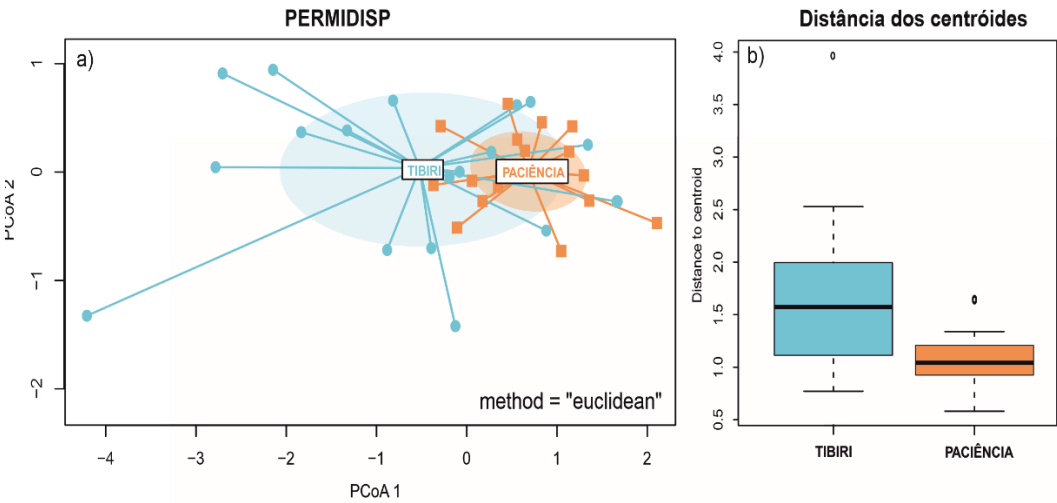
Tabela 2 - Resultado da análise de variância permutacional (PERMANOVA) das variáveis, considerando os pontos de coleta, a margem, a área e o estrato (superfície e profundidade) como fatores.

Fatores	df	SS	R ²	F	valor de p
---------	----	----	----------------	---	------------

Pontos	5	0,46	0,13	2,01	0,009**
Margem	2	0,15	0,04	1,54	0,136
Área	1	0,28	0,08	6,12	0,001**
Estrato	1	0,03	0,01	0,7	0,596

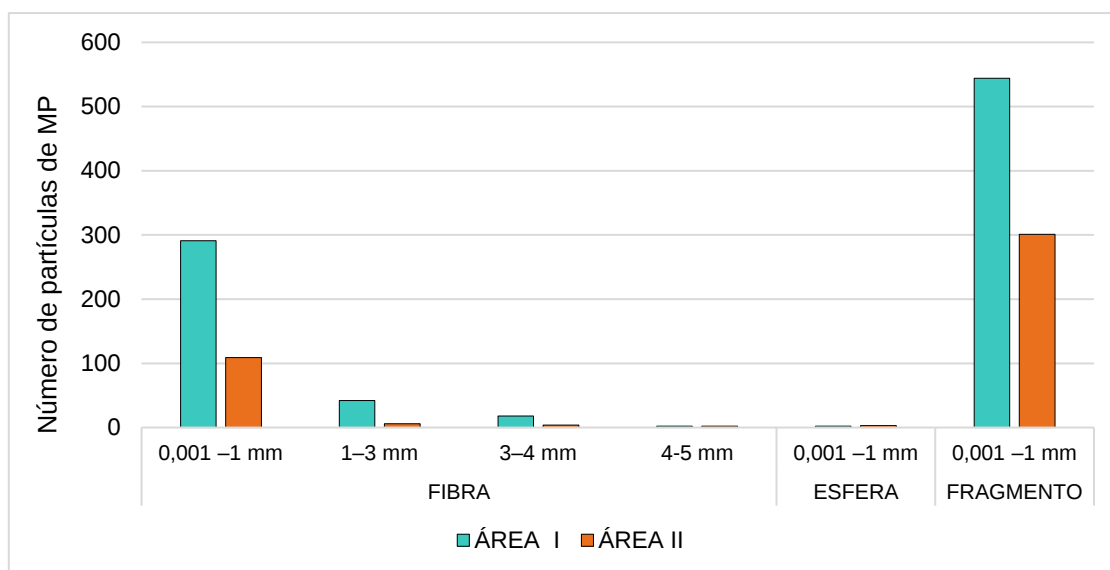
A PERMDISP demonstrou a heterogeneidade espacial das áreas em relação ao acúmulo de MPs (Figura 2a e 2b).

Figura 2 - PERMDISP. (a) Padrão de gráfico de dispersão por área. (b) boxplot de heterogeneidade ambiental por área.



A Área I apresentou a maior taxa de partículas de MPs (899) em comparação a Área II (425 partículas) o tipo morfológico mais frequente nas duas áreas foi fragmento com uma média de $25,19 \pm 45,19$ itens L^{-1} na área I e $13,94 \pm 14,04$ itens L^{-1} na área II. Seguido por fibra com média de $16,34 \pm 25,18$ itens L^{-1} e $5,60 \pm 5,62$ itens L^{-1} nas áreas I e II, respectivamente. Somente cinco partículas esféricas foram encontradas em toda a análise de água. A média do total de partículas foi de $41,62 \pm 65,14$ itens L^{-1} na área I e $19,68 \pm 13,82$ itens L^{-1} na área II respectivamente (Figura 3).

Figura 3 - Classificação das partículas de MPs na água das áreas I e II quanto à morfologia e escala de tamanho.



A superfície dos dois estuários, montante para jusante, apresentou mais partículas comparada à profundidade, porém não houve diferença significativa entre esses dois estratos. Em relação às margens dos estuários, a superfície direita da área I se destacou com maior ocorrência de MP (275 itens L^{-1}) e na área II, a superfície esquerda se destacou com o maior número de partículas.

A cor das partículas variou entre azul, transparentes, vermelhas, pretas, rosas, laranjas e outras (amarelas, verdes e coloridas). A coloração mais frequente foi azul, com média de $17,87 \pm 28,44$ itens L^{-1} na área I e $9,91 \pm 9,22$ itens L^{-1} na área II, seguida por transparente com $15,74 \pm 26,00$ na área I e $6,02 \pm 7,47$ itens L^{-1} na área II. A faixa de tamanho 1 (10^{-3} -1mm) compreendeu cerca de 93,1% e 95,6% das partículas nas áreas I e II.

3.2 Sedimento

A análise estatística para os resultados de sedimento indicou diferença significativa ($p = 0,002$) entre as duas áreas de coleta. Não houve diferenças entre os pontos e as margens (tabela 3).

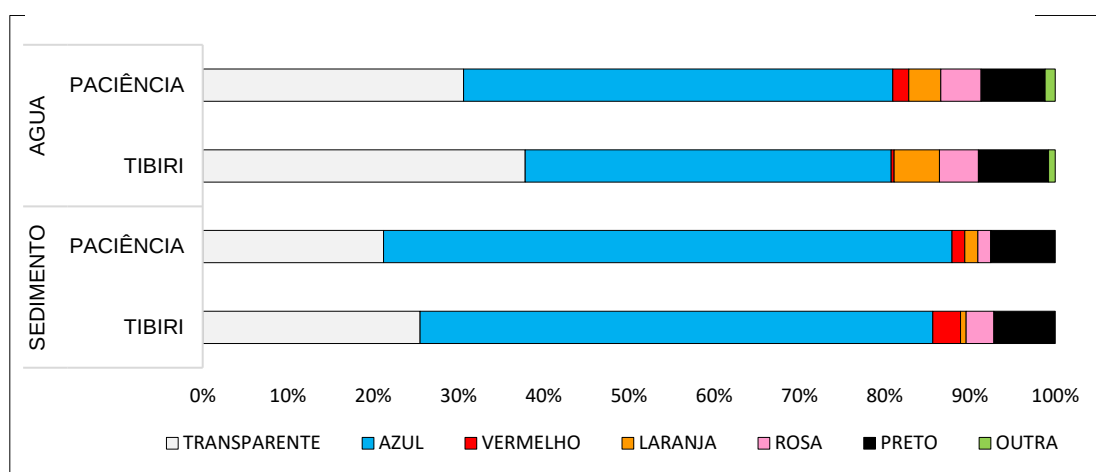
Tabela 3. Resultado da análise de variância permutacional (PERMANOVA) das variáveis do sedimento, considerando os pontos de coleta, margem e a área como fatores.

Fatores	df	SS	R ²	F	valor de p
Ponto	5	0.5	0.16	11.7	0.252
Margem	2	0.2	0.07	1.2	0.224
Área	1	0.4	0.12	5.0	0.002**

A área I apresentou uma média de $4,00 \pm 2,42$ itens kg^{-1} , enquanto na área II se observou uma média de $9,44 \pm 4,81$ itens kg^{-1} . Fragmento foi a forma mais comum na área I, representando cerca de 53,59% das partículas. Na área II, fibra foi a forma mais comum correspondendo a 53,84% das partículas. Foram registradas apenas três partículas esféricas, sendo duas na área I e uma na área II.

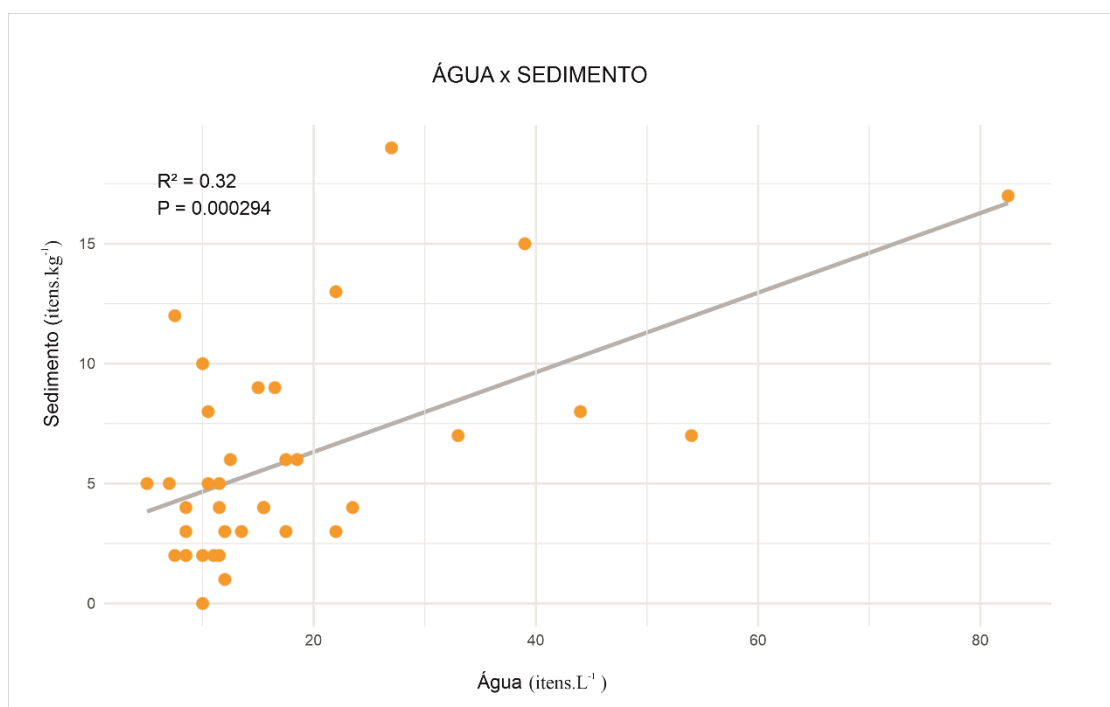
O tamanho dos MPs acompanhou o que também foi encontrado na água, com cerca de 89,44% das partículas registradas se enquadrando na faixa de tamanho 1 (10^{-3} -1mm). Da mesma forma, a variação na coloração encontrada no sedimento nas duas áreas foi semelhante à encontrada na água, sendo azul a cor mais frequente, seguida por transparente (Figura 4).

Figura 4 - Variação da coloração das partículas de microplásticos na água e no sedimento



Correlações positivas foram registradas entre o total de partículas na água e no sedimento com os resultados das duas áreas de coleta (correlação de Spearman: $r = 0,32$ e $p=0,000294$) (Figura 5).

Figura 5. Correlação do acúmulo de MPs entre água e sedimento



3.3 Biota

Peixes

Em relação aos peixes, 100% e 90% dos espécimes das áreas I e II apresentaram partículas de MPs em algum dos tecidos analisados, com uma variação de 1 a 29 e 1 a 7 partículas de MPs por indivíduos de cada área, respectivamente.

O resultado da caracterização, biometria e abundância média de MPs das espécies de peixes analisadas está sintetizado na tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização, biometria e abundância média de MPs por espécies de peixes

Área	Espécie de peixe	Zona	Hábito alimentar	Peso médio (g)	Comprimento médio (cm)	Abundância de MPs (itens indivíduo ⁻¹)	Abundância de MPs (itens g ⁻¹)
I	<i>Cynoscion acoupa</i>	Demersal (Marceniuk, et al. 2020)	Carnívoro (Cunha e Rodrigues, 2015)	455,30±234,97	35,00±5,59	7.2±4,54	0,02±0,009
I	<i>Cynoscion leiarchus</i>	Demersal (Marceniuk, et al. 2020)	Carnívoro (Cunha e Rodrigues, 2015)	186,00±64,56	28,00±3,89	8,2±6,18	0,04±0,02
I	<i>Bagre bagre</i>	Demersal	Carnívoro (Tavares e Benedito, 2017; Simier, et al. 2021)	128,40±38,92	26,60±3,78	11,6±2,30	0,09±0,02
I	<i>Mugil liza</i>	Bentopelágica (Herbst, D. F. e Hanazaki, N. 2014; Thompson et al. 2015)	Onívoro (Herbst, D. F. e Hanazaki, N. 2014; Thompson et al. 2015)	144,00±21,67	23,16±0,70	13.6±10,52	0,09±0,08
II	<i>Centropomus irae</i>	Pelágico (juvenil); Demersal (adulto) (Orrell, 1977)	Carnívoro (Nascimento et al. 2021)	39,79±8,52	15,3±1,03	2,4±1,51	0,06±0,02
II	<i>Mugil liza</i>	Bentopelágica (Herbst, D. F. e Hanazaki, N. 2014; Thompson et al. 2015)	Onívoro (Herbst, D. F. e Hanazaki, N. 2014; Thompson et al. 2015)	43,67±8,31	16,8±1,44	3,8±2,58	0,08±0,06
II	<i>Lutjanus analis</i>	Demersal	Carnívoro (Allen, G. R., 1985)	61,00±27,99	19±3,82	5,2±2,58	0,08±0,06
II	<i>Cathorops agassizii</i>	Demersal (Alexandre e Menezes, 2007)	Zooplancívora (Dantas et al. 2013)	64,61±20,88	15,6±2,16	1,8±1,7	0,02±0,02

Na área I, a cor azul representou 64% do total de partículas encontradas, seguida por transparente (24%). O tamanho predominante (87,7%) das partículas foi entre 10^{-3} e 1 mm. Na área II a cor azul representou 73,84% das partículas e a cor transparente como a segunda mais frequente correspondendo a 13,84% das partículas. A faixa de tamanho de 96,92% dos MPs correspondeu a 10^{-3} a 1mm.

Em relação aos tecidos dos peixes da área I, a maior ocorrência de MPs foi registrada no tecido gastrointestinal (49%), seguido pelo músculo (30%) e brânquias (21%), respectivamente. A análise indicou diferença significativa apenas entre o tecido gastrointestinal e as brânquias ($p = 0,0367$). Nos organismos da área II, a ocorrência de MP foi mais frequente no tecido gastrointestinal com 44,62% do total de partículas encontradas, seguido pelas brânquias (29,23%) e músculo (26,15%). O acúmulo médio de MPs nos órgãos analisados em cada espécie está descrito na tabela 5.

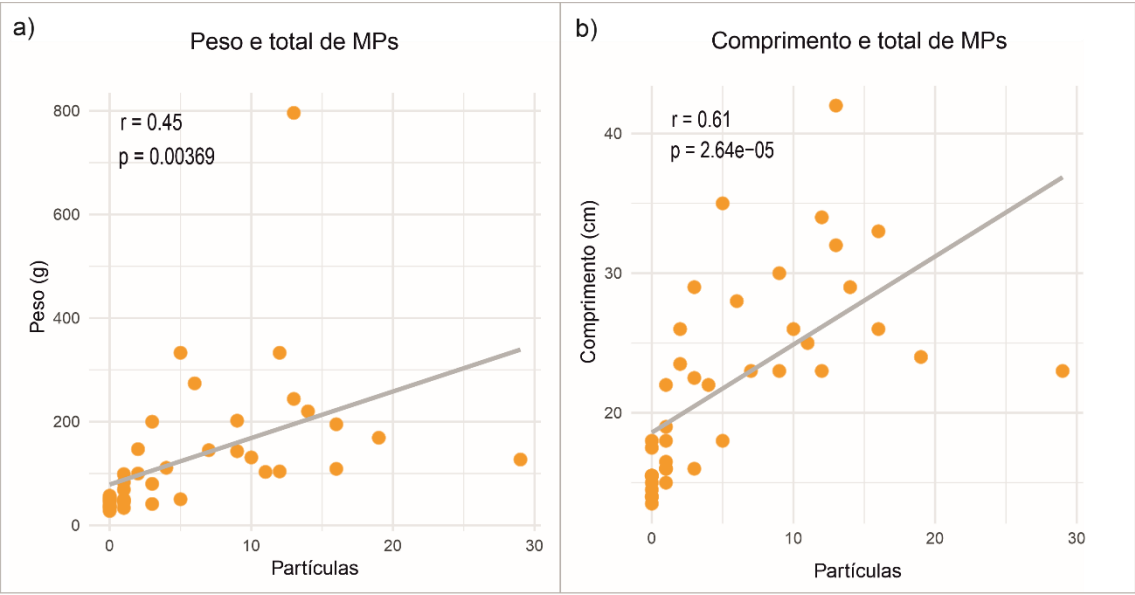
Tabela 5 - Concentração média de MPs nos órgãos por espécie

Área	Espécie de peixe	Órgão	Peso (g)	Abundância de MPs (itens.g ⁻¹)
Rio Tibiri	<i>Cynoscion acoupa</i>	Brânquia	9,03	0,33±2,44
		Músculo	25,00	0,10±2,07
		Trato gastrointestinal	12,45	0,14±1,30
	<i>Cynoscion leiarchus</i>	Brânquia	4,87	0,25±1,78
		Músculo	6,87	0,09±0,83
		Trato gastrointestinal	9,02	0,90±5,11
	<i>Bagre bagre</i>	Brânquia	4,37	0,37±1,14
		Músculo	8,49	0,45±3,11
		Trato gastrointestinal	7,81	0,79±2,86
	<i>Mugil liza</i>	Brânquia	5,41	0,44±0,89
		Músculo	10,16	0,48±4,56
		Trato gastrointestinal	9,59	0,65±6,42
Rio Paciência	<i>Mugil liza</i>	Brânquia	2,58	0,15±0,20
		Músculo	3,56	0,16±0,24
		Trato gastrointestinal	2,63	0,45±0,14
	<i>Cathorops agassizii</i>	Brânquia	2,736	0,14±0,21
		Músculo	5,344	0,18±0,20
		Trato gastrointestinal	3,21	0,7±0,59

<i>Centropomus irae</i>	Brânquia	2,31	1,12±0,93
	Músculo	2,652	0,45±0,45
	Trato gastrointestinal	4,116	0,3±0,80
<i>Lutjanus analis</i>	Brânquia	1,788	0,22±0,24
	Músculo	3,998	0,15±0,24
	Trato gastrointestinal	3,074	0,26±0,37

Considerando todas as espécies, a análise revelou uma correlação positiva entre variáveis biológicas e abundância de MPs nos peixes analisados. Correlações positivas foram registradas entre abundâncias de MPs e peso corporal dos peixes (correlação de Spearman, $r = 0,45$ valor de $p = 0,00369$) (figura 6a) e também em relação ao comprimento (correlação de Spearman, $r = 0,61$ valor de $p = 2,64^{-5}$) (figura 6b)

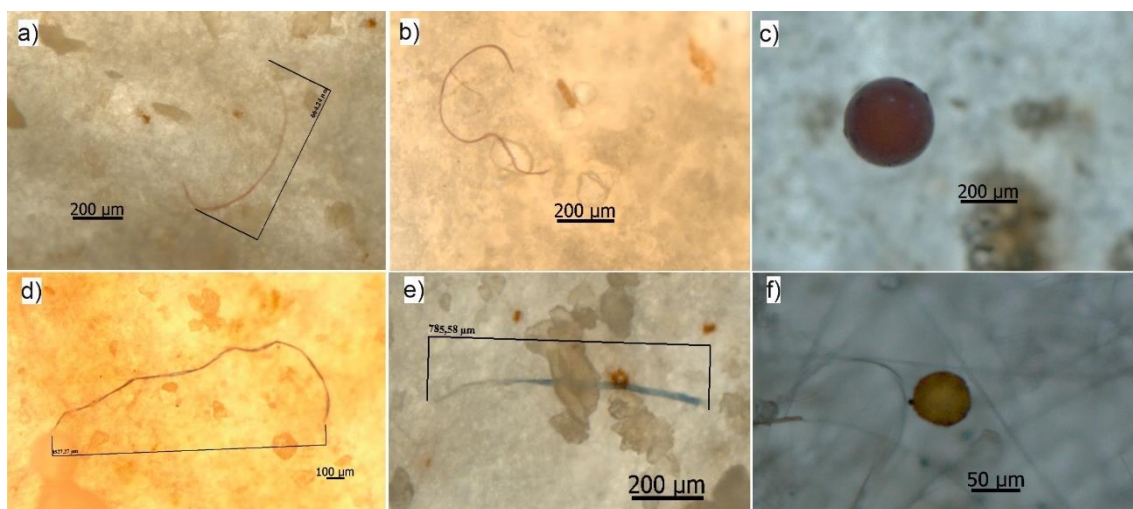
Figura 6 - Correlação biomassa e partículas de MP. a) Correlação entre peso e total de MP. b) Correlação entre comprimento e total de MP



A cor azul foi a cor mais frequente em todos os órgãos. Fragmento foi a forma mais frequente no trato gastrointestinal e fibra foi a forma mais frequente em brânquias e músculos. Em relação a forma de MP não houve diferença significativa entre as espécies, assim como entre de formas de MPs e órgãos analisados. Na área II, fragmento foi a forma

mais frequente em todos os órgãos. Na figura 7 é possível observar a variação morfológica de MPs nos organismos.

Figura 7 - Variação morfológica de MPs em organismos. (a) fibra rosa (músculo *Cynoscion acoupa*). (b) fibra transparente (trato *Cynoscion leiarchus*). (c) esfera avermelhada (*Mytella charruana*). (d) fibra azul (músculo *Bagre bagre*). (e) fibra azul (músculo *Cynoscion acoupa*). (f) esfera alaranjada (*Mytella charruana*)



Bivalves

Os espécimes da área I apresentaram tamanho médio de $4,72 \pm 0,36$ cm e a massa do tecido mole com peso médio de $1,69 \pm 0,19$ g enquanto os espécimes da área II registraram tamanho médio de $2,86 \pm 0,19$ cm e massa de $0,55 \pm 0,10$ g.

MPs foram identificados em 100% e 90% dos bivalves analisados nas áreas I e II, respectivamente. Nos espécimes da área I, a ocorrência de MPs variou entre 1 a 4 itens.indivíduo⁻¹ e 0,57 e 1,96 itens.g⁻¹. Na área II variou entre 1 a 5 itens.indivíduo⁻¹ e 1,35 a 8,47 itens.g⁻¹. Não houve diferença significativa na concentração de MPs nos bivalves dos dois estuários ($p = 0,317$).

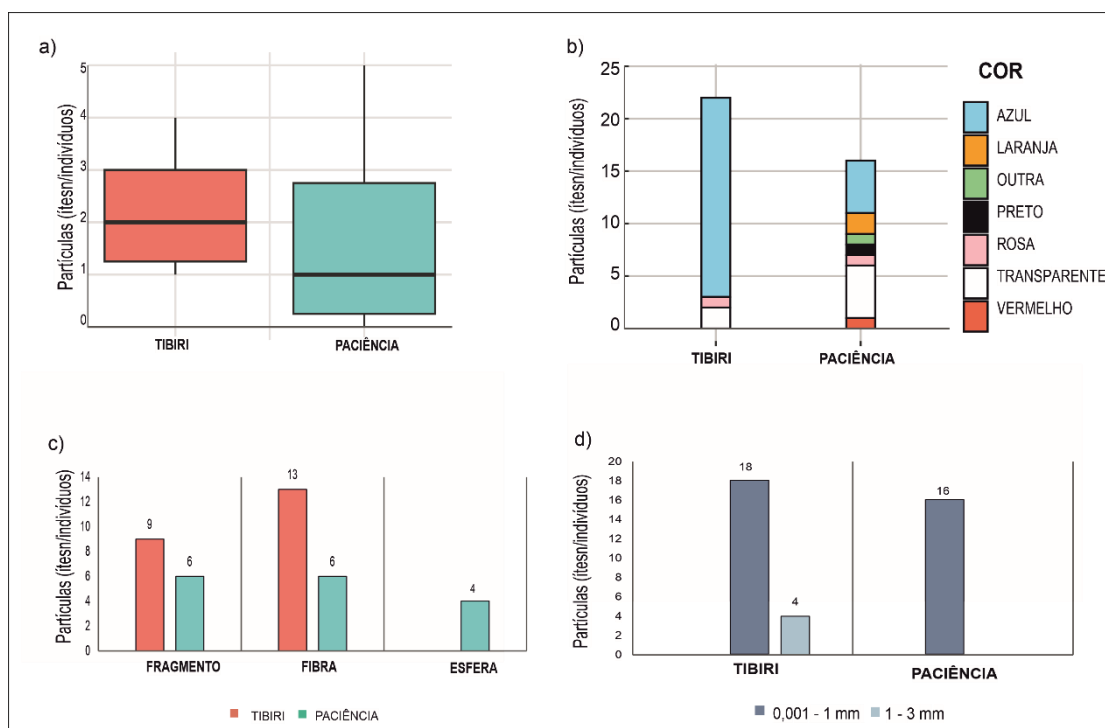
A forma de MP mais frequente nos bivalves da área I foi fragmento, com diferença significativa na ocorrência dessa forma entre as áreas estudadas ($p < 0,05$). Na Área II, a fibra foi a forma mais comum, no entanto, não se observou diferença significativa entre as duas áreas quanto a essa forma. Quatro formas esféricas foram encontradas nos bivalves da Área II (Figura 7c e f; Figura 8c).

A cor azul se destacou em 68,18% do total de partículas encontradas nos organismos da área I (Figura 8b), as outras cores registradas foram transparentes e rosa

com 9,09% e 4,54%, respectivamente. Nos bivalves da área II foi observada uma variação mais significativa na coloração dos MPs e a cor mais frequente foi a transparente com 29,41% do total de partículas, seguido pela cor azul com 17,64% (Figura 8b).

A maior parte das partículas da área I (81,81%) corresponderam a faixa de tamanho entre 10^{-3} e 1 mm, 18,19% corresponderam à faixa de 1 – 3 mm. Na área II, 100% das partículas corresponderam a faixa de tamanho entre 10^{-3} e 1 mm (Figura 8d).

Figura 8 - Classificação das partículas de MPs em *Mytella charruana* das áreas I e II. (a) número de partículas de MPs nos bivalves das áreas I e II. (b) classificação das partículas quanto as cores. (c) classificação das partículas quanto à forma. (d) classificação das partículas quanto ao tamanho



Controle de contaminação

Para a análise de água foram descartadas todas as partículas nas cores das tampas dos frascos de vidro.

O branco realizado durante a dissecação dos peixes da área I indicou a contaminação por fibras pretas (5), foram descartadas todas as fibras pretas observadas na leitura dos filtros.

Durante a dissecação dos organismos da área II não foram encontradas quantidade significativas de partículas plásticas.

Os filtros resultantes da filtragem dos ácidos, água e demais materiais utilizados nas análises indicaram grandes quantidades de microplásticos com destaque para fibras.

4. DISCUSSÃO

A presença de MPs está sendo documentada mundialmente em diferentes estratos ambientais, assim como em diferentes táxons, incluindo espécies planctônicas, invertebrados, peixes e mamíferos aquáticos (Bajt, 2021; Haave et al., 2021; Peng et al., 2020). Os resultados apresentados revelam uma análise abrangente da presença e características dos MPs nos estuários estudados, destacando diferenças significativas entre as áreas, pontos de coleta, organismos e características morfológicas das partículas.

A ocorrência de MPs nos compartimentos ambientais analisados sugere uma distribuição heterogênea das partículas nos estuários Tibiri e Paciência. Essa distribuição parece ser mais influenciada por fatores como correntes de maré (Luo et al., 2019) e a dinâmica sedimentar específica de cada ponto de coleta (Kumar et al., 2021) do que pela proximidade das fontes antrópicas. Ademais, as características poliméricas dos MPs e fatores físicos, químicos ou biológicos a que estão sujeitos também influenciam sua disposição no ambiente (Lobelle et al., 2021).

A região costeira do Nordeste brasileiro, incluindo áreas importantes para a atividade pesqueira entre o Maranhão e o Ceará, apresenta alta densidade de partículas microplásticas (Neto et al., 2020; Garcia et al., 2020). Browne et al. (2010) destacaram que pequenas partículas plásticas são transportadas pelo fluxo de água e depositadas em áreas de menor movimento, acumulando-se gradualmente na coluna d'água. Esta constatação explica o maior número de partículas observado nos pontos mais próximos à montante das duas áreas sendo esse acúmulo resultante da menor influência oceânica.

Embora a abundância de MPs seja frequentemente associada à densidade populacional em áreas costeiras (Choong et al. 2021; Zhou et al. 2021), este estudo revelou que a área com menor densidade populacional (Área I) apresentou maior abundância de MPs em comparação à Área II que apresenta maior nível de urbanização. Isso sugere que, embora a densidade populacional contribua, a ocorrência de MPs não se limita às regiões mais pressionadas por atividades antrópicas, sendo, portanto, um fenômeno generalizado (Ribeiro et al. 2025; Talbot e Chang, 2022; Luo et al., 2019). Estudos feitos na China também identificaram uma alta heterogeneidade na distribuição de MPs entre diferentes estuários, sem correlação significativa com as densidades populacionais locais (Zhao, Zhu e Li, 2015).

Além disso, a hidrodinâmica também é um fator que pode explicar as diferenças na ocorrência de MPs entre os dois estuários estudados. O estuário do rio Paciência,

conectado à baía de São José e à costa do Oceano Atlântico Sul, apresenta uma dinâmica mais intensa devido à influência oceânica (Cavalcanti et al., 2020). Em contraste, o estuário do Tibiri, mais interno à baía, possui uma dinâmica menos intensa (Figura 1), sendo estes, fatores que podem ser decisivos na permanência dos MPs dentro dos estuários. Outros estudos já demonstraram que a hidrodinâmica e as propriedades específicas das águas estuarinas desempenham um papel crucial na distribuição, transporte e captura de MPs dentro dos estuários (Defontaine e Jalón-Rosas, 2023; Summers et al. 2023) demonstrando que a interação entre a hidrodinâmica e as características dos estuários pode influenciar significativamente o tempo de residência e a dispersão dos MPs nesses ambientes.

O tipo morfológico predominante das partículas de MPs variou de acordo com o compartimento ambiental. Na análise de água, fragmentos foram os mais frequentes nas duas áreas analisadas (Área I = $25,19 \pm 45,19$ itens.L⁻¹ e Área II = $13,94 \pm 14,04$ itens.L⁻¹), seguidos por fibras. Esses resultados estão alinhados com pesquisas feitas em outras regiões do mundo (Dang et al., 2022; Maynard et al., 2021; Eo et al., 2021; Gray et al., 2018).

A ocorrência de fragmentos geralmente está associada aos processos de degradação de plásticos maiores, que geram uma ampla variedade de formas e tamanhos dependendo: (1) da forma original dos plásticos primários, (2) do tipo de degradação (biológica, física ou química) e (3) do tempo de permanência no ambiente (Abisha et al., 2024; Rodríguez-Seijo e Pereira, 2017). As fibras, por outro lado, estão frequentemente associadas ao descarte de efluentes domésticos e industriais, especialmente da indústria têxtil (Belzagui et al., 2020; Periyasamy e Tehrani-Bagha, 2022). A presença significativa de fibras, embora menor que fragmentos, nas áreas estudadas reflete a influência do descarte de resíduos domésticos e das atividades de pesca comuns na região. Por fim, as esferas foram as formas menos relatadas, corroborando com a maioria dos estudos (Abisha et al., 2024).

Em relação ao sedimento, a abundância média de MPs nos estuários estudados ($4,00 \pm 2,42$ itens.kg⁻¹ na área I e $9,44 \pm 4,81$ itens.kg⁻¹ na área II), indicou uma quantidade significativamente menor de plásticos por quilograma em comparação com outros estuários como por exemplo, Alves e Figueiredo (2019) que encontraram uma média de 160 a 1.000 itens.kg⁻¹ em amostras de sedimentos da baía de Guanabara, utilizando o mesmo método de sedimentação com NaCl. Na costa holandesa do Mar do Norte, Leslie et al., (2017), relataram a presença de 100 a 3.600 partículas.kg⁻¹ em áreas sublitorais.

Acredita-se que, em nosso estudo, o número reduzido de partículas no sedimento esteja relacionado à dinâmica específica dos estuários, que limita o tempo de permanência das partículas na coluna d'água, reduzindo sua deposição no sedimento. Essa característica contrasta, por exemplo, com o observado em corpos hídricos de água doce, onde a taxa de ocorrência de MPs é significativamente maior em comparação com ambientes estuarinos em ambos estratos (Xu et al., 2020). Vale destacar, que em os estuários analisados apresentaram sistemas impulsionados pela dinâmica de macromarés, que exerce forte influência na dispersão e remoção das partículas (Cavalcanti et al., 2018). Essa dinâmica pode atuar como um fator adicional na redução da concentração de MPs nos sedimentos estuarinos.

Outro fator importante a ser considerado é que a taxa de MPs em sedimentos pode variar dependendo dos métodos empregados na separação por densidade (Yang et al., 2021). As comparações apontam que NaCl (Densidade = $1,20 \text{ g.cm}^{-3}$) é a solução mais usada para separação de densidade por ser mais viável, porém apresenta limitação para extração de MPs com densidades maiores (Mai et al., 2018).

Correlação positiva entre a ocorrência de partículas na água e no sedimento foi registrada, indicando que a quantidade de partículas presentes em um desses compartimentos influencia diretamente o outro. Esse padrão sugere que processos de deposição e sedimentação desempenham um papel central na transferência de MPs da água para o sedimento. Além disso, a relação positiva evidencia a conectividade entre esses compartimentos aquáticos.

Em comparação com outros estudos sobre a contaminação de peixes em ambientes estuarinos (Clere et al., 2022; Savoca et al., 2021; Bessa et al., 2018; Horton et al., 2024), a quantidade média de MPs por indivíduo encontrada neste estudo foi maior na Área I ($7,8 \pm 1,88$ a $13,6 \pm 4,64$ itens.indivíduo⁻¹) e apresentou valores comparáveis na Área II ($1,8 \pm 1,70$ a $5,2 \pm 2,58$ itens.indivíduo⁻¹). Pegado et al. (2021), por exemplo, registraram uma média de $1,2 \pm 5,0$ itens indivíduo⁻¹ no estuário do rio Amazonas. Além disso, a média observada na Área I supera a média global, que é de 5,93 partículas de MPs por peixe, conforme reportado por Kibria (2022).

As espécies de peixes analisadas apresentaram diferentes hábitos de vida. Apesar das distinções nos hábitos alimentares das espécies estudadas, não foram registradas correlações significativas entre a abundância de MPs com os compartimentos ambientais água e sedimento. Esse resultado está em conformidade com os observados por Abisha et al. (2024) e Agharokh et al. (2022). De forma semelhante, Tien, Wang e Chen, (2020)

também não observaram diferenças significativas no acúmulo de MPs ao analisarem cinco espécies distintas de peixes, abrangendo tanto organismos bentopelágicos quanto demersais.

Observou-se que a ocorrência de fragmentos em *M. liza* foi relativamente mais alta do que em outras espécies de peixes. Esse resultado pode estar relacionado ao hábito alimentar dessa espécie, que varia de fitófago a iliófago, com uma dieta baseada principalmente em organismos associados a sedimentos finos, tanto na fase juvenil quanto adulta (Thompson et al., 2015). Esses autores também concluíram que apenas 35% do conteúdo estomacal apresentava organismos bentônicos reconhecíveis além dos sedimentos, indicando uma forte relação da espécie com a matéria orgânica associada aos sedimentos. Clere et al. (2022) também observaram que peixes bentônicos tiveram uma taxa de ingestão maior de partículas do que peixes pelágicos, embora essa diferença não tenha sido estatisticamente significativa, sugerindo que esse hábito alimentar contribua com uma maior ingestão de partículas.

Os peixes analisados na área II apresentaram menor peso e tamanho em relação aos da área I. Como resultado, a taxa de MPs por indivíduo foi mais baixa no rio Paciência, refletindo a menor biomassa dos organismos, um fator já identificado como contribuinte para o acúmulo de MPs (Hossain et al. 2023, Huang et al. 2020). O que também foi confirmado pela correlação geral entre biomassa (peso e comprimento) dos peixes com o acúmulo de MPs onde foram observadas correlações positivas entre abundâncias de MPs e estes dois fatores. Todavia, a média de MPs por grama de tecido foi semelhante entre as duas áreas, indicando que, independentemente do tamanho dos peixes, a contaminação relativa dos tecidos permanece comparável.

Quanto a contaminação em bivalves, apesar de não serem observadas diferenças significativas entre as duas áreas, a taxa de ocorrência de MPs por indivíduos nos espécimes do estuário do Tibiri foi ligeiramente maior. No entanto, ao analisar a concentração de MPs por grama (tecido mole) os resultados indicam maior ocorrência nos bivalves da área II. Diversos estudos demonstram uma correlação negativa entre o tamanho dos bivalves e o acúmulo de MPs (Xu et al., 2024; Bom, de Brito e Sá, 2022; Chinfak, 2021), o que poderia ser influenciado por diferenças na dieta, na taxa de filtração, ou nas características físico-químicas dos MPs presentes em cada área. Nossos resultados também não registraram correlações estatisticamente significativas entre o peso e comprimento dos bivalves com o acúmulo de MPs.

Karlsson et al., (2017), concluíram que a concentração de MPs encontrada em mexilhões da costa holandesa do Mar do Norte foi significativamente maior do que nos sedimentos e amostras de águas superficiais da mesma área. Este achado destaca o hábito filtrador dos bivalves, que, ao se alimentarem, filtram grandes volumes de água e, consequentemente, acumulam MPs em seus tecidos. Esse comportamento filtrador torna os bivalves indicadores importantes da presença e concentração de MPs no ambiente aquático (Ding et al., 2021). A média de MPs nos bivalves do estudo acompanha a taxa encontrada na maioria dos estudos com diferentes grupos de bivalves no mundo (Ruangpanupan et al., 2023; Cho et al., 2020; Zhang et al., 2022).

A coloração encontrada em todas as matrizes está em concordância com a grande maioria dos estudos publicados até o momento, nos quais a cor azul se destaca como a mais frequente nas análises de diferentes matrizes ambientais (Zhang et al., 2020; Ugwu, Herrera e Gómez, 2021). De forma similar, a escala de tamanho dos MPs em matrizes ambientais tem apresentado um padrão de distribuição constante em praticamente todos os estudos, com MPs menores (entre 10^{-3} e 2,0 mm) sendo dominantes, de acordo com Ugwu, Herrera e Gómez (2021) e Ragoobur et al., (2023).

5. CONCLUSÃO

Nosso estudo indicou a presença de MPs nos estuários maranhenses, essenciais para a pesca e subsistência local. A distribuição heterogênea dos MPs, influenciada por diferentes fatores, mostrou a predominância de fragmentos e fibras, partículas pequenas (10^{-3} -1mm) e uma variação de cores sendo azul a predominante. A ocorrência de MPs em espécies importantes para o consumo destaca a complexidade do problema e a necessidade de estratégias para proteger esses ecossistemas. A hidrodinâmica dos estuários de macromarés interfere na ocorrência dos MPs nos diversos compartimentos ambientais, reforçando a necessidade de compreender as dinâmicas locais para subsidiar políticas públicas mais eficazes no combate à poluição por plásticos. Além disso, os impactos potenciais na saúde humana, decorrentes do consumo de espécies contaminadas, evidenciam a urgência de ações integradas que promovam a redução do descarte inadequado de resíduos, a educação ambiental e o monitoramento contínuo desses ecossistemas. Por fim, nossos resultados contribuem para o entendimento global da poluição por MPs em ambientes tropicais e ressaltam a importância de pesquisas futuras para mitigar os efeitos desse problema ambiental crescente.

6. CONTRIBUIÇÕES ATRELADAS A DISSERTAÇÃO

6.1 Importância Social

Os estuários dos rios Tibiri e Paciência são áreas de grande importância social devido à intensa atividade pesqueira, que sustenta diversas comunidades locais. O estudo de MPs nesses ambientes é essencial para avaliar a qualidade da água e os impactos da poluição plástica nos organismos e na saúde humana. MPs podem entrar na cadeia trófica trazendo riscos tanto para a fauna marinha quanto para as populações que dependem desses recursos. O monitoramento dos MPs nos múltiplos compartimentos permite identificar fontes de poluição e embasar políticas públicas para gestão sustentável dos recursos. Além disso, ações educativas e de sensibilização podem reduzir os impactos ambientais. Dessa forma, esse estudo contribui socialmente para a preservação ambiental, a segurança alimentar e a qualidade de vida das comunidades locais.

6.2 Importância Econômica

A atividade pesqueira nos estuários dos rios Tibiri e Paciência é fundamental para a subsistência e a renda das comunidades locais. A comercialização de peixes e mariscos dessas áreas representa uma importante fonte econômica, cuja viabilidade depende da qualidade ambiental. A presença de MPs no pescado pode comprometer sua qualidade, reduzindo seu valor de mercado e impactando negativamente a geração de renda dos pescadores. Por isso, o estudo e o monitoramento da contaminação por MPs são essenciais para garantir a segurança alimentar, a saúde dos consumidores e a sustentabilidade econômica dessas comunidades. Além disso, ações que promovam a conservação dos recursos naturais asseguram a continuidade da atividade pesqueira, fortalecendo a economia local e a confiança no comércio de frutos do mar. Assim, os estudos sobre MPs fortalecem a economia local, ao mesmo tempo em que promovem a sustentabilidade e a conservação dos recursos naturais essenciais para essa atividade.

6.3 Importância Ambiental

A poluição por MPs é hoje uma das maiores problemáticas ambientais, afetando diversos ecossistemas ao redor do mundo. Apesar de milhares de estudos em andamento, muitos dos impactos ambientais desses poluentes ainda são pouco compreendidos. Nos estuários dos rios Tibiri e Paciência, a presença de MPs representa uma ameaça significativa à biodiversidade aquática, já que esses fragmentos podem ser ingeridos por

organismos marinhos, causando efeitos tóxicos e bioacumulação na cadeia alimentar. Além disso, os MPs comprometem a saúde dos ecossistemas, prejudicando sua capacidade de fornecer serviços essenciais, como purificação da água, suporte à vida aquática e regulação do clima. Compreender a dinâmica dos MPs nesses ambientes é crucial para mitigar seus impactos, preservar a biodiversidade e promover a sustentabilidade ambiental desses importantes ecossistemas.

7. REFERÊNCIAS

- Abd Rahman, N.N., et al., 2024. Evaluation of the microplastics in bivalves and water column at Pantai Teluk Likas, North Borneo, Malaysia. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 31, 23178–23192.
- Abisha, C., et al., 2024. Microplastic prevalence, diversity and characteristics in commercially important edible bivalves and gastropods in relation to environmental matrices. *J. Hazard. Mater. Adv.* 13, 100392.
- Agharokh, A., et al., 2022. Assessing the relationship between the abundance of microplastics in sediments, surface waters, and fish in the Iran southern shores. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29, 1–13.
- Alexandre, A.P., Menezes, N.A., 2007. Systematics of the family Ariidae (Ostariophysi, Siluriformes), with a redefinition of the genera. *Zootaxa* 1416, 1–126.
- Bajt, O., 2021. From plastics to microplastics and organisms. *FEBS Open Bio* 11, 954–966.
- Belzagui, F., et al., 2020. Textile microfibers reaching aquatic environments: A new estimation approach. *Environ. Pollut.* 265, 114889.
- Bertoldi, C., et al., 2020. First evidence of microplastic contamination in the freshwater of Lake Guaíba, Porto Alegre, Brazil. *Sci. Total Environ.* 771, 144777.
- Bessa, F., et al., 2018. Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 128, 575–584.
- Bom, F.C., de Brito, W.V.F., Sá, F., 2022. Microplastics concentration in bivalve of economic importance, a case study on the southeastern Brazilian coast. *Reg. Stud. Mar. Sci.* 52, 102346.
- Browne, M.A., Galloway, T.S., Thompson, R.C., 2010. Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environ. Sci. Technol.* 44, 3404–3409.
- Bruzaca, D.N., et al., 2022. Occurrence of microplastics in bivalve molluscs *Anomalocardia flexuosa* captured in Pernambuco, Northeast Brazil. *Mar. Pollut. Bull.* 179, 113659.

- Cavalcanti, L.F., et al., 2018. Structure of microphytoplankton community and environmental variables in a macrotidal estuarine complex, São Marcos Bay, Maranhão-Brazil. *Braz. J. Oceanogr.* 66, 283–300.
- Cavalcanti, L.F., et al., 2020. Patterns of phytoplankton structure in response to environmental gradients in a macrotidal estuary of the Equatorial Margin (Atlantic coast, Brazil). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 245, 106969.
- Chinfak, N., et al., 2021. Abundance, composition, and fate of microplastics in water, sediment, and shellfish in the Tapi-Phumduang River system and Bandon Bay, Thailand. *Sci. Total Environ.* 781, 146700.
- Cho, Y., 2020. Nationwide monitoring of microplastics in bivalves from the coastal environment of Korea. *Environ. Pollut.* 270, 116175.
- Choong, W.S., et al., 2021. Characterization of microplastics in the water and sediment of Baram River estuary, Borneo Island. *Mar. Pollut. Bull.* 172, 112880.
- Clere, I.K., et al., 2022. Quantification and characterization of microplastics in commercial fish from southern New Zealand. *Mar. Pollut. Bull.* 184, 114121.
- Dang, T.T., et al., 2022. Abundance of microplastics in cultured oysters (*Crassostrea gigas*) from Danang Bay of Vietnam. *Mar. Pollut. Bull.* 180, 113800.
- Defontaine, S., & Jalón-Rojas, I. 2023. Physical processes matters! Recommendations for sampling microplastics in estuarine waters based on hydrodynamics. *Marine Pollution Bulletin*, 191, 114932.
- DHN, 2024. Diretoria de Hidrografia e Navegação. MARINHA DO BRASIL. Tábuas das Marés - 2025: São Luís (Estado do Maranhão). Niterói: DHN. Available at: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav/dados-de-mare-mapa>. Accessed on: 27/01/2025.
- Ding, J., et al., 2021. Microplastics in four bivalve species and basis for using bivalves as bioindicators of microplastic pollution. *Sci. Total Environ.* 782, 146830.
- Eo, S., et al., 2021. Prevalence of small high-density microplastics in the continental shelf and deep sea waters of East Asia. *Water Res.* 200, 117238.
- Garcia, T.M., et al., 2020. Microplastics in subsurface waters of the western equatorial Atlantic (Brazil). *Mar. Pollut. Bull.* 150, 110705.
- Gimiliani, G. T., et al. 2020. Simple and cost-effective method for microplastic quantification in estuarine sediment: A case study of the Santos and São Vicente Estuarine System. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2, 100020.
- Gray, A.D., et al., 2018. Microplastic in two South Carolina Estuaries: Occurrence, distribution, and composition. *Mar. Pollut. Bull.* 128, 223–233.
- Haave, M., et al., 2021. Documentation of microplastics in tissues of wild coastal animals. *Front. Environ. Sci.* 9, 575058.

- Harris, P., et al., 2021. Exposure of coastal environments to river-sourced plastic pollution. *Sci. Total Environ.* 769, 145222.
- Horton, A., Dixon, S., 2018. Microplastics: An introduction to environmental transport processes. *WIREs Water* 5, e1268.
- Horton, AA, Weerasinghe, KI, Mayor, DJ, & Lampitt, R. 2024. Microplásticos em espécies comerciais de peixes marinhos no Reino Unido – Um estudo de caso nos estuários do Rio Tâmisa e do Rio Stour (East Anglia). *Science of the Total Environment*, 915 , 170170.
- Hossain, M.B., et al., 2023. Microplastics in different tissues of a commonly consumed fish, *Scomberomorus guttatus*, from a large subtropical estuary: Accumulation, characterization, and contamination assessment. *Biology* 12, 1422.
- Huang, J.S., et al., 2020. Microplastic accumulation in fish from Zhanjiang mangrove wetland, South China. *Sci. Total Environ.* 708, 134839.
- Issac, M.N., Kandasubramanian, B., 2021. Effect of microplastics in water and aquatic systems. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28, 19544–19562.
- Karlsson, T.M., et al., 2017. Screening for microplastics in sediment, water, marine invertebrates and fish: Method development and microplastic accumulation. *Mar. Pollut. Bull.* 122, 403–408.
- Kibria, G., 2022. Global review and analysis of the presence of microplastics in fish. *Asian Fish. Sci.* 35, 1–15.
- Kumar, R., et al., 2021. Effect of physical characteristics and hydrodynamic conditions on transport and deposition of microplastics in riverine ecosystem. *Water* 13, 2710.
- Leslie, H.A., et al., 2017. Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environ. Int.* 101, 133–142.
- Lobelle, D., et al., 2021. Global modeled sinking characteristics of biofouled microplastic. *J. Geophys. Res. Oceans* 126, e2020JC017098.
- Luo, W., et al., 2019. Comparison of microplastic pollution in different water bodies from urban creeks to coastal waters. *Environ. Pollut.* 246, 174–182.
- Mai, L., et al., 2018. A review of methods for measuring microplastics in aquatic environments. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 11319–11332.
- Maynard, I.F.N., et al., 2021. Analysis of the occurrence of microplastics in beach sand on the Brazilian coast. *Sci. Total Environ.* 771, 144777.
- Mercogliano, R., et al., 2020. Occurrence of microplastics in commercial seafood under the perspective of the human food chain. A review. *J. Agric. Food Chem.* 68, 5296–5301.
- Neto, J.G.B., et al., 2020. Ingestion of plastic debris by commercially important marine fish in southeast-south Brazil. *Environ. Pollut.* 267, 115508.

Nielsen, T.D., et al., 2020. Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic life cycle. *WIREs Energy Environ.* 9, e360.

NOAA, 2023. What are microplastics? Available at: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/microplastics.html>. Accessed on: 18/01/2023.

OCDE, 2022. Global plastic waste set to almost triple by 2060. Available at: <https://www.oecd.org/environment/global-plastic-waste-set-to-almost-triple-by-2060.htm>. Accessed on: 18/01/2023.

Oksanen, J., et al., 2019. vegan: Community ecology package. R package version 2.5-6.

Orrell, T.M., 1977. Order PERCIFORMES Suborder PERCOIDEI CENTROPOMIDAE. *Copeia* 1977, 1–126.

Pegado, T., et al. 2021. Ingestion of microplastics by hypanus guttatus stingrays in the Western Atlantic Ocean (Brazilian Amazon Coast). *Marine pollution bulletin*, 162, 111799.

Peng, G., et al., 2020. The ocean's ultimate trashcan: Hadal trenches as major depositories for plastic pollution. *Water Res.* 168, 115121.

Periyasamy, A. P., & Tehrani-Bagha, A. 2022. A review on microplastic emission from textile materials and its reduction techniques. *Polymer Degradation and Stability*, 199, 109901.

Ragoobur, D., et al., 2023. Microplastics in estuarine water and sediment in Mauritius. *Reg. Stud. Mar. Sci.* 57, 102766.

Ribeiro, V.V., et al., 2025. Microplastic in bivalves of an urbanized Brazilian estuary: Human modification, population density and vegetation influence. *J. Hazard. Mater.* 482, 136546.

Rodríguez-Seijo, A., Pereira, R., 2017. Morphological and physical characterization of microplastics. In: *Comprehensive Analytical Chemistry*, vol. 75, pp. 49–66.

Ruangpanupan, N., et al., 2023. Seasonal variation in the abundance of microplastics in three commercial bivalves from Bandon Bay, Gulf of Thailand. *Mar. Pollut. Bull.* 197, 114889.

Santos, T.T.L., Marins, R.V., Alves, L.P., 2023. Review on metal contamination in equatorial estuaries in the Brazilian Northeast. *Front. Earth Sci.* 11, 1142649.

Savoca, M., et al., 2021. Plastic ingestion by marine fish is widespread and increasing. *Glob. Change Biol.* 27, 2188–2199.

Silva, G.S., et al., 2014. Distribution and fractionation of metals in mangrove sediment from the Tibiri River Estuary on Maranhão Island. *Rev. Virtual Quím.* 6, 1–10.

Summers, E., Du, J., Park, K., & Kaiser, K. 2023. How does buoyancy behavior impact microplastic transport in an estuarine environment? *Science of The Total Environment*, 899, 165687.

- Talbot, R., Chang, H., 2022. Microplastics in freshwater: A global review of factors affecting spatial and temporal variations. *Environ. Pollut.* 292, 118393.
- Thompson, G., et al., 2015. Trophic ecology of *Mugil liza* at the southern limit of its distribution (Buenos Aires, Argentina). *Braz. J. Oceanogr.* 63, 271–277.
- Tien, C.J., Wang, Z.X., Chen, C.S., 2020. Microplastics in water, sediment and fish from the Fengshan River system: Relationship to aquatic factors and accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons by fish. *Environ. Pollut.* 265, 114962.
- Ugwu, K., Herrera, A., Gómez, M., 2021. Microplastics in marine biota: A review. *Mar. Pollut. Bull.* 169, 112540.
- Usman, S., et al., 2020. Microplastics pollution as an invisible potential threat to food safety and security, policy challenges and the way forward. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 9591.
- Vargas, J.G.M., et al., 2022. Microplásticos: uso na indústria cosmética e impactos no ambiente aquático. *Quim. Nova* 45, 705–711.
- Vieira, K.S., et al., 2021. Occurrence of microplastics and heavy metals accumulation in native oysters *Crassostrea gasar* in the Paranaguá estuarine system, Brazil. *Mar. Pollut. Bull.* 166, 112244.
- Xu, Baile, et al. 2020. Microplastics in the soil environment: occurrence, risks, interactions and fate—a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 50.21, 2175-2222.
- Xu, Z., et al., 2024. Microplastic pollution in commercially important edible marine bivalves: A comprehensive review. *Food Chem. X* 19, 101647.
- Yang, L., et al., 2021. Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources, and potential risk. *Sci. Total Environ.* 780, 146546.
- Zhang, D., et al., 2020. Microplastic pollution in deep-sea sediments and organisms of the Western Pacific Ocean. *Environ. Pollut.* 259, 113948.
- Zhang, K., et al., 2022. Abundance and characteristics of microplastics in shellfish from Jiaozhou Bay, China. *J. Oceanol. Limnol.* 40, 163–172.
- Zhao, J., et al., 2018. Microplastic pollution in sediments from the Bohai Sea and the Yellow Sea, China. *Sci. Total Environ.* 640, 637–645.
- Zhao, S., Zhu, L., Li, D., 2015. Microplastic in three urban estuaries, China. *Environ. Pollut.* 206, 597–604.
- Zhou, Y., et al., 2021. Microplastic contamination is ubiquitous in riparian soils and strongly related to elevation, precipitation and population density. *J. Hazard. Mater.* 411, 125178.

Normas da revista

I. ESCRITA E FORMATAÇÃO

Formato de arquivo

Pedimos que você forneça arquivos de origem editáveis para todo o seu envio (incluindo figuras, tabelas e gráficos de texto). Algumas diretrizes:

- Salve arquivos em um formato editável, usando a extensão .doc/.docx para arquivos Word e .tex para arquivos LaTeX. Um PDF não é um arquivo de origem aceitável.
 - Disponha o texto em um formato de coluna única.
 - Remova qualquer texto tachado ou sublinhado do seu manuscrito, a menos que tenha significado científico relacionado ao seu artigo.
 - Use funções de verificação ortográfica e gramatical para evitar erros.
- Recomendamos que você leia nosso Guia passo a passo para publicar com a Elsevier .

Látex

Nós encorajamos você a usar nosso modelo LaTeX ao preparar uma submissão LaTeX. Você será solicitado a fornecer todos os arquivos de origem editáveis relevantes após a submissão ou revisão.

Suporte para seu envio em LaTeX:

- Instruções e modelos de envio LaTeX
- Centro de suporte para publicação de artigos de periódicos Perguntas frequentes e suporte do LaTeX
- Guia para iniciantes da Researcher Academy sobre como escrever um manuscrito em LaTeX

Página de título

Você deve incluir os seguintes detalhes nas informações da página de título:

- Título do artigo. Os títulos dos artigos devem ser concisos e informativos. Por favor, evite abreviações e fórmulas, sempre que possível, a menos que sejam estabelecidas e amplamente compreendidas, por exemplo, DNA).
- Nomes dos autores. Forneça o(s) nome(s) e sobrenome(s) de cada autor. A ordem dos autores deve corresponder à ordem no sistema de submissão. Verifique cuidadosamente se todos os nomes estão escritos corretamente. Se necessário, você pode adicionar seu nome entre parênteses em seu próprio script após a transliteração em inglês.
- Afiliações. Adicione endereços de afiliação, referindo-se a onde o trabalho foi realizado, abaixo dos nomes dos autores. Indique as afiliações usando uma letra minúscula sobrescrita imediatamente após o nome do autor e na frente do endereço correspondente. Certifique-se de fornecer o endereço postal completo de cada afiliação, incluindo o nome do país e, se disponível, o endereço de e-mail de cada autor.
- Autor correspondente. Indique claramente quem cuidará da correspondência do seu artigo em todos os estágios do processo de arbitragem e publicação e também após a publicação. Essa responsabilidade inclui responder a quaisquer dúvidas futuras sobre seus resultados, dados, metodologia e materiais. É importante que o endereço de e-mail e os detalhes de contato do seu autor correspondente sejam mantidos atualizados durante o processo de submissão e publicação.
- Endereço atual/permanente. Se um autor se mudou desde que o trabalho descrito em seu artigo foi realizado, ou o autor estava visitando durante esse tempo, um "endereço atual" (ou "endereço permanente") pode ser indicado por uma nota de rodapé no nome do autor.

O endereço onde o autor realizou o trabalho deve ser mantido como seu endereço de afiliação principal. Use algarismos arábicos sobrescritos para tais notas de rodapé.

Resumo

Você deve fornecer um resumo conciso e factual que não exceda 250 palavras. O resumo deve declarar brevemente o propósito de sua pesquisa, os principais resultados e as principais conclusões. Algumas diretrizes:

- Os resumos devem ser independentes, pois geralmente são apresentados separadamente do artigo.
- Evite referências. Se alguma for essencial incluir, certifique-se de citar o(s) autor(es) e o(s) ano(s).
- Evite abreviações não padronizadas ou incomuns. Se alguma for essencial incluir, garanta que elas sejam definidas em seu resumo na primeira menção.

Palavras-chave

Você precisa fornecer de 1 a 7 palavras-chave para fins de indexação. As palavras-chave devem ser escritas em inglês. Tente evitar palavras-chave que consistam em várias palavras (usando "and" ou "of").

Recomendamos que você use abreviações em palavras-chave somente se elas estiverem firmemente estabelecidas na área.

Destaques

Você deve fornecer destaques do artigo no momento do envio.

Destaques são uma pequena coleção de marcadores que devem capturar os novos resultados da sua pesquisa, bem como quaisquer novos métodos usados durante o seu estudo. Destaques ajudarão a aumentar a capacidade de descoberta do seu artigo por meio de mecanismos de busca. Algumas diretrizes:

- Envie os destaques como um arquivo editável separado no sistema de envio on-line com a palavra "destaques" incluída no nome do arquivo.
- Os destaques devem consistir de 3 a 5 marcadores, cada um com no máximo 85 caracteres, incluindo espaços.

Recomendamos que você veja os destaques dos artigos de exemplo e leia sobre os benefícios de sua inclusão.

Resumo gráfico

Recomendamos que você forneça um resumo gráfico no momento do envio.

O resumo gráfico deve resumir o conteúdo do seu artigo em um formato conciso e pictórico, projetado para capturar a atenção de um amplo público leitor. Um resumo gráfico ajudará a atrair mais atenção para seu artigo on-line e dará suporte aos leitores na digestão de sua pesquisa. Algumas diretrizes:

- Envie seu resumo gráfico como um arquivo separado no sistema de envio on-line.
- Certifique-se de que a imagem tenha no mínimo 531 x 1328 pixels (AxL) ou proporcionalmente mais e seja legível em um tamanho de 5 x 13 cm usando uma resolução de tela normal de 96 dpi.
- Nossos tipos de arquivo preferidos para resumos gráficos são TIFF, EPS, PDF ou arquivos do MS Office.

Recomendamos que você visualize exemplos de resumos gráficos e leia sobre os benefícios de incluí-los.

Tabelas

As tabelas devem ser enviadas como texto editável, não como imagens. Algumas diretrizes:

- Coloque tabelas ao lado do texto relevante ou em uma página(s) separada(s) no final do seu artigo.
- Cite todas as tabelas no texto do manuscrito.
- Numere as tabelas consecutivamente de acordo com sua aparição no texto.
- Por favor, forneça legendas junto com as tabelas.
- Coloque quaisquer notas da tabela abaixo do corpo da tabela.
- Evite regras verticais e sombreamento dentro das células da tabela.

Recomendamos que você use tabelas com moderação, garantindo que quaisquer dados apresentados nas tabelas não dupliquem resultados descritos em outras partes do artigo.

Figuras, imagens e obras de arte

Figuras, imagens, artes, diagramas e outras mídias gráficas devem ser fornecidas como arquivos separados junto com o manuscrito. Recomendamos que você leia nossas instruções detalhadas de artes e mídia . Alguns trechos:

Ao enviar uma obra de arte:

- Cite todas as imagens no texto do manuscrito.
- Numere as imagens de acordo com a sequência em que aparecem no seu artigo.
- Envie cada imagem como um arquivo separado usando uma convenção de nomenclatura lógica para seus arquivos (por exemplo, Figura_1, Figura_2 etc.).
- Forneça legendas para todas as figuras, imagens e obras de arte.
- Gráficos de texto podem ser incorporados ao texto na posição apropriada. Se você estiver trabalhando com LaTeX, gráficos de texto também podem ser incorporados ao arquivo.

Formatos de arte

Quando sua arte estiver finalizada, "salve como" ou converta sua arte eletrônica para os formatos listados abaixo, levando em consideração os requisitos de resolução fornecidos para desenhos de linha, meios-tons e combinações de linha/meio-tom:

- Desenhos vetoriais: salve como arquivos EPS ou PDF incorporando a fonte ou salvando o texto como "gráficos".
- Fotografias coloridas ou em tons de cinza (meios-tons): salve como arquivos TIFF, JPG ou PNG usando no mínimo 300 dpi (para coluna única: mín. 1063 pixels, largura de página inteira: 2244 pixels).
- Desenhos de linhas em bitmap: salve como arquivos TIFF, JPG ou PNG usando no mínimo 1000 dpi (para coluna única: mín. 3543 pixels, largura de página inteira: 7480 pixels).
- Combinações de linhas/meios-tons de bitmap (coloridas ou em tons de cinza): Salve como arquivos TIFF, JPG ou PNG usando no mínimo 500 dpi (para coluna única: mín. 1772 pixels, largura de página inteira: 3740 pixels).

Por favor, não envie:

- arquivos com resolução muito baixa (por exemplo, arquivos otimizados para uso na tela, como GIF, BMP, PICT ou WPG).
- imagens desproporcionalmente grandes em comparação ao tamanho da fonte, pois o texto pode ficar ilegível.

Legendas das figuras

Todas as imagens devem ter uma legenda. Uma legenda deve consistir em um breve título (não exibido na figura em si) e uma descrição da imagem. Aconselhamos que você mantenha a quantidade de texto em qualquer imagem no mínimo, embora quaisquer símbolos e abreviações usados devam ser explicados.

Forneça legendas em um arquivo separado.

Arte colorida

Se você enviar figuras coloridas utilizáveis com seu artigo aceito, garantiremos que elas apareçam coloridas on-line.

Por favor, garanta que as imagens coloridas sejam acessíveis a todos, incluindo aqueles com deficiência visual de cores. Saiba mais sobre acessibilidade de cores e web .

Para artigos que aparecem na versão impressa, você receberá informações sobre os custos para reproduzir a cor na versão impressa, depois que seu artigo aceito for enviado para produção. Nesta fase, indique se sua preferência é ter cor apenas na versão online do seu artigo ou também na versão impressa.

IA generativa e figuras, imagens e obras de arte

Leia nossa política sobre o uso de IA generativa e ferramentas assistidas por IA em figuras, imagens e artes, que pode ser encontrada nas Políticas GenAI para periódicos da Elsevier . Esta política declara:

- Não permitimos o uso de IA generativa ou ferramentas assistidas por IA para criar ou alterar imagens em manuscritos enviados.
- A única exceção é se o uso de IA ou ferramentas assistidas por IA fizer parte do design ou métodos de pesquisa (por exemplo, no campo de imagens biomédicas). Se esse for o caso, tal uso deve ser descrito de forma reproduzível na seção de métodos, incluindo o nome do modelo ou ferramenta, números de versão e extensão e fabricante.
- O uso de IA generativa ou ferramentas assistidas por IA na produção de arte, como para resumos gráficos, não é permitido. O uso de IA generativa na produção de arte de capa pode, em alguns casos, ser permitido, se o autor obtiver permissão prévia do editor e da editora do periódico, puder demonstrar que todos os direitos necessários foram liberados para o uso do material relevante e garantir que haja atribuição correta do conteúdo.

Material suplementar

Incentivamos o uso de materiais suplementares, como aplicativos, imagens e cliques de som para aprimorar a pesquisa. Algumas diretrizes:

- Cite todos os arquivos suplementares no texto do manuscrito.
- Envie materiais suplementares ao mesmo tempo que seu artigo. Esteja ciente de que todos os materiais suplementares fornecidos aparecerão on-line no mesmo tipo de arquivo exato em que foram recebidos. Esses arquivos não serão formatados ou compostos pela equipe de produção.
- Inclua uma legenda concisa e descritiva para cada arquivo suplementar descrevendo seu conteúdo.
- Forneça arquivos atualizados se em qualquer estágio do processo de publicação você desejar fazer alterações nos materiais suplementares enviados.
- Não faça anotações ou correções em uma versão anterior de um arquivo suplementar.
- Desative a opção de rastrear alterações em arquivos do Microsoft Office. Se as alterações rastreadas forem deixadas ligadas, elas aparecerão na sua versão publicada.

Recomendamos que você carregue dados de pesquisa para um repositório especializado ou generalista adequado. Leia nossas diretrizes sobre compartilhamento de dados de pesquisa para obter mais informações sobre depósito, compartilhamento e uso de dados de pesquisa e outros materiais de pesquisa relevantes.

Vídeo

Este periódico aceita material de vídeo e sequências de animação para dar suporte e aprimorar sua pesquisa científica. Nós o encorajamos a incluir links para arquivos de vídeo ou animação dentro dos artigos. Algumas diretrizes:

- Ao incluir links para arquivos de vídeo ou animação em seu artigo, faça referência ao conteúdo do vídeo ou animação adicionando uma nota no texto onde o arquivo deve ser colocado.
- Rotule os arquivos claramente, garantindo que o nome fornecido esteja diretamente relacionado ao conteúdo do arquivo.
- Forneça arquivos em um dos nossos formatos de arquivo recomendados . Os arquivos devem estar dentro do nosso tamanho máximo de arquivo preferido de 150 MB por arquivo, 1 GB no total.
- Forneça "stills" para cada um dos seus arquivos. Eles serão usados como ícones padrão para personalizar o link para os seus dados de vídeo. Você pode escolher qualquer quadro do seu vídeo ou animação ou fazer uma imagem separada.
- Forneça texto (tanto para a versão eletrônica quanto para a impressa) para ser colocado nas partes do seu artigo que se referem ao conteúdo de vídeo. Este é um texto essencial, pois arquivos de vídeo e animação não podem ser incorporados na versão impressa do periódico.

Publicamos todos os arquivos de vídeo e animação fornecidos na versão eletrônica do seu artigo.

Para obter instruções mais detalhadas, recomendamos que você leia nossas diretrizes sobre como enviar conteúdo de vídeo para ser incluído no corpo de um artigo .

Dados de pesquisa

Estamos comprometidos em apoiar o armazenamento, o acesso e a descoberta de dados de pesquisa, e nossa política de dados de pesquisa define os princípios que orientam como trabalhamos com a comunidade de pesquisa para dar suporte a um processo de pesquisa mais eficiente e transparente.

Dados de pesquisa referem-se aos resultados de observações ou experimentações que validam descobertas de pesquisa, que também podem incluir software, código, modelos, algoritmos, protocolos, métodos e outros materiais úteis relacionados ao projeto.

Leia nossas diretrizes sobre compartilhamento de dados de pesquisa para obter mais informações sobre como depositar, compartilhar e usar dados de pesquisa e outros materiais de pesquisa relevantes.

Para este periódico, aplicam-se as seguintes instruções de nossas diretrizes de dados de pesquisa .

Opção C: Depósito de dados de pesquisa, citação e vinculação

Você é obrigado a:

- Deposite seus dados de pesquisa em um repositório de dados relevante.
- Cite e vincule esse conjunto de dados em seu artigo.
- Se isso não for possível, faça uma declaração explicando por que os dados da pesquisa não podem ser compartilhados.

Declaração de dados

Para promover a transparência, você deve declarar a disponibilidade de quaisquer dados no momento do envio.

Garantir que os dados estejam disponíveis pode ser um requisito do seu órgão ou instituição financiadora. Se seus dados não estiverem disponíveis para acesso ou forem inadequados para publicação, você pode declarar o motivo (por exemplo, seus dados de pesquisa incluem

informações sensíveis ou confidenciais, como dados de pacientes) durante o processo de envio. Esta declaração aparecerá com seu artigo publicado no ScienceDirect.

Saiba mais sobre a importância e os benefícios de fornecer uma declaração de dados .

Ligação de dados

O link para os dados subjacentes ao seu trabalho aumenta sua exposição e pode levar a novas colaborações. Também fornece aos leitores uma melhor compreensão da pesquisa descrita.

Se os dados da sua pesquisa foram disponibilizados em um repositório de dados, há várias maneiras de vincular seu artigo diretamente ao conjunto de dados:

- Forneça um link para seu conjunto de dados quando solicitado durante o processo de envio on-line.
- Para alguns repositórios de dados, um banner de repositório aparecerá automaticamente ao lado do seu artigo publicado no ScienceDirect.
- Você também pode vincular dados ou entidades relevantes dentro do texto do seu artigo por meio do uso de identificadores. Use o seguinte formato: Database: 12345 (por exemplo, TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Saiba mais sobre como vincular dados de pesquisa e artigos de pesquisa no ScienceDirect .

Dados em Resumo e MétodosX: co-submissão

Você é encorajado a publicar dados de pesquisa , métodos ou protocolos relacionados ao seu manuscrito como um artigo de co-submissão no *Data in Brief* ou *MethodsX* . Ao publicar uma co-submissão, você avança ainda mais a reprodutibilidade da pesquisa, a interoperabilidade e a ciência aberta. Caso tanto seu artigo de pesquisa original quanto seu(s) artigo(s) de co-submissão sejam aceitos para publicação, eles serão vinculados no ScienceDirect.

Ao enviar seu artigo de pesquisa original, siga o *processo de co-submissão* ativo para este periódico:

- Descreva os dados, métodos ou protocolos de pesquisa em um artigo separado a ser considerado para publicação no *Data in Brief* ou no *MethodsX* .
- Siga um dos seguintes modelos de envio:
 - Modelo de artigo de dados (*Dados em resumo*)
 - Modelo de artigo de métodos (*MethodsX*)
 - Modelo de artigo de protocolo (*MethodsX*)
- Envio on-line do seu artigo de co-submissão:
 - Ao enviar os arquivos para seu artigo de pesquisa original, na etapa "Anexar arquivos" no processo de envio do Editorial Manager, envie também os arquivos para seu co-envio.
 - Selecione ' *Dados resumidos* ' ou ' *MétodosX* ' no menu suspenso 'Selecionar tipo de item' ao enviar seu(s) arquivo(s) de co-submissão.
 - Envie seu(s) arquivo(s) de co-submissão como um documento do Word.

Divida seu manuscrito em seções claramente definidas, abrangendo todos os elementos essenciais usando títulos.

Glossário

Forneça definições de termos específicos do campo usados em seu artigo, em uma lista separada.

Agradecimentos

Inclua quaisquer indivíduos que lhe forneceram ajuda durante sua pesquisa, como ajuda com a linguagem, escrita ou revisão, na seção de agradecimentos. Os agradecimentos devem ser colocados em uma seção separada que aparece diretamente antes da lista de referências. Não inclua agradecimentos na sua página de título, como uma nota de rodapé para seu título, ou em qualquer outro lugar em seu artigo que não seja na seção de agradecimentos separada.

Contribuições dos autores: CRediT

Os autores correspondentes devem reconhecer as contribuições dos coautores usando as funções CRediT (Contributor Roles Taxonomy) :

- Conceitualização
- Curadoria de dados
- Análise formal
- Aquisição de financiamento
- Investigação
- Metodologia
- Administração de projetos
- Recursos
- Programas
- Supervisão
- Validação
- Visualização
- Escrita – rascunho original
- Escrita – revisão e edição

Nem todas as funções do CRediT se aplicarão a todos os manuscritos e alguns autores podem contribuir por meio de múltiplas funções.

Recomendamos que você leia mais sobre o CRediT e veja um exemplo de declaração de autor do CRediT .

Fontes de financiamento

Os autores devem divulgar quaisquer fontes de financiamento que forneceram suporte financeiro para a condução da pesquisa e/ou preparação do artigo. O papel dos patrocinadores, se houver, deve ser declarado em relação ao desenho do estudo, coleta, análise e interpretação dos dados, redação do relatório e decisão de submeter o artigo para publicação. Se as fontes de financiamento não tiveram tal envolvimento, isso deve ser declarado em sua submissão.

Liste as fontes de financiamento desta forma padrão para facilitar a conformidade com os requisitos do financiador:

Financiamento: Este trabalho foi apoiado pelos Institutos Nacionais de Saúde [números de subsídios xxxx, yyyy]; pela Fundação Bill & Melinda Gates, Seattle, WA [número de subsídio zzzz]; e pelos Institutos da Paz dos Estados Unidos [número de subsídio aaaa].

Não é necessário incluir descrições detalhadas sobre o programa ou tipo de subsídios, bolsas de estudo e prêmios. Quando o financiamento for de um subsídio em bloco ou outros recursos disponíveis para uma universidade, faculdade ou outra instituição de pesquisa, envie o nome do instituto ou organização que forneceu o financiamento.

Caso não tenha sido fornecido financiamento para a pesquisa, recomenda-se incluir a seguinte frase:

Esta pesquisa não recebeu nenhuma bolsa específica de agências de financiamento dos setores público, comercial ou sem fins lucrativos.

Apêndices

Pedimos que você use o seguinte formato para apêndices:

- Identifique apêndices individuais dentro do seu artigo usando o formato: A, B, etc.
- Dê numeração separada para fórmulas e equações dentro dos apêndices usando formatos como Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc. e em apêndices subsequentes, Eq. (B.1), Eq. (B. 2) etc. De forma semelhante, dê numeração separada para tabelas e figuras usando formatos como Tabela A.1; Fig. A.1, etc.

Referências

Referências dentro do texto

Quaisquer referências citadas em seu artigo também devem estar presentes em sua lista de referências e vice-versa. Algumas diretrizes:

- As referências citadas no seu resumo devem ser fornecidas na íntegra.
- Recomendamos que você não inclua resultados não publicados e comunicações pessoais em sua lista de referências, embora você possa mencioná-los no texto do seu artigo.
- Quaisquer resultados não publicados e comunicações pessoais incluídas na sua lista de referências devem seguir o estilo de referência padrão do periódico. Em substituição à data de publicação, adicione "resultados não publicados" ou "comunicação pessoal".
- Referências citadas como "no prelo" implicam que o item foi aceito para publicação.

Criar links para fontes citadas aumentará a capacidade de descoberta da sua pesquisa.

Antes do envio, verifique se todos os dados fornecidos na sua lista de referências estão corretos, incluindo quaisquer referências que tenham sido copiadas. Fornecer dados de referência corretos nos permite vincular a serviços de resumo e indexação, como Scopus, Crossref e PubMed. Quaisquer sobrenomes, títulos de periódicos ou livros, anos de publicação ou paginação incorretos em suas referências podem impedir a criação de links.

Incentivamos o uso de Identificadores de Objetos Digitais (DOIs) como links de referência, pois eles fornecem um link permanente para o artigo eletrônico referenciado.

Formato de referência

Este periódico não estabelece requisitos rígidos sobre formatação de referência na submissão. Algumas diretrizes:

- As referências podem estar em qualquer estilo ou formato, desde que o estilo seja consistente.
- Nomes de autores, títulos de periódicos ou livros, títulos de capítulos ou artigos, ano de publicação, números de volume, números de artigos ou paginação devem ser incluídos, quando aplicável.
- Recomenda-se o uso de DOIs.

Nosso estilo de referência de periódico será aplicado ao seu artigo após a aceitação, na fase de prova. Se necessário, nesta fase, pediremos que você corrija ou forneça quaisquer dados de referência ausentes.

Referências da Web

Ao listar referências da web, no mínimo você deve fornecer a URL completa e a data em que a referência foi acessada pela última vez. Informações adicionais (por exemplo, DOI, nomes de autores, datas ou referência a uma publicação de origem) também devem ser fornecidas, se conhecidas.

Você pode listar referências da web separadamente sob um novo título logo após sua lista de referências ou incluí-las em sua lista de referências.

Referências de dados

Recomendamos que você cite conjuntos de dados subjacentes ou relevantes no texto do artigo e liste referências de dados na lista de referências.

Ao citar referências de dados, você deve incluir:

- nome(s) do(s) autor(es)
- título do conjunto de dados
- repositório de dados
- versão (quando disponível)
- ano
- identificador persistente global

Adicione [dataset] imediatamente antes da sua referência. Isso nos ajudará a identificar corretamente o dataset. O identificador [dataset] não aparecerá no seu artigo publicado.

Referências de pré-impressão

Pedimos que você marque as pré-impressões claramente. Você deve incluir a palavra "pré-impressão" ou o nome do servidor de pré-impressão como parte de sua referência e fornecer o DOI da pré-impressão.

Quando uma pré-impressão for posteriormente disponibilizada como uma publicação revisada por pares, use a publicação formal como referência.

Se houver pré-impressões que sejam essenciais para seu trabalho ou que abranjam desenvolvimentos cruciais no tópico, mas que ainda não foram publicadas formalmente, você pode fazer referência à pré-impressão.

Software de gerenciamento de referências

A maioria dos periódicos da Elsevier tem seu modelo de referência disponível em produtos populares de software de gerenciamento de referências. Isso inclui produtos que suportam Citation Style Language (CSL), como o Mendeley Reference Manager .

Se você usar um plug-in de citação desses produtos, selecione o modelo de periódico relevante e todas as suas citações e bibliografias serão automaticamente formatadas no estilo do periódico. Aconselhamos que você remova todos os códigos de campo antes de enviar seu manuscrito para qualquer produto de software de gerenciamento de referências.

Se um modelo não estiver disponível para este periódico, siga o formato fornecido nos exemplos na seção de estilo de referência deste Guia para Autores.