



UFC

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

MATHEUS ALENCAR DA COSTA

**DETERMINAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE MICROPLÁSTICOS NO ESTUÁRIO DO
RIO PACOTI, UTILIZANDO MOLUSCOS BIVALVES COMO SENTINELAS**

FORTALEZA

2024

MATHEUS ALENCAR DA COSTA

DETERMINAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE MICROPLÁSTICOS NO ESTUÁRIO DO RIO
PACOTI, UTILIZANDO MOLUSCOS BIVALVES COMO SENTINELAS

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais. Área de concentração: Pesquisa

Orientadora: Profa. Dra. Cristina de Almeida Rocha-Barreira.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C874d Costa, Matheus Alencar da.

Determinação da Ocorrência de Microplásticos no estuário do Rio Pacoti, utilizando moluscos bivalves como sentinelas / Matheus Alencar da Costa. – 2024.
53 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Cristina de Almeida Rocha-Barreira.

1. Microplásticos. 2. Mariscos. 3. Ostras. 4. Bivalves. 5. Sentinelas. I. Título.

CDD 333.7

MATHEUS ALENCAR DA COSTA

DETERMINAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE MICROPLÁSTICOS NO ESTUÁRIO DO RIO
PACOTI, UTILIZANDO MOLUSCOS BIVALVES COMO SENTINELAS

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais. Área de concentração: Pesquisa.

Aprovada em: 23/09/2024.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Cristina de Almeida Rocha-Barreira (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ítalo Braga de Castro
Instituto do Mar (IMar)
Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)

Msc. Ravena Santiago Alves
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Família e Amigos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer imensamente aos meus pais, por todo apoio que me deram ao longo de toda a minha graduação, me incentivando sempre a persistir atrás dos meus objetivos. Um agradecimento em especial a minha Mãe, Dona Aparecida, que sempre lutou para eu ter o melhor ensino possível e para que eu nunca desistisse da minha vida acadêmica. Meu pai também que sempre me deu apoio nas minhas decisões e sempre me ajudando no melhor que ele pode. Obrigado a vocês dois por me tornarem o homem que sou, por moldarem o meu caráter com os valores de vocês.

As minhas melhores amigas: Liara e Tainan. Que sempre estiveram ao meu lado quando eu mais precisei para me dar forças e serem meu porto seguro, eu não teria chegado até aqui se não fossem vocês duas, um imenso obrigado por tudo.

Aos Laboratórios EQUAL e PLÂNCTON do Labomar, quero agradecer muito pelo apoio a minha pesquisa, me permitindo utilizar os seus equipamentos e espaço para realizar as minhas atividades práticas de laboratório.

Ao Laboratório do Zoobentos que se tornou como uma segunda casa para mim. Foi o primeiro local onde eu consegui realmente me encaixar dentro da UFC. Eu fiz muitos amigos, trabalhei com colegas excelentes e aprendi muito com todos, em especial a Mariuza e a Natália, que me pegaram pela mão quando eu estava perdido e me ensinaram a caminhar. Foi com essa ajuda que consegui produzir essa pesquisa. Deixo aqui registrado um forte abraço: Wilson, Matheus Fortaleza, Livia, Cristina, Maressa, Rafael, Lohan, Lara, Ana Livia, Ravena, Ryan, Heleny, Anny, Elton, Suyan, Brito, Carla e muitos outros. Todos que passam por esse laboratório deixam sua marca, espero ter conseguido deixar a minha.

A minha Professora e Orientadora Cristina, pela sua paciência de anjo comigo, aquele menino tímido que chegou no laboratório dela muito perdido, procurando um tema para o TCC e que ela pegou pela mão, apresentou uma proposta e ainda deu contato de um pesquisador incrível para me ajudar no trabalho, tudo isso ainda atolada de vários projetos. Muito obrigado por não desistir de mim e pela excelente orientação.

Ao Professor Ítalo, e aos pesquisadores Victor e Yonara da UNIFESP, Santos-SP. Muito obrigado por todo suporte que vocês me deram, essa colaboração foi de extrema importância para o desenvolvimento da pesquisa, muito obrigado.

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças.” (Darwin, 1859).

RESUMO

O aumento global na produção de resíduos plásticos está causando impactos negativos sobre os níveis de organização biológica. Plásticos representam cerca de 75% do lixo marinho e a sua fragmentação resulta em partículas de dimensões entre 1 μm e 5 mm, os microplásticos (MPs). MPs já se encontram em todos os compartimentos ambientais e podem causar danos significativos à fauna costeira, incluindo bivalves. O monitoramento de MPs frequentemente usa espécies sentinelas, como moluscos bivalves, que são bons indicadores das condições ambientais, por serem organismos filtradores com ampla distribuição em diversos ambientes costeiros. Embora a maioria dos estudos sobre MPs na Ásia e Europa utilize bivalves como modelo, no Brasil, especialmente no estado do Ceará, esses estudos ainda são limitados, apesar de estarem em expansão. A escassez de pesquisas sobre a contaminação por MPs em bivalves pode representar um risco significativo à biossegurança local, especialmente para as comunidades que dependem desses recursos para sua subsistência. Este estudo tem como objetivo determinar os níveis de MPs no Estuário do Rio Pacoti (ERP) utilizando duas espécies de bivalves como sentinelas, *Anomalocardia flexuosa* (Mariscos) e *Crassostrea rhizophorae* (Ostras) e comparar suas performances. As coletas foram realizadas em dezembro de 2023. Foram determinados sete pontos de amostragem (P1 a P7) nas regiões inferior, médio e superior do estuário. Foram coletados 10 indivíduos de cada espécie por ponto. Os berbigões foram coletados manualmente, já as ostras, com auxílio de talhadeira e martelo. As amostras foram envolvidas em papel alumínio e congeladas (-5 °C). Em laboratório estéril, as amostras foram descongeladas, biometradas utilizando um paquímetro digital de precisão 0,001 mm e pesadas em uma balança analítica de precisão 0,001 g. Os tecidos dos bivalves foram digeridos em solução KOH 10% e filtrados em sistema a vácuo sob fluxo laminar, utilizando filtros de fibra de vidro com poro de 1,2 μm . Os filtros resultantes foram armazenados em placas de Petri e observados em estereomicroscópio óptico digital para contagem e caracterização (tamanho, forma e cor) dos MPs. Dos bivalves coletados, 93,46% apresentaram MPs em seus tecidos. Em berbigões, os MPs mais comuns tinham entre 1000 e 2000 μm (29,6%), enquanto nas ostras predominavam partículas entre 0 e 500 μm (32%). A concentração de MPs foi significativamente maior em mariscos do que em ostras ($p < 0,0001$). No entanto, as ostras apresentaram maior diversidade de formas, com predominância de fibras (96,3%), mas também fragmentos (5,06%) e filmes (1,34%). As cores mais frequentes foram azul (50,44%), incolor (15,38%), preto (7,14%) e vermelho (6,41%). A maior concentração de MPs em mariscos foi observada no ponto P4 ($3,20 \pm 2,15$), enquanto nas ostras ocorreu no ponto P1 ($4,00 \pm 3,30$). Não houve diferença significativa na contaminação entre os pontos de coleta para mariscos ($p = 0,8156$) e ostras ($p = 0,2778$). As duas espécies utilizadas no presente estudo possuem taxas distintas de acumulação de MPs e performances distintas como sentinelas. Portanto, ambas espécies são válidas como sentinelas, sendo que as ostras apresentam a vantagem de melhor avaliar a variedade de formas de MPs presentes no ambiente estuarino.

Palavras-chave: Microplásticos; Mariscos; Ostras.

ABSTRACT

The global increase in plastic waste production is causing negative impacts on levels of biological organization. Plastics make up about 75% of marine litter, and their fragmentation results in particles ranging from 1 μm to 5 mm, known as microplastics (MPs). MPs are already present in all environmental compartments and can cause significant harm to coastal fauna, including bivalves. Monitoring MPs frequently uses sentinel species, such as bivalve mollusks, which are good environmental indicators due to their filter-feeding habits and broad distribution in various coastal environments. Although most studies on MPs in Asia and Europe use bivalves as a model, in Brazil, especially in the state of Ceará, such studies remain limited, despite being on the rise. The scarcity of research on MP contamination in bivalves may pose a significant biosafety risk locally, especially to communities that rely on these resources for their livelihood. This study aims to determine MP levels in the Pacoti River Estuary (PRE) using two bivalve species as sentinels, *Anomalocardia flexuosa* (Clams) and *Crassostrea rhizophorae* (Oysters), and to compare their performances. The collections took place in December 2023. Seven sampling points (P1 to P7) were selected in the lower, middle, and upper regions of the estuary. Ten individuals of each species were collected per point. The clams were collected manually, while the oysters were collected with the aid of a chisel and hammer. The samples were wrapped in aluminum foil and frozen ($-5\text{ }^{\circ}\text{C}$). In a sterile laboratory, the samples were thawed, measured using a digital caliper with 0.001 mm precision, and weighed on an analytical balance with 0.001 g precision. The tissues of the bivalves were digested in a 10% KOH solution and filtered in a vacuum system under laminar flow, using fiberglass filters with a pore size of 1.2 μm . The resulting filters were stored in Petri dishes and observed under a digital optical stereomicroscope for MP counting and characterization (size, shape, and color). Of the collected bivalves, 93.46% contained MPs in their tissues. In clams, the most common MPs were between 1000 and 2000 μm (29.6%), while in oysters, particles between 0 and 500 μm predominated (32%). The MP concentration was significantly higher in clams than in oysters ($p < 0.0001$). However, oysters showed greater shape diversity, with fibers being predominant (96.3%) but also containing fragments (5.06%) and films (1.34%). The most frequent colors were blue (50.44%), colorless (15.38%), black (7.14%), and red (6.41%). The highest MP concentration in clams was observed at point P4 (3.20 ± 2.15), while in oysters, it was found at point P1 (4.00 ± 3.30). There was no significant difference in contamination between the collection points for clams ($p = 0.8156$) and oysters ($p = 0.2778$). The two species used in this study have different MP accumulation rates and perform differently as sentinels. Therefore, both species are valid as sentinels, with oysters having the advantage of better assessing the variety of MP forms present in the estuarine environment.

Keywords: microplastics; clams; oyster.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Moluscos bivalves utilizados como sentinelas no presente estudo. A. <i>Anomalocardia flexuosa</i> , foto de um exemplar maior e um menor, tirada dentro da placa de petri em laboratório; B: <i>Crassostrea rhizophorae</i> , registro feito em campo de um banco em ostras dentro do estuário do Rio Pacoti, Ceará.	21
Figura 2	Mapa dos pontos de coleta dentro do estuário do rio Pacoti, identificando os pontos onde foram coletados ostras e mariscos.....	23
Figura 3	Procedimento de coleta dos bivalves no estuário do rio Pacoti: (A) Escavando o sedimento para coleta de mariscos; (B) Coleta das ostras em um galho de mangue; (C) Bivalves acondicionados nas embalagens de papel alumínio; (D) amostras embaladas e prontas para congelamento em laboratório.	24
Figura 4	Procedimentos de biometria e pesagem dos bivalves em laboratório: (A) Ostras separadas em uma bandeja de alumínio; (B) Mariscos separados em bandeja de alumínio; (C) Processo de medição dos bivalves com paquímetro; (D) Pesagem da concha com a balança analítica.....	25
Figura 5	Processo de digestão alcalina e filtração das amostras: (A) Amostras adicionadas de KOH sendo levadas a estufa para aquecimento; (B) Sistema de filtração a vácuo dentro da capela ; (C) Amostra diluída no KOH sendo filtrada; (D) Filtros com as amostras sendo armazenados em placas de petri para serem analisados na lupa.....	26
Figura 6	Processo de análise dos filtros na lupa, para identificação quantitativa e qualitativa dos MPs: (A) a lupa sendo esterilizada para o início das análises; (B) A placa de petri sendo destampada para realizar a análise do filtro; (C) A visão do filtro pela lente da lupa; (D) Monitor mostrando a visão do filtro pela câmera da lupa para captura das fotos.....	27
Figura 7	Processo de calcinação do material: (A) Vidrarias e papel alumínio sendo inseridos na mufla para serem calcinadas; (B) A mufla resfriando para retirada do material; (C) Material calcinado; (D) Material calcinado embalado em papel alumínio, também calcinado, para evitar contaminação externa por MPs.....	28

Figura 8	Biometria de ostras (a) e mariscos (b) coletados no Estuário do Rio Pacoti (ERP). Cores denotam diferentes medidas (em mm; azul = comprimento, laranja = largura, e verde = altura). Linhas brancas horizontais e verticais denotam ostra (a) e mariscos (b), respectivamente.....	29
Figura 9	Médias dos pesos das conchas, dos tecidos e do Índice de Condição das duas espécies de bivalves ao longo dos pontos, ostras (a) e mariscos (b). As setas para cima indicam as médias do peso das conchas, as linhas indicam o desvio padrão, as setas para baixo as médias dos tecidos e as barras cinza as médias dos índices de condição.....	30
Figura 10	Concentração de microplásticos em mariscos (a), ostras (b), e nos pontos que as duas espécies foram coletadas simultaneamente (c). Linhas sobre as barras denotam o desvio padrão, enquanto círculos os valores individuais...	31
Figura 11	A proporção das classes de tamanhos das partículas encontradas em ostras (a) e mariscos (b), entre os pontos, separadas por cores.....	32
Figura 12	O percentual das formas das partículas encontradas em ostras (a) e mariscos (b) entre os pontos, destacadas por cores.....	33
Figura 13	A porcentagem das cores das partículas de MPs encontradas em ostras (a) e mariscos (b), em cada um dos pontos, destacadas nas respectivas cores...	33
Figura 14	Panorama geral dos estudos de MPs utilizando bivalves como sentinelas no Brasil, destacando em rosa os dados do presente estudo.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estudos realizados no Brasil que analisaram a presença de MPs nos tecidos de espécies de moluscos bivalves.....	18
----------	---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
ERP	Estuário do Rio Pacoti
MPs	Microplásticos
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS:.....	19
2.1 Objetivo Geral.....	19
2.2 Objetivos Específicos:.....	19
3. METODOLOGIA.....	20
3.1 ORGANISMOS MODELOS.....	20
3.1.1 MARISCO - Anomalocardia flexuosa.....	20
3.1.2 OSTRAS - Crassostrea rhizophorae.....	20
3.2 ÁREA DE ESTUDO E PROCEDIMENTOS AMOSTRAIS.....	22
3.3 BIOMETRIA.....	24
3.4 QUANTIFICAÇÃO E QUALIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS.....	25
3.6 CONTROLE DE CONTAMINAÇÃO.....	27
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	28
4. RESULTADOS.....	30
4.1 Biometria.....	30
4.2 Quantificação dos microplásticos.....	31
4.3 Qualificação dos microplásticos.....	32
4.3.1 Tamanho.....	32
4.3.2 Forma.....	33
4.3.3 Cor.....	34
5. DISCUSSÃO.....	35
6. CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

A elevada produção de resíduos sólidos tornou-se um problema de relevância global. O descarte e gerenciamento indevido desses resíduos estão impactando as matrizes ambientais, como o solo, o ar, a água e principalmente a biota (Kinas & Torres, 2011). Os ambientes costeiros e marinhos são particularmente afetados por tal contaminação, sendo o destino final de diversos tipos de resíduos, inclusive os resíduos plásticos (Cai et al., 2023). Ao longo dos anos, vem ocorrendo um aumento gradual quanto às interações negativas entre animais e o lixo marinho, ocasionando mortalidade especialmente da megafauna, tal como tartarugas, golfinhos, aves e outros (Kühn; Rebolledo & Franeker, 2015; Wilcox et al., 2018). Tais óbitos estão relacionados tanto ao emaranhamento por redes, cordas, fios, quanto à ingestão de plástico, que causam asfixia e/ou contaminação por metais tóxicos nesses animais. Essa contaminação pode comumente se propagar ao longo da teia alimentar (Bergmann; Gutow; Klages, 2015).

A descoberta do plástico revolucionou o modo de vida da sociedade ao longo das últimas décadas. Produzido desde a década de 1950, esse material possui aplicações para usos distintos e suprindo uma demanda de consumo que cresce exponencialmente devido a sua versatilidade e baixo custo de produção (Brito, 2018; Wei et al., 2020; Ribeiro et al., 2023). No ano de 2019, foi estimada a produção global de 368 milhões de toneladas métricas de plástico (Valsan et al., 2022). Quando descartado nos ambientes naturais, a degradação do plástico é extremamente lenta, podendo sua total degradação levar séculos. Nesse sentido, há relatos da existência de detritos plásticos datados há mais de 50 anos, ainda presentes dentro do ambiente marinho (Ding et al., 2022). Plásticos compõem cerca de 75% do lixo marinho, também composto, em menor proporção, por outros materiais, como metal, madeira e papel (Zhang et al., 2021).

Os itens plásticos do lixo marinho são fragmentados em pedaços cada vez menores devido à influência de vários processos naturais, como ação das ondas, radiação UV, oxidação, intemperismo e ação de organismos (Du et al., 2022). Tal fragmentação pode ocorrer lentamente, resultando comumente em partículas de dimensões entre 1 μm e 5 mm, denominadas microplásticos (MPs) e partículas menores de 1 μm denominadas nanoplasticos. MPs que são resultantes da fragmentação de produtos maiores, são denominados MPs secundários, enquanto MPs primários são aqueles produzidos (nas dimensões de 1 μm e 5 mm) e adicionados aos produtos de consumo comum, tais como tintas, detergentes, medicamentos e inseticidas (Duis e Cors, 2016; Jankauskas et al., 2024). Vale ressaltar que os MPs secundários são mais comuns no meio ambiente, e que MPs primários são cada vez menos produzidos e utilizados atualmente em produtos (Osman et al., 2023). A contaminação dos MPs é influenciada por diversos fatores, como o aumento da densidade populacional, que sobrecarrega o gerenciamento de resíduos e libera diversos MPs no solo e na água (Osman et al., 2023). Esses MPs são transportados pelas descargas fluviais, que acabam desaguando em ambientes costeiros, e a partir da hidrodinâmica costeira, chegam aos ambientes marinhos (Osman et al., 2023). Os MPs são considerados onipresentes, já que sua ocorrência é costumeiramente relatada em todos os compartimentos ambientais, ou seja, ar, água, sedimentos, solo e biota, nos mais diversos ecossistemas (Nunes et al., 2023a; 2023b).

Atualmente, já se registra ingestão de MPs por moluscos, crustáceos, peixes, mamíferos e até mesmo por grupos zooplânctônicos (Lima et al., 2015; Flores, 2021). Tal ingestão ocorre devido às pequenas dimensões dos MPs, fazendo com que haja a ingestão acidentalmente durante a alimentação de seres filtradores ou pequenos predadores, podendo biomagnificar ao longo da cadeia alimentar. Especificamente, com relação a ingestão dos MPs, podemos destacar uma redução da capacidade de absorção dos alimentos, a lesões intestinais, ao emaranhamento do trato digestivo, insuficiência respiratória, e/ou intoxicação

por metais e outros contaminantes, podendo ocasionar óbito (Bruzaca et al., 2022; Silva et al., 2018).

Os ecossistemas estuarinos são áreas de amortecimento entre os ecossistemas terrestres e marinhos e são considerados como berçário de diversas espécies, devido às suas condições ambientais específicas (Lima et al., 2015). Dentro de um estuário, as zonas de sedimentos mais finos são as mais vulneráveis à contaminação marinha, pois podem acumular maiores níveis de MPs, porque os MPs tendem a ficar retidos em sedimentos mais finos (Trindade et al., 2023). Desta forma, tais ambientes, embora sejam importantes áreas de reprodução, alimentação e desenvolvimento de diversas espécies costeiras e marinhas, podem ser também áreas de maior potencial de ingestão de MPs devido a sua disponibilidade (Gonçalves, 2016; Silva et al., 2018; Trindade et al., 2023).

Dentro deste contexto, diversas matrizes, inclusive organismos marinhos, vêm sendo utilizados no monitoramento de MPs, buscando refletir as condições ambientais dos níveis de ocorrência. No caso da biota, espécies sentinelas têm seu conteúdo corporal analisado para determinar de forma mensurável os níveis de MPs, refletindo os níveis ambientais (Ribeiro et al., 2023), diferentemente dos bioindicadores, que são espécies cuja presença/ausência refletem no entendimento sobre a presença/ausência de contaminantes no ambiente (Maki et al., 2013). Diversos grupos de espécies já foram utilizados como sentinelas da contaminação por MPs em regiões costeiras, tais como moluscos bivalves (Ribeiro et al, 2024), poríferos (Hernandez et al., 2021), cnidários (Macali e Bergami, 2020; Albano et al., 2021), crustáceos (Watts et al., 2014) e até mesmo insetos (Akindede et al., 2020). A eleição de uma espécie de melhor performance como sentinela em determinado ambiente é uma tarefa desafiadora, tendo em vista que a ecotoxicologia de campo para o monitoramento de MPs é relativamente recente de acordo com a literatura científica.

Os moluscos bivalves são bastante suscetíveis a ingerir MPs, pois são filtradores de

baixa mobilidade e acabam facilmente consumindo os MPs presentes na água durante sua alimentação (Ding et al., 2022). Essa ingestão de MPs por bivalves pode contribuir significativamente para a distribuição trófica de MPs, já que os bivalves constituem as camadas inferiores da cadeia (Ding et al., 2022). Adicionalmente, bivalves são comumente frequentes ao redor do mundo. Mais de 100 estudos já foram realizados em mais 30 países, utilizando mais de 70 espécies de bivalves como sentinela (Shumway et al., 2023). Tal uso é reforçado pelo fato de bivalves serem amplamente distribuídos em ambientes aquáticos, filtradores de camada trófica inferiores, além de acumularem MPs em seus tecidos (Bom & Sá, 2021). Diferentes espécies podem apresentar diferentes desempenhos na filtração, absorção, retenção, translocação e depuração de MPs, devido tanto às diferentes preferências alimentares de cada espécie, quanto à região onde vão se fixar no ambiente, entre outros fatores (Ribeiro et al., 2023). Entretanto, poucos estudos comparam a performance como sentinelas de MPs em diferentes espécies de bivalves (Cho et al., 2021), pois a maioria dos estudos se concentra em uma única espécie, evitando comparações (Doyle et al., 2022; Li et al., 2022).

A maioria dos monitoramentos empregando bivalves como sentinelas de MPs foi realizado na Ásia e Europa, enquanto o hemisfério sul permanece com escassos estudos. Na América Latina, os bivalves *Argopecten purpuratus* e *Amarilladesma mactroides* foram utilizados no Peru e Uruguai, respectivamente (De-La-torre et al., 2019; Azambuja e Eguez, 2020). No Brasil, foram realizados ao todo 18 estudos até o momento, como pode ser visto na seguinte tabela:

Tabela 1: Estudos realizados no Brasil que analisaram a presença de MPs nos tecidos de espécies de moluscos bivalves.

Cidade/Localização	Espécie (Bivalves)	Autores
Estuários Amazônicos - AM	<i>C. gasar</i>	Pantoja et al., 2024

Bragança, São João de Pirabas - PA	<i>M. guyanensis</i>	Rodrigues et al., 2024
Fortaleza - CE	<i>C. rhizophorae</i>	Oliveira, 2023
Goiana - PE	<i>A. Flexuosa</i>	Bruzaca et al., 2022
Vitória - ES	<i>C. gigas</i> , <i>M. chilensis</i> , <i>P. perna</i> , <i>P. magellanicus</i>	Bom and Sá, 2022
Vitória, Guarapari - ES	<i>P. perna</i>	Bom et al., 2022
Vitória - ES	<i>T. mactroides</i>	Otegui et al., 2024
Vitória - ES	<i>C. brasiliana</i> , <i>P. perna</i> , <i>M. strigata</i> , <i>T. mactroides</i>	Costa et al., 2023
Rio de Janeiro - RJ	<i>M. leucophaeata</i>	Neves et al., 2024
Rio de Janeiro - RJ	<i>P. perna</i>	Birstiel et al., 2019
Santos - SP	<i>P. perna</i>	Santana et al., 2016
Santos - SP	<i>C. brasiliana</i> , <i>P. perna</i>	Ribeiro et al., 2023
Santos - SP	<i>C. brasiliana</i>	Ribeiro et al., 2024
Paranaguá - PR	<i>Crassostrea Gasar</i>	Vieira et al., 2021
Matinhos - PR	<i>Perna Perna</i>	Machado et al., 2021
Paranaguá - PR	<i>Crassostrea sp./Saccostrea cucullata</i>	Oliveira et al., 2023b
Florianópolis - SC	<i>Crassostrea gigas</i>	Saldaña-Serrano et al., 2022
Toda a costa do Rio Grande do Sul	<i>Amarilladesma mactroides</i>	Jankauskas et al., 2024

O Brasil é o quinto maior país do mundo (8.510.417,77 km²) e o mais populoso na América Latina (>203 milhões de habitantes), com um relevo amplamente diversificado, uma vasta rede hidrográfica e um clima equatorial subtropical, significativamente influenciado pela ampla linha de costa (>8.000 km) (IBGE, 2022). A zona costeira brasileira é imensa, compreendendo 17 estados e 279 municípios (IBGE, 2020), correspondendo a 2,9% do território brasileiro (251.315,27 km²) (Pinto, 2023). Tornando o país ambientalmente rico, com uma fauna, flora e clima diversos. Para preservação da biodiversidade costeira no Brasil, foram criadas diversas áreas de proteção ambiental (APA). Apesar do sucesso da preservação

ambiental dentro dos limites das APAs, muitas são cercadas por regiões altamente urbanizadas, resultando em diversos impactos ambientais, inclusive a contaminação por resíduos plásticos (Manzano, 2009). O Brasil produz anualmente 11,3 milhões de toneladas de plásticos, sendo o quarto maior produtor do mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia (Trindade et al., 2009).

No estado do Ceará, há um crescente interesse dos estudos acerca da disponibilidade de MPs em ambientes costeiros, porém a maioria das análises é realizada em água e sedimento (Brito, 2018; Reinaldo, 2023), tendo poucos trabalhos publicados analisando a contaminação em bivalves (Oliveira et al., 2023a). No estuário do rio Pacoti foi determinada a presença de MPs por Reinaldo (2023), entretanto a carência de estudos sobre bioacumulação de MP nos bivalves da região, pode caracterizar um possível risco de biossegurança local. Tendo em vista que, os bivalves são economicamente e culturalmente importantes para essa região, sendo bastante comercializados, principalmente por comunidades tradicionais que dependem desse recurso para sua sobrevivência (Raposo, 2004; Rocha-Barreira, 2004). Assim, para o presente estudo, foram formuladas as seguintes hipóteses:

1. Os moluscos bivalves filtradores que habitam o estuário do rio Pacoti estão acumulando MPs em seus tecidos.
2. Bivalves que habitam diferentes compartimentos no ambiente acumulam quantidades e tipos diferentes de MPs.

2. OBJETIVOS:

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo foi determinar os níveis de microplásticos (MPs) no Estuário do Rio Pacoti, utilizando moluscos bivalves como sentinelas, além de comparar a

performance de *Anomalocardia flexuosa* e *Crassostrea rhizophorae* como biomonitores da contaminação por MPs.

2.2 Objetivos Específicos:

- Quantificar e qualificar os microplásticos presentes nos bivalves *Anomalocardia flexuosa* e *Crassostrea rhizophorae* coletados no Estuário do Rio Pacoti, analisando a contaminação em diferentes compartimentos ambientais (sedimentos e coluna d'água).
- Comparar a performance de *Anomalocardia flexuosa* e de *Crassostrea rhizophorae* como sentinelas da presença de MPs nos respectivos habitats.

3. METODOLOGIA

3.1 ORGANISMOS MODELOS

3.1.1 MARISCO - *Anomalocardia flexuosa*

A espécie *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767) (Figura 1A) pertence à família Veneridae, possui ampla distribuição geográfica, está presente em toda a costa brasileira, sendo amplamente explorada e comercializada, principalmente por comunidades tradicionais (Braga, 2022; Oliveira, 2019). Sua ampla distribuição acontece porque os indivíduos dessa espécie são bastante adaptáveis, euritérmicos, eurialinos, resistentes às variações de oxigênio e alteram sua dinâmica populacional de acordo com os níveis de salinidade do ambiente (Oliveira, 2019). Esses moluscos vivem enterrados superficialmente no substrato areno-lamoso da região entre marés e têm preferência por áreas mais protegidas da ação das ondas e das correntes, como baías e águas mais calmas (Boehs e Magalhães, 2004).

Quanto à alimentação, essa espécie apresenta o hábito de filtrador superficial. É através do seu sifão exalante que esses moluscos ingerem as substâncias em suspensão,

levando água e partículas para a cavidade do manto, o movimento ciliar dos filamentos branquiais seleciona preferencialmente as menores partículas para serem consumidas e elimina as partículas maiores em pseudofezes (Rodrigues; Azevedo; Silva, 2010; Poli et al., 2004). Devido ao seu sistema de circulação interna ser aberto e seu corpo estar constantemente submerso, MPs ocasionalmente ingeridos podem facilmente se acumular em seus tecidos (Zhaoa *et al.*, 2024; Poli et al., 2004).

3.1.2 OSTRAS - *Crassostrea rhizophorae*

A espécie *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) (Figura 1B) é a mais comum da família Ostreidae presente na costa brasileira (Poli et al, 2004). O habitat característico desta espécie é na zona entre marés dos estuários, se agregando e formando bancos nas raízes aéreas do mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) (Amaral & Simone, 2014). Essa espécie é dependente das flutuações do ciclo de maré para se alimentar, pois consome as partículas suspensas na coluna d'água (Poli et al, 2004). A alimentação ocorre através do fluxo que passa pela cavidade do manto e é filtrado pelas brânquias ciliadas (Dué et al., 2010). Devido à sua ingestão indiscriminada de partículas microscópicas em suspensão, sem distinção de valor nutritivo (Dué et al., 2010), ela se destaca como uma eficiente espécie sentinela e biomonitora. Por essa razão, tem sido amplamente utilizada em estudos sobre contaminação por poluentes em ambientes costeiros (Souza et al., 2022; Silva et al., 2001), incluindo a contaminação por microplásticos (Oliveira et al., 2023a).

Figura 1: Moluscos bivalves utilizados como sentinelas no presente estudo. A. *Anomalocardia flexuosa*, foto de um exemplar maior e um menor, tirada dentro da placa de petri em laboratório; B: *Crassostrea rhizophorae*, registro feito em campo de um banco em ostras dentro do estuário do Rio Pacoti, Ceará.



Fonte: Elaborada pelo autor

3.2 ÁREA DE ESTUDO E PROCEDIMENTOS AMOSTRAIS

No nordeste do Brasil, no estado do Ceará, o Estuário do Rio Pacoti (ERP) está localizado entre 3°53' 15" e 3°55' 0"S, e 38°22' 3" e 28°26' 15"W. Possui uma área de cerca de 362 km², nasce na serra de Baturité e percorre os municípios de Fortaleza, Aquiraz e Eusébio (Barbosa et al., 2016).

O ERP é uma área de grande valor cultural, histórico, ecológico, e de valorização de comunidades ribeirinhas que se utilizam dele para sua subsistência. O manguezal do ERP é um ecossistema de sobrevivência para diversas espécies de moluscos, peixes, mamíferos, aves e crustáceos. Por isso, foi criada a APA do Rio Pacoti, por meio do decreto N° 25.778, de 15 de fevereiro de 2000, “que visa preservar e proteger esta área de elevada relevância ambiental, de equilíbrio ecológico bastante frágil, portanto, de uma proteção especial por parte do poder público e da sociedade” (Ceará, 2000).

Porém, mesmo com a criação da APA, os crescentes níveis de densidade populacional, e seus impactos antrópicos relacionados, vem pondo em risco esse ecossistema tão rico e

delicado (Barbosa et al., 2016). Os principais impactos ambientais no ERP são decorrentes da ação antrópica, mais especificamente relacionados à ocupação desordenada, desmatamento ilegal, despejo irregular de resíduos sólidos, emissão de efluentes industriais e domésticos. Estes prejudicam o equilíbrio natural, impermeabilizando e aterrando a superfície do solo, desconsiderando a importância desses elementos para o ecossistema estuarino e diminuindo a qualidade ambiental (Barbosa et al., 2016).

Para o presente estudo, foram determinados sete pontos de amostragem (P1 a P7) nas regiões inferior, médio e superior do estuário (Figura 2). Ostras (*Crassostrea rhizophorae*) foram coletadas nos sete pontos, e mariscos (*Anomalocardia flexuosa*) apenas de P2 a P5. Os pontos de amostragem P1, P2 e P3 situaram-se nas proximidades da jusante do rio, P4, P5 e P6 se localizaram na região de médio estuário, e P7 mais à montante do rio, no estuário superior.

Figura 2: Mapa dos pontos de coleta dentro do estuário do rio Pacoti, identificando os pontos onde foram coletados ostras e mariscos.



Fonte: Elaborada pelo autor

Os bivalves foram coletados entre 16 e 20 de dezembro de 2023, durante os períodos de maré mais baixa do rio Pacoti. Em cada ponto, 10 indivíduos adultos de cada espécie foram coletados, com exceção do P4, onde foram encontrados apenas sete mariscos. Os mariscos foram coletados manualmente do sedimento, enquanto a coleta de ostras contou com auxílio de faca, talhadeira e martelo. As amostras foram envolvidas em embalagens de alumínio para evitar contaminação externa por MPs durante o transporte até o laboratório (Figura 3). Essas embalagens foram etiquetadas de acordo com a espécie e ponto de amostragem antes de serem congeladas (-5°C) até as análises posteriores.

Figura 3: Procedimento de coleta dos bivalves no estuário do rio Pacoti: (A) Escavando o sedimento para coleta de mariscos; (B) Coleta das ostras em um galho de mangue; (C) Bivalves acondicionados nas embalagens de papel alumínio; (D) amostras embaladas e prontas para congelamento em laboratório.



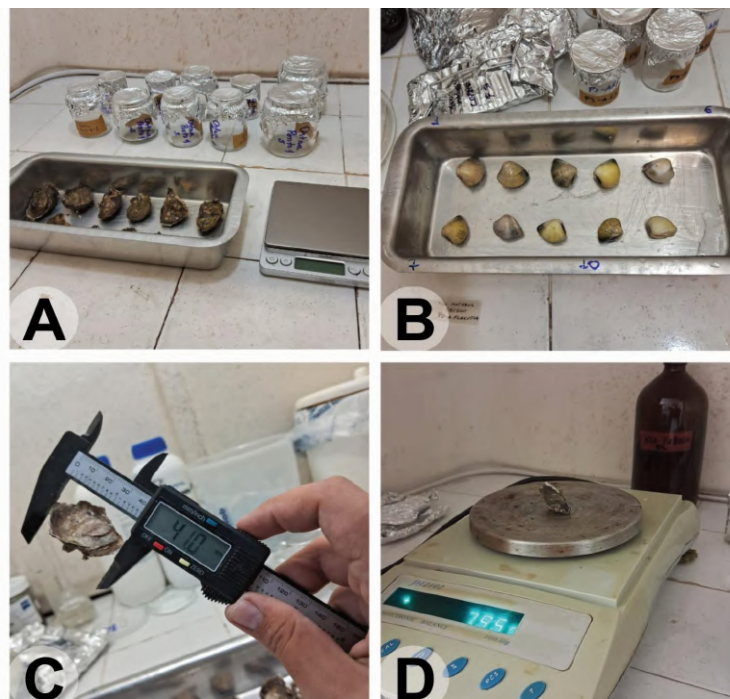
Fonte: Elaborada pelo autor.

3.3 BIOMETRIA

Em laboratório, os organismos foram descongelados em temperatura ambiente durante 3 horas. Em seguida, o comprimento, largura e altura das conchas foram medidos utilizando um paquímetro digital de precisão 0,001 mm (Nobre et al., 2020; Ribeiro et al., 2023). Conchas e tecidos foram pesados em balança analítica de precisão 0,001 g. Tecidos foram separados das conchas com auxílio de bisturis (Figura 4).

Foram utilizados os valores de índice de condição (IC) propostos por Baird (1958) para verificar a homogeneidade entre as amostras e a avaliar sua comparabilidade. Esse índice se baseia na proporção entre o peso do tecido úmido e o peso da concha vazia (Santana et al., 2016).

Figura 4: Procedimentos de biometria e pesagem dos bivalves em laboratório: (A) Ostras separadas em uma bandeja de alumínio; (B) Mariscos separados em bandeja de alumínio; (C) Processo de medição dos bivalves com paquímetro; (D) Pesagem da concha com a balança analítica.



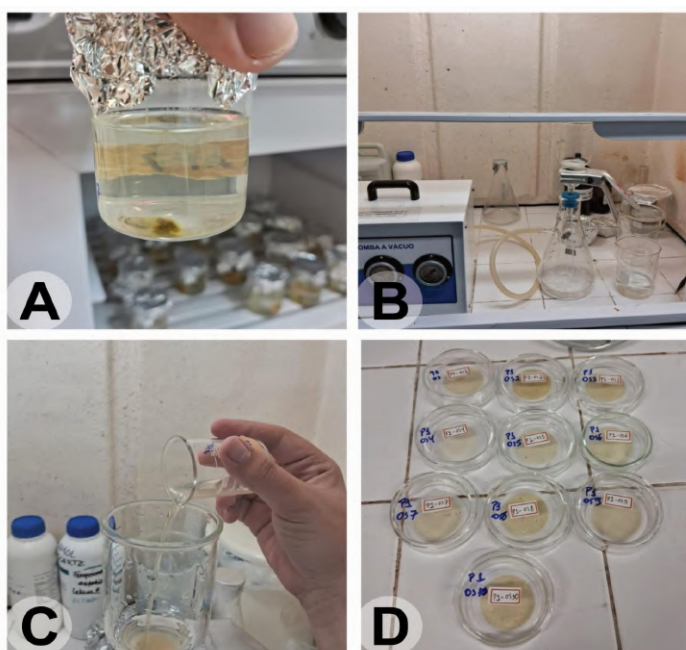
Fonte: Elaborada pelo autor.

3.4 QUANTIFICAÇÃO E QUALIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS

Tecidos foram quimicamente digeridos utilizando uma solução de hidróxido de potássio (KOH) a 10% (v:v) (Bom e Sá, 2021). A cada um grama de tecido, 10 ml de solução foi adicionado às amostras, que foram aquecidas (40°C) entre 48 e 72 horas (Gerolin et al., 2020). Posteriormente, as amostras digeridas foram filtradas a vácuo sob fluxo laminar utilizando filtros de fibra de vidro com poro de 1,2 µm (Savage et al., 2022). Os filtros resultantes foram armazenados em placas de Petri (Figura 5) e observados em estereomicroscópio (lupa), com zoom e câmera para identificação de MPs (Figura 6).

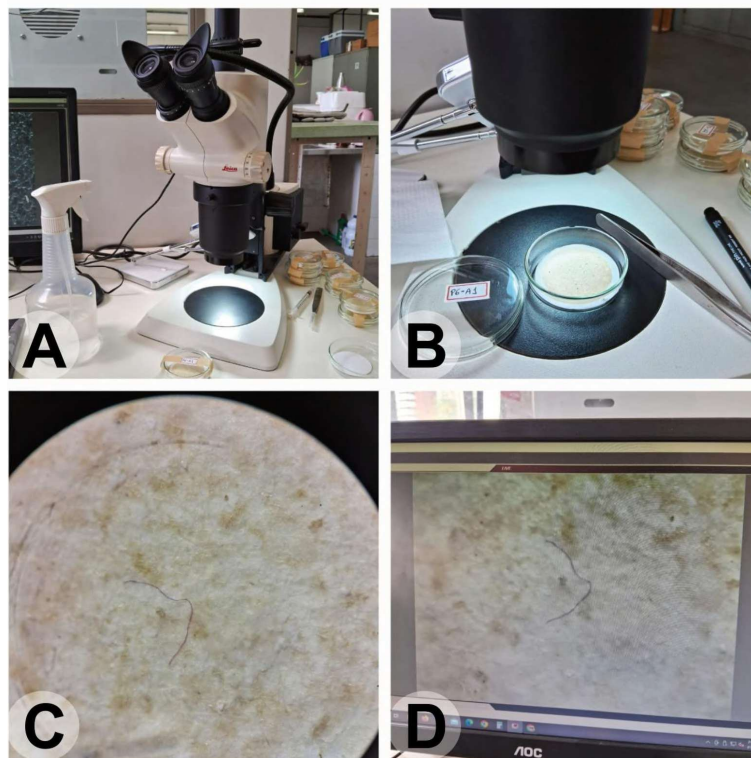
Os MPs obtidos foram classificados de acordo com seus tamanhos (0-500, 500-1000, 1000-2000, 2000-3000, 3000-4000, 4000-5000, e >5000 µm), formas (fibra, fragmento, pellet e filme) e cores (azul, amarelo, vermelho, verde, branco, preto, marrom, rosa, roxo, cinza, transparente e bicolor).

Figura 5: Processo de digestão alcalina e filtração das amostras: (A) Amostras adicionadas de KOH sendo levadas a estufa para aquecimento; (B) Sistema de filtração a vácuo dentro da capela; (C) Amostra diluída no KOH sendo filtrada; (D) Filtros com as amostras sendo armazenados em placas de petri para serem analisados na lupa.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 6: Processo de análise dos filtros na lupa, para identificação quantitativa e qualitativa dos MPs: (A) a lupa sendo esterilizada para o início das análises; (B) A placa de petri sendo destampada para realizar a análise do filtro; (C) A visão do filtro pela lente da lupa; (D) Monitor mostrando a visão do filtro pela câmera da lupa para captura das fotos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.6 CONTROLE DE CONTAMINAÇÃO

Para evitar a contaminação cruzada por MPs, foram utilizados apenas utensílios de metal ou vidro previamente descontaminados (lavados três vezes com água destilada filtrada [1,2 μm] ou de preferência calcinados em uma mufla a 400°C por 4 horas). Todos os materiais foram embrulhados em papel alumínio calcinado, e toda água e soluções utilizadas foram filtradas (1,2 μm) e armazenadas em recipientes previamente calcinados (Figura 7). Todas as etapas de biometria, pesagem, digestão, filtração e separação dos MPs ocorreram dentro de uma capela com filtros brancos expostos para monitorar a potencial contaminação pelo ar (teste em branco). Vidrarias foram lavadas entre filtragens de diferentes indivíduos. Todos os testes em branco da capela eram realizados em triplicata, três filtros espalhados em cada canto da capela, já os brancos usados para análise da lupa foram um por dia, durante o

período de 1 hora para calcular a exposição da contaminação por MPs no ambiente laboratorial.

Figura 7: Processo de calcinação do material: (A) Vidrarias e papel alumínio sendo inseridos na mufla para serem calcinados; (B) A mufla resfriando para retirada do material; (C) Material calcinado; (D) Material calcinado embalado em papel alumínio, também calcinado, para evitar contaminação externa por MPs.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente, foi realizada uma análise descritiva das medidas de comprimento, largura, altura e peso dos organismos coletados e das variáveis quantitativas e qualitativas dos microplásticos (número, cor e forma). Como os dados obtidos não atenderam os pressupostos para análises paramétricas, a comparações entre as espécies testadas e os pontos de coleta foram realizadas utilizando testes não-paramétricos univariados e multivariados.

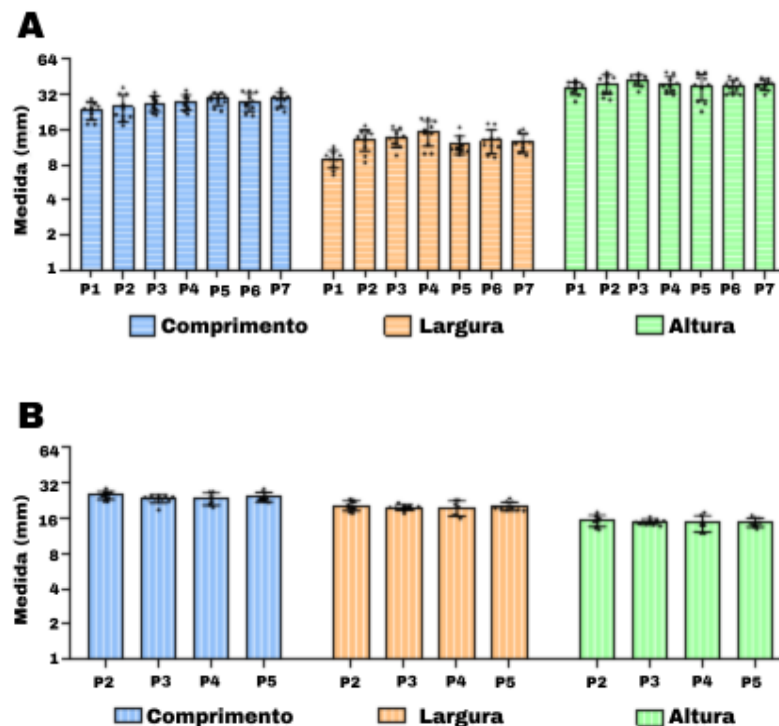
As diferenças entre as espécies e pontos de amostragem foram analisadas separadamente através o teste de comparação de médias de Mann-Whitney e Kruskal-Wallis, respectivamente, utilizando o software STATISTICA® versão 7.0 e nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Já as diferenças entre espécies e pontos nos quais foram coletadas simultaneamente foram verificadas a partir da Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA), utilizando o software PRIMER (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Reseach) versão 6.0 (Clark & Gorley, 2006).

4. RESULTADOS

4.1 Biometria

As conchas das ostras mediram $27,20 \pm 4,77$ (17,50–37,00), $13,14 \pm 4,93$ (6,60–45,31), e $39,05 \pm 6,14$ (22,90–50,00) mm de comprimento, largura e altura, respectivamente (Figura 8a). Por sua vez, as conchas dos mariscos mediram $24,24 \pm 2,18$ (18,90–28,80), $20,15 \pm 1,86$ (16,00–23,70), e $14,93 \pm 1,47$ (12,00–18,10) mm de comprimento, largura e altura, respectivamente (Figura 8b).

Figura 8: Biometria de ostras (a) e mariscos (b) coletados no Estuário do Rio Pacoti (ERP). Cores denotam diferentes medidas (em mm; azul = comprimento, laranja = largura, e verde = altura). Linhas brancas horizontais e verticais denotam ostra (a) e mariscos (b), respectivamente.

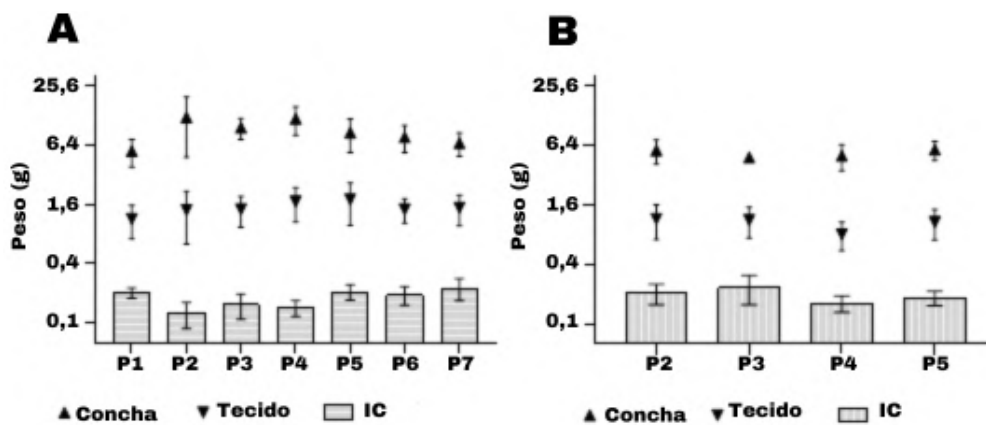


As ostras pesaram em média $8,86 \pm 4,21$ g, variando entre 3,08g a 22,66g. Já os mariscos apresentaram peso médio de $5,39 \pm 1,32$ g, variando de 3,10g a 8,28g. Considerando

somente a parte mole, as ostras pesaram $1,48 \pm 0,60\text{g}$, variando de 0,32g a 3,18g, e os berbigões pesaram $1,04 \pm 0,38\text{g}$, variando de 0,40g a 2,0g.

O índice de condição calculado para as ostras foi de $0,18 \pm 0,05$ (0,05–0,29) e para os mariscos foi de $0,19 \pm 0,05$ (0,11–0,40) (Figura 9). De acordo com os valores de IC as amostras foram homogêneas permitindo a comparação direta entre os pontos amostrais.

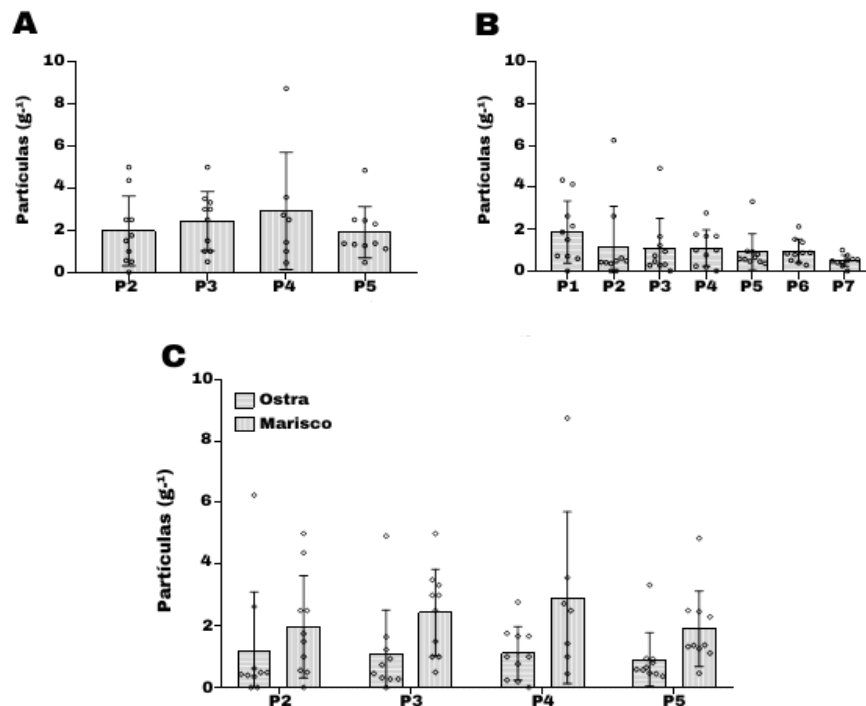
Figura 9: Médias dos pesos das conchas, dos tecidos e do Índice de Condição dos das duas espécies de bivalves ao longo dos pontos, ostras (a) e mariscos (b). As setas para cima indicam as médias do peso das conchas, as linhas indicam o desvio padrão, as setas para baixo as médias dos tecidos e as barras cinza as médias dos índices de condição.



4.2 Quantificação dos microplásticos

Foram coletados ao todo 107 bivalves, 70 ostras e 37 mariscos. Desses bivalves coletados, 93,46% apresentaram MPs em seus tecidos. No geral, foram encontradas ao todo 339 partículas nos tecidos de ambos os bivalves. Em mariscos, a maior concentração de MPs ocorreu no P4 ($3,20 \pm 2,15$ partículas/g.), enquanto em ostras ocorreu no P1 ($4,00 \pm 3,30$ partículas/g). Entretanto, não foi observada diferença significativa na concentração de MPs nem em mariscos ($p = 0,08156$; Figura 10a) e nem ostras ($p = 0,2778$; Figura 10b) ao longo dos pontos de amostragem no estuário. Esse resultado não evidencia um padrão de dispersão dos MPs ao longo do rio, considerando as espécies testadas.

Figura 10. Concentração de microplásticos em mariscos (a), ostras (b), e nos pontos que as duas espécies foram coletadas simultaneamente (c). Linhas sobre as barras denotam o desvio padrão, enquanto círculos os valores individuais.



No geral, a concentração de MPs em mariscos ($4,51 \pm 3,47$ partículas/g.) foi mais que o dobro do que foi observado em ostras ($2,17 \pm 2,40$ partículas/g.) (Figura 4c). Quando considerado os pontos que as duas espécies foram coletadas (P2 a P5), a concentração de MPs variou significativamente entre as espécies ($p < 0,0001$), especificamente em P3 ($p = 0,0274$) e P5 ($p = 0,0083$). Este resultado evidencia que as espécies estudadas parecem apresentar taxas distintas de acumulação de MPs, o que pode representar performances distintas como sentinelas.

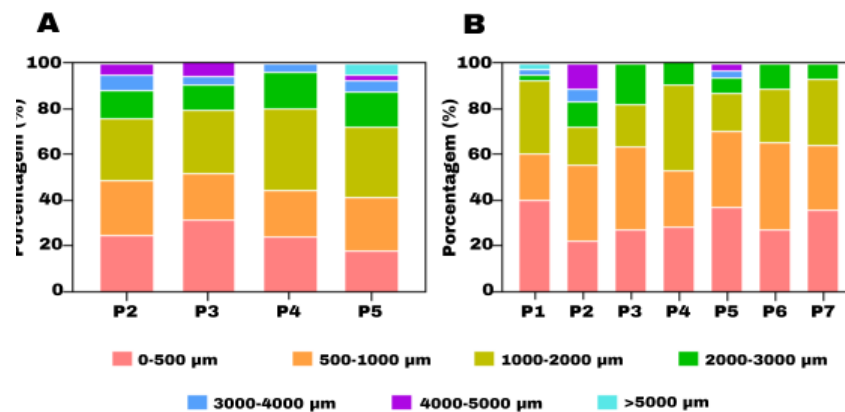
4.3 Qualificação dos microplásticos

4.3.1 Tamanho

Não foram observadas diferenças significativas no tamanho do MPs nos pontos estabelecidos ao longo do estuário (PERMANOVA, $p=0,578$), tendo sido observado valores percentuais semelhantes nas classes de tamanho de MPs, 0-500 μm (28,7%), 500-1000 μm (26%) e 1000-2000 μm (27,5%) (Figura 11). Em mariscos, a classe de tamanho de MPs mais

abundante foi 1000-2000 μm (29,6%), já nas ostras, a abundância foi de 0-500 μm (32%). No entanto, também não foi constatada diferença significativa no tamanho dos MPs entre as espécies avaliadas (PERMANOVA, $p=0,307$).

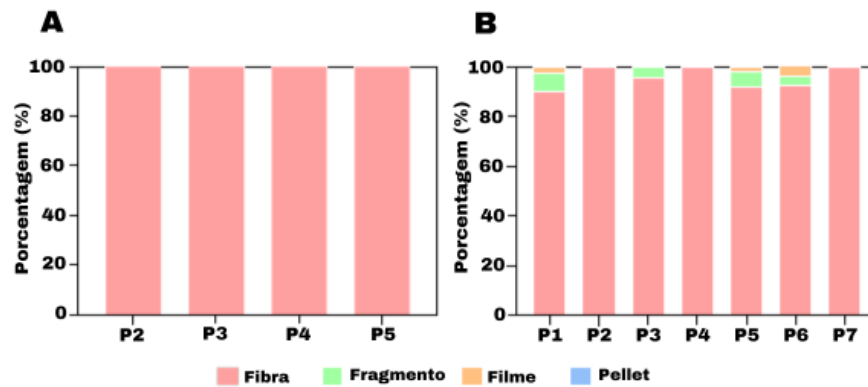
Figura 11. A proporção das classes de tamanhos das partículas encontradas em ostras (a) e mariscos (b), entre os pontos, separadas por cores.



4.3.2 Forma

As fibras foram a classe de forma de MPs mais encontrada (96,3%) (Kruskal-Wallis, $p=0,0001$). Nas ostras, foram encontradas cerca de 92,6% de fibras e, em mariscos, 100% das partículas foram fibras. No entanto, foi notado que as ostras absorveram maior diversidade de formas de MPs, apresentando além de fibras, fragmentos (5,6%), filmes (1,34%) e pellets (0,95%). Não houve diferença significativa na quantidade de forma de MPs acumuladas pelos bivalves entre os pontos (Kruskal-Wallis, $p=0,572$) (Figura 12).

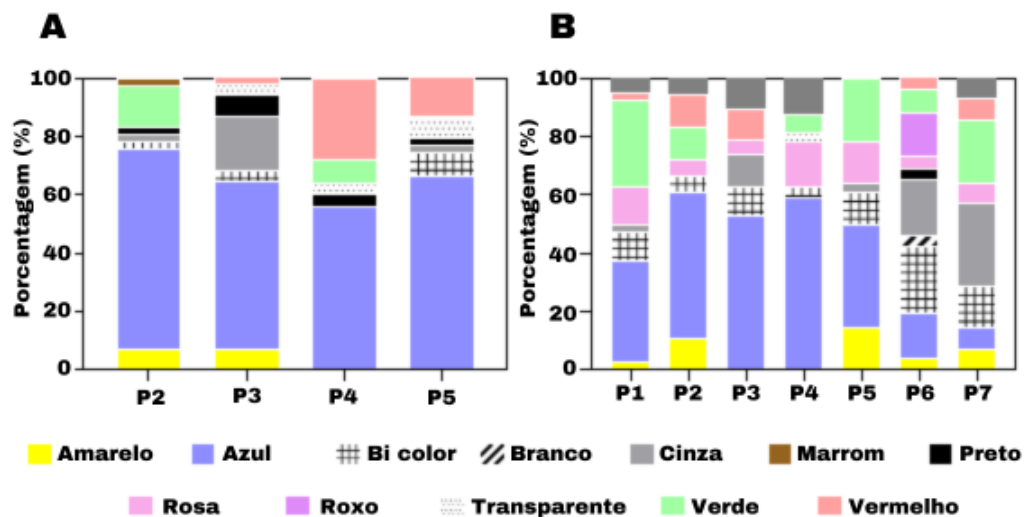
Figura 12. O percentual das formas das partículas encontradas em ostras (a) e mariscos (b) entre os pontos, destacadas por cores.



4.3.3 Cor

MPs da cor azul foram significativamente mais abundantes (50,44%), seguidos pelo MPs transparentes (15,38%), pretos (7,14%) e vermelhos (6,41%) (Kruskal-Wallis, $p=0,000$). Em mariscos, foram mais abundantes as fibras azuis (62,04%) e vermelhas (7,34%). Em ostras, predominaram as cores azul (40%), transparente (15,38%), preto (7,14%), vermelho (5,56%) e bicolor (5,56%). Outras cores como amarelo, branco, cinza, verde, rosa e roxo tiveram abundância menor que 5% para ambas as espécies (Figura 13). A diversidade de cores não variou entre os pontos (Kruskal-Wallis, $p=0,8646$) e entre as espécies analisadas (Kruskal-Wallis, $p=0,1093$).

Figura 13. A porcentagem das cores das partículas de MPs encontradas em ostras (a) e mariscos (b), em cada um dos pontos, destacadas nas respectivas cores.



5. DISCUSSÃO

Este é o primeiro estudo a investigar a ocorrência de microplásticos (MPs) nos tecidos de bivalves no estuário do Rio Pacoti. Embora já tenha sido relatada a presença de MPs nesse estuário por Reinaldo (2023), a análise se restringiu apenas ao sedimento. A avaliação da biota estuarina é essencial para determinar o risco potencial à saúde humana, uma vez que bivalves são reconhecidos como importantes vetores de contaminação por MPs (Ding et al., 2022).

Dos bivalves analisados neste estudo, cerca de 93,46% apresentaram MPs em seus tecidos, comprovando a hipótese inicial de existir um possível risco de contaminação na biota do estuário do Rio Pacoti. Também não foram encontradas diferenças significativas na concentração de MPs ao longo dos pontos de coleta, podendo indicar que a dispersão de MPs no ambiente está homogeneizada ao longo de todo estuário, sem um ponto principal de contaminação. Este resultado assemelha-se ao que foi encontrado por Oliveira (2023) no estuário do rio Cocó.

Estuários podem ser considerados sumidouros de MPs (Shi et al., 2022). Tanto às intensas atividades antrópicas que essas regiões sofrem, desde atividades pesqueiras até o despejo indevido de resíduos sólidos, quanto às características dinâmicas próprias do ambiente, flutuação das marés, a mudança do fluxo de água da estação seca para chuvosa, podem ser fatores que propiciam a dispersão de MPs, de forma homogênea, ao longo de toda a extensão dos estuários (Barletta; Lima; Costa, 2019; Malli et al., 2022; Santos, 2023; Reinaldo, 2023; Pantoja et al., 2024). Esses fatores comuns em estuários próximos de áreas urbanas, já foram observados no ERP (Barbosa, 2016; Oliveira, 2023), podendo ser indicativos da ampla distribuição de MPs observada nos resultados deste estudo.

Os bivalves do ERP apresentaram uma maior concentração de partículas em comparação aos valores de concentração registrados nas espécies dos demais estados

brasileiros, com exceção de Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo (Figura 14). Indicando que a contaminação por MPs no ERP encontra-se bastante elevada.

Figura 14. Panorama geral dos estudos de MPs utilizando bivalves como sentinelas no Brasil, destacando em rosa os dados do presente estudo.



Cidade/Localização	Espécie	Data	Concentração de MPs (partícula.g ⁻¹)	Referência
Estuários Amazônicos	<i>C. gasar</i>	NA	0,10±0,06 – 0,28±0,21	(Pantoja et al., 2024)
Bragança, São João de Pirabas	<i>M. guyonensis</i>	jan/22	0,15±0,14 – 0,20±0,19	(Rodrigues et al., 2024)
Fortaleza	<i>C. rhizophorae</i>	nov/21-out/22	0,75	(Oliveira et al., 2023a)
Fortaleza	<i>A. flexuosa, C. rhizophorae</i>	dez/23	4,51±3,47 – 2,17±2,40	Presente Estudo
Goiana	<i>A. flexuosa</i>	out/19-fev/20	3,66±2,59 (0,00–9,44)	(Bruzaca et al., 2022)
Vitória	<i>C. gigas, M. chilensis, P. perna, P. magellanicus</i>	jun/21	0,68±0,06 – 3,77±0,54	(Bom and Sá, 2022)
Vitória, Guarapari	<i>P. perna</i>	fev-nov/20	1,0 – 1,7	(Bom et al., 2022)
Vitória	<i>T. mactroides</i>	fev/20	NA	(Otegui et al., 2024)
Vitória	<i>C. brasiliana, P. perna, M. strigata, T. mactroides</i>	abr/20	1,15±0,25 – 26,40±4,43	(Costa et al., 2023)
Rio de Janeiro	<i>M. leucophaeata</i>	nov/21	35,26±47,64 (2,27–241,56)	(Neves et al., 2024)
Rio de Janeiro	<i>P. perna</i>	out/17	4,2 (2,83–6,67)	(Birnstiel et al., 2019)
Santos	<i>P. perna</i>	set/14	NA	(Santana et al., 2016)
Santos	<i>C. brasiliana, P. perna</i>	jul/21	0,60 (0,10–2,10) a 16,10 (5,30–44,10)	(Ribeiro et al., 2023)
Santos	<i>C. brasiliana</i>	jul/22	1,06 (0,00–3,21) a 8,90 (2,20–20,77)	(Ribeiro et al., 2024)
Paranaguá	<i>Crassostrea Gasar</i>	NA	NA	(Vieiro et al., 2021)
Matinhos	<i>Perna Perna</i>	jun/19	1,05±1,74 (0,00–1,16)	(Machado et al., 2021)
Paranaguá	<i>Crassostrea sp./Saccostrea cucullata</i>	out-nov/19	0,72 (0,00–2,66) a 3,35 (0,70–5,16)	(Oliveira et al., 2023b)
Florianópolis	<i>Crassostrea gigas</i>	fev/20	0,27 – 0,64	(Soldado-Serrano et al., 2022)
Toda a costa do Rio Grande do Sul	<i>Amarillodesma mactroides</i>	fev/22	2,30±5,40	(Jankauskas et al., 2024)

Fonte: Adaptado de Ribeiro (2024) pelo autor.

Comparando com os estudos feitos por Bruzaca et al. (2022), que analisou *Anomalocardia flexuosa*, e Oliveira (2023), que estudou *Crassostrea rhizophorae*, os mariscos acumularam mais que o dobro de MPs ($3,66\pm 2,59$ partículas/g) em relação às ostras (0,75 partículas/g). Resultados semelhantes foram observados no ERP, onde a concentração de MPs foi significativamente maior nos mariscos do que nas ostras. Esses dados podem indicar que mariscos tendem a possuir uma maior capacidade de retenção de MPs em comparação às ostras.

A diferença no desempenho entre as duas espécies pode estar relacionada aos seus distintos modos de vida. Embora ambas sejam filtradoras, elas habitam diferentes posições no ambiente e possuem métodos de alimentação distintos. Já foi relatado por Setälä, Norkko &

Lehtiniemi (2016) que tais fatores influenciam diretamente no acúmulo de microplásticos nos tecidos de bivalves.

As ostras vivem fixas às raízes do mangue vermelho, em estreita associação com a coluna d'água, onde filtram partículas em suspensão. Apesar de possuírem uma alta taxa de ingestão de partículas, grande parte delas é descartada nas fezes ou pseudofezes, principalmente as de maior tamanho, enquanto as menores são retidas em seus tecidos (Ward et al., 2019; Ribeiro et al., 2023). Esse comportamento contribui para a absorção seletiva de microplásticos e outras partículas, tornando-as sentinelas da contaminação por MPs na coluna d'água. Os mariscos, por sua vez, vivem enterrados no substrato e alimentam-se principalmente das partículas que estão próximas ao fundo. Estes bivalves exibem uma maior seletividade na ingestão, uma vez que, estando enterrados, precisam minimizar a entrada de sedimentos e partículas maiores através do sifão inalante. Esse mecanismo de filtragem seletiva pode facilitar a acumulação de partículas menores, como MPs, em seus tecidos (Poli et al., 2004). Assim, ambas as espécies apresentam seletividade na alimentação, mas de maneiras diferentes. Os mariscos são mais seletivos durante o processo de ingestão, preferindo partículas menores e acumulando uma maior quantidade em seus tecidos. Em contraste, as ostras também são seletivas, mas absorvem menos partículas em seus tecidos e podem reter uma variedade mais ampla de partículas (Ward et al., 2019; Poli et al., 2004).

Uma tendência global, apontada por Ribeiro et al. (2024), se repetiu neste estudo, a predominância na acumulação de partículas de tamanhos menores ($<1000\mu\text{m}$) nas duas espécies. Isso pode estar relacionado à seletividade alimentar das duas espécies, que possuem uma preferência pela ingestão de partículas menores (Poli et al., 2024).

Em relação às formas de MPs encontradas, os mariscos acumularam apenas fibras, enquanto as ostras apresentaram maior diversidade nas formas das partículas acumuladas para além das fibras, porém elas ainda foram predominantes. As fibras são microplásticos

secundários liberados durante a lavagem de produtos têxteis e o desgaste das redes de pesca (Oliveira et al., 2023). Essa forma têm sido consistentemente a principal forma de MP acumulada na biota costeira, sendo identificadas como predominantes em diversas espécies, incluindo os bivalves *Crassostrea rhizophorae* (57%) (Oliveira et al., 2023), *C. tulipa* (60,67%) (Teng et al., 2019), *C. gasar* (69%) (Addo et al., 2022), *C. gigas* (78%) (Vieira et al., 2021), *C. brasiliiana* (96%) (Martinelli et al., 2020), *Perna perna* (95,3%), *Solen dactylus* (83,2%) (Ribeiro et al., 2024) e o gastrópode *Littoraria subrugosa* (98,7%) (Ribeiro et al., 2023). A predominância dessa forma no ERP provavelmente resulta da proximidade com centros urbanos e das diversas atividades antrópicas, que são grandes fontes de fibras (Oliveira et al., 2023; Ribeiro et al., 2024; Barbosa, 2016; Reinaldo, 2023).

Ambas as espécies apresentaram MPs com uma diversidade de cores, predominando as partículas azuis, transparentes e pretas. Segundo a literatura, essas são as cores mais comumente encontradas em análises de microplásticos em geral, sendo transparentes as mais frequentes (Wang et al., 2021; Li et al., 2022b; Liao et al., 2021). Em estudos feitos com peixes no Ceará, MPs azuis foram predominantes (Dantas et al., 2020; Ugwu et al., 2021; Saldanha, 2022). Os MPs transparentes são geralmente resultado da fragmentação de produtos de linhas e redes de pesca (Fu e Wang, 2019; Nithin et al., 2021; Ribeiro et al., 2024), enquanto os MPs coloridos são derivados de plásticos de vida longa mais útil (Yang et al., 2021).

Ao comparar diretamente a performance de acumulação de MPs entre *Anomalocardia flexuosa* e *Crassostrea rhizophorae*, observou-se que as ostras acumularam uma variedade muito maior de MPs em seus tecidos do que os mariscos. Esta diferença pode ser atribuída tanto aos distintos modos de vida quanto aos hábitos alimentares das duas espécies. Em termos de tamanhos de partículas, as ostras apresentaram uma maior porcentagem de MPs menores (0-500 μm) com 32%, em comparação com os mariscos, que apresentaram uma

maior proporção de partículas maiores (1000-2000 μm) com 29,6%. Isso pode ser explicado pelo fato de as ostras eliminam grande parte das partículas maiores nas pseudofezes e reterem mais partículas menores (Ward et al., 2019; Oliveira et al., 2023). A seletividade alimentar dos mariscos pode também ser um motivo para essa ingestão exclusiva de fibras.

Reinaldo (2023) observou uma ampla variedade de formas de MPs nos sedimentos no ERP, com predominância de filmes (83,05%), seguidos por fragmentos (9,21%), fibras (4,39%) e grânulos (3,35%). Como os mariscos vivem enterrados no sedimento, e possuem seletividade alimentar, a ingestão predominantemente de fibras pode estar mais relacionada a essa seletividade do que à posição em que habitam dentro do estuário (Poli et al., 2004). Em contraste, as ostras, devido à menor seletividade alimentar, absorvem uma variedade maior de partículas, representando melhor a diversidade de formas de MPs presentes no ERP (Ward et al., 2019; Ribeiro et al., 2024; Poli et al., 2004).

Além disso, a análise das cores dos MPs mostrou que ambas as espécies apresentaram uma diversidade semelhante de cores (azul, transparente, preto, vermelho, verde, cinza, amarelo e bicolor). No entanto, as ostras exibiram uma diversidade maior, incluindo cores como rosa e roxo, que não foram encontradas nos mariscos. Isso é consistente com a análise de sedimentos realizada por Reinaldo (2023), que também indicou uma baixa diversidade de cores no sedimento, com predominância de apenas duas cores, similar aos resultados obtidos para os mariscos. Esses achados sugerem a existência de um gradiente vertical na disponibilidade de MPs no ERP, variando da coluna d'água ao sedimento. Outros estudos em estuários também observaram padrões semelhantes, sugerindo que a deposição de MPs pode ser influenciada pelo movimento das correntes do rio e pelas flutuações das marés, resultando em uma maior diversidade de MPs na coluna d'água em comparação com o fundo sedimentar (Ding et al., 2022; Oliveira et al., 2023).

A poluição por MPs nos ambientes marinhos é um problema ambiental e social. Equilibrar o uso de plástico com o impacto negativo que ele causa no meio ambiente é uma tarefa fundamental para nossa sociedade (Hammad et al., 2022). O descarte indevido, falta de sensibilização social, políticas públicas, fiscalização e manejo adequado dos resíduos são os principais motivos para essas partículas já estarem presentes ao longo de todo ERP, como foi visto neste estudo. Bivalves são a base de alimentação e comércio de diversas comunidades de pescadores e marisqueiras, a acumulação de MPs nesses animais representa um risco não só para a biota quanto para as próprias pessoas, pois essas partículas podem acumular metais tóxicos que se biomagnificam em toda cadeia alimentar (Bruzaca et al., 2022; Silva et al., 2018; Araujo; Rocha-Barreira, 2004; Bom et al., 2022).

6. CONCLUSÃO

Foram encontrados microplásticos nos bivalves do estuário do rio Pacoti. As concentrações de MPs foram estatisticamente iguais em todos os pontos analisados e estando presente nos tecidos de ambas as espécies, indicando que a contaminação se distribui de forma abrangente por todo estuário. As duas espécies estudadas apresentaram performances diferentes, devido tanto aos seus habitats diferentes no estuário quanto pelas suas preferências alimentares, acumulando concentrações e variedades diferentes de MPs em seus tecidos. Os mariscos foram mais eficientes quantitativamente, enquanto as ostras se mostraram melhores amostradores qualitativos, tornando ambas espécies importantes para analisar a contaminação por MPs no ERP. Portanto, tanto *Anomalocardia flexuosa* quanto *Crassostrea rhizophorae* são válidas como sentinelas, sendo que as ostras apresentam a vantagem de melhor avaliar a variedade de formas de MPs presentes no ambiente estuarino.

REFERÊNCIAS

ADDO, S. et al. Occurrence of microplastics in wild oysters (*Crassostrea tulipa*) from the Gulf of Guinea and their potential human exposure. **Heliyon**, v. 8, n. 12, p. e12255, 1 dez. 2022.

AKINDELE, E. O.; EHLERS, S. M.; KOOP, J. H. E. Insetos de água doce de diferentes guildas alimentares ingerem microplásticos em dois tributários do Golfo da Guiné na Nigéria. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 33373–33379, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08763-8>.

ALBANO, M.; PANARELLO, G.; DI PAOLA, D.; D'ANGELO, G.; GRANATA, A.; SAVOCA, S.; CAPILLO, G. Contaminação plástica do ferrão malva *Pelagia noctiluca* (Cnidaria, Scyphozoa), caso do Estreito de Messina. **Journal of International Environmental Studies**, v. 78, n. 6, p. 977-982, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207233.2021.1893489>.

ALVES, Laisa Carneiro; VIDAL, Carla Bastos. Resíduos sólidos urbanos e seus impactos socioambientais na cidade de Fortaleza/Ce. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, VII., 21 a 24 de nov. 2016, Campina Grande, Paraíba, Brasil. **Anais [...]** Campina Grande, Paraíba, 2016. (Falta de conscientização por parte da população quanto a alta produção de resíduos sólidos e má gerenciamento desses resíduos)

AMARAL, V. S. D.; SIMONE, L. R. L. Revisão do gênero *Crassostrea* (Bivalvia: Ostreidae) do Brasil. **Jornal da Associação Biológica Marinha do Reino Unido J**, v. 94, n. 4, p.811–836, jun. 2014. doi:10.1017/S0025315414000058

ARAÚJO, M. L. R.; ROCHA-BARREIRA, C. A. Distribuição espacial de *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) (Mollusca, Bivalvia, Veneridae) na praia do Canto da Barra, Fortim, Ceará, Brasil. Boletim técnico científico do CEPENE, Tamandaré, v. 12, n. 1, p. 11-21, 200

ÁVILA, Francisco José Capibaribe. **Modelo de conservação da área de proteção ambiental do Baixo Rio Pacoti, Ceará**. 2005. 169 f. : Dissertação (mestrado)- Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa Regional de Pós_Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA, Fortaleza-CE, 2005.

AZAMBUJA, L.; EGEUZ, J. A. Microplastic contamination in the Uruguayan coastal environment: Assessment and implications. **Environmental Pollution**, v. 262, p. 114220, 2020.

BARBOSA, L. N. Caracterização geoecológica do estuário do rio Pacoti-Ceará: ações para um planejamento integrado. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 2, p. 971–980,

2016. DOI: 10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10560. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10560> . Acesso em: 6 jun. 2024.

BARLETTA, M.; LIMA, A. R. A.; COSTA, M. F. Distribution, sources and consequences of nutrients, persistent organic pollutants, metals and microplastics in South American estuaries. **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 1199–1218, 15 fev. 2019.

BERGMANN, Melanie; GUTOW, Lars; KLAGES, Michael. Marine anthropogenic litter. **Springer Nature**, 2015.

BIRNSTIEL, Stéphanie; SOARES-GOMES, Abilio; DA GAMA, Bernardo A. P. Depuration reduces microplastic content in wild and farmed mussels. **Marine Pollution Bulletin**, v. 140, p. 241-247, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.044>.

BOEHS, G.; MAGALHÃES, A. R. M. Simbiontes associados com *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) (Mollusca, Bivalvia, Veneridae) na ilha de Santa Catarina e região continental adjacente, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, 21, (4):865-869, 2004.

BOM, F.C.; SA, F., 2021. Concentration of microplastics in bivalves of the environment: a systematic review. **Environ Monit Assess.** 193 <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09639-1> .Article 846.

BOM, F. C.; Sá, F. Are bivalves a source of microplastics for humans? A case study in the Brazilian markets. **Marine Pollution Bulletin**, v. 181, p. 113823, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113823>.

BOM, Fabio Cavalca; BRITO, Wilson Vítor Ferreira de; SÁ, Fabian. Microplastics concentration in bivalve of economic importance, a case study on the southeastern Brazilian coast. **Regional Studies in Marine Science**, v. 52, p. 102346, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102346>.

BRAGA, Talita da Silva. **Relação peso comprimento do molusco bivalve *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767) (Bivalvia: Veneridae)**. 2022. 33 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

BRITO, C. D. A. **Microplásticos na plataforma continental do Ceará : desembocaduras dos rios Cocó e Ceará** . 2018. 42 f. TCC- Trabalho de Conclusão de Curso- (Graduação em Oceanografia) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018;

BRITO, Lucas. **Morfometria geométrica de *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767) (Bivalvia: Veneridae): efeitos das características do habitat e da densidade populacional**.

2022. 35f. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022;

BRUZACA, D. N. A. et al. Occurrence of microplastics in bivalve molluscs *Anomalocardia flexuosa* captured in Pernambuco, Northeast Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 179, p. 113659, jun. 2022.

CAI, C.; ZHU, L.; HONG, B. A review of methods for modeling microplastic transport in the marine environments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 193, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115136>.

CAVALCANTE, Eduardo dos Reis; RIBEIRO, Victor Vasques; TADDEI, Renzo Romano; CASTRO, Ítalo Braga; ALVES, Magno José. High levels of anthropogenic litter trapped in a mangrove area under the influence of different uses. **Marine Pollution Bulletin**, v. 200, p. 116045, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116045>.

CEARÁ. Decreto nº 25.778, de 15 de fevereiro de 2000. Cria a Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, 16 fev. 2000.

Censo Demográfico 2022 **Resultados Gerais da População e Território**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-nacionais.html> . Acesso em: 12 set. 2024.

CIDREIRA-NETO, Ivo Raposo Gonçalves; RODRIGUES, Gilberto Gonçalves. *Implicações etnoconservacionistas quanto ao manejo informal do marisco Anomalocardia flexuosa (LINNAEUS, 1767) por marisqueiras*. *Arquivos de Ciências do Mar*, v. 52, n. 1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.32360/acmar.v52i1.40966>.

CIDREIRA-NETO, I. R. G.; NASCIMENTO, D. M.; DE MORAES, P. X.; RODRIGUES, G. G. Análise biométrica do *Anomalocardia flexuosa* na APA da barra do rio Mamanguape, estado da Paraíba, Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 191–199, 2018. DOI: 10.24221/jeap.3.2.2018.1760.191-199. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1760>. Acesso em: 4 set. 2024.

CLARKE, K.R.; GORLEY, R.N. **PRIMER v6: User Manual/Tutorial (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research)**. PRIMER-E, Plymouth, 2006.

COSTA, Mercia Barcellos da et al. Abundance, composition, and distribution of microplastics in intertidal sediment and soft tissues of four species of Bivalvia from Southeast Brazilian urban beaches. **Science of The Total Environment**, v. 857, part 3, p. 159352, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159352>.

DANTAS, Natália C. F.M. et al. Plastic intake does not depend on fish eating habits: Identification of microplastics in the stomach contents of fish on an urban beach in Brazil.

Marine pollution bulletin, v. 153, p. 110959, 2020

DE-LA-TORRE, G. E.; DIOSES-SALINAS, D. C.; PÉREZ-BACA, B. L.; SANTILLÁN, L. Microplastic abundance in three commercial fish from the coast of Lima, Peru. **Brazilian Journal of Natural Sciences**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 171, 2019. DOI: 10.31415/bjns.v2i3.67. Disponível em: <https://www.bjns.com.br/index.php/BJNS/article/view/67>. Acesso em: 15 set. 2024.

DING, J. et al. Towards Risk Assessments of Microplastics in Bivalve Mollusks Globally. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 10, n. 2, p. 288, 1 fev. 2022

DOYLE, D., Sundh, H., Almroth, BC, 2022. A exposição a microplásticos em invertebrados aquáticos pode causar efeitos negativos significativos em comparação com partículas naturais - uma meta-análise. **Meio Ambiente. Poluição**. 315, 120434.

DU, Y.; LIU, X.; DONG, X.; YIN, Z. A review on marine plastisphere: biodiversity, formation, and role in degradation. **Computational and Structural Biotechnology Journal**, v. 20, p. 975-988, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2022.02.008>.

DUÉ, Alinne; COSTA, Manoel Messias da Silva; SILVA FILHO, Euripedes Alves; GUEDES, Élica Amara Cecília. Itens alimentares de *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) (Bivalvia: Ostreidae) cultivadas em um estuário tropical, no Nordeste do Brasil. *Bioikos – Título não-corrente*, [S. l.], v. 24, n. 2, 2010. Disponível em: <https://periodicos.puc-campinas.edu.br/bioikos/article/view/560>. Acesso em: 24 jun. 2024.

DUIS, K.; CORS, D. Giant plastic particles in the marine environment: A review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 102, n. 1, p. 20-40, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.11.043>.

EDUARDO et al. High levels of anthropogenic litter trapped in a mangrove area under the influence of different uses. **Marine pollution bulletin**, v. 200, p. 116045–116045, 1 mar. 2024.

FLORES, C. M. Ingestion of microplastics by marine organisms: A review of studies and future directions. **Marine Environmental Research**, v. 169, p. 105424, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105424>. Acesso em: 12 set. 2024.

FU, Zhilu; WANG, Jun. Current practices and future perspectives of microplastic pollution in freshwater ecosystems in China. **Science of The Total Environment**, v. 691, p. 697-712, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.167>.

GEROLIN, C.R., Pupim, F.N., Sawakuchi, A.O., Grohmann, C.H., Labuto, G., Semensatto, D., 2020. Microplastics in sediments from Amazon rivers. **Brazil Science of The Total Environment** 749. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141604>.

GONÇALVES, A. G. **Microplásticos no ambiente marinho: Análise da ingestão por organismos aquáticos em áreas costeiras do Brasil**. 2016. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

HAMMADI, Meera Al; KNUTESON, Sandra; KANAN, Sofian; SAMARA, Fatin. Microplastic pollution in oyster bed ecosystems: An assessment of the northern shores of the United Arab Emirates. **Environmental Advances**, v. 8, 2022, 100214. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100214>.

HERNANDEZ, E. et al. Microplastic pollution in marine environments: A global review. **Science of The Total Environment**, v. 801, p. 149692, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149692>. Acesso em: 12 set. 2024.

JANKAUSKAS, L. et al. Microplastic in clams: An extensive spatial assessment in south Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 201, p. 116203, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116203>.

KINAS, Priscila Natasha; TORRES, Edson. **Poluição e resíduos sólidos**. Indaial: Uniasselvi, 2014.

KÜHN, S.; BRAVO REBOLLEDO, E. L.; VAN FRANEKER, J. A. Deleterious effects of litter on marine life. In: BERGMANN, M.; GUTOW, L.; KLAGES, M. (eds). **Marine anthropogenic litter**. Springer, Cham, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_4.

LI, Shitong et al. Macro- and microplastic accumulation in soil after 32 years of plastic film mulching. **Environmental Pollution**, v. 300, p. 118945, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118945>.

LI, Z. et al. Is microplastic an oxidative stressor? Evidence from a meta-analysis on bivalves. **Journal of Hazardous Materials**, v. 423, p. 127211, 2022b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127211>.

LIAO, C. P.; CHIU, C. C.; HUANG, H. W. Assessment of microplastics in oysters in coastal areas of Taiwan. **Environmental Pollution**, v. 286, p. 117437, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117437>.

LIMA, A. R. A.; MARQUES, M. R. S.; BAPTISTA, M. A. S. Microplastic ingestion by fish in a tropical coastal lagoon: Evidence for ecological risk. **Marine Pollution Bulletin**, v. 100,

n. 1, p. 150-155, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.022>. Acesso em: 12 set. 2024.

MACHADO, J. A. et al. Análise da presença de microplástico em bivalves (*Perna perna*): um estudo de caso em Matinhos, litoral do Paraná. **Guaju**, v. 7, n. 1, p. 156-179, 2021.

MALLI, A. et al. Transport mechanisms and fate of microplastics in estuarine compartments: A review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 177, p. 113553, 1 abr. 2022.

MAKI, E. S. et al. Utilização de bioindicadores em monitoramento de poluição. Biota Amazônia **Open Journal Sistem**, v. 3, n. 2, p. 2179 - 5746, 2013. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/biota/article/view/705/v3n2p169-178.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2019

MANZANO, Aruanã Bittencourt. Distribuição, taxa de entrada, composição química e identificação de fontes de grânulos plásticos na Enseada de Santos, SP, Brasil. 2009. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Oceanografia Biológica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MARTINELLI, J. C. et al. Low incidence of microplastic contaminants in Pacific oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg) from the Salish Sea, USA. **Science of The Total Environment**, v. 715, p. 136826, 1 maio 2020.

NEVES, Raquel A. F.; GUIMARÃES, Tâmara B.; SANTOS, Luciano N. Primeiro registro de contaminação por microplásticos no mexilhão falso escuro não nativo *Mytilopsis leucophaeata* (Bivalvia: Dreissenidae) em uma lagoa urbana costeira. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 21, n. 1, p. 44, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph21010044>.

NITHIN, A.; SUNDARAMANICKAM, A.; SURYA, P.; SATHISH, M.; SOUNDHARAPANDIYAN, B.; BALACHANDAR, K. Contaminação microplástica em salinas e sais comerciais – um estudo de base nas salinas de Marakkanam e Parangipettai, Tamil Nadu, Índia. **Marine Pollution Bulletin**, v. 165, mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112101>

NUNES, J. et al. Effects of microplastic pollution on marine biodiversity and ecosystem functions: A comprehensive review. **Environmental Pollution**, v. 315, p. 120542, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120542>

NUNES, J. et al. Advancements in detection and quantification of microplastics in marine environments: Techniques and methodologies. **Marine Pollution Bulletin**, v. 189, p. 114985, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114985>.

NOBRE, C.R., Moreno, B.B., Alves, A.V., Rosa, J.L., Franco, H.R., Abessa, D.M.S., Maranhão, L.A., Choueri, R.B., Gusso-Choueri, P.K., Pereira, C.D.S., 2020. Effects of microplastics Associated with Triclosan on the oyster *Crassostrea brasiliana*. An Integrated Biomarker Approach **Archives of Environmental Contamination and Toxicology** 79, 101–110. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00729-8>.

OLIVEIRA, Ítala Alves de. **Ecologia populacional e dinâmica pesqueira de *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767) (BIVALVIA: VENERIDAE) em um estuário hipersalino do semiárido brasileiro**. Orientadora: Cristina de Almeida Rocha Barreira. 2019. 123 f. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

OLIVEIRA, Rilari Carla Maila. Microplásticos em *Crassostrea* sp. (Mollusca:Bivalvia) do estuário do rio Cocó, Fortaleza, Ceará. 2023. UFERSA, Mossoró-RN, 2023.

OSMAN, N. et al. A review of microplastic pollution in the marine environment: Environmental impacts, sources, and potential solutions. **Marine Pollution Bulletin**, v. 188, p. 114717, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114717>

OTEGUI, Mariana Beatriz Paz et al. Microplastic contamination in different shell length in *Tivela mactroides* (Born, 1778). **Science of The Total Environment**, v. 922, p. 171283, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171283>.

PANTOJA, Juliana Caroline Dias et al. First register of microplastic contamination in oysters (*Crassostrea gasar*) farmed in Amazonian estuaries. **Marine Pollution Bulletin**, v. 201, p. 116182, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116182>.

PATTERSON, J., JEYASANTA, K.I., LAJU, R.L., EDWARD, J.K.P., 2021. Microplastic contamination in indian edible mussels (*Perna perna* and *Perna viridis*) and their environs. **Mar. Pollut. Bull.** 171, 112678. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112678>.

PEARSE, V.; PEARSE, J.; BUCHSBAUM, M.; BUCHSBAUM, R. *Animals Without Backbones*. Chicago: Universidade de Chicago, 1987.

PINTO, Luísa Janaina Lopes Barroso. **Poluição costeira e marinha: avaliação, diagnóstico e propostas para enfrentamento e governança**. 2023. 105 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

POLI, C.R.; POLI, A.T.B.; ANDREATTA, E.; BELTRAME, E. A. (orgs.). 2004. **Aquicultura: experiências Brasileiras**. Florianópolis: Multitarefa. 456 p

RAPOSO, Ronaldo da Silva. **Estudo do mercado varejista de moluscos bivalves em Fortaleza, Ceará**. 2004. TCC (Graduação em Engenharia de Pesca) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

REINALDO, Caroline Braun. **Ocorrência e caracterização de microplásticos na avaliação de parâmetros governantes na dinâmica no estuário do Rio Pacoti**, Ceará. 2023. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

RIBEIRO, V.V., Nobre, C.R., Moreno, B.B., Semensatto, D., Sanz-Lazaro, C., Moreira, L.B., Castro, Í.B., 2023. Oysters and mussels as equivalent sentinels of microplastics and natural particles in coastal environments. **Sci. Total Environ.** 874 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162468> Article 162468.

RIBEIRO, C. S. et al. Microplastic contamination in mollusks from coastal areas of Brazil: Implications for marine ecosystems and human health. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, n. 1, p. 123-135, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-07569-2>. Acesso em: 12 set. 2024.

RODRIGUES, A. M.; AZEVEDO, C. B.; GONZAGA DA SILVA, G. H. Aspectos da biologia e ecologia do molusco bivalve *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) (Bivalvia, Veneridae). **Revista Brasileira de Biociências**, [S. l.], v. 8, n. 4, 2010. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/114960> . Acesso em: 21 jun. 2024

RODRIGUES, J. M. S.; PANTOJA, J. C. D.; OLIVEIRA, A. E. P.; FERREIRA, M. A. P.; NUNES, Z. M. P.; NUNES, B; COSTA, L. P.; SANTOS, R. M.; ROCHA, R. M. First evidence of microplastics in commercial mussels from Amazonian estuaries. *Regional Studies in Marine Science*, v. 70, 2024. p. 103379. ISSN 2352-4855. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103379>. Acesso em: 07 set. 2024.

SALDANHA, Thifany Ribeiro. **Microplásticos na costa do Ceará (Nordeste do Brasil): uma revisão**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Pesca) – UFC, Fortaleza, 2022

SALDAÑA-SERRANO, Miguel et al. Microplastics and linear alkylbenzene levels in oysters *Crassostrea gigas* driven by sewage contamination at an important aquaculture area of Brazil. **Chemosphere**, v. 307, part 4, p. 136039, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136039>.

SANTANA, M. F. M.; ASCER, L. G.; CUSTÓDIO, M. R.; MOREIRA, F. T.; TURRA, A. Microplastic contamination in natural mussel beds from a Brazilian urbanized coastal region: Rapid evaluation through bioassessment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 106, n. 1-2, p. 183-189, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.02.074>.

SANTANA, M. F. M. et al. Continuous exposure to microplastics does not cause physiological effects in the cultivated mussel *Perna perna*. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 74, p. 594-604, 2018. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s00244-018-0504-3>.

SANTOS, V. M. C. **Como as características quali-quantitativas de microplásticos variam em um ciclo de maré durante o período chuvoso no estuário do rio Cocó (Fortaleza-CE)?** Monografia (Graduação em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Ceará. Ceará, p.81, 2023.

SAVAGE, Georgie; PORTER, Adam; SIMPSON, Stephen D. Uptake of microplastics by the snakelocks anemone (*Anemonia viridis*) is commonplace across environmental conditions. **Science of The Total Environment**, v. 836, p. 155144, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155144>.

SOUZA, A. et al. Plástico no Mar: Polímeros à Deriva! **Química Nova na Escola**, v. 44, 1 ago.2022.

SETALA, O., Norkko, J., Lehtiniemi, M., 2016. Feeding type affects microplastic ingestion in a coastal invertebrate community **Marine Pollution Bulletin** 102, 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.11.053>.

SHI, H. et al. Source-sink process of microplastics in watershed-estuary-offshore system. **Journal of Cleaner Production**, v. 338, p. 130612, 1 mar. 2022.

SHUMWAY, SE, Mladinich, K., Blaschik, N., Holohan, BA, & Ward, JE (2023). Uma avaliação crítica de microplásticos em moluscos com recomendações para protocolos experimentais, criação de animais, publicação e pesquisas futuras. **Resenhas em Fisheries Science & Aquaculture** , 1–133. <https://doi.org/10.1080/23308249.2023.2216301>

SILVA, C.A.R., Rainbow, P.S., Smith, B.D., Santos, Z.L., 2001. Biomonitoring of trace metal contamination in the potengi estuary, natal (Brazil), using oyster *Crassostrea rhizophorae*, a local food source. **Wat. Res.** 35, 4072–4078. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00144-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00144-0).

SILVA, T. S. et al. Microplastic ingestion by fish from the Atlantic coast of Brazil: Effects on health and ecological implications. **Environmental Pollution**, v. 242, p. 182-190, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.046>. Acesso em: 12 set. 2024.

SILVA, J. R.; BOEHS, G. Ocorrência e distribuição de larvas de ostra *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) na Baía de Camamu, Bahia. 2007. 2 Folhas. Sociedade de Ecologia do Brasil. VII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu - MG, 23 a 28. set. 2007.

SOUZA, PF, KS Vieira, CC Gaylarde, LS Lima, A. Azevedo-Netto, JF Delgado, TR Corrêa, JA Baptista Neto e EM Fonseca. 2022. Bioacumulação de metais pesados e hidrocarbonetos por duas espécies de bivalves da Baía de Santos, Brasil. **Estudos sobre Fauna Neotropical e Meio Ambiente** 59 (1): 123–31. doi:10.1080/01650521.2022.2065738.

TENG, J. et al. Microplastic in cultured oysters from different coastal areas of China. **Science of The Total Environment**, v. 653, p. 1282–1292, 25 fev. 2019.

TRINDADE, S. C.; ALMEIDA, R. M.; SILVA, P. G. Characterization of the plastic waste in the marine environment and its impact on the Brazilian coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, n. 6, p. 869-874, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.12.015>. Acesso em: 12 set. 2024.

TRINDADE, C. A. et al. Microplastic ingestion and its impact on marine organisms from the Brazilian coast: Current knowledge and future perspectives. **Science of The Total Environment**, v. 873, p. 162031, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162031>. Acesso em: 12 set. 2024.

TORRES, Jamerson Vieira. **Diagnóstico da produção e comercialização da ostra nativa, *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) em uma unidade de Cultivo na Comunidade de Graciosa, Taperoá-Ba, Brasil**. 2010.

UGWU, Kevin et al.. Microplastics in marine biota: A review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 169, p. 112540, 2021.

VALSAN, Gokul et al. Exploring the presence and distribution of microplastics in subterranean estuaries from southwest **India**. v. 190, p. 114820–114820, mai. 2023.

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**, v. 166, p. 112225, 1 maio 2021.

WARD, J. E. et al. Selective Ingestion and Egestion of Plastic Particles by the Blue Mussel (*Mytilus edulis*) and Eastern Oyster (*Crassostrea virginica*): Implications for Using Bivalves as Bioindicators of Microplastic Pollution. **Environmental Science & Technology**, v. 53, n.15, p. 8776–8784, 6 ago. 2019.

WATTS, Andrew J. R.; LEWIS, Ceri; GOODHEAD, Rhys M.; BECKETT, Stephen J.; MOGER, Julian; TYLER, Charles R.; GALLOWAY, Tamara S. Uptake and retention of microplastics by the shore crab *Carcinus maenas*. **Environmental Science & Technology**, v. 48, n. 15, p. 8823–8830, 2014.

WANG, T.; LI, B.; WANG, D. The abundance and characteristics of microplastics in commonly consumed shellfish in the Jiangsu coastal region of China. **Environmental Science and Pollution Control Series**, v. 28, p. 60753–60764, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14977-4>.

WEI, N. et al. **Dynamic signatures of microplastic distribution across the water column**

of Yangtze River Estuary: Complicated implication of tidal effects. v. 188, p. 106005–106005, 1 jun. 2023

WILCOX, C. et al. Uma análise quantitativa que relaciona a mortalidade de tartarugas marinhas e a ingestão de detritos plásticos. **Scientific Reports**, v. 8, n. 12536, 2018.

YANG, L., Zhang, Y., Kang, S., Wang, Z., Wu, C., 2021. Microplastics in freshwater sediment: a review on methods, occurrence, and sources. **Sci. Total Environ.** 754, 141948 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141948>

ZHANG, Y. et al. Microplastics in glaciers of the Tibetan Plateau: evidence for the long-range transport of microplastics. **Science of the Total Environment**, v. 758, p. 143634, 2021.

ZHAO, S.; LIU, Y.; SUN, C.; WANG, X.; HOU, C.; TENG, J.; ZHAO, J.; FANG, Y.; WANG, Q. The pollution characteristics and risk assessment of microplastics in mollusks collected from the Bohai Sea. 2024. Volume 913. **Science of The Total Environment.** 169739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169739>.

ZHILU, Jun Wang Fu. Current practices and future perspectives of microplastic pollution in freshwater ecosystems in China, **Science of The Total Environment**, Volume 691, 2019, Pages 697-712, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.167>.