



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
CURSO DE OCEANOGRAFIA

INGRID TAIACOLO SANTOS

**MICROPLÁSTICOS EM RECIFES DO POLIQUETA *Phragmatopoma caudata*
(Sabellaridae) NA COSTA PERNAMBUCANA: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E
QUÍMICAS DAS PARTÍCULAS**

Recife

2025

INGRID TAIACOLO SANTOS

**MICROPLÁSTICOS EM RECIFES DO POLIQUETA *Phragmatopoma caudata*
(Sabellaridae) NA COSTA PERNAMBUCANA: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E
QUÍMICAS DAS PARTÍCULAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Oceanografia da Universidade
Federal de Pernambuco, como requisito parcial
para obtenção do grau de Bacharel em
Oceanografia. Orientador (a): Prof. Dr. José
Souto Rosa Filho. Coorientador (a): Prof. Dr.
Nykon Craveiro

Recife
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Taiacolo , Ingrid .

MICROPLÁSTICOS EM RECIFES DO POLIQUETA *Phragmatopoma*
caudata (Sabellaridae) NA COSTA PERNAMBUCANA:
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DAS PARTÍCULAS / Ingrid
Taiacolo . - Recife, 2025.

49 p. : il., tab.

Orientador(a): José Souto Rosa Filho

Coorientador(a): Nykon Craveiro

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Oceanografia -
Bacharelado, 2025.

Inclui referências.

1. Ambiente marinho. 2. Ambiente costeiro. 3. Contaminação por plástico.
4. Microplástico. 5. Recifes biogênicos. 6. Recifes de *Phragmatopoma*. I.
Souto Rosa Filho, José. (Orientação). II. Craveiro, Nykon . (Coorientação). IV.
Título.

550 CDD (22.ed.)

INGRID TAIACOLO SANTOS

**MICROPLÁSTICOS EM RECIFES DO POLIQUETA *Phragmatopoma caudata*
(Sabellaridae) NA COSTA PERNAMBUCANA: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E
QUÍMICAS DAS PARTÍCULAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Oceanografia da Universidade
Federal de Pernambuco, como requisito parcial
para obtenção do grau de Bacharel em
Oceanografia.

Aprovado em: 19/12/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Souto Rosa Filho (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Nykon Craveiro (Coorientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Patricio Alejandro Hernaez Bove (Examinador Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ms. Suelen Nascimento dos Santos (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Pedro Augusto Mendes de Castro Melo (Suplente)
Universidade Federal de Pernambuco

À minha versão do
passado e do futuro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, acima de tudo, por possibilitar minha vinda a Recife e por ter me apoiado até o fim desta jornada universitária. Sem vocês, eu não teria realizado nem 1% de tudo isso. Agradeço à minha mãe, Cláudia Taiacolo, e aos meus pais, Eduardo Santos e Paulo Galo, por terem me dado a oportunidade de vir a Recife realizar o sonho de me tornar oceanógrafa.

Aos meus amigos e amigas Mauricio, Renato, Virginia, Malu, Grazi, e às minhas companheiras do 202, Ana Karina, Marília, Vanessa e Joanna, que fizeram parte de grande parte do meu percurso na graduação e estiveram ao meu lado em muitos momentos dessa jornada. Vocês foram minhas companhias e me auxiliaram a superar os momentos mais complicados ao longo desse processo,

Um enorme agradecimento aos meus companheiros de laboratório (LABEN), que me ajudaram por muitos dias, me guiaram e ofereceram o apoio de que mais precisei quando pensei que nada daria certo. Um agradecimento especial a Matheus, Lucas e Cristina.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Nykon Craveiro, por todos os anos de trabalho e parceria. Ao meu orientador, Prof. Dr. José Souto Rosa Filho, pela oportunidade de estágio no Laboratório de Bentos, o que me permitiu vivenciar uma experiência completa e necessária, na qual conquistei, além de aprendizado, muitas amizades e crescimento pessoal.

A mim mesma, que tive coragem de vir de outro estado para viver esta graduação e que, mesmo durante a pandemia e diante de diversos momentos em que pensei em desistir, me permiti viver o possível e fiz o que pude para alcançar este objetivo tão importante.

À minha gatinha Mel, que passou inúmeras noites me fazendo companhia enquanto eu escrevia.

Agradeço à FACEPE pela oportunidade de realizar este trabalho, ao projeto de microplásticos do CNPq, ao laboratório BSTR (Prof. Dr. Severino Alves Junior) e ao LITIPEG (José Geraldo A. Pacheco e Ana Paula Arcanjo).

“Tudo tem fluxo e refluxo; tudo tem suas marés; tudo sobe e desce; tudo se manifesta por oscilações compensadas; a medida do movimento à direita é a medida do movimento à esquerda; o ritmo é a compensação.”

RESUMO

Os microplásticos (MPs) são contaminantes que atualmente apresentam alta ocorrência no ambiente marinho, atingindo consequentemente uma diversidade de organismos bentônicos. Este estudo identificou, quantificou quimicamente e descreveu os MPs em três compartimentos (recifes, tubos e tecidos) de *Phragmatopoma caudata*. As amostras foram coletadas em recifes da praia Enseado dos corais, na região nordeste do Brasil nas estações chuvosa e seca de 2023. Os MPs foram classificados (forma e cor), medidos e contados. MPs estavam presentes em amostras de todos os compartimentos, onde a maioria das partículas encontradas foram identificadas como fibras transparentes, com maior quantidade de partículas encontradas durante a estação seca. Os MPs eram principalmente poliéster (PET). A estabilidade hidrodinâmica associada às mudanças sazonais é o principal fator que impulsiona a acumulação de MPs, e a forma e composição química das partículas revelam que as suas principais fontes são, provavelmente, efluentes domésticos da indústria têxtil e de vestuário. A retenção de MPs nos recifes de *Phragmatopoma caudata* revela que estes recifes biogênicos podem atuar como um sumidouro de microplásticos em áreas costeiras tropicais.

Palavras-chave: Ambiente marinho; Ambiente costeiro; Contaminação por plástico; Microplástico; Recifes biogênicos; Recifes de *Phragmatopoma*.

ABSTRACT

Microplastics (MPs) are contaminants with high occurrence in the current marine environment, consequently affecting a diversity of benthic organisms. This study quantified, chemically identified, and described MPs in three compartments (reefs, tubes, and tissues) of *Phragmatopoma caudata* Krøyer in Mörch, 1863 on the coast of Pernambuco, Brazil. Samples were collected in reefs of northeastern Brazil in the rainy and dry seasons of 2023. MPs were classified (shape and colour), measured, and counted. MPs were present in samples from all compartments, where most MPs were transparent fibers, with a higher quantity of particles found during the dry season. MPs were mainly polyester (PET). The hydrodynamic stability associated with seasonal changes is the main driver of MP accumulation, and the shape and chemical composition of the particles reveal that their main source is likely domestic effluents from the textile and apparel industry. The retention of MPs in *Phragmatopoma caudata* reefs reveals that these biogenic reefs can act as a sink for microplastics in tropical coastal areas.

Keywords: Coastal environment, Plastic contamination, Microplastic, Marine environment, Biogenic reefs, *Phragmatopoma* reefs.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo geral	19
2.2 Objetivos específicos	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 Área de estudo	20
3.2 Coleta das amostras	21
3.3 Análise das amostras	21
3.3.1 Metodologias de Referência	21
3.3.2 Descrição da Metodologia Adaptada	21
3.3.3 Digestão da Matéria Orgânica	22
3.3.4 Filtração	23
3.3.5 Coloração com vermelho Nilo	24
3.3.6 Identificação morfológica dos MPs	25
3.4 Controle de qualidade	25
3.5 Análises estatísticas	26
4. RESULTADOS	27
4.1 Microplásticos no Compartimento Recifes	28
4.2 Microplásticos no Compartimento Tubos	29
4.3 Microplásticos no Compartimento Poliquetas	30
4.4 Análise Estatística	32
5. DISCUSSÃO	37
6. CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Local de coleta dos recifes de <i>Phragmatopoma caudata</i> no recife de arenito da praia de Enseada dos Corais – PE	20
Figura 2 – Ferramentas utilizadas para coleta de amostras e fotos do recife coletado	21
Figura 3 – Béqueres contendo amostras reagindo com a solução de NaOH	22
Figura 4 – Capela de fluxo laminar e kit de filtração de vidro	24
Figura 5 – MP visualizado na luz UV	25
Figura 6 – Densidade de MPs por compartimento	27
Figura 7 – Distribuição sazonal da abundância de microplásticos (MPs) por morfologia em cada compartimento	28
Figura 8 – Distribuição da abundância de MPs no compartimento Recifes por morfologia e cor	29
Figura 9 – Distribuição da abundância de MPs no compartimento Tubos por morfologia e cor	30
Figura 10 – Distribuição da abundância de MPs no compartimento Poliquetas por morfologia e cor	31
Figura 11 – Comprimento médio dos microplásticos (mm) por compartimento, comparando os períodos sazonais	31
Figura 12 – Distribuição percentual das cores dos microplásticos (MPs) encontrados	32
Figura 13 – Distribuição percentual total dos formatos dos microplásticos (MPs) encontrados	32
Figura 14 – Resultado da ANOVA para a abundância média de microplásticos	33
Figura 15 – ANOVA para o comprimento médio dos MPs, com indicação das diferenças significativas (Teste de Tukey)	34
Figura 16 – Boxplot do comprimento dos microplásticos (MPs) por morfologia (Fibra, Fragmento e Filme)	34

Figura 17 – Espectro FTIR de partículas de microplásticos obtidas no período Chuvoso em cada compartimento: Tubos (A), Poliqueta (B) e Recife (C)	35
Figura 18 – Espectro FTIR de partículas de microplásticos obtidas no período Seco em cada compartimento: Tubos (A), Poliqueta (B) e Recife (C)	36

1. INTRODUÇÃO

Contaminantes são substâncias introduzidas em um ambiente onde antes não ocorriam, ou substâncias naturalmente presentes que passam a ocorrer acima das concentrações basais de referência (CHAPMAN, 2007). Quando a presença desses contaminantes resulta em efeitos adversos à biota, eles passam a ser classificados como poluentes (CHAPMAN, 2007). A poluição marinha, segundo a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (UNCLOS), segue a definição apresentada pelo Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP), sendo reconhecida como a introdução, direta ou indireta, de substâncias ou energia por ações antrópicas no ambiente marinho, acima da capacidade de depuração, gerando efeitos deletérios como danos aos recursos vivos, riscos à saúde humana, obstáculos às atividades marinhas, entre outros prejuízos ao uso do mar (READMAN et al., 2011).

Entre os mais relevantes contaminantes destacam-se metais pesados (como chumbo e mercúrio), petróleo e derivados, pesticidas, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), poluentes orgânicos persistentes (POPs), excesso de nutrientes (eutrofização) e contaminantes emergentes, como o plástico (READMAN et al., 2011). Com o desenvolvimento de novas técnicas analíticas, observa-se o aumento no número de analitos identificados, o que evidencia a ocorrência de poluentes emergentes que ainda carecem de identificação precisa e de reconhecimento legal (READMAN et al., 2011).

Os poluentes emergentes são compostos que não constam de programas de monitoramento rotineiro, mas que podem ser candidatos a regulações futuras, dependendo de pesquisas sobre ecotoxicidade, potenciais efeitos à saúde e ocorrência ambiental (READMAN et al., 2011). Podem ser categorizados em dois grupos principais com base no tipo de exposição humana: químicos industriais (agentes anticorrosivos, antiespumantes, POPs), em geral com contato passivo; e produtos de uso direto (fármacos, detergentes, fragrâncias), caracterizando exposição ativa do consumidor (READMAN et al., 2011).

Os plásticos são materiais sintéticos orgânicos compostos por polímeros, macromoléculas formadas pela repetição de monômeros (ANDRADY; NEAL, 2009). A vasta maioria tem origem em fontes não renováveis, como petróleo e gás natural (etileno, propileno) (GEYER et al., 2017). Devido à alta persistência e à baixa biodegradabilidade dos tipos mais comuns, os plásticos são reconhecidos globalmente como poluentes emergentes, acumulando-se em aterros

e em ambientes naturais (THOMPSON et al., 2009; GEYER et al., 2017). Desde sua popularização em meados do século XX, a produção global de plásticos cresceu exponencialmente, e a gestão inadequada de resíduos gerou acumulação sem precedentes no ambiente, com estimativas de entrada anual nos oceanos entre 11 e 23 milhões de toneladas de plásticos (LAU et al., 2020; BORRELLE et al., 2020).

Para compreender a dinâmica ambiental dos plásticos nos ambientes terrestres e marinhos, é importante categorizá-los em tamanho: megaplástico (>100 mm), macropástico (>20 mm), mesoplástico (5–20 mm), micropástico (0,01- 5 mm) e nanoplásticos (<100 nm) (GESAMP, 2019; HARTMANN et al., 2019). Partículas maiores tendem a causar impactos físicos diretos, como emaranhamento e ingestão (KÜHN; BRAVO REBOLLEDO; VAN FRANEKER, 2015), enquanto as frações micro e nano apresentam maior capacidade de dispersão e adsorção de contaminantes químicos, atuando como vetores de exposição (TEUTEN et al., 2009) e exacerbando o impacto ecológico (GEYER et al., 2017; TALSNESS et al., 2009).

Os micropásticos (MPs) são classificados quanto à origem em primários e secundários (MONTAGNER et al., 2021). Micropásticos primários são produzidos intencionalmente com dimensões reduzidas, como pellets industriais, microesferas em cosméticos e produtos de higiene (ZITKO; HANLON, 1991; MONTAGNER et al., 2021). Micropásticos secundários, majoritários no ambiente, originam-se da degradação de plásticos maiores por intemperismo físico, químico e biológico, incluindo abrasão/erosão, fotodegradação e foto-oxidação, que promovem sua desagregação em partículas menores (COLE et al., 2011; MONTAGNER et al., 2021). Fontes significativas de MPs incluem o desgaste de pneus, a liberação de microfibras na lavagem de tecidos sintéticos, a fragmentação de resíduos em aterros e no ambiente marinho; atividades como a agricultura (filmes plásticos) e a pesca (redes e cabos) também contribuem. Independentemente da origem, essas partículas frequentemente alcançam corpos d'água por escoamento superficial, sistemas de esgoto e transporte atmosférico (MONTAGNER et al., 2021).

Uma grande variedade de polímeros é utilizada na produção de plásticos, com destaque para termoplásticos de baixo custo como poliestireno (PS), poliestireno expandido (EPS), polietileno (LDPE/HDPE), polipropileno (PP), policloreto de vinila (PVC), poliéster, polietileno tereftalato (PET), e poliamida (nylon) (ANDRADY; NEAL, 2009; HORTON; DIXON, 2018). Esses materiais estão amplamente presentes em embalagens, utensílios

domésticos, têxteis e produtos de uso cotidiano, representando os polímeros mais abundantes em amostras ambientais (GESAMP, 2019; HARTMANN et al., 2019; MONTAGNER et al., 2021).

Estima-se que entre 10 e 30 milhões de toneladas de plásticos chegam ao meio ambiente anualmente, uma taxa que pode dobrar até 2040 (THOMPSON et al., 2024). Mesmo que as emissões primárias fossem completamente cessadas, a quantidade de microplásticos continuaria a aumentar devido à fragmentação de resíduos já existentes (THOMPSON et al., 2024). Dados de 2022 revelam que a produção global de plástico é dominada por um número restrito de polímeros, o polipropileno (PP) lidera representando 18,9%, seguido pelo polietileno de baixa densidade (PE-LD) (14,1%), PVC (12,7%), polietileno de alta densidade (PE-HD) (12,2%) e PET (6,2%). Coletivamente, esses cinco polímeros somam mais de 64% de toda a produção plástica mundial. (PLASTICS EUROPE, 2023).

Os primeiros registros científicos de detritos plásticos no oceano foram feitos no início da década de 1970, quando se observou a presença de partículas plásticas na superfície do Mar dos Sargãos e do Atlântico Norte, o que iniciou a discussão sobre a ubiquidade das partículas de plástico no ambiente pelágico (CARPENTER; SMITH, 1972). Posteriormente, ficou claro que sua presença não se restringe à coluna d'água, uma vez que estudos demonstraram a transferência progressiva desses materiais para compartimentos bentônicos, onde sedimentos costeiros e profundos atuam como sumidouros, assim como organismos marinhos (THOMPSON et al., 2004; WOODALL et al., 2014; SANTOS et al., 2025). Desde então, inúmeros estudos documentaram efeitos adversos dos MPs nos organismos marinhos, que vão desde bloqueios mecânicos no trato digestivo até a transferência de substâncias tóxicas ao longo das cadeias tróficas (COLE et al., 2011; BROWNE et al., 2008).

Vários organismos bentônicos constroem estruturas tridimensionais acima da superfície do fundo, conhecidas como recifes biogênicos (COLEMAN; WILLIAMS, 2002). Esses ambientes têm papel fundamental na promoção da biodiversidade marinha (DUBOIS; RETIÈRE; OLIVIER, 2002) e são especialmente vulneráveis à poluição por partículas, devido à sua alta complexidade morfológica (WOODALL et al., 2014). Suas cavidades e reentrâncias favorecem o acúmulo de sedimentos e detritos (WOODALL et al., 2014), e estudos recentes indicam que recifes biogênicos podem atuar como importantes armadilhas e sumidouros para microplásticos (SANTOS et al., 2025; COSTA et al., 2021; SCHUAB et al., 2023).

Este cenário é particularmente relevante para o litoral de Pernambuco, caracterizado por recifes de arenito que servem como substrato para uma rica diversidade de construtores biogênicos, como bancos de macroalgas, vermetídeos (e.g., *Petalconchus spp.*) e, principalmente, os poliquetas sabelarídeos, como *Phragmatopoma caudata* (SANTOS et al., 2025).

A espécie *Phragmatopoma caudata*, em particular, é um engenheiro de ecossistemas fundamental para a zona entremarés (COLEMAN; WILLIAMS, 2002; DUBOIS et al., 2002). Estes poliquetas sedentários e filtradores constroem seus tubos individuais cimentando grãos de areia e outras partículas que eles ativamente selecionam e coletam da coluna d'água (KIRTLEY, 1994). A morfologia do recife é caracterizada por uma estrutura tridimensional e crescimento contínuo, resultado da agregação de tubos, aspectos que conferem complexidade estrutural e estabilidade ecológica à zona costeira (GRUET, 1971; GRUET, 1972a). O agente cimentante é uma matriz proteica complexa, rica em aminoácidos como glicina e tirosina, que o poliqueta secreta para unir os grãos (ECKELBARGER, 1978; OCCHIONI et al., 2009; BECKER et al., 2012). A agregação de incontáveis tubos resulta na formação de extensas estruturas tridimensionais, que servem de refúgio para uma vasta comunidade de invertebrados (CAPA et al., 2012). Esse processo de construção é crucial para entender a dinâmica dos microplásticos no sistema, pois as partículas podem ser: (1) depositadas passivamente na superfície externa dos recifes; (2) ativamente incorporadas na estrutura dos tubos durante a cimentação; ou (3) ingeridas pelo organismo durante a alimentação (COSTA et al., 2021; SCHUAB et al., 2023). Essa distinção funcional fundamenta a divisão metodológica deste trabalho nos compartimentos Recifes, Tubos e Poliquetas, respectivamente.

A crescente preocupação com a poluição por MPs nos ambientes marinhos é um desafio científico, dificultado em grande parte pela falta de padronização nos métodos de extração dessas partículas de matrizes ambientais complexas (HIDALGO-RUZ et al., 2012; SANTOS et al., 2024). Para isolar os MPs da matéria orgânica, diversos protocolos de digestão química são empregados, como o uso de soluções ácidas, básicas ou oxidantes (LÖDER; GERDTS, 2015). Após a extração, a caracterização química é uma etapa crucial para a correta identificação polimérica, sendo a espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e a espectroscopia Raman as duas técnicas atualmente mais consolidadas (LÖDER; GERDTS, 2015). A FTIR, amplamente utilizada na pesquisa de MPs (VEERASINGAM et al., 2021), baseia-se na absorção de luz infravermelha para identificar grupos funcionais, mas sua

eficácia é limitada pela baixa resolução espacial, que dificulta a análise de partículas menores que 20 μm , e pela dificuldade em analisar partículas escuras (LÖDER; GERDTS, 2015). Por outro lado, a espectroscopia Raman, que mede o espalhamento da luz laser, oferece a vantagem de uma altíssima resolução espacial, permitindo a identificação de partículas de até 1 μm . Contudo, sua aplicação em amostras ambientais é frequentemente limitada pela forte interferência de fluorescência, que pode mascarar o sinal do polímero, e pela potencial degradação de partículas escuras pela energia do laser (LÖDER; GERDTS, 2015).

Apesar de estudos prévios já terem demonstrado a capacidade de *P. caudata* de aprisionar microplásticos (armadilha) em suas estruturas (COSTA et al., 2021; SCHUAB et al., 2023), ainda existe uma lacuna sobre se esses recifes atuam como sumidouros efetivos desses poluentes. Além disso, não há investigações que quantifiquem e comparem, de forma sistemática, a partição das partículas entre os três compartimentos funcionais (Recife, Tubo e Poliqueta), nem como essa dinâmica se comporta de acordo com as variações sazonais (chuva e seca) no Nordeste brasileiro.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo descrever as características físico-químicas e as variações sazonais dos microplásticos encontrados nos recifes biogênicos formados por *Phragmatopoma caudata* na costa pernambucana. Considerando a relevância ecológica e os potenciais impactos socioeconômicos da poluição por microplásticos, este estudo busca contribuir para a compreensão da problemática da poluição por plástico no mar, ao investigar a presença e a composição de microplásticos em recifes costeiros.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Identificar as características físicas e químicas dos microplásticos, e suas variações sazonais, nos recifes biogênicos formados por *Phragmatopoma caudata* (Annelida: Sabellariidae) em ambientes costeiros de Pernambuco (Brasil).

2.2 Objetivos específicos

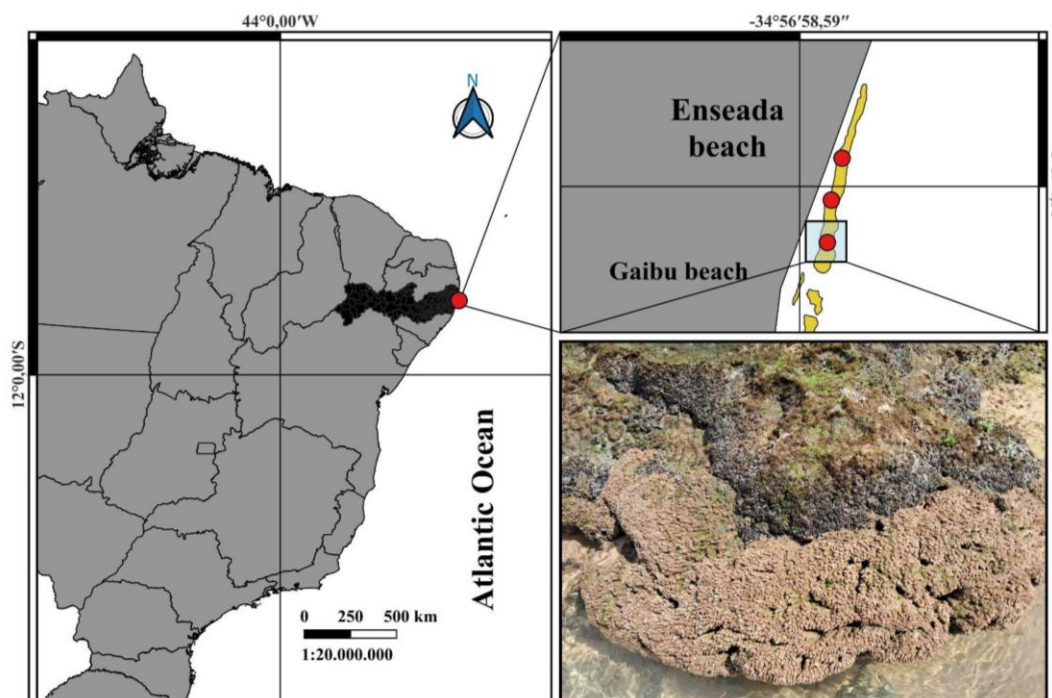
- Caracterizar a forma, tamanho e cor dos microplásticos em recifes de *Phragmatopoma caudata* na praia de Enseada dos Corais (PE, Brasil);
- Caracterizar a composição química dos microplásticos em recifes de *Phragmatopoma caudata* na praia de Enseada dos Corais (PE, Brasil);
- Descrever a variação temporal/sazonal de microplásticos associados aos recifes de *Phragmatopoma caudata* na praia de Enseada dos Corais (PE, Brasil).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A praia de Enseada dos Corais ($8^{\circ}18'47''\text{S } 34^{\circ}56'58''\text{W}$) (Figura 1) está localizada no litoral Sul do estado de Pernambuco, no município do Cabo de Santo Agostinho e é banhada por águas marinhas com temperatura média de 27°C e salinidade próxima de 36 (DOMINGUES et al., 2017; MANSO et al., 2018). A praia apresenta recife de arenito paralelos à costa, com extensão de 2,93 km. O recife tem uma largura média de 42,5 m e altura média de 0,69 m (VASCONCELOS, 2016). O recife é separado em duas partes por um canal com aproximadamente 20 m de largura e cerca de 3 m de profundidade durante a maré alta (BERGAMO, 2022). Nesse canal as correntes de retorno são permanentes (MAIA et al., 2014). Nos recifes da praia de Enseada dos Corais possuem recifes biogênicos, construídos pelo poliqueta *Phragmatopoma caudata*, ao qual foi o foco deste estudo.

Figura 1. Figura do local de coleta dos recifes de *Phragmatopoma caudata* no recife de arenito da praia de Enseada dos Corais – PE.



Fonte: autora (2025).

3.2 Coleta das amostras

As coletas ocorreram nos períodos seco (fevereiro) e chuvoso (julho), de acordo com o regime sazonal característico do Nordeste do Brasil. Na sub-região do Leste do Nordeste, o período chuvoso compreende os meses de março a agosto, sendo modulado pela persistência dos ventos alísios e pela atuação de Distúrbios Ondulatórios de Leste que transportam umidade do Oceano Atlântico (Vitorio et al., 2025). Em contrapartida, a estação seca se manifesta predominantemente entre os meses de setembro e fevereiro (Vitorio et al., 2025).

As amostras foram coletadas durante a maré baixa de sizígia em três pontos distintos do recife (Norte, Central e Sul), sendo obtidas três réplicas por ponto em cada campanha, o que totalizou 18 amostras. Estas consistiram em fragmentos de 5x5 cm de recifes de *Phragmatopoma caudata*, após a coleta, os fragmentos foram acondicionados em recipientes de alumínio e transportados ao Laboratório de Bentos do Departamento de Oceanografia da UFPE, onde permaneceram armazenados em freezer a -10 °C até o processamento.

3.3 Análise das amostras

3.3.1 Metodologias de Referência

O microplástico dos recifes de *Phragmatopoma caudata* foram obtidos de diferentes compartimentos como descrito no estudo de Schuab et al. (2023). O estudo divide a análise em compartimentos: água de lavagem (*washing water*), estrutura dos tubos (*colony structure*) e tecidos do organismo (*digested tissues*) (Ver item 3.3.2). O processo de digestão foi baseado na metodologia descrita por Justino et al. (2021), com modificação (ver item 3.3.3).

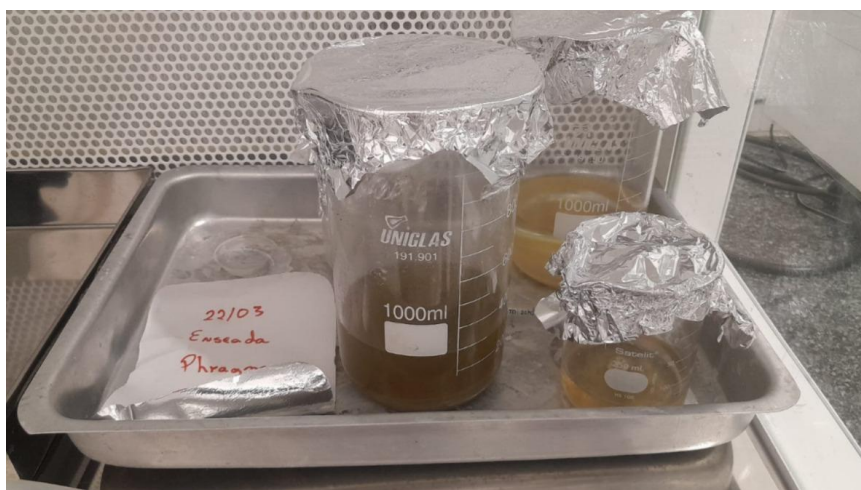
3.3.2 Descrição da Metodologia Adaptada

Todo o procedimento foi conduzido em uma capela de fluxo laminar para evitar contaminação por partículas aéreas. Inicialmente, cada amostra teve sua massa total aferida em balança analítica. Em seguida, as amostras foram processadas para separar os compartimentos (Figura 3):

- Recifes: Para isolar os MPs depositados na superfície, a superfície dos agregados de recifes foi submersa em um béquer de 1 L com 100 mL de água destilada filtrada e agitada manualmente por 3 minutos. A água sobrenadante foi transferida para um segundo béquer, constituindo a amostra deste compartimento.

- Poliquetas: Para analisar os MPs nos organismos, os tubos foram delicadamente fragmentados com as mãos. Foram coletados 15 indivíduos de *P. caudata* por amostra (ou o total presente, em casos de baixa abundância), os quais foram transferidos para um béquer de 100 mL e tiveram sua massa aferida. Os organismos foram processados inteiros (sem dissecação).
- Tubos: Para analisar os MPs incorporados à estrutura do recife, o material restante do agregado (fragmentos de tubos e sedimento) foi mantido no béquer original de 1 L, desagregado manualmente e submetido a digestão.

Figura 3. Beckers contendo amostras reagindo com a solução de NaOH.



Fonte: A autora (2025).

3.3.3 Digestão da Matéria Orgânica

Os três compartimentos foram submetidos a um processo de digestão química sequencial de duas etapas para isolar os microplásticos da matriz orgânica e sedimentar. O compartimento Poliquetas visou a detecção de MPs ingeridos pelo organismo; o compartimento Tubos, a detecção de MPs incorporados ativamente na estrutura biogênica; e o compartimento Recifes, a detecção de MPs depositados passivamente na superfície dos recifes.

Primeiramente, iniciou-se a digestão alcalina com a adição de Hidróxido de Sódio (NaOH 10%), ajustando os volumes de acordo com o tipo de amostra. Foram utilizados 100 mL para o compartimento Tubos (em béquer de 1 L), 100 mL para o compartimento Recifes (em béquer de 1 L) e 25 mL para o compartimento Poliquetas (em béquer de 100 mL). Os béqueres foram vedados e mantidos em estufa a 35 °C por 48 horas.

Após este período, para otimizar a digestão da matéria orgânica remanescente, foi realizada a digestão oxidativa, onde foi adicionado Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2 30%), utilizando 100 mL para as amostras de Tubos e Recifes, e 10 mL para a amostra de Poliquetas. As amostras retornaram à estufa a 35 °C por mais 24 horas.

3.3.4 Filtração

Após a digestão completa, dentro da capela de fluxo laminar (Figura 4) a solução de cada compartimento foi filtrada a vácuo utilizando um kit de filtração de vidro (Figura 4) com filtros de microfibras de vidro (Whatman®, Grau GF/F, 47 mm de diâmetro, 0,7 µm de poro), após a filtração o funil e as paredes dos béqueres foram lavadas cuidadosamente com água destilada filtrada para garantir a transferência das partículas para o filtro. Após as filtrações, os filtros foram então secos em estufa a 60 °C por 24 horas.

Figura 4. Capela de fluxo laminar e kit de filtração de vidro.



Fonte: A autora (2025).

3.3.5 Corante vermelho Nilo

A técnica de coração com o corante vermelho Nilo é utilizada em diversos estudos para identificação de microplásticos (MAES et al., 2017; PRATA et al., 2019), apresentando alta eficácia em seu uso para observação de microplásticos entre 1 mm até 20 μ m (ERNI-CASSOLA et al., 2017). O princípio do funcionamento deste corante parte da sua natureza lipofílica; ao entrar em contato com a amostra, as moléculas do corante aderem preferencialmente à superfície dos polímeros sintéticos (SHIM et al., 2016). Essa adsorção ativa a fluorescência das partículas quando expostas à luz UV, permitindo a distinção imediata entre os microplásticos (fluorescentes) e a matéria orgânica natural, que não retém o corante (MAES et al., 2017).

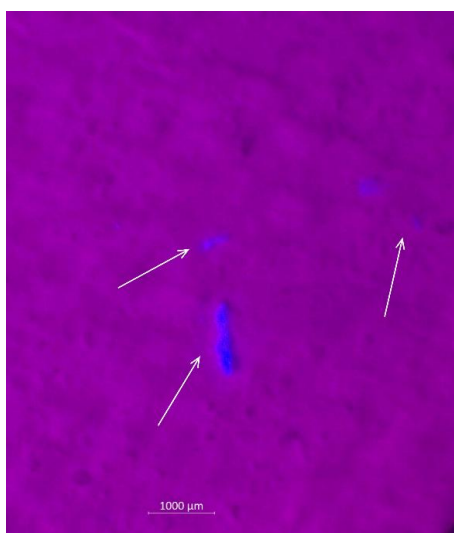
Posteriormente à filtragem, os filtros foram corados com 1 mL de solução de vermelho Nilo (10 μ g/mL em acetona). Após a aplicação do corante, os filtros foram deixados em repouso por 24 horas no escuro para garantir o tempo de contato ideal e a marcação dos polímeros. A observação e fotografia das partículas foram realizadas em um estereomicroscópio (Zeiss Stemi

2000-C) equipado com uma câmera (AXIOCAM 208c), sob luz branca e ultravioleta (UV, $\lambda = 385 \text{ nm}$).

3.3.6 Identificação morfológica dos MPs

As partículas identificadas como MPs foram contadas, classificadas quanto à forma (pellet, fibra, filme, fragmento) e cor, e tiveram suas dimensões mensuradas com o software ZEN (Zeiss) (Figura 5). A densidade de MPs foi expressa como partículas por indivíduo ($\text{MP} \cdot \text{indivíduo}^{-1}$) para o compartimento Poliquetas e como partículas por área ($\text{MPs} \cdot (25\text{cm}^2)^{-1}$) para os compartimentos Recifes e Tubos.

Figura 5. MP visualizado na luz UV.



Fonte: A autora (2025).

3.4 Controle de qualidade

Todos os procedimentos foram realizados em uma sala restrita à circulação de pessoas, limpa adequadamente e dentro de uma capela de fluxo laminar. Para prevenir a contaminação por partículas aéreas, os manipuladores estavam sempre trajados com roupas, bata e touca de algodão e luvas nitrílicas. Todos os materiais utilizados no processamento eram compostos de vidro e metal e foram lavados previamente de forma adequada para remoção de possíveis partículas plásticas. Além disso, todas as soluções e a água destilada foram filtradas antes do uso em um filtro GF/F (47 mm, Whatman®, GF/F, poro de $0,7\mu\text{m}$). Durante o processamento das amostras, foi adicionado um Branco de Procedimento a cada lote de 10 amostras. O Branco representou filtros úmidos mantidos na área de trabalho durante o processamento das amostras, sendo posteriormente secos, corados e observados, conforme descrito anteriormente.

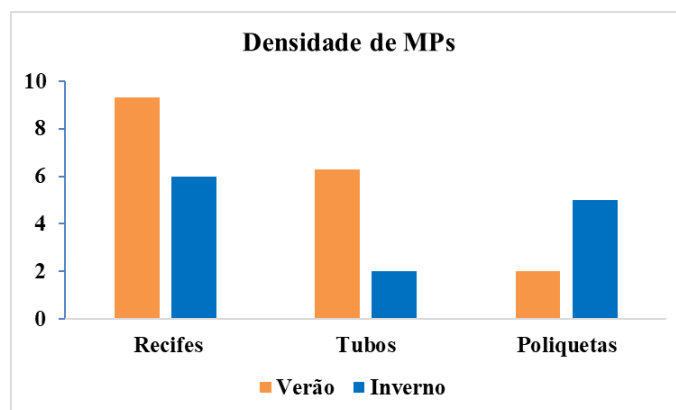
3.5 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram conduzidas no software Statistica 12, onde foi adotado um nível de significância de 5% ($p < 0,05$) para todos os testes. A normalidade e a homocedasticidade das variâncias dos dados foram testadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Quando necessário, os dados foram transformados ($\log[x+1]$) para atender aos pressupostos dos modelos paramétricos. Para avaliar os efeitos dos fatores período (seco e chuvoso) e compartimento (recifes, tubos e organismos), bem como a interação entre eles, foram aplicadas Análises de Variância (ANOVA). No caso de diferença significativa, um teste *a posteriori* (Tukey) foi utilizado para identificar quais grupos específicos diferem entre si.

4. RESULTADOS

Foram detectados um total de 128 partículas de microplásticos (MPs) nos três compartimentos de *P. caudata* analisados (Recifes, Tubos e Poliquetas). A densidade média de MPs total demonstrou ser maior no compartimento Recifes, seguido por Tubos e, por fim, Poliquetas.

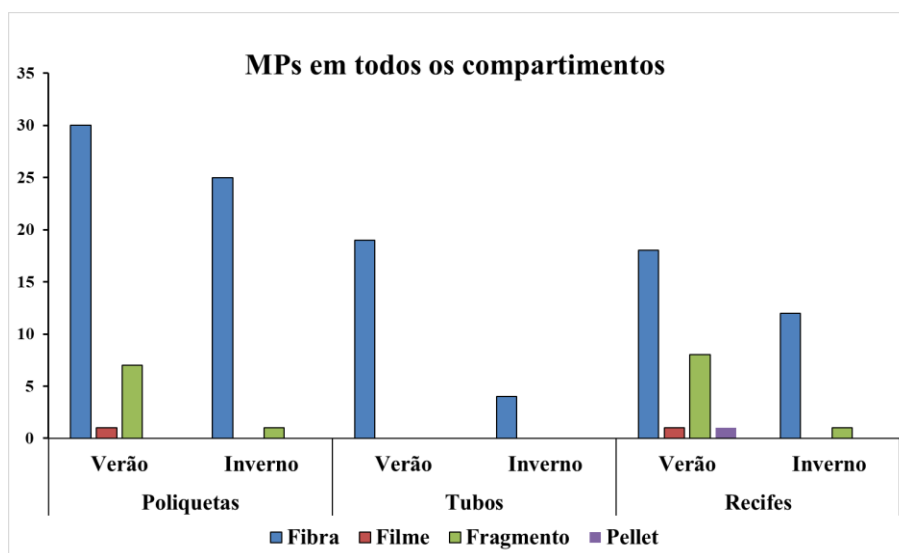
Figura 6. Densidade de MPs por compartimento. Legenda: Recifes e Tubos ($\text{MPs} \cdot (25\text{cm}^2)^{-1}$) e Poliquetas ($\text{MP} \cdot \text{indivíduo}^{-1}$).



Fonte: A autora (2025).

Quanto à morfologia (Figura 7), a fibra foi dominante em todos os compartimentos, representando 86% do total de partículas, seguida pelos fragmentos (12%).

Figura 7. Distribuição sazonal da abundância de microplásticos (MPs) por morfologia em cada compartimento.



Fonte: A autora (2025).

Os dados quantitativos de contagem e densidade, detalhados por compartimento e período sazonal, estão consolidados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados consolidados de abundância, densidade e caracterização física (morfologia) e química (polímero) dos microplásticos nos compartimentos (Recifes e Tubos) de *Phragmatopoma caudata* por período sazonal.

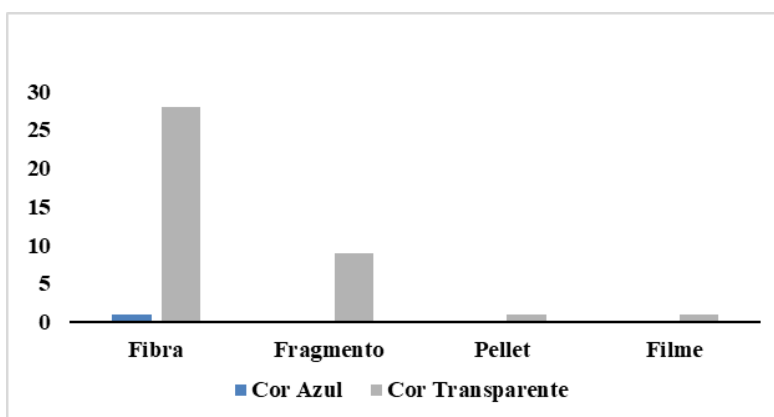
Compartimento	Período	Total de MPs	Densidade média	Morfologia predominante	Polímero (30% de cada compartimento)
Recifes	Seco	28	$9,3 \text{ MPs} \cdot (25\text{cm}^2)^{-1}$	Fibra (64%) Fragmento (29%) Filme (4%) Pellet (4%)	Poliéster
	Chuvoso	13	$6,3\text{MPs} \cdot (25\text{cm}^2)^{-1}$	Fibra (92%) Fragmento (8%)	
Tubos	Seco	19	$8 \text{ MPs} \cdot (25\text{cm}^2)^{-1}$	Fibra (100%)	
	Chuvoso	4	$6 \text{ MPs} \cdot (25\text{cm}^2)^{-1}$		
Poliquetas	Seco	38	$2 \text{ MPs} \cdot \text{indivíduo}^{-1}$	Fibra(96%) Fragmentos(4%)	
	Chuvoso	26	$7 \text{ MPs} \cdot \text{indivíduo}^{-1}$		

Fonte: A autora (2025).

4.1 Microplásticos no Compartimento Recifes

O compartimento Recifes apresentou a maior densidade média de microplásticos entre todos os compartimentos, com um valor de $15 \text{ MPs} \cdot (25\text{cm}^2)^{-1}$ (Tabela 1). Este compartimento também apresentou a maior diversidade morfológica, sendo o único a registrar a presença de fibras, fragmentos, filmes e pellets. Fibra foi a forma predominante, com 18 partículas encontradas na estação seca e 12 na chuvosa. Outras formas, como fragmentos (8), filmes (1) e pellets (1), foram registradas exclusivamente na estação seca. A cor transparente foi predominante, com apenas uma partícula azul registrada (Figura 8). Em relação ao tamanho, o comprimento médio dos MPs foi maior na estação chuvosa (1,4 mm) em comparação com a seca (0,9 mm) (Figura 11). A análise polimérica identificou a presença de poliéster.

Figura 8. Distribuição da abundância de MPs no compartimento Recifes por morfologia e cor.

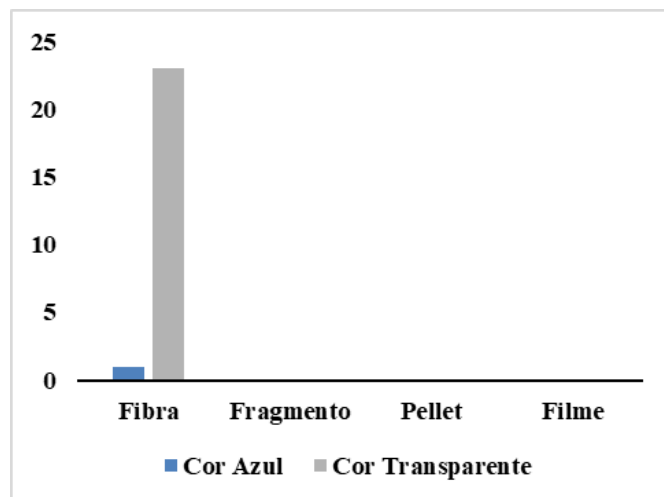


Fonte: A autora (2025).

4.2 Microplásticos no Compartimento Tubos

No compartimento Tubos, foi registrada uma densidade média de $8 \text{ MPs} \cdot (25 \text{ cm}^2)^{-1}$ (Figura 6). A análise morfológica revelou que a maioria das partículas eram fibras de cor transparente, apresentando somente 1 azul (Figura 9), com uma ocorrência de partículas maior no período seco (19) em comparação ao período chuvoso (4) (Figura 7). Em relação ao tamanho, o comprimento médio das partículas nos tubos foi de 1,0mm na estação seca e 2,1mm na estação chuvosa (Figura 11), sendo um dos maiores tamanhos médios encontrados no estudo. A análise FTIR identificou o poliéster como o polímero único neste compartimento.

Figura 9. Distribuição da abundância de MPs no compartimento Tubos por morfologia e cor.

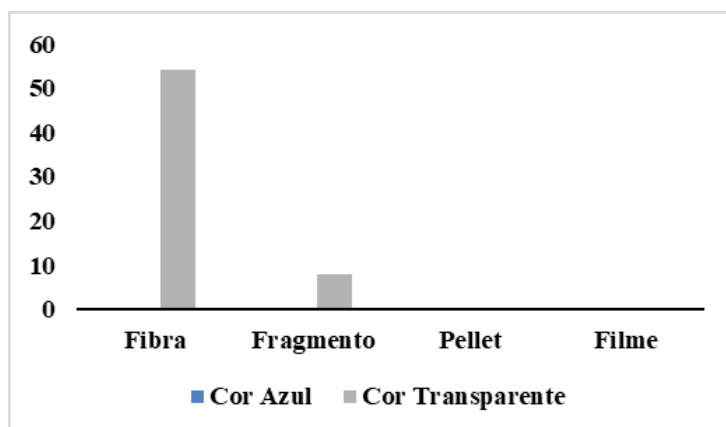


Fonte: A autora (2025).

4.3 Microplásticos no Compartimento Poliquetas

No compartimento Poliquetas, a densidade média de contaminação foi de 7 MPs·indivíduo⁻¹. A análise morfológica demonstrou um predomínio de fibras em ambas as estações (25 no chuvoso; 30 no seco). Outras morfologias, como fragmentos (7) e filmes (1), foram registradas exclusivamente no seco e todas as partículas observadas neste compartimento eram transparentes (Figura 10).

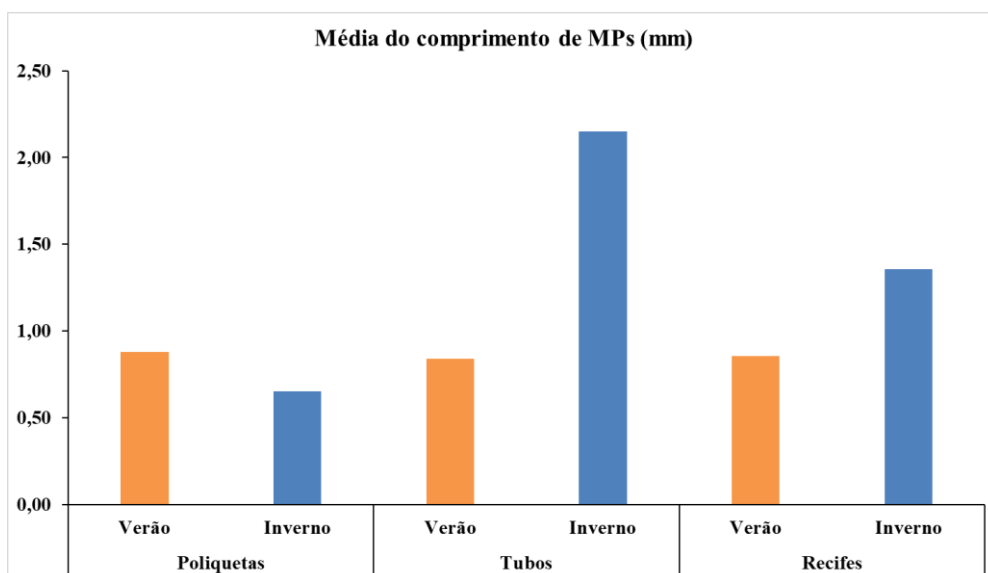
Figura 10. Distribuição da abundância de MPs no compartimento Poliquetas por morfologia e cor.



Fonte: A autora (2025).

O comprimento médio das partículas do compartimento Poliquetas foi ligeiramente maior no período seco (0,9 mm) em comparação com o período chuvoso (0,7 mm), a faixa de tamanho registrada foi de 0,1 a 2,9 mm no chuvoso e de 0,04 a 2,8 mm no seco (Figura 11).

Figura 11. Comprimento médio dos microplásticos (mm) por compartimento, comparando os períodos sazonais.



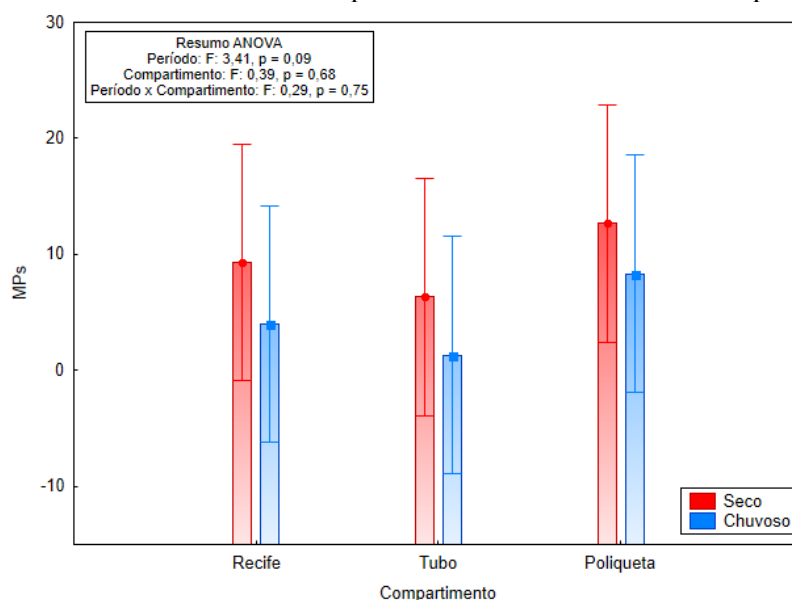
Fonte: A autora (2025).

A caracterização física revelou ainda que a cor transparente foi majoritária, constituindo 98% do total (Figura 12).

4.4 Análise Estatística

No geral, a abundância foi maior durante a estação seca em comparação com a chuvosa; no entanto, não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre os diferentes compartimentos (Figura 14).

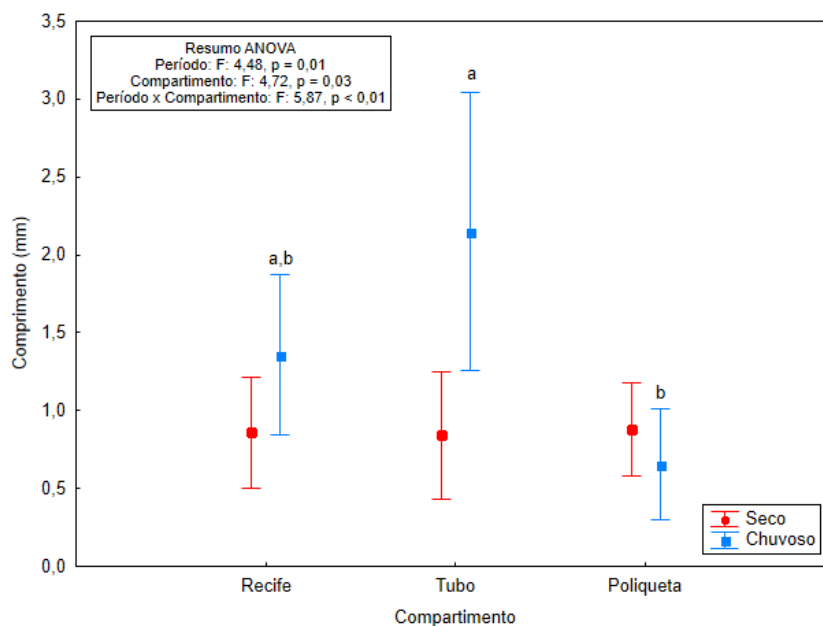
Figura 14. Resultado da ANOVA para a abundância média de microplásticos.



Fonte: A autora (2025)

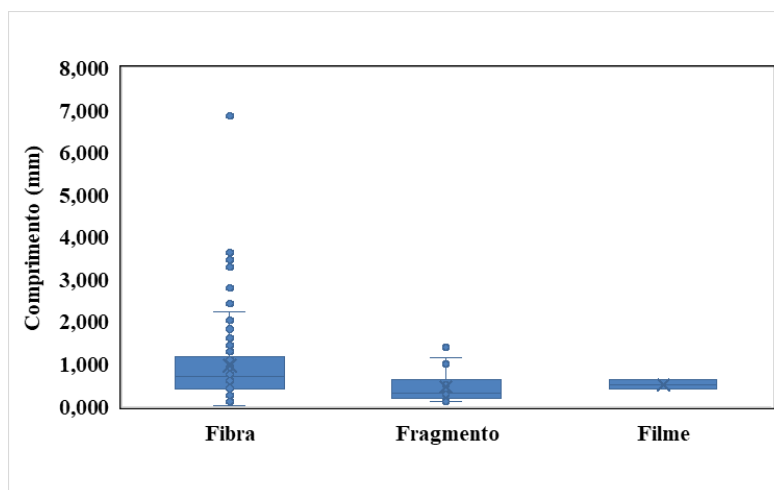
Quanto ao comprimento médio dos microplásticos (MPs), foi observado diferença significativa entre os compartimentos (Figura 15). O teste *a posteriori* de Tukey indicou que os MPs encontrados nos tubos eram significativamente maiores que os ingeridos pelos poliquetas (Figura 15). O compartimento Recifes, por sua vez, não apresentou diferença significativa em relação aos outros dois compartimentos. Este resultado sugere um processo de seleção ativa de partículas durante a bioconstrução dos tubos. O Boxplot da distribuição de tamanhos por morfologia reforça maior variação de tamanho das fibras (Figura 16).

Figura 15. ANOVA para o comprimento médio dos MPs, com indicação das diferenças significativas (Teste de Tukey).



Fonte: A autora (2025)

Figura 16. Boxplot do comprimento dos microplásticos (MPs) por morfologia (Fibra, Fragmento e Filme).

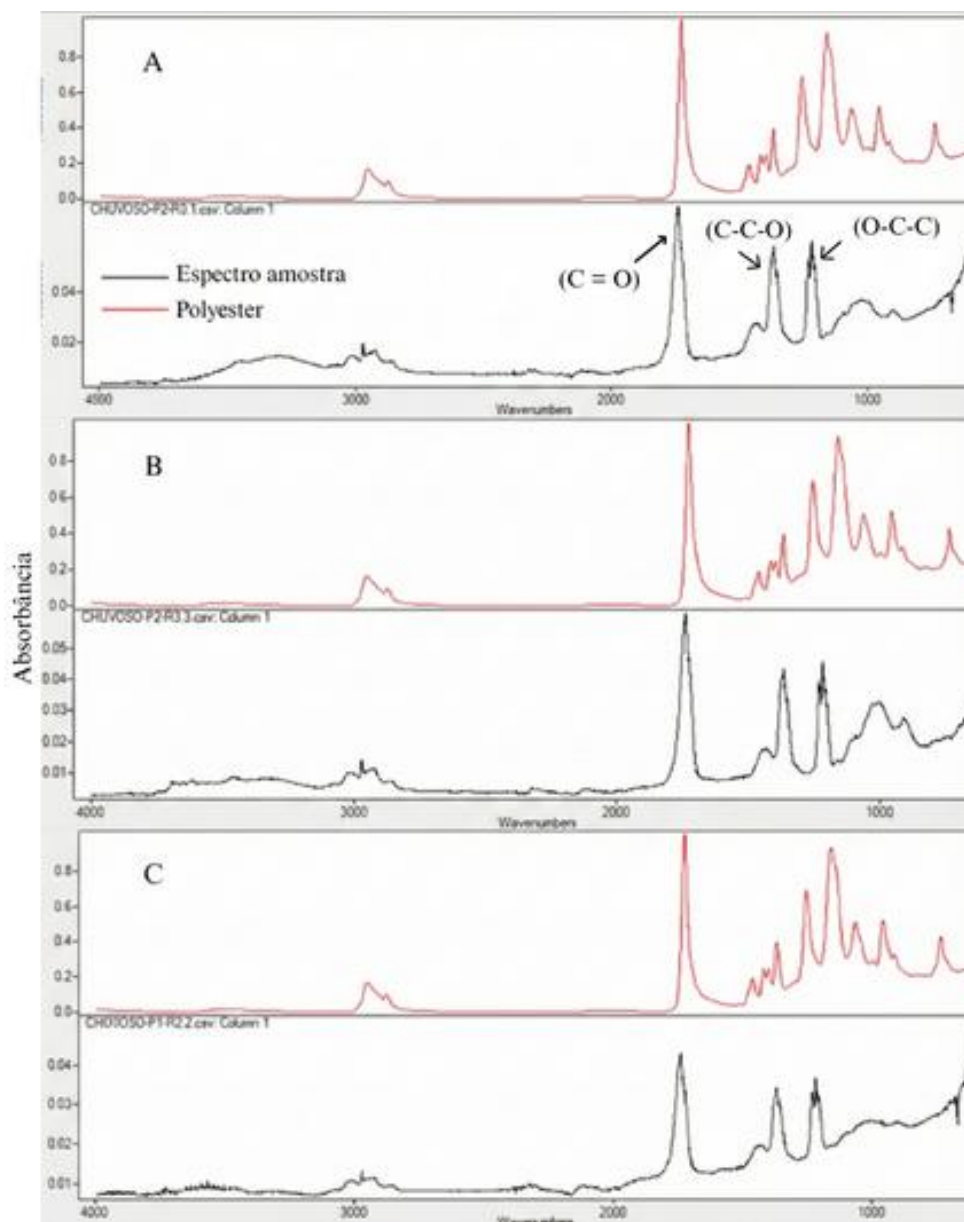


Fonte: A autora (2025).

Nas Figuras 17 e 18 são observados os espectros de três amostras de cada compartimento por sazonalidade (períodos chuvoso e seco, respectivamente). A linha vermelha apresenta o espectro de referência para poliéster, enquanto a linha preta mostra o espectro da amostra analisada.

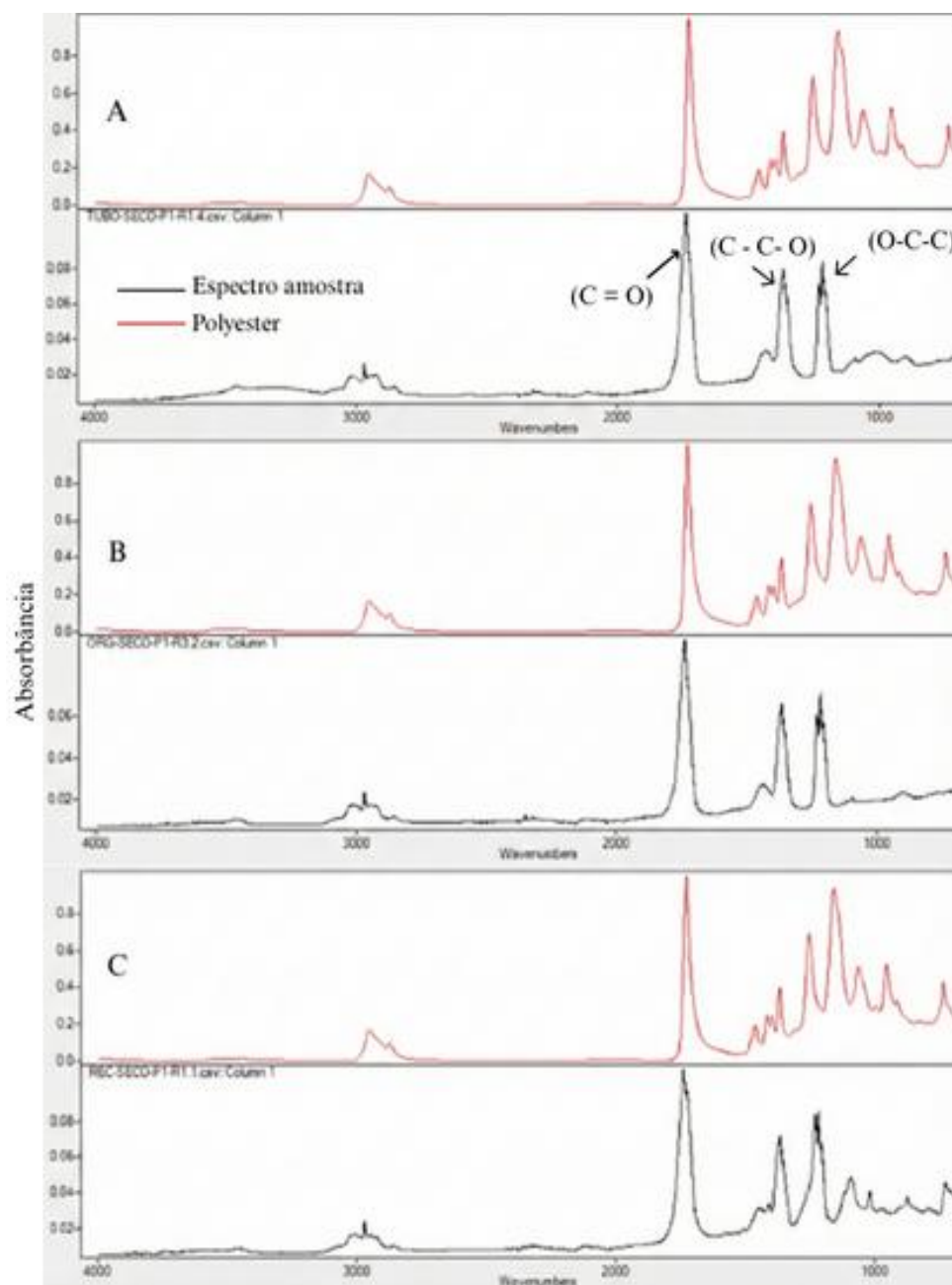
A análise espectral das partículas isoladas revelou um padrão de absorção característico da família dos poliésteres. O espectro obtido apresentou bandas intensas, onde se destacou o pico de estiramento da carbonila ($C=O$) e as vibrações características do grupo éster aromático (ligações $C-C-O$ e $O-C-C$), correspondência visual e estrutural dessas bandas com o espectro de referência permitiu a identificação do polímero como Polietileno Tereftalato (PET), conforme padrões estabelecidos para microplásticos (SMITH, B. C., 2022; SILVERSTEIN et al., 2005; VEERASINGAM et al., 2021; JUNG et al., 2018).

Figura 17. Espectro FTIR de partículas de microplásticos obtidas no período Chuvoso em cada compartimento: Tubos (A), Poliqueta (B) e Recife (C).



Fonte: A autora (2025).

Figura 18. Espectro FTIR de partículas de microplásticos obtidas no período Seco em cada compartimento: Tubos (A), Poliqueta (B) e Recife (C).



Fonte: A autora (2025).

5.DISSCUSSÃO

Este estudo representa a primeira avaliação da dinâmica sazonal de microplásticos (MPs) nos compartimentos funcionais (Recifes, Tubos e Poliquetas) de *Phragmatopoma caudata* na região Nordeste do Brasil. As análises demonstraram a ubiquidade de MPs em todos os compartimentos e indicaram variações na abundância associadas à sazonalidade, além de diferenças estatisticamente significativas no tamanho das partículas entre os compartimentos representando os organismos e tubos. Isso reforça o potencial da espécie como bioindicadora da qualidade ambiental, assim como em estudos de microplástico.

As morfologias encontradas predominantes foram fibras (86%) e fragmentos (12%) (Figura 13), fator observado em demais trabalhos relacionados à microplástico em ambientes costeiros e organismos filtradores (UURASJÄRVI et al., 2020; KANHAI et al., 2018). A presença de fibras, de forma geral, em compartimentos biológicos como zooplâncton, cnidários e moluscos ocorre em maior abundância quando comparado a outros tipos de plásticos como filmes, pellets e fragmentos (LO BUE et al., 2023; BRUZACA et al., 2022; LIMA et al., 2023; RANI-BORGES et al., 2023). A predominância de fibras pode estar diretamente relacionada com a hidrodinâmica dessas partículas, conforme apresentam um formato alongado, sua velocidade de sedimentação é menor em comparação com os demais formatos, como esferas ou fragmentos (WALDSCHLÄGER; SCHÜTTRUMPF, 2019). Esse fator prolonga o tempo em suspensão e facilita o transporte na coluna d'água, passando mais tempo disponível para consumo ou contato com organismos filtradores (WALDSCHLÄGER; SCHÜTTRUMPF, 2019).

Os resultados do presente estudo revelaram uma maior abundância de microplásticos durante a estação seca. A menor energia hidrodinâmica característica dessa estação reduz a dispersão das partículas e aumenta o tempo de residência da água (VIANELLO et al., 2013). Esse processo favorece a deposição e o aprisionamento dos MPs na complexa estrutura dos recifes de *P. caudata*, indicando que, embora o input de poluição possa ser maior na chuva, através de rios e lixiviação (MONTAGNER et al., 2021), as condições para a acumulação local são otimizadas na estação seca, período em que a integridade física da colônia é mantida pela atividade contínua dos poliquetas realizando manutenção na construção dos tubos (GRUET, 1986).

Além dos fatores hidrodinâmicos, a variabilidade térmica sazonal pode atuar como um importante modulador fisiológico da contaminação observada nos recifes. Durante a época

seca, a elevação da temperatura da água na região pode induzir uma aceleração no metabolismo de *P. caudata*, resultando em um aumento na sua taxa de filtração (RIISGÅRD, 2023). Este processo biológico favorece a bioacumulação de contaminantes, uma vez que a temperatura da água influencia significativamente as taxas de ingestão e retenção de microplásticos em invertebrados marinhos (IWALAYE et al., 2021). Sob temperaturas mais elevadas, é observado um aumento no consumo destas partículas, visto que o organismo processa um maior volume de água e, conseqüentemente, captura mais partículas em suspensão em comparação com períodos de temperaturas mais amenas (IWALAYE et al., 2021). Assim, a temperatura atua como um motor biológico que pode ter potenciado a acumulação de microfibras nas colônias durante o período seco.

A predominância de fibras, especialmente transparentes, também foi recorrente em estudos com poliquetas estuarinos na Malásia, sugerindo que a semelhança física dessas partículas com o plâncton gelatinoso ou com o muco natural favorece sua ingestão acidental (HAMZAH et al., 2020). De fato, estudos indicam que a ingestão de microplásticos por invertebrados é diretamente proporcional à quantidade de poluentes biodisponíveis na coluna d'água, sendo que partículas com tamanho similar a grãos de sedimento ou alimento natural elevam essa biodisponibilidade para uma vasta gama de organismos filtradores (THUSHARI; SENEVIRATHNA, 2020; BROWNE et al., 2008; JAMES et al., 2023).

A ocorrência majoritária de fibras transparentes não é exclusiva de poliquetas, sendo reportado recentemente para outros invertebrados no Atlântico Sul, como o mexilhão *Brachidontes rodriguezii* na Argentina (MIGLIARINI et al., 2025) e ostras *Crassostrea gigas* de cultivo (MOURA et al., 2025). Além disso, a contaminação de microplásticos em bioconstruções de *Sabellaria spinulosa* foi observada em estudos realizados no Mediterrâneo, confirmando a alta suscetibilidade da família Sabellariidae à retenção de microfibras em suas estruturas tubulares (LO BUE et al., 2023).

Em relação à sazonalidade, a maior concentração de partículas durante a estação seca alinha-se à dinâmica oceanográfica do Atlântico Equatorial descrita por Garcia et al. (2020) e às tendências observadas em comunidades de poliquetas em regiões tropicais (JAMES et al., 2023). A ausência de chuvas intensas neste período reduz a diluição dos poluentes e a turbulência hidrodinâmica, aumentando a estabilidade da coluna d'água e a interação dos microplásticos com os construtores recifais, favorecendo a manutenção da colônia (GRUET,

1986; AVIZ, 2015). Este fenômeno de acumulação na estação seca também foi evidenciado recentemente em corais *Siderastrea stellata* na costa brasileira (BARROS et al., 2025).

Microplásticos no compartimento Recifes de Phragmatopoma caudata

Ao analisar a sazonalidade, a densidade de MPs no compartimento Recifes foi superior no período seco (Figura 6). A maior abundância neste período pode estar relacionada ao estado mais consolidado das colônias de *Phragmatopoma caudata*, momento em que a atividade construtora dos poliquetas é favorecida, resultando em uma estrutura recifal com maior superfície disponível para a retenção passiva de partículas (GRUET, 1986). Em contrapartida, no período chuvoso, é possível observar uma redução na abundância de MPs, possivelmente associada à degradação das construções biogênicas e ao menor recrutamento de indivíduos, o que torna o recife mais suscetível à erosão e diminui sua capacidade de retenção (GRUET, 1972a, 1986; FARONI-PEREZ, 2014; AVIZ, 2015; PETRACCO et al., 2024).

O compartimento Recifes apresentou a maior diversidade de morfologia de microplásticos (MPs), com a presença de fibras, fragmentos, filmes e pellets. Embora haja essa variedade, as fibras foram o formato predominante, padrão também observado nos demais compartimentos. Em termos quantitativos, este compartimento registrou a maior densidade de microplásticos entre os analisados (Figura 6). Esse maior aporte pode ser atribuído à maior exposição aos ventos e à hidrodinâmica local (GIMILIANI & IZAR, 2022), fatores que facilitam a acumulação passiva de partículas na estrutura do recife biogênico (GRUET, 1972a; GRUET, 1986).

Microplásticos nos tubos da colônia de Phragmatopoma caudata

A análise do compartimento Tubos revelou a presença exclusiva de fibras em ambos os períodos, apresentando abundância maior no período seco (Figura 7). Visto que a bioconstrução dos tubos depende da captura seletiva de partículas sedimentares na coluna d'água (VINN et al., 2008; NUNES et al., 2017), A análise estatística confirmou que as partículas incorporadas aos tubos são significativamente maiores do que as encontradas no compartimento Poliquetas. Essa diferença reflete a triagem realizada pelo organismo ao selecionar partículas de maiores dimensões preferencialmente para a cimentação das paredes dos tubos, conferindo maior resistência física e estabilidade estrutural (NUNES et al., 2017).

Em contrapartida, as partículas ingeridas pelos poliquetas apresentam comprimentos menores, restringidas pela abertura bucal e pela capacidade de manipulação dos filamentos tentaculares durante a alimentação (KIRTLEY, 1994). A menor densidade de MPs encontrada no compartimento durante o período chuvoso é consequência direta da redução populacional causada pela hidrodinâmica (AVIZ, 2015). Com menos organismos realizando a manutenção e cimentação dos tubos, a matriz arenosa se desagrega, resultando na perda das partículas anteriormente incorporadas nos tubos (GRUET, 1986).

A diferença na densidade de MPs nos tubos entre os períodos climáticos está relacionada à maior degradação dos recifes no período chuvoso, impulsionada pelo aumento da hidrodinâmica, condições de alta turbulência atuam negativamente sobre a densidade populacional, pois a força física das ondas promove o deslocamento e a mortalidade dos poliquetas, além de dificultar o assentamento de novas larvas (AVIZ, 2015; GRUET, 1986). Com a redução populacional e do recrutamento, a manutenção e cimentação dos tubos diminuem, tornando o recife mais suscetível à erosão e resultando na perda das partículas agregadas (GRUET, 1972a; GRUET, 1986).

Microplásticos nos tecidos de Phragmatopoma caudata

No compartimento Poliquetas, ocorreu a presença de fragmentos, fibras e filmes, no qual as fibras foram predominantes em ambos os períodos climáticos (Figura 7 e Tabela 1), este padrão corrobora estudos anteriores em recifes de *Phragmatopoma caudata*, onde as fibras também foram os tipos mais frequentes (COSTA et al., 2021; SCHUAB et al., 2023).

A presença majoritária de fibras em compartimentos biológicos (como zooplâncton, cnidários e moluscos) é um fator comum observado na literatura, superando a abundância de fragmentos e pellets (BRUZACA et al., 2023; LIMA et al., 2023; RANI-BORGES et al., 2023), diante do cenário atual, diversos estudos científicos reconhecem os efluentes domésticos provenientes da lavagem de roupas e as atividades industriais têxteis como as fontes primárias dessa contaminação, o que favorece a presença de microfibras em ambientes costeiros urbanizados (BROWNE et al., 2011; HERNANDEZ et al., 2017; GAYLARDE et al., 2021; NOLASCO et al., 2022).

Diferentemente dos demais compartimentos (Recifes e Tubos), a densidade de MPs nos organismos foi maior no período chuvoso (Figura 6), esse resultado inverso é explicado pela redução da densidade populacional discutida anteriormente: com menos indivíduos presentes na colônia devido ao estresse físico, a competição intraespecífica por alimento diminui (GRUET, 1986). Consequentemente, o consumo de partículas disponíveis na coluna d'água é favorecido entre os organismos remanescentes, aumentando a taxa de ingestão individual quando o recife está mais fragilizado e há presença de menos poliquetas (GRUET, 1986).

Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A caracterização química via FTIR revelou a predominância de polímeros da família dos poliésteres em todos os compartimentos avaliados (Tabela 1). A identificação de Poliéster corrobora diretamente os achados de Santos et al. (2025) e Schuab et al. (2023), que também reportaram o poliéster como o tipo predominante em recifes biogênicos da costa brasileira. Este cenário reflete o mercado global, onde o poliéster representa mais de 54% das fibras têxteis produzidas (TEXTILE EXCHANGE, 2023; GEYER et al., 2017), reforçando o vínculo direto com o descarte de efluentes domésticos (BROWNE et al., 2011; HERNANDEZ et al., 2017), é estimado que mais de 35% das partículas plásticas encontradas no ambiente marinho é proveniente de lavagem de roupas (BOUCHER; FRIOT, 2017).

A falta de padronização dos métodos de análise ainda representa um desafio à criação de legislações eficazes; contudo, à medida que a extensão e a natureza dessa poluição são esclarecidas, torna-se imperativo desenvolver mecanismos de monitoramento sistemático e normas específicas que limitem a liberação de microplásticos no ambiente.

6. CONCLUSÃO

Este estudo forneceu os primeiros registros sobre a dinâmica de microplásticos em recifes de *Phragmatopoma caudata* no litoral de Pernambuco. Os resultados evidenciaram que estas estruturas biogênicas podem atuar como potenciais sumidouros de microplástico, onde a retenção dessas partículas é modulada pela hidrodinâmica sazonal e por processos biológicos. O acúmulo foi favorecido pela maior estabilidade ambiental e aceleração metabólica da estação seca, sendo reduzido pela alta hidrodinâmica característica da estação chuvosa.

A predominância de fibras de poliéster aponta os efluentes domésticos como a principal fonte de contaminação local. Além disso, foi observado que a espécie interage ativamente com o poluente: as fibras são ingeridas pelos poliquetas, com aumento de consumo individual intensificado durante o período chuvoso. As partículas também foram incorporadas na construção dos tubos, onde a seleção de partículas é evidenciada pela diferença estatística de tamanho entre estes compartimentos, com microplásticos (fibras) maiores sendo incorporados aos tubos para estabilidade estrutural, diferindo significativamente das partículas ingeridas, que são menores.

Diante disso, a pesquisa conclui que o *Phragmatopoma caudata* possui alto potencial como bioindicador da qualidade ambiental local. Ademais, a melhoria dos sistemas de saneamento para a retenção de microfibras e a continuidade do monitoramento na região são recomendadas, a fim de compreender os impactos de longo prazo dessa interação.

REFERÊNCIAS

- ANDRADY, A. L.; NEAL, M. A. Applications and societal benefits of plastics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1977–1984, 2009.
- AVIZ, D. E. da S. **Os recifes arenosos de *Sabellaria wilsoni* (Polychaeta: Sabellariidae) na ilha de Maiandeuá-Algodoal, Pará: dinâmica dos construtores e da macrofauna bentônica associada**. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas, Belém, 2015. 186 f.
- BARROS, Y. et al. First evidence of microplastic contamination in the tissue and skeletons of the keystone reef-building coral *Siderastrea stellata* in coastal reefs. **Discover Oceans**, v. 20, n. 1, 2025.
- BECKER, P. T. et al. Identification, characterization, and expression levels of putative adhesive proteins from the tube-dwelling polychaete *Sabellaria alveolata*. **The Biological Bulletin**, v. 223, n. 2, p. 217-225, 2012.
- BÉRGAMO, D. B. **Foraminíferos bentônicos dos recifes do entremarés da costa de Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022. 69 f.
- BORRELLE, S. B. et al. Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. **Science**, v. 369, n. 6510, p. 1515-1518, 2020.
- BOUCHER, J.; FRIOT, D. **Primary microplastics in the oceans**. Gland: International Union for the Conservation of Nature (IUCN), 2017.
- BROWNE, M. A. et al. Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.). **Environmental Science & Technology**, v. 42, n. 13, p. 5026-5031, 2008.
- BROWNE, M. A. et al. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 21, p. 9175–9179, 2011.
- BRUZACA, D. N. A. et al. Occurrence of microplastics in bivalve molluscs *Anomalocardia flexuosa* captured in Pernambuco, Northeast Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 185, 114359, 2022.
- CAPA, M.; HUTCHINGS, P.; PEART, R. Systematic revision of Sabellariidae (Polychaeta) and their relationships with other polychaetes using morphological and DNA sequence data. **Zoological Journal of the Linnean Society**, v. 164, n. 2, p. 245–284, 2012.
- CARPENTER, E. J.; SMITH, K. L. Plastics on the Sargasso Sea surface. **Science**, v. 175, n. 4027, p. 1240–1241, 1972.
- CHAPMAN, P. M. Determining when contamination is pollution — Weight of evidence determinations for sediments and effluents. **Environment International**, v. 33, n. 4, p. 492–501, 2007.

COLE, M. et al. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 12, p. 2588-2597, 2011.

COLEMAN, F. C.; WILLIAMS, S. L. Overexploiting marine ecosystem engineers: potential consequences for biodiversity. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 17, n. 1, p. 40-44, 2002.

COSTA, M. B. da et al. Quantitative evaluation of microplastics in colonies of *Phragmatopoma caudata* Krøyer in Mörch, 1863 (Polychaeta-Sabelliidae): Analysis in sandcastles and tissues and identification via Raman spectroscopy. **Marine Pollution Bulletin**, v. 168, p. 112428, 2021.

DOMINGUES, E. D. C. et al. Hydrography and currents on the Pernambuco continental shelf. **RBRH**, v. 22, p. 1-17, 2017.

DUBOIS, S.; RETIÈRE, C.; OLIVIER, F. Biodiversity associated with *Sabellaria alveolata* (Polychaeta: Sabelliidae) reefs: effects of human disturbances. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 82, n. 5, p. 817-826, 2002.

ECKELBARGER, K. J.; CHIA, F.-S. Morphogenesis of larval cuticle in the polychaete *Phragmatopoma lapidosa*. **Cell and Tissue Research**, v. 186, p. 187-201, 1978.

ERNI-CASSOLA, G. et al. Lost, but Found with Nile Red: A Novel Method for Detecting and Quantifying Small Microplastics (1 mm to 20 µm) in Environmental Samples. **Environmental Science & Technology**, v. 51, n. 23, p. 13641-13648, 2017.

FARONI-PEREZ, L. Variação sazonal no recrutamento de *Phragmatopoma caudata* (Polychaeta, Sabelliidae) na costa sudeste do Brasil: biometria e validação de metodologia para categorização de classes etárias. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 104, n. 1, p. 5-13, 2014.

GARCIA, T. M. et al. Microplastics in subsurface waters of the western equatorial Atlantic (Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, v. 150, 110705, 2020.

GAYLARDE, C. C. et al. Biodegradation of polyester fabrics: a review. **Polymer Degradation and Stability**, v. 187, 109539, 2021.

GESAMP. **Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean**. Editores: P. J. Kershaw, A. Turra e F. Galgani. London: GESAMP Reports & Studies, n. 99, 2019.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, n. 7, e1700782, 2017.

GIMILIANI, G. T.; IZAR, G. Difficulties in comparison among different microplastic studies: the inconsistency of results and lack of guide values. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 41, n. 4, p. 820-821, 2022.

GRUET, Y. Morphologie, croissance et faune associée des récifs de *Sabellaria alveolata* (Linné) de la Bernerie-en-Retz (Loire Atlantique). **Tethys**, v. 3, n. 2, p. 321-380, 1971.

GRUET, Y. Aspects morphologiques et dynamiques de constructions del'Annélide Polychète *Sabellaria alveolata* (Linné). **Revue des Travaux del' Institut des Pêches Maritimes**, v. 36, n. 2, p. 131-161, 1972a.

- GRUET, Y. Faune associada de "récifs" d'Hermelles Polychète Sabellariidé: *Sabellaria alveolata* (Linné) : cas de récifs morts à Crève – Cœur (La Bernerie, Loire – Atlantique). **Bulletin de la Société Scientifique de Bretagne**, v. 47, p. 69-80, 1972b.
- GRUET, Y. Spatiotemporal changes of sabellarian reefs built by the sedentary polychaete *Sabellaria alveolata* (Linne). **Marine Ecology-Pubblicazioni Della Stazione Zoologica Di Napoli I**, v. 7, n. 4, p. 303-319, 1986.
- HAMZAH, S. R. et al. Ingestion of microplastics by the estuarine polychaete, *Namalycastis* sp. in the Setiu Wetlands, Malaysia. **Marine Pollution Bulletin**, v. 161, 111756, 2020.
- HARTMANN, N. B. et al. Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris in the Environment. **Environmental Science & Technology**, v. 53, n. 3, p. 1039–1047, 2019.
- HERNANDEZ, E. et al. Polyester Textiles as a Source of Microplastics from Households: A Mechanistic Study to Understand Microfiber Release During Washing. **Environmental Science & Technology**, v. 51, n. 12, p. 7036–7046, 2017.
- HIDALGO-RUZ, V. et al. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. **Environmental Science & Technology**, v. 46, n. 6, p. 3060–3075, 2012.
- HORTON, A. A.; DIXON, S. J. Microplastics: An introduction to environmental transport processes. **WIREs Water**, v. 5, n. 2, e1268, 2018.
- IWALAYE, O. A.; MOODLEY, G. K.; ROBERTSON-ANDERSSON, D. V. Water Temperature and Microplastic Concentration Influenced Microplastic Ingestion and Retention Rates in Sea Cucumber (*Holothuria cinerascens* Brandt, 1835). **Ocean Science Journal**, v. 56, p. 141-155, 2021.
- JAMES, K. et al. Microplastic ingestion by the polychaete community in the coastal waters of Kochi, Southwest coast of India. **Regional Studies in Marine Science**, v. 61, 102872, 2023.
- JUNG, M. R. et al. Validation of microplastic identification by FTIR, Raman and NMR spectroscopies. **Marine Pollution Bulletin**, v. 127, p. 70-78, 2018.
- JUSTINO, A. K. S. et al. Microplastic contamination in tropical fishes: An assessment of different feeding habits. **Regional Studies in Marine Science**, v. 45, 101857, 2021.
- KANHAI, L. D. K. et al. Microplastics in sub-surface waters of the Arctic Central Basin. **Marine Pollution Bulletin**, v. 130, p. 8-18, 2018.
- KIRTLEY, D. W. **A review and taxonomic revision of the family Sabellariidae Johnston, 1865 (Annelida: Polychaeta)**. Vero Beach: Sabecon Press, 1994. 223 p. Science Series Number 1.
- KÜHN, S. et al. Deleterious effects of litter on marine life. In: BERGMANN, M.; GUTOW, L.; KLAGES, M. (org.). **Marine Anthropogenic Litter**. Cham: Springer, 2015. p. 75-116.
- LAU, W. W. et al. Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. **Science**, v. 369, n.

6510, p. 1455-1461, 2020.

LIMA, J. Z. et al. A systematic review of the effects of microplastics and nanoplastics on the soil-plant system. **Sustainable Production and Consumption**, v. 38, p. 266-282, 2023.

LO BUE, G. et al. First attempt to quantify microplastics in Mediterranean *Sabellaria spinulosa* (Annelida, Polychaeta) bioconstructions. **Marine Pollution Bulletin**, v. 196, 115659, 2023.

LÖDER, M. G. J.; GERDTS, G. Identification and quantification of microplastics in the marine environment. In: BERGMANN, M.; GUTOW, L.; KLAGES, M. (org.). **Marine Anthropogenic Litter**. Cham: Springer, 2015. p. 201–227.

MAES, T. et al. A rapid-screening approach to detect and quantify microplastics based on fluorescent tagging with Nile Red. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 44501, 2017.

MAIA, J. C. B. G. et al. Spatial and temporal variability of rip currents in Recife metropolitan region cities. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 5, n. 2, p. 166-176, 2014.

MANSO, V. A. V. et al. Pernambuco. In: MUEHE, D. **Panorama da erosão costeira no Brasil**. Brasília: Biblioteca do Ministério do Meio Ambiente, 2018. p. 345-380.

MIGLIARINI, L. O. et al. Profiling microplastic fibers in the intertidal sentinel mussel *Brachidontes rodriguezii* from the coast of Buenos Aires, Argentina. **PeerJ**, v. 13, e19518, 2025.

MONTAGNER, C. C. et al. Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. **Química Nova**, v. 44, n. 6, p. 746-762, 2021.

MOURA, C. et al. Assessing Microplastic Contamination and Depuration Effectiveness in Farmed Pacific Oysters (*Crassostrea gigas*). **Environments**, v. 12, n. 8, p. 254, 2025.

NOLASCO, R. et al. Microplastics in the digestive tract of commercial fish from the Northeast Atlantic Ocean. **Marine Pollution Bulletin**, v. 177, 113531, 2022.

NUNES, F. L. D. et al. Phylogeography of the reef-building polychaetes of the genus *Phragmatopoma* in the western Atlantic Region. **Journal of Biogeography**, v. 44, n. 7, p. 1568–1580, 2017.

OCCHIONI, G. E.; BRASIL, A. C. S.; ARAÚJO, A. F. B. Morphometric study of *Phragmatopoma caudata* (Polychaeta: Sabellida: Sabellariidae). **Zoologia**, v. 26, n. 4, p. 739–746, 2009.

PETRACCO, M.; ROSA FILHO, J. S.; AVIZ, D. *Sabellaria wilsoni* Lana and Gruet, 1989 on the Brazilian Amazon coast: fast growth with high mortality, production, and turnover rate. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 309, 108960, 2024.

PLASTICS EUROPE. **Plastics – the Facts 2023**. Brussels: PlasticsEurope, 2023. Disponível em: <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2023/12/Plastics-the-Facts-2023.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2025.

PRATA, J. C. et al. Methods for sampling and detection of microplastics in water and

sediment: A critical review. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 110, p. 150-159, 2019.

RANI-BORGES, B. et al. Unveiling the hidden threat of microplastics to coral reefs in remote South Atlantic islands. **Science of The Total Environment**, v. 897, 165401, 2023.

READMAN, J. W. et al. Estuarine and Marine Pollutants. In: HESTER, R. E.; HARRISON, R. M. (org.). **Marine Pollution and Human Health**. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2011.

RIISGÅRD, H. U. (ed.). Filter-Feeding in Marine Invertebrates. Basel: MDPI, 2023.

SANTOS, S. N. et al. Reefs of *Brachidontes exustus* and *Petalochonchus* spp. as traps and sink for microplastics in tropical coastal areas. **Marine Pollution Bulletin**, v. 214, p. 117706, 2025.

SCHUAB, J. M. et al. Abundance of microplastic in different coastal areas using *Phragmatopoma caudata* (Kroyer in Morch, 1863) (Polychaeta: Sabelariidae) as an indicator. **Marine Pollution Bulletin**, v. 187, p. 114578, 2023.

SHIM, W. J. et al. Identification and quantification of microplastics using Nile Red staining. **Marine Pollution Bulletin**, v. 113, n. 1-2, p. 469–476, 2016.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Spectrometric identification of organic compounds**. 7. ed. New York: J. Wiley, 2005.

SMITH, B. C. Infrared spectroscopy of polymers, VIII: polyesters and the rule of three. **Spectroscopy**, v. 37, n. 10, p. 25-28, 2022.

TALSNESS, C. E. et al. Components of plastic: experimental studies in animals and relevance for human health. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 2079–2096, 2009.

TEUTEN, E. L. et al. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 2027-2045, 2009.

TEXTILE EXCHANGE. **Preferred Fiber & Materials Market Report 2023**. 2023.

THOMPSON, R. C. et al. Lost at sea: where is all the plastic? **Science**, v. 304, n. 5672, p. 838, 2004.

THOMPSON, R. C. et al. Our plastic age. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1973–1976, 2009.

THOMPSON, R. C. et al. Twenty years of microplastic pollution research—what have we learned? **Science**, v. 386, n. 6724, ead12746, 2024.

THUSHARI, G. G. N.; SENEVIRATHNA, J. D. M. Plastic pollution in the marine environment. **Heliyon**, v. 6, n. 8, e04709, 2020.

UURASJÄRVI, E. et al. Microplastics in the surface waters of the Baltic Sea. **Marine**

Pollution Bulletin, v. 153, 110972, 2020.

VASCONCELOS, E. R. T. P. P. **Macroalgas marinhas como ferramenta de avaliação do estado de conservação de ambientes recifais em Pernambuco**. 2016. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

VEERASINGAM, S. et al. Contributions of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: A review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 51, n. 22, p. 2681-2743, 2021.

VIANELLO, A. et al. Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 130, p. 54-61, 2013.

VINN, O. Ultrastructure and mineral composition of serpulid tubes (Polychaeta, Annelida). **Zoological Journal of the Linnean Society**, v. 154, n. 4, p. 651–662, 2008.

VITORIO, E. L.; SILVA, T.; VILELA, I.; SANTOS, E.; VELEDA, D. Interannual rainfall variability in Northeast Brazil influenced by Pacific and Atlantic climate modes. **Dynamics of Atmospheres and Oceans**, v. 112, 101596, 2025.

WALDSCHLÄGER, K.; SCHÜTTRUMPF, H. Settling velocity of microplastic particles of different shape. **Environmental Science & Technology**, v. 53, n. 22, p. 13219-13227, 2019.

WILLANS, M. et al. Development of a rapid detection protocol for microplastics using reflectance-FTIR spectroscopic imaging and multivariate classification. **Environmental Science: Advances**, v. 2, p. 663–674, 2023.

WOODALL, L. C. et al. The deep sea is a major sink for microplastic debris. **Royal Society Open Science**, v. 1, n. 4, 140317, 2014.

ZITKO, V.; HANLON, M. Another source of pollution by plastics: Skin cleaners with plastic scrubbers. **Marine Pollution Bulletin**, v. 22, n. 1, p. 41-42, 1991.