

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
Programa de Pós-graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos

INGREDY DA SILVA

**DISTRIBUIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MACRO E MICROPLÁSTICO EM
ECOSSISTEMAS COSTEIROS**

MACEIÓ-ALAGOAS

Abril/2025

INGREDY DA SILVA

**DISTRIBUIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MACRO E MICROPLÁSTICO EM
ECOSSISTEMAS COSTEIROS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, área de concentração em Conservação da Biodiversidade Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Robson Guimarães dos Santos
Coorientador: Dr. Ricardo Jessouroun de Miranda

MACEIÓ - ALAGOAS
Abril/2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 - 1767

S586d Silva, Ingedy da.

Distribuição e caracterização do macro e microplástico em ecossistemas costeiros /
Ingedy da Silva. – 2025.
66 f. : il.

Orientador: Robson Guimarães dos Santos.

Co-orientador: Ricardo Jessouroun de Miranda.

Dissertação (mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos. Maceió, 2025.

Bibliografia: f. 60-66.

1. Poluição por plásticos. 2. Recifes de corais. 3. Áreas costeiras. I. Título.

CDU: 574


Folha de aprovação

Ingredy da Silva


DISTRIBUIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MACRO E MICROPLÁSTICO EM ECOSSISTEMAS COSTEIROS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS na área da Biodiversidade.


Dissertação aprovada em 02 de abril de 2025.

Documento assinado digitalmente
 **ROBSON GUIMARAES DOS SANTOS**
Data: 02/04/2025 18:22:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr.^(a) Robson Guimarães dos Santos/UFAL
(orientador)


Documento assinado digitalmente
 **CLAUDIO LUIS SANTOS SAMPAIO**
Data: 03/04/2025 09:30:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr.^(a) – Claudio Luís Santos Sampaio

Documento assinado digitalmente
 **GUILHERME RAMOS DEMETRIO FERREIRA**
Data: 03/04/2025 08:16:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr.^(a) Ricardo Jessouroun de Miranda
(coorientador)

Dr.^(a) – Guilherme Ramos Demétrio Ferreira

Documento assinado digitalmente
 **RYAN CARLOS DE ANDRADES**
Data: 02/04/2025 23:29:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr.^(a) Ryan Carlos Andrades

MACEIÓ - AL

Abril/2025

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho às três Marias da minha vida.
Maria Iêda, Maria Hilda e Maria José (in
memoriam), minhas maiores incentivadoras.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha força e refúgio nos momentos difíceis e ansiosos. A mim por levar esta jornada com força e paciência, apesar de em muitos momentos querer desistir. Estou orgulhosa de onde cheguei e do que me tornei depois daqui.

A Universidade Federal de Alagoas e ao Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde por mais uma experiência de muito conhecimento adquirido ao longo desses dois anos que me permitiram ser uma profissional ainda melhor.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Robson Guimarães dos Santos, pelo acolhimento em mais uma etapa da minha formação no agora ECOA Lab, pelo enriquecimento no meu conhecimento, pelo exemplo de profissional e inspiração como pesquisador, espero ainda e um dia me tornar metade do que é.

Aos meus colegas de laboratório, em especial Priscilla Oliveira, Lúcia Vanessa, Raíla Maria e Thaila Myrella, que além de parceiras na pesquisa, foram casa e amizade ao longo deste projeto, amo vocês. Aos demais companheiros de laboratório por terem me ajudado em mais essa jornada, me acompanhando em cada campo, separando e planilhando cada amostra junto comigo por meses a fio.

As minhas amigas de graduação e vida, mais uma vez, Thayná Félix e Ana Beatriz Silva Melo, que suavizaram esta jornada quando precisei, foram apoio pessoal e profissional nos campos e por acompanharem junto comigo cada passo das minhas conquistas profissionais. Amo vocês e todas as memórias que construímos.

Aos meus amigos de turma, Afonso Xavier, Mariana Anélia, Alícia Torres, Emilly Valentim e Milene Kelly. O que seria de mim esses dois anos sem vocês! Obrigada por compartilharem essa jornada comigo.

Agradeço ainda mais as três mulheres mais importantes da minha vida, as minhas três Marias: Maria Iêda, Maria Hilda e Maria José (*in memoriam*). Pelo que há de mais valioso, à vida, o amor e a educação. Essa etapa se iniciou com a sua partida, vó. E ela será finalizada em sua memória e por todo o amor e saudade que carrego em meu peito, sua neta vai ser mestra. Obrigada por acreditarem que posso chegar tão longe, que posso ganhar o mundo, por me guiarem onde quer que estejam e serem minha base, por todo incentivo, paciência e por me transformarem no que sou hoje, eu amo vocês.

E, por fim, agradeço a todas as outras pessoas que contribuíram para mais uma etapa da minha formação. Os financiadores desta pesquisa, aos professores e a todos que contribuíram com a minha formação acadêmica e pessoal, apoio e amor.

RESUMO

A poluição por plástico se tornou uma ameaça ao nosso planeta nos últimos anos. Devido ao seu baixo custo, propriedades físico-químicas e durabilidade, o plástico tem sido amplamente utilizado em toda a sociedade, tornando-se onipresente em nossa vida e nos mais diversos ecossistemas, causando diversos danos, tanto aos ecossistemas quanto para as atividades econômicas e sociais como o turismo e a pesca local. A praia da Ponta Verde é um dos principais corredores turísticos e de alto adensamento populacional do estado de Alagoas. Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar o acúmulo de plástico nos ecossistemas costeiros, identificando suas principais fontes e potenciais fatores que influenciam o seu acúmulo. A presença do plástico foi avaliada em quatro diferentes ecossistemas, são eles: (1) Praia arenosa, (2) Recifes de coral (substrato e superfície da água) e (3) Banco de lama. O microplástico foi coletado na praia arenosa e recifes de coral apenas. Para avaliar diferenças na composição do macro e microplástico entre os diferentes ecossistemas, foi aplicada a análise de Similaridade ANOSIM e para avaliar as forças que influenciam a dispersão e acúmulo de plástico nos diferentes ecossistemas, utilizamos dados de variáveis ambientais e antrópicas utilizando Modelos Lineares Generalizados (GLM). Um total de 8.855 itens foram coletados nos diferentes ecossistemas descritos neste estudo e classificados de acordo com seu material, tipo de plástico e possível origem. Apesar da notável diferença na quantidade de itens entre os ecossistemas, a prevalência de itens plásticos foi semelhante em todos. A Praia arenosa apresentou 83,96% de seus itens classificados como plástico, com o tipo Filme sendo prevalente. No Recife de coral, 83,18% dos itens foram classificados como plástico. Destes plásticos, os tipos Filme e Rígido foram os que mais se destacaram. Assim como nos dois ecossistemas já citados, a Superfície da água obteve uma alta porcentagem de itens plásticos, dentro dessa classificação, a maior porcentagem foi para itens Não Identificados quanto ao tipo de plástico, seguido dos tipos Filme e Rígido. Os resultados obtidos a partir do teste ANOSIM revelam uma diferença significativa na composição do plástico entre os ecossistemas analisados ($R=0.483$; $p=0.001$), o que indicou que as amostras dentro de cada ecossistema são consideravelmente mais similares entre si do que quando comparados entre eles. Os resultados obtidos a partir dos Modelos Lineares Generalizados (GLM) indicaram que, de modo geral, em todos os ecossistemas, o vento e as ondas foram estatisticamente significativos para distribuição e acúmulo do plástico. No entanto, ao analisar separadamente cada ecossistema, padrões distintos foram apresentados. A prevalência do plástico sobre os demais resíduos antropogênicos pode estar relacionada com suas altas taxas de produção, que crescem ainda mais a cada ano, e sua persistência nos ambientes pode desencadear uma série de efeitos negativos, afetando principalmente os diversos organismos. Os achados deste estudo destacam que o acúmulo e distribuição do plástico se dá através de formas distintas, com as principais forças atuantes sobre elas sendo os ventos, ondas e principalmente as atividades antrópicas como turismo e pesca. A partir disto, os resultados obtidos nesta pesquisa serão fundamentais para subsidiar estratégias de manejo e mitigação da poluição por plástico em uma área tão atrativa turisticamente.

Palavras-chave: Poluição por plástico, recifes de corais, áreas costeiras

ABSTRACT

Plastic pollution has become a threat to our planet in recent years. Due to its low cost, physical-chemical properties and durability, plastic has been widely used throughout society, becoming ubiquitous in our lives and in the most diverse ecosystems, causing several damages, both to ecosystems and to economic and social activities such as tourism and local fishing. Ponta Verde beach is one of the main tourist corridors and with high population density in the state of Alagoas. Therefore, this study aimed to evaluate the accumulation of plastic in coastal ecosystems, identifying its main sources and potential factors that influence its accumulation. The presence of plastic was evaluated in four different ecosystems, namely: (1) Sandy beach (2) Coral reefs (substrate and water surface) and (3) Mud bank. Microplastic was collected on the sandy beach and coral reefs only. To assess differences in the composition of macro and microplastics between the different ecosystems, ANOSIM Similarity analysis was applied, and to assess the forces that influence the dispersion and accumulation of plastic in the different ecosystems, we used data from environmental and anthropogenic variables using Generalized Linear Models (GLM). A total of 8,855 items were collected in the different ecosystems described in this study and classified according to their material, type of plastic and possible origin. Despite the notable difference in the amount of items between the ecosystems, the prevalence of plastic items was similar in all. Sandy Beach had 83.96% of its items classified as plastic, with Film types being prevalent. In Coral Reef, 83.18% of the items were classified as plastic. Of these plastics, Film and Rigid types were the most prominent. As in the two ecosystems mentioned above, the Water Surface had a high percentage of plastic items. Within this classification, the highest percentage was for items that were not identified as to the type of plastic, followed by the Film and Rigid types. The results obtained from the ANOSIM test revealed a significant difference in the composition of the plastic between the ecosystems analyzed ($R=0.483$; $p=0.001$), which indicated that the samples within each ecosystem are considerably more similar to each other than when compared between them. The results obtained from the Generalized Linear Models (GLM) indicated that, in general, in all ecosystems, wind and waves were statistically significant for the distribution and accumulation of plastic. However, when analyzing each environmental ecosystem separately, distinct patterns were presented. The prevalence of plastic over other anthropogenic waste may be related to its high production rates, which are growing even more each year, and its persistence in the environment can trigger a series of negative effects, mainly affecting various organisms. The findings of this study highlight that the accumulation and distribution of plastic occurs through different forms, with the main forces acting on them being winds, waves and mainly anthropogenic activities such as tourism and fishing. Based on this, the results obtained in this research will be fundamental to support strategies for managing and mitigating plastic pollution in such an attractive area for tourism.

Keywords: Plastic pollution, coral reefs, coastal areas

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1: Fontes do microplástico.....17

Figura 2: A dinâmica do plástico entre os diferentes ecossistemas.....19

DISTRIBUIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MACRO E MICROPLÁSTICO EM ECOSISTEMAS COSTEIROS

Figura 3: Recifes da Ponta Verde – Maceió, Alagoas, área de estudo. Os pontos de coleta na praia arenosa são formados por 10 transectos identificados pela sigla TA = Transectos Areia e o número que o segue. Os pontos de coleta no recife de coral são formados por 15 transectos identificados pela sigla TR = Transectos Recife e o número que os segue. Os pontos de coleta nos bancos de lama são formados por 4 pontos identificados pela sigla P = Ponto e o número que os segue..... 32

Figura 4: Esquema ilustrativo dos procedimentos metodológicos empregados nas amostragens. As siglas apresentadas representam a identificação de cada ponto de coleta, TA = Transecto Areia, TR = Transecto Recife.....34

Figura 5: Esquema ilustrativo da classificação do macroplástico na praia arenosa, recife de coral, banco de lama e superfície da água. Cada cor representa as classificações utilizadas no estudo.....35

Figura 6: O tipo de material encontrado na praia arenosa, recife de coral, superfície da água e banco de lama. Os materiais encontrados foram plásticos, papel, metal, tecido, vidro, outros (que incluem Fragmentos de material de construção como cerâmicas e madeiras) e itens Não Identificados (NI) quanto ao tipo material. Os valores estão apresentados em porcentagem e as cores seguem as classificações listada na Figura 5.....38

Figura 7: Os principais itens não plásticos encontrados na praia arenosa, recife de coral, superfície da água e banco de lama. As barras empilhadas apresentam os itens encontrados em cada ecossistema com base em seus valores absolutos.....39

Figura 8: Densidade de itens plásticos na praia arenosa, recife de coral, superfície da água e banco de lama. O gráfico apresenta as médias (pontos centrais nos *violin plots*), desvio padrão (barras) e a concentração dos dados (áreas mais alargadas no *violin plots*) nos transectos em cada mês de amostragem.....40

Figura 9: Os diferentes tipos de plásticos encontrados na praia arenosa, recife de coral, superfície da água e banco de lama. As barras empilhadas apresentam os tipos de plástico em porcentagens, cada cor representa os tipos de plástico de acordo com a Figura 5..... 41

Figura 10: Caracterização do macroplástico nos diferentes ecossistemas analisados. Cada anel apresenta 4 segmentos, representando cada ecossistema analisado. De dentro para fora, os anéis representam o tipo de plástico e a possível origem dos itens coletados e os tamanhos representam as contagens dos itens em cada ecossistema.....42

Figura 11: Macroplástico encontrado nos diferentes ecossistemas. (a) ao (i) macroplástico coletado na praia arenosa, recifes de coral e banco de lama contabilizado e caracterizado no laboratório, (k)

apetrecho de pesca abandonado capturado pela imagem do drone (l) embalagem capturada pela imagem do drone (m) área de ancoragem de barcos com resíduos no sedimento (n) câmara de ar coletada no recife de coral(o) embalagem na praia arenosa (p) Fragmento plástico coletado junto ao arrasto.....43

Figura 12: A composição do macroplástico encontrado na praia arenosa, recife de coral, superfície da água e banco de lama. As barras apresentam a quantidade de cada um dos principais itens encontrados em cada ecossistema analisado com base em seus valores absolutos.....44

Figura 13: Gráfico de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS) demonstrando a diferença entre o tipo de plástico nos ecossistemas analisados.....45

Figura 14: Variáveis ambientais que influenciam o plástico na praia arenosa, recife de coral, superfície da água e banco de lama. As variáveis preditoras, velocidade do vento e intervalo das ondas são representadas nos gráficos, as Linhas mostram que quanto maior o intervalo entre as ondas e maior a velocidade do vento, maior será a distribuição do plástico entre os ecossistemas.....46

Figura 15: Variáveis preditoras que influenciam o acúmulo e distribuição dos tipos de plástico na praia arenosa. Atividades turísticas apresentam relação positiva para o acúmulo de plástico Rígido na praia arenosa. As variáveis ambientais Velocidade do vento e ondas apresentam relação significativa com as distribuições de plástico do tipo Linha e Filme.....47

Figura 16: Caracterização do microplástico nos diferentes ecossistemas analisados. Cada anel apresenta 2 segmentos, representando cada ecossistema analisado. De dentro para fora, os anéis representam o tipo de plástico dos itens coletados e os tamanhos representam as contagens dos itens em cada ecossistema.....49

Figura 17: Microplástico encontrado nos diferentes ecossistemas. (a) Microesfera de isopor, (b) microesfera de isopor, (c) Floco de tinta de embarcação encontrada nas amostras da praia arenosa, (d), (e) e (f) fibra sintética encontrados nas amostras da Recife de coral, (g) Fragmento, (h) emaranhado de fibra sintética (i) fibra sintética.....50

Figura 18: Gráfico de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS) demonstrando a diferença entre o tipo de microplástico nos ecossistemas analisados.....51

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Plástico: Da inovação à emergência ambiental.....	14
2.2 Classificação e caracterização do plástico.....	15
2.3 Distribuição do plástico em ecossistemas costeiros.....	17
2.4 Poluição por plástico e seus reflexos ambientais e socioeconômicos em ambientes costeiros marinhos.....	19
REFERÊNCIAS	22
3 DISTRIBUIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MICRO E MACROPLÁSTICO EM ECOSISTEMAS COSTEIROS	27
3.1 Introdução	27
3.2 Material e Método	31
3.2.1 Área de estudo.....	31
3.2.1.1 Caracterização da área.....	31
3.2.2 Coleta de dados nos diferentes ecossistemas.....	32
3.2.2.1 O macroplástico na praia arenosa.....	32
3.2.2.2 O macroplástico no recife de coral: superfície da água.....	33
3.2.2.3 O macroplástico no recife de coral: substrato.....	33
3.2.2.4 O macroplástico no banco de lama.....	33
3.2.2.5 O microplástico na praia arenosa.....	33
3.2.2.6 O microplástico no recife de coral.....	34
3.2.3 Análise de dados.....	34
3.2.3.1 Análise do macroplástico nos diferentes ecossistemas.....	34
3.2.3.2 Análise do microplástico nos diferentes ecossistemas.....	36
3.2.3.3 Análise estatística.....	37
3.3 Resultados	38
3.3.1 Material dos resíduos antropogênicos nos diferentes ecossistemas.....	38
3.3.2 Densidade e composição do macroplástico nos diferentes ecossistemas.....	40
3.3.3 Uso original do macroplástico nos diferentes ecossistemas.....	44
3.3.4 A similaridade do macroplástico nos diferentes ecossistemas.....	45

3.3.5	Influências na distribuição e acúmulo de macroplástico nos diferentes ecossistemas.....	46
3.3.6	Densidade e composição microplástico nos diferentes ecossistemas.....	48
3.4	Discussão.....	52
3.4.1	O macroplástico nos diferentes ecossistemas.....	52
3.4.2	O microplástico nos diferentes ecossistemas.....	55
3.5	Conclusões.....	59
REFERÊNCIAS	60

1 APRESENTAÇÃO

A presente dissertação é composta de dois capítulos, o primeiro deles apresenta uma revisão de literatura acerca da poluição por plástico nos ecossistemas costeiros e quais os impactos econômicos, sociais e ecológicos desta poluição. O segundo capítulo desta dissertação é oriundo da pesquisa realizada durante o período de mestrado (2023-2025) desenvolvida no Laboratório de Ecologia e Conservação no Antropoceno – ECOA Lab, para o Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos – PPG DIBICT, ambos da Universidade Federal de Alagoas.

O primeiro capítulo divide-se em quatro partes, intituladas “Plástico: da Inovação à emergência ambiental”, “Classificação e caracterização do Macro e microplástico”, “Distribuição do plástico em ecossistemas costeiros” e “Poluição por plástico e seus reflexos ambientais e socioeconômicos em ambientes costeiros marinhos”. A primeira parte aborda o histórico da produção do plástico e como ele se tornou um dos principais poluentes do mundo, a segunda e terceira partes abordam suas principais características, classificações, os principais métodos para identificação do plástico, além das forças que podem impulsionar sua distribuição e acúmulo nos diferentes ecossistemas, a quarta e última parte aborda os principais efeitos da poluição por plástico nos ecossistemas e na sociedade atual.

O segundo capítulo intitulado “DISTRIBUIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MACRO E MICROPLÁSTICO EM ECOSSISTEMAS COSTEIROS”, apresenta os principais resultados obtidos a partir da coleta de mais de 8 mil resíduos antropogênicos em um ecossistema costeiro da capital do Estado de Alagoas, a praia de Ponta Verde. A caracterização foi realizada conforme o tipo de material, forma e uso original para o macro e microplástico provenientes de coletas mensais no período de 2023-2024 nos seguintes ecossistemas: praia arenosa, recife de coral (substrato e superfície da água) e bancos de lama. Desta caracterização foram realizados testes estatísticos como o ANOSIM e Modelos Lineares Generalizados (GLM) para uma análise sobre a relação e conectividade do plástico nos diferentes ecossistemas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Plástico: Da Inovação à Emergência Ambiental

Com o objetivo de encontrar uma solução para a escassez de matéria-prima para a produção de plástico natural, amplamente utilizada ao longo dos séculos, o químico e inventor britânico Alexander Parkes apresentou em 1862, a parkesina, um novo material plástico orgânico derivado da nitrocelulose (Bijker, 1987; Lintsen et al., 2017). Essa invenção abriu portas para que outros inventores da época explorassem as possibilidades envolvendo o nitrato de celulose para a produção de filmes transparentes sólidos e moldáveis, sendo este, o primeiro passo para o desenvolvimento dos plásticos sintéticos (Bijker, 1987). Buscando aprimorar a parkesina, em 1869, o inventor norte-americano John Wesley Hyatt simplificou o processo de produção de celuloide, considerado o primeiro polímero sintético industrial e um substituto para o plástico natural, que tinham alto custo de produção (Bijker, 1987; Lintsen et al., 2017).

Com a virada do século, em 1907, Leo Baekeland desenvolveu o primeiro plástico comercial feito de componentes sintéticos, chamado “Baquelite”, que é produzido a partir da combinação por polimerização de fenol (C_6H_5OH) e formaldeído (HCHO) (Bijker, 1987; Napper & Thompson, 2020). Contudo, a descoberta do plástico sintético e sua fabricação em escala industrial ganhou impulso significativo apenas durante a Segunda Guerra Mundial, período em que surgiram polímeros essenciais como o polietileno (PE) e o poliestireno (PS), amplamente utilizados até os dias atuais (Lintsen et al., 2017; Zhang et al., 2022; Pilapitiya & Ratnayake, 2024).

O término da guerra não desacelerou a produção plástica, pelo contrário, a indústria expandiu-se rapidamente, principalmente entre a década de 1950 e 1960, dando origem a novos materiais, como o poliéster e o polipropileno (PP), este último um dos polímeros mais produzidos e consumidos no mundo (Barboza et al., 2019; Lechthaler et al., 2020; Napper & Thompson, 2020; Santos et al., 2021; Rellán et al., 2023). O plástico consolidou-se como uma commodity barata, versátil e de fácil fabricação, sendo incorporado em praticamente todos os setores da economia, incluindo medicina, transporte, tecnologia, embalagens e construção civil (Napper & Thompson, 2020). Atualmente, a produção global de plástico está em cerca de 400 milhões de toneladas por ano, e estima-se que esta produção chegue a 33 bilhões de toneladas até 2050 (Rochman et al., 2013; Stegmann et al., 2022).

Embora o plástico tenha trazido inúmeros benefícios econômicos e avanços tecnológicos, seu uso desenfreado, a utilização massiva de itens descartáveis e a baixa eficiência

na reciclagem resultaram em uma crise ambiental sem precedentes (Macleod et al., 2021), caracterizada pelo acúmulo de resíduos plásticos no meio ambiente (Napper & Thompson, 2020; Stegmann et al., 2022; Rellán et al., 2023). Desde meados da década de 1980, os impactos ambientais do plástico começaram a ganhar atenção científica, especialmente nos ambientes marinhos, onde detritos plásticos eram observados flutuando nos oceanos e acumulando-se em praia remotas (Napper & Thompson, 2020; Long et al., 2022). Além disso, cresciam os registros de animais marinhos afetados, tanto por ingestão acidental quanto por emaranhamento nesses resíduos (Van Franeker, 1985; Blockstein, 1988; Auman et al., 1997).

A preocupação com a poluição por plástico se intensificou entre os anos de 1990 e 2000, com a presença dos microplásticos em ambientes aquáticos (Furness, 1985; Rilling, 2012). Estudos demonstraram que essas partículas podem ser ingeridas por organismos marinhos sendo transferido ao longo da cadeia alimentar, chegando ao ser humano, levantando preocupações não apenas ambientais, mas também de saúde pública (Chubarenko et al., 2020; Siddiqui et al., 2023; Eze et al., 2024). Devido à alta persistência no meio ambiente, o plástico pode levar de décadas a séculos para se degradar naturalmente, tornando seu acúmulo inevitável nos ecossistemas (De Vita & Giannuzi, 2019; D'Souza et al., 2020; Macleod et al., 2021).

Como destacado por Macleod e colaboradores (2021), o plástico configura-se como um poluente de difícil reversão, tanto pela contínua e crescente emissão global quanto pela sua longa permanência no ambiente. Diante desse cenário, o plástico, antes celebrado como uma revolução industrial e tecnológica, passou a ser conhecido como um dos maiores desafios ambientais do século XXI. A necessidade de estratégias eficazes para reduzir sua produção, minimizar seu descarte inadequado e mitigar seus impactos torna-se, portanto, uma prioridade urgente para governos, cientistas e sociedade como um todo.

2.2 Classificação e caracterização do Macro e microplástico

A poluição por plástico é composta por uma ampla variedade de detritos, que podem ser classificados com base em sua composição, tamanho e origem (Chatuverdi et al., 2020). O plástico é composto de uma gama de polímeros, e a classificação destes polímeros é baseada em sua origem, propriedades térmicas e mecânicas, uso final e configuração molecular (Desidery & Lanotte, 2022). Os polímeros plásticos mais importantes e comumente utilizados são classificados como termoplásticos (Vegt, 2006). Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Cloreto de polivinila (PVC), Poliestireno (PS), Poliamida (PA) e Tereftalato de polietileno

(PET) são utilizados principalmente na produção de embalagens, garrafas, fibras, canos e calhas, para isolamento térmico, além de fibras têxteis (Vegt, 2006; Bjorkner et al., 2011).

Já com base em seu tamanho, o plástico é categorizado em cinco diferentes classes: megaplásticos (>50 cm), macropásticos (2,5 a 50 cm), mesoplásticos (0,5 a 2,5 cm), micropásticos (0,1 µm a 5 mm) e nanoplásticos (<0,1 µm) (Rhodes, 2018). Os mega e macropásticos compreendem itens de grande porte, como embalagens de alimentos, garrafas, sacolas plásticas e outros resíduos de descarte comum, frequentemente encontrados em ambientes terrestres e aquáticos (Tursi et al., 2022). Esses detritos são altamente visíveis e constituem a principal fonte de fragmentação que origina partículas menores, como os mesoplásticos, que são uma categoria intermediária entre macros e micropásticos (Lechthaler et al., 2020). Em geral, mesoplásticos são compostos de Fragmentos e alguns deles podem ter origem definida, como Fragmentos de embalagem (Lee et al., 2017).

Os micropásticos, por sua vez, podem ser divididos em duas categorias principais: primários e secundários. Os micropásticos primários são fabricados intencionalmente nesse tamanho reduzido para diversas aplicações industriais e comerciais, incluindo cosméticos, produtos de higiene pessoal e materiais abrasivos usados em processos industriais, e são mais frequentemente produzidos com PE, PP e PS (Walker & Frequet, 2023) (Figura 1). Estes Fragmentos comumente chegam ao ambiente por meio de efluentes de estações de tratamento de esgoto ou de derramamentos acidentais. Já os micropásticos secundários resultam da degradação de detritos plásticos maiores, como sacolas e garrafas descartadas no ambiente, devido à exposição a processos naturais como ação mecânica (ondas e vento), radiação ultravioleta e degradação química (Rilling, 2012; Massos & Turner, 2017; Thusari & Senevirathna, 2020). As menores partículas plásticas, denominadas nanoplásticos, são produzidas involuntariamente a parte da degradação de meso e micropástico (Walker e Frequet, 2023). Estas partículas vão parar no ambiente por diversas fontes, como lavagem de roupas, através do ar e de tintas látex e acrílicas, por exemplo (Walker e Frequet, 2023).

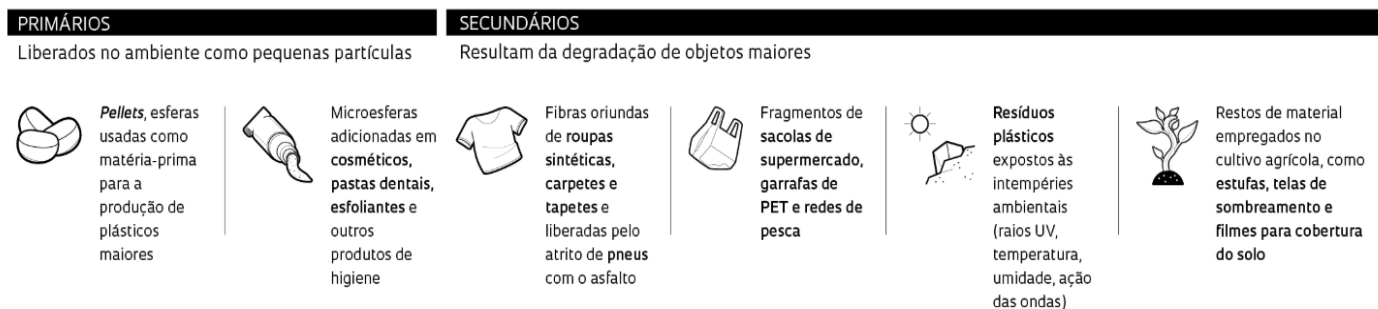


Figura 1: Fontes do microplástico.
Fonte: Adaptado de Chaves (2019).

Dada a variedade de formas, o plástico, em especial o microplástico, foi descrito utilizando uma diversidade de terminologias, esferas, contas, grânulos, filamentos, fibras, Linhas, Filmes, Espumas e Fragmentos são algumas delas (Lusher et al., 2020). Esses registros morfológicos podem ser valiosos para identificar as potenciais fontes, comportamento e impactos nos ecossistemas (Lusher et al., 2020). Métodos de caracterização incluem técnicas que analisam o tamanho, formato e composição química dos polímeros plásticos (Cverenkárová et al., 2021). A identificação e quantificação desses materiais podem ser realizadas por meio de análises visuais, espectroscópicas e microscópicas (Lenz et al., 2015; Song et al., 2015; Lusher et al., 2020). Com isso, a classificação detalhada dos macros e microplásticos são essenciais para compreender a dinâmica da poluição por plástico, desde sua origem até sua dispersão em diferentes ecossistemas costeiros (ou seja, seções dos ecossistemas costeiros onde materiais, substâncias e organismos se distribuem e interagem) e seus impactos nestes ecossistemas (Rellán et al., 2023).

2.3 Distribuição do plástico em ecossistemas costeiros

Os processos físicos, químicos e biológicos responsáveis pelo desgaste do plástico promovem sua fragmentação em micropartículas, modificando suas propriedades e comportamento no ambiente (Chubarenko et al., 2020). Essas transformações influenciam diretamente o fluxo, a distribuição e a permanência dos detritos plásticos nos diferentes ecossistemas, moldando seus impactos ecológicos e potenciais riscos à biota (Setala et al., 2018; Macleod et al., 2021).

A interação entre os plásticos e os fatores ambientais é dinâmica e pode ser intensificada por eventos extremos associados às mudanças ambientais. Por exemplo, ventos fortes aumentam a dispersão dos plásticos terrestres para ambientes aquáticos, enquanto chuvas intensas e a elevação do nível do mar podem remobilizar Fragmentos plásticos previamente sedimentados, promovendo sua redistribuição nos ecossistemas (Ford et al., 2022; Schwarz et al., 2023). Além disso, resíduos plásticos são continuamente transportados por efluentes urbanos e cursos d'água interiores, sendo carreadores eficientes de detritos para os oceanos (WAGNER et al., 2019; Birch et al., 2020). Como as bacias hidrográficas atuam como conectores entre ambientes terrestres e marinhos, grandes volumes de plástico são rapidamente transferidos para os oceanos, tornando esses sistemas fontes persistentes de poluição por plástico nos ecossistemas marinhos (WAGNER et al., 2019; Alencar et al., 2023).

O fluxo e a dispersão dos detritos plásticos variam conforme as características da paisagem e do meio em que estão inseridos (Santos et al., 2021). Em ambientes terrestres e aéreos, plásticos leves e microplásticos podem ser transportados por correntes de ar por milhares de quilômetros, atingindo regiões remotas, incluindo áreas polares e de alta montanha (Li et al., 2021). No ambiente marinho, além do transporte atmosférico, microplásticos podem viajar para o oceano e, posteriormente, retornar ao meio terrestre por meio da pulverização do mar, demonstrando a complexidade dos ciclos de redistribuição desses poluentes (Li et al., 2021; Allen et al., 2020; Harris et al., 2023).

Nos sistemas aquáticos, o comportamento dos detritos plásticos depende de sua densidade e da interação com as correntes oceânicas (Barboza et al., 2019; Santos et al., 2021). Aproximadamente metade dos resíduos plásticos flutua na superfície devido à baixa densidade, enquanto os materiais mais densos tendem a afundar e se acumular no fundo oceânico (Setälä et al., 2018). No entanto, processos de intemperismo, como radiação ultravioleta e ação mecânica das ondas, aceleram a degradação e modificação da estrutura dos plásticos, removendo rapidamente macroplásticos da superfície e redistribuindo-os ao longo da coluna d'água e do leito oceânico (Macleod et al., 2021).

Além disso, partículas plásticas menores podem permanecer suspensas na coluna d'água por meio de forças de arrasto e turbulência, sendo incorporadas aos ciclos biogeoquímicos dos oceanos. A formação de biofilmes na superfície dos plásticos pode alterar sua flutuabilidade e facilitar a agregação de partículas, aumentando seu tempo de residência nos ecossistemas marinhos e ampliando sua interação com a biota (Setälä et al., 2018; Li et al., 2021; Macleod et al., 2021). Esses processos reforçam a onipresença dos plásticos no ambiente marinho e destacam sua persistência como um dos desafios ambientais mais complexos da atualidade (Figura 2).

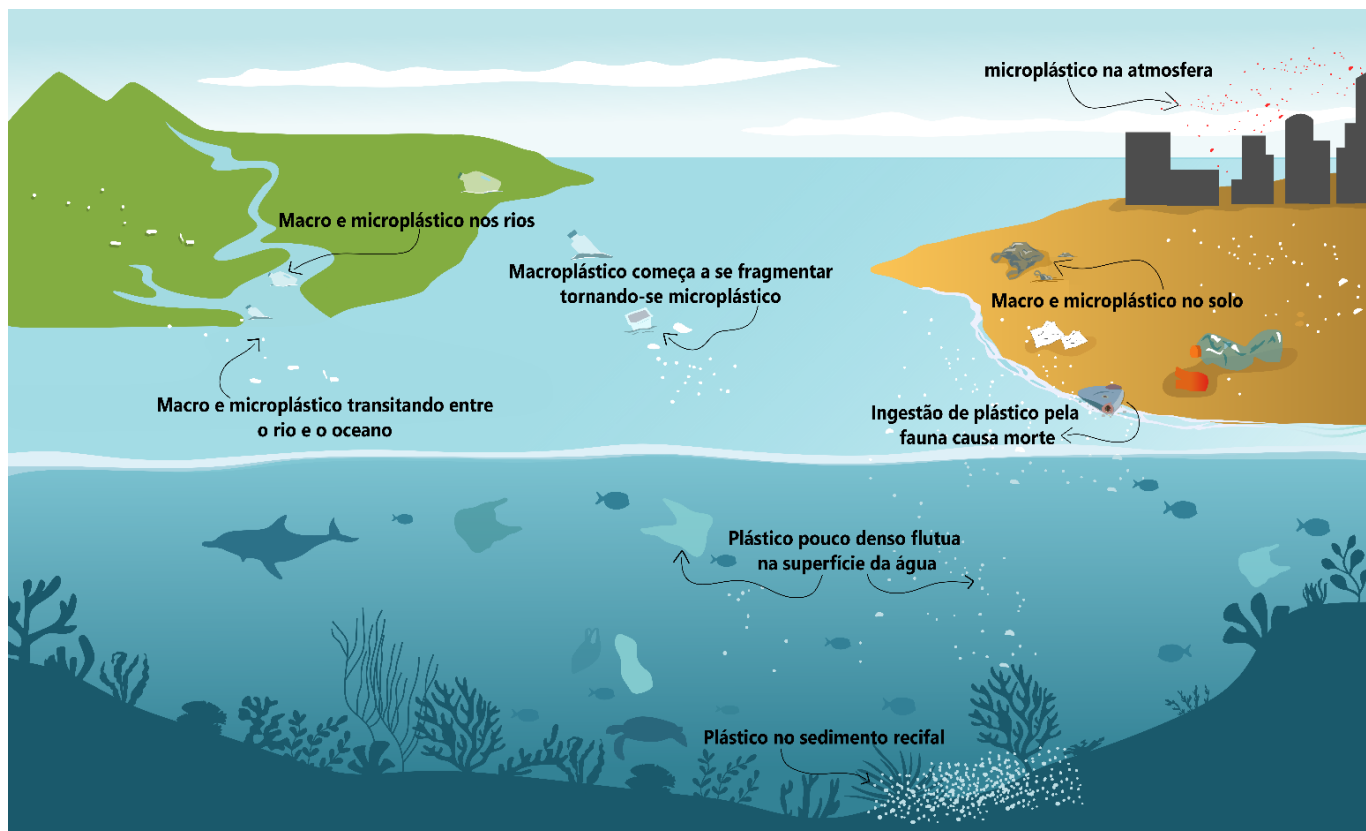


Figura 2: A dinâmica do plástico entre os diferentes ambientes.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

2.4 Poluição por plástico e seus reflexos ambientais e socioeconômicos em ambientes costeiros marinhos

Os detritos plásticos acumulados nos ecossistemas costeiros marinhos causam diferentes impactos aos organismos e processos ecológicos essenciais desses ambientes (Zhang et al., 2023). A fauna marinha é severamente afetada, principalmente por meio da ingestão e do emaranhamento em detritos plásticos (Figura 2) (Thusari & Senevirathna, 2020). Até o momento, 1288 espécies marinhas e 277 espécies de água doce e terrestres são conhecidas por terem ingerido plástico (Santos et al., 2021). Essa ingestão causa, principalmente, bloqueios gastrointestinais, desnutrição e até morte (Ryan, 2016; Thusari & Senevirathna, 2020; Savoca et al., 2021).

O plástico também atua como um vetor para substâncias tóxicas, como metais pesados e contaminantes orgânicos persistentes, que se aderem à superfície dos microplásticos e podem ser absorvidos pelos tecidos dos organismos aquáticos, levando a alterações hormonais, imunossupressão e efeitos reprodutivos (Rochman et al., 2014; Elizalde-Velázquez, 2020; Thusari & Senevirathna, 2020; Savoca et al., 2021). Além disso, a “pesca fantasma”, provocada por redes de pesca feitas de materiais como nylon e polietileno descartadas ou perdidas, captura acidentalmente espécies ameaçadas, como tartarugas marinhas e tubarões, intensificando a pressão sobre as populações marinhas (Lively & Good, 2019; Koziol et al., 2022).

Contudo, não apenas os organismos marinhos sofrem com a poluição por plástico, a vegetação costeira também é impactada. A acumulação de plásticos nos sedimentos das praias pode interferir na germinação de plantas nativas, como a vegetação de restinga, essencial para a estabilização do solo e controle da erosão (Menicagli et al., 2019a; 2019b), e na vegetação de manguezais, que são ambientes de importante papel para a filtragem de escoamento, estoque de carbono, ciclagem de nutrientes, proteção da costa e área para desova e alimentação para diferentes espécies marinhas (Mannulang et al., 2020). Além disso, os microplásticos misturados ao solo podem modificar sua estrutura, afetando a retenção de água e nutrientes e, conseqüentemente, a dinâmica de ecossistemas fragilizados (Chae & An, 2018; Macleod et al., 2021).

As conseqüências da poluição por plástico também ameaçam a saúde humana (Waring et al., 2018). Sua presença em alimentos destinados a consumo humano e em amostragens do ar já foram relatadas (Wright & Kelly, 2017). Além disso, peixes e frutos do mar consumidos por populações costeiras podem conter microplásticos e substâncias tóxicas associadas (Waring et al., 2018; Cverenkárová et al., 2021; Lehel & Murphy, 2021). Estudos apontam que a ingestão contínua desses contaminantes pode estar relacionada a doenças metabólicas, disfunções hormonais e até doenças neurodegenerativas (Waring et al., 2018; Burgos-Aceves et al., 2021; Cverenkárová et al., 2021).

Os impactos socioambientais também são significativos, afetando setores fundamentais para a economia de regiões costeiras que vivem do turismo e da pesca artesanal. O descarte inadequado de resíduos plásticos compromete os ecossistemas marinhos, reduzindo recursos essenciais para diversas atividades econômicas (Thusari & Senevirathna, 2020; Aretoulaki et al., 2021; Hossain et al., 2021). Além disso, o acúmulo de resíduos plásticos em regiões marinho costeiras reduz a atratividade dos destinos turísticos, afetando a economia de comunidades que dependem dessa atividade (Aretoulaki et al., 2021; Hossain et al., 2021).

Diante desse cenário, torna-se urgente o desenvolvimento de estratégias de gestão e mitigação da poluição por plástico nos ambientes costeiros. A pesquisa científica tem um papel fundamental na formulação de políticas públicas eficazes, fornecendo dados sobre a dinâmica dos resíduos plásticos e seus impactos (Thusari & Senevirathna, 2020). Medidas como a melhoria da gestão de resíduos sólidos, campanhas de educação ambiental voltadas para turistas e comunidades pesqueiras, regulação do uso de plásticos descartáveis e fortalecimento da fiscalização ambiental são essenciais para reduzir a contaminação marinha (Eagle et al., 2016; Da Costa et al., 2020; Rellán et al., 2023; Guerrato & Gonçalves, 2025). Somente com a

implementação de soluções baseadas em evidências e com o engajamento coletivo será possível minimizar os impactos desse poluente.

REFERÊNCIAS

- Alencar, M. V., Gimenez, B. G., Sasahara, C., Elliff, C. I., Velis, C. A., Rodrigues, L. S., ... & Turra, A. (2023). Advancing plastic pollution hotspotting at the subnational level: Brazil as a case study in the Global South. *Marine Pollution Bulletin*, 194, 115382.
- ALLEN, D. Allen, K. Moss, G. Le Roux, V.R. Phoenix, J.E. Sonke Examination of the ocean as a source for atmospheric microplastics *PLoS One*, 15 .2020.
- ARETOULAKI, Eleni et al. Marine plastic littering: A review of socioeconomic impacts. *J. Sustain. Sci. Manag*, v. 16, n. 3, p. 277-301, 2021.
- AUMAN, Heidi J. et al. Plastic ingestion by Laysan albatross chicks on Sand Island, Midway Atoll, in 1994 and 1995. *Albatross biology and conservation*, v. 239244, 1997.
- BARBOZA, Luís Gabriel A. et al. Macroplastics pollution in the marine environment. In: **World seas: An environmental evaluation**. Academic Press, 2019. p. 305-328.
- BIJKER, Wiebe E. The social construction of Bakelite: Toward a theory of invention. In: *The social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology*. MIT press, 1987. p. 159-187.
- BIRCH, Quinn T. et al. Sources, transport, measurement and impact of nano and microplastics in urban watersheds. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 19, p. 275-336, 2020.
- BJÖRKNER, Bert et al. Plastic materials. **Contact dermatitis**, p. 695-728, 2011.
- BLOCKSTEIN, David E. Congress tackles ocean plastic pollution. *Bioscience*, v. 38, n. 1, 1988.
- BURGOS-ACEVES, Mario Alberto; ABO-AL-ELA, Haitham G.; FAGGIO, Caterina. Physiological and metabolic approach of plastic additive effects: Immune cells responses. *Journal of hazardous materials*, v. 404, p. 124114, 2021.
- CHAE, Yooeun; AN, Youn-Joo. Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: A review. *Environmental pollution*, v. 240, p. 387-395, 2018.
- CHATURVEDI, S., Yadav, B.P., Siddiqui, N.A., Chaturvedi, S.K., 2020. Mathematical modelling and analysis of plastic waste pollution and its impact on the ocean surface.
- CHUBARENKO, Irina et al. On mechanical fragmentation of single-use plastics in the sea swash zone with different types of bottom sediments: Insights from laboratory experiments. *Marine pollution bulletin*, v. 150, p. 110726, 2020.
- CVERENKÁROVÁ, Klára et al. Microplastics in the food chain. *Life*, v. 11, n. 12, p. 1349, 2021.
- D'SOUZA, Joseph M. et al. Food web transfer of plastics to an apex riverine predator. **Global change biology**, v. 26, n. 7, p. 3846-3857, 2020.

- DA COSTA, João Pinto et al. The role of legislation, regulatory initiatives and guidelines on the control of plastic pollution. *Frontiers in Environmental Science*, v. 8, p. 104, 2020.
- DE VITA, Riccardo Luciano; GIANNUZZI, Anna Giunone. Plastic marine pollution. **Prosperitas**, v. 6, n. 3, p. 23-33, 2019.
- DESIDERY, Luca; LANOTTE, Michele. Polymers and plastics: Types, properties, and manufacturing. In: **Plastic waste for sustainable asphalt roads**. Woodhead Publishing, 2022. p. 3-28.
- EAGLE, Lynne; HAMANN, Mark; LOW, David R. O papel do marketing social, das tartarugas marinhas e do turismo sustentável na redução da poluição por plástico. *Marine pollution bulletin*, v. 107, n. 1, p. 324-332, 2016.
- ELIZALDE-VELÁZQUEZ, Armando et al. In vivo effects on the immune function of fathead minnow (*Pimephales promelas*) following ingestion and intraperitoneal injection of polystyrene nanoplastics. *Science of The Total Environment*, v. 735, p. 139461, 2020.
- EZE, Chukwuebuka Gabriel et al. Contaminação de microplásticos na cadeia alimentar e impacto na saúde humana: uma revisão. *Environmental Chemistry Letters*, v. 22, n. 4, p. 1889-1927, 2024.
- FORD, Helen V. et al. The fundamental links between climate change and marine plastic pollution. **Science of the Total Environment**, v. 806, p. 150392, 2022.
- FURNESS, Robert W. Ingestion of plastic particles by seabirds at Gough Island, South Atlantic Ocean. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, v. 38, n. 3, p. 261-272, 1985.
- GUERRATO, Nicole R.; GONÇALVES, Leandra R. Netting the problem: a comprehensive analysis of marine litter on artisanal fishers. *Frontiers in Ocean Sustainability*, v. 2, p. 1474477, 2025.
- HARRIS, Peter T. e outros. Uma nuvem de plástico marinho - avaliação global do balanço de massa da poluição por plástico oceânica. **Continental Shelf Research**, v. 255, p. 104947, 2023.
- HOSSAIN, Kazi Belayet et al. Socioeconomic relation with plastic consumption on 61 countries classified by continent, income status and coastal regions. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 107, p. 786-792, 2021.
- KOZIOŁ, Anna; PASO, Kristofer Gunnar; KUCIEL, Stanisław. Propriedades e reciclabilidade de resíduos plásticos abandonados à base de redes de pesca. *Catalysts*, v. 12, n. 9, p. 948, 2022.
- LEBRETON, Laurent et al. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific reports*, v. 8, n. 1, p. 4666, 2018.
- LECHTHALER, Simone et al. The way of macroplastic through the environment. *Environments*, v. 7, n. 10, p. 73, 2020.
- LEE, J. et al. Characteristics of meso-sized plastic marine debris on 20 beaches in Korea. *Marine Pollution Bulletin*. v. 123, n. 1-2, p.92-96, out. 2017.

- LEHEL, József; MURPHY, Sathbh. Microplastics in the food chain: food safety and environmental aspects. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* Volume 259, p. 1-49, 2021.
- LENZ, Robin et al. A critical assessment of visual identification of marine microplastic using Raman spectroscopy for analysis improvement. *Marine pollution bulletin*, v. 100, n. 1, p. 82-91, 2015.
- LI, Penghui et al. Characteristics of plastic pollution in the environment: a review. ***Bulletin of environmental contamination and toxicology***, v. 107, p. 577-584, 2021.
- LINTSEN, Harry; HOLLESTELLE, Marijn; HÖLSGENS, Rick. The plastics revolution. How the Netherlands became a global player in plastics. Eindhoven: Stichting Historie der Techniek, 2017.
- LIVELY, Julie A.; GOOD, Thomas P. Ghost fishing. In: *World seas: an environmental evaluation*. Academic Press, 2019. p. 183-196.
- LONG, Zouxia et al. Anthropocene microplastic stratigraphy of Xiamen Bay, China: A history of plastic production and waste management. *Water Research*, v. 226, p. 119215, 2022.
- LUSHER, Amy L. et al. Is it or isn't it: the importance of visual classification in microplastic characterization. *Applied spectroscopy*, v. 74, n. 9, p. 1139-1153, 2020.
- MACLEOD, Matthew et al. The global threat from plastic pollution. *Science*, v. 373, n. 6550, p. 61-65, 2021.
- MANULLANG, Corry Yanti et al. Distribution of plastic debris pollution and its implications on mangrove vegetation. *Marine Pollution Bulletin*, v. 160, p. 111642, 2020.
- MASSOS, Angelo; TURNER, Andrew. Cadmium, lead and bromine in beached microplastics. ***Environmental Pollution***, v. 227, p. 139-145, 2017.
- MENICAGLI, Virginia et al. Adverse effects of non-biodegradable and compostable plastic bags on the establishment of coastal dune vegetation: First experimental evidences. *Environmental pollution*, v. 252, p. 188-195, 2019b.
- MENICAGLI, Virginia; BALESTRI, Elena; LARDICCI, Claudio. Exposure of coastal dune vegetation to plastic bag leachates: a neglected impact of plastic litter. *Science of The Total Environment*, v. 683, p. 737-748, 2019a.
- MITRANO, Denise M.; WICK, Peter; NOWACK, Bernd. Placing nanoplastics in the context of global plastic pollution. ***Nature Nanotechnology***, v. 16, n. 5, p. 491-500, 2021.
- NAPPER, Imogen Ellen; THOMPSON, Richard C. Plastic debris in the marine environment: history and future challenges. *Global Challenges*, v. 4, n. 6, p. 1900081, 2020.
- PILAPITIYA, PGC Nayanathara Thathsarani; RATNAYAKE, Amila Sandaruwan. The world of plastic waste: a review. *Cleaner Materials*, v. 11, p. 100220, 2024.
- RELLÁN, Adriana García et al. Sources, sinks and transformations of plastics in our oceans: review, management strategies and modelling. *Science of the Total Environment*, v. 854, p. 158745, 2023.

- RHODES, Christopher J. Plastic pollution and potential solutions. **Science progress**, v. 101, n. 3, p. 207-260, 2018.
- RILLIG, Matthias C. Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil?. *Environmental Science & Technology*, v. 46, n. 12, 2012.
- ROCHMAN, Chelsea M. et al. Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Science of the total environment*, v. 493, p. 656-661, 2014.
- ROCHMAN, Chelsea M. et al. Classify plastic waste as hazardous. **Nature**, v. 494, n. 7436, p. 169-171, 2013.
- RYAN, Peter G. Ingestion of plastics by marine organisms. **Hazardous chemicals associated with plastics in the marine environment**, p. 235-266, 2016.
- SANTOS, Robson G.; MACHOVSKY-CAPUSKA, Gabriel E.; ANDRADES, Ryan. Plastic ingestion as an evolutionary trap: Toward a holistic understanding. **Science**, v. 373, n. 6550, p. 56-60, 2021.
- SAVOCA, Matthew S.; MCINTURE, Alexandra G.; HAZEN, Elliott L. Plastic ingestion by marine fish is widespread and increasing. **Global Change Biology**, v. 27, n. 10, p. 2188-2199, 2021.
- SCHWARZ, A. E. et al. Plastics in the global environment assessed through material flow analysis, degradation and environmental transportation. **Science of the Total Environment**, v. 875, p. 162644, 2023.
- SETALA, Outi et al. Microplastics in marine food webs. In: **Microplastic contamination in aquatic environments**. Elsevier, 2018. p. 339-363.
- SIDDIQUI, Shahida Anusha et al. Polystyrene microplastic particles in the food chain: Characteristics and toxicity-A review. **Science of the Total Environment**, v. 892, p. 164531, 2023.
- SONG, Young Kyoung et al. A comparison of microscopic and spectroscopic identification methods for analysis of microplastics in environmental samples. **Marine pollution bulletin**, v. 93, n. 1-2, p. 202-209, 2015.
- STEGMANN, Paul et al. Plastic futures and their CO2 emissions. **Nature**, v. 612, n. 7939, p. 272-276, 2022.

THUSHARI, Gajahin Gamage Nadeeka; SENEVIRATHNA, Jayan Duminda Mahesh. Plastic pollution in the marine environment. **Heliyon**, v. 6, n. 8, 2020.

TURSI, A., Baratta, M., Easton, T., Chatzisyneon, E., Chidichimo, F., De Biase, M., De Filpo, G., 2022. Microplastics in aquatic systems, a comprehensive review: origination, accumulation, impact, and removal technologies. *RSC Adv.* 12, 28318–28340.

VAN DER VEGT, A. K. **From polymers to plastics**. Delft: VSSD, 2006.

VAN FRANEKER, J. A. Plastic ingestion in the North Atlantic fulmar. **Marine Pollution Bulletin**, v. 16, n. 9, p. 367-369, 1985.

WAGNER, Stephan et al. Relationship between discharge and river plastic concentrations in a rural and an urban catchment. **Environmental Science & Technology**, v. 53, n. 17, p. 10082-10091, 2019.

WALKER, Tony R.; FEQUET, Lexi. Current trends of unsustainable plastic production and micro (nano) plastic pollution. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 160, p. 116984, 2023.

WARING, Rosemary H.; HARRIS, R. M.; MITCHELL, S. C. Plastic contamination of the food chain: A threat to human health? **Maturitas**, v. 115, p. 64-68, 2018.

WRIGHT, Stephanie L.; KELLY, Frank J. Plastic and human health: a micro issue? **Environmental science & technology**, v. 51, n. 12, p. 6634-6647, 2017.

ZHANG, Feng et al. Food-web transfer of microplastics between wild caught fish and crustaceans in East China Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 146, p. 173-182, 2019.

3 DISTRIBUIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MACRO E MICROPLÁSTICO EM ECOSISTEMAS COSTEIROS

3.1 Introdução

A poluição por plástico se tornou uma ameaça ao nosso planeta nos últimos anos (Borrelle et al., 2020). Devido ao seu baixo custo, propriedades físico-químicas e durabilidade, o plástico tem sido amplamente utilizado em toda a sociedade, tornando-se onipresente em nossa vida e nos mais diversos ecossistemas, sendo encontrado desde a montanha mais alta do planeta, as profundezas dos oceanos, solos, atmosfera e grande parte dos organismos vivos (Law, 2017; Lau et al., 2020; Santos et al., 2021; Zhang et al., 2023).

Nos últimos 60 anos, a industrialização e desenvolvimento das sociedades, bem como o crescimento populacional humano levaram coletivamente a um aumento substancial no uso do plástico (Zhang et al., 2023). Sua produção em escala industrial foi iniciada na década de 40, aumentando exponencialmente nas décadas seguintes, o marco no início da chamada “Era do Plástico”, ou como muitos autores declaram, “Plasticeno” (Barboza et al., 2019; Borrelle et al., 2020). Esta produção culminou na fabricação de novos tipos de plástico e no aumento considerável nas pressões sobre os ecossistemas (Santos et al., 2021). Atualmente, a média anual de sua produção é em torno de 400 milhões de toneladas por ano, onde menos de 10% são reciclados e outras 33 bilhões sendo esperadas até 2050 (Rochman et al., 2013; Matias et al., 2022; Atlas do plástico, 2020). Desses, aproximadamente 11 bilhões podem ser encontradas no meio ambiente (Atlas do plástico, 2020).

Devido à sua persistência no ambiente, com degradação natural na escala de décadas a séculos, o seu acúmulo e contaminação generalizada nos ecossistemas tornou-se inevitável (De Vita & Giannuzi, 2019; Macleod et al., 2021). O mal gerenciamento e destinação de resíduos plásticos após seu uso, resultam em sua chegada nos diversos ambientes (Matias et al., 2022) causando diversos danos aos ecossistemas, bem como para as atividades econômicas e sociais como o turismo e a pesca local por exemplo, contribuindo também para a dispersão de metais pesados e outros poluentes (Rio, 2018; Matias et al., 2022). Devido a esta lenta degradação e ao alto potencial de toxicidade a longo prazo, os danos e impactos relacionados a poluição por plástico podem persistir por décadas, ainda que sua produção e fluxo sejam interrompidos imediatamente, o que torna a poluição por plástico irreversível (Macleod et al., 2021; Zhang et al., 2023).

Quando liberado no ambiente, o plástico passa por processos de intemperismo, como a fotodegradação, contato com o sal e ação das ondas, intensificados em ambientes com alta erosão, como praias arenosas, ocasionando a sua fragmentação em pequenas partículas não visíveis a olho nu (Oliveira et al., 2023; Barboza et al., 2019). Os resultados dessa fragmentação englobam um conjunto heterogêneo de formas, tamanhos e composição química, dando origem as diversas classificações do plástico (Barbosa et al., 2019; Macleod et al., 2021).

No que diz respeito ao seu tamanho, importantes organizações internacionais de poluição marinha, como a Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA) adotaram sua classificação em cinco níveis, são eles: megaplástico (> 50 cm), macropástico (>25 mm a 50 cm), mesoplástico (5 mm – 25 mm) e micropástico (< 5 mm) e nanopásticos (<0,1 µm) (Rhodes,2018). Os grandes detritos são representados principalmente por embalagens de alimentos, garrafas, sacolas e outros itens (Tursi et al., 2022). Já os micropásticos podem ser classificados de duas formas de acordo com sua origem: o micropástico primário, fabricado com uma finalidade específica, geralmente entrando no ambiente por meio esgotos e derramamentos, e o micropástico secundário, derivados da degradação do macropástico ocasionado pela exposição a ventos, ondas ou raios ultravioletas (Massos & Turner et al., 2020).

A dinâmica de resíduos plásticos no ambiente varia entre as paisagens terrestres e aquáticas, sendo moldado pelas propriedades do meio que os circundam (Santos et al., 2021). Em ambientes terrestres, macropásticos leves e micropásticos podem ser transportados pelos ventos por milhares de quilômetros, o que leva sua disseminação para as áreas mais remotas (Li et al., 2021). Esses resíduos podem ainda ser transportados através do escoamento de efluentes e cursos d'água interiores, como as bacias hidrográficas que se conectam aos oceanos (Alencar et al., 2023). A grande quantidade de resíduos que flui por esses ambientes acaba chegando ao oceano com rapidez, tornando-os fontes permanentes de resíduos para os ambientes marinhos (Alencar et al., 2023).

Além dos rios, a linha costeira funciona como uma das principais portas de entrada do plástico para ambientes marinhos (Ryan et al., 2009). Este ecossistema, altamente dinâmico, concentra diferentes atividades humanas e processos naturais que facilitam a introdução do plástico nos ecossistemas adjacentes (Jambeck et al., 2015, Jimenez et al., 2023). Estes ecossistemas são diretamente expostos a múltiplas fontes de resíduos, fazendo com que o acúmulo de plástico seja maior (Windsor et al., 2019). Além disso, a quantidade de plástico na linha costeira pode ser controlada principalmente pela topografia e estrutura sedimentar, que

torna sua incorporação ao sedimento mais receptiva, tornando-se não só a porta de entrada, mas um dos principais sumidouros do plástico (Corcoran et al., 2009; Kuroda et al., 2024).

Nos ambientes aquáticos, o plástico pode estar presente tanto na superfície quanto no fundo marinho (Setala et al., 2018). Aproximadamente metade dos detritos plásticos, com densidades mais baixas, é flutuante, enquanto os mais densos tendem a se depositar rapidamente no fundo, o que facilita a sua ocorrência em todos os oceanos do mundo (Setala et al., 2018; Barboza et al., 2019; Santos et al., 2021). Os processos de intemperismo podem remover o macroplástico inicial flutuante rapidamente da superfície e coluna d'água levando-os para o fundo, onde pode-se sugerir que haja maior quantidade de detritos (Macleod et al., 2021). Já as pequenas partículas plásticas podem permear toda a coluna d'água e superfície por meio de forças de arrasto e turbulência, além de sua incorporação no ciclo biológico (Li et al., 2021).

E uma vez dentro dos ecossistemas, os processos de degradação dificultam sua identificação e remoção. No Brasil, o quarto maior produtor de plástico do mundo (Fundação Heinrich Boll, 2020; Matias et al., 2022), a ocorrência deste resíduo nos ecossistemas costeiros tem sido cada vez mais reportada (Law et al., 2017; Soldoroni et al., 2018; Baia et al., 2020; Matias et al., 2022;). Das 11,3 milhões de toneladas de plástico geradas por ano no país, apenas 1,3% são reciclados (Oliveira et al., 2023) e fatores como esse associado a ausência de gerenciamento adequado e dificuldade na implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) na maioria das cidades litorâneas, são os maiores responsáveis pelos danos relatados (Matias et al., 2022).

Além disso, o Brasil apresenta uma zona costeira com mais de 8 mil km de extensão (Matias et al., 2022), 17 dos seus 27 estados são costeiros e aproximadamente 70% da população brasileira ocupa essas regiões (IBGE, 2018; Oliveira et al., 2023), atuando como as principais geradoras de toneladas de resíduos plásticos (Oliveira et al., 2023). Diversos estudos já demonstraram que a poluição costeira gera uma grande diversidade de impactos negativos (Krelling et al., 2017), no entanto, ainda não se tem uma compreensão clara sobre as fontes, o transporte e a conexão destes resíduos nos diferentes ecossistemas costeiros.

A linha costeira é o primeiro acesso ao oceano e possui logística de coleta de dados mais fácil, constituindo um sistema socioecológico de grande importância sendo o ecossistema mais estudado, juntamente com a superfície e coluna d'água próxima à costa. Em contrapartida, os fundos marinhos recifais e de mar aberto são os menos estudados, com a maioria dos estudos

concentrando-se apenas em sua presença nesses ambientes (Oliveira et al., 2023; Jimenez et al., 2023).

Grande parte dos estudos realizados foca apenas na descrição e quantificação de plástico encontrado nas praias, sem avaliar os ecossistemas costeiros em conjunto (Alencar et al., 2023; Pegado et al., 2024; Luz et al., 2025). Obter uma compreensão mais clara e detalhada de como esses resíduos podem fluir entre diferentes ecossistemas costeiros é essencial para a identificação dos principais pontos de acumulação, origem do plástico, tipo do plástico predominante em cada ecossistema e processos de dispersão (Windsor et al., 2019). Só com essas informações conseguiremos entender os potenciais impactos e traçar políticas públicas mais efetivas para redução da poluição por plástico.

Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar o acúmulo de plástico nos ecossistemas costeiros, identificando suas principais fontes e potenciais fatores que influenciam o seu acúmulo.

3.2 Material e Método

3.2.1 Área de Estudo

Para avaliação do plástico em um ecossistema costeiro utilizamos a tipologia de ecossistemas proposta pela *The International Union for Conservation of Nature* (IUCN) (Keith et al., 2020). O estudo foi conduzido em uma praia arenosa, recife de coral (substrato e superfície da água sobre o recife) e bancos de lama. Este estudo foi realizado na região da praia de Ponta Verde, localizada no litoral da zona urbana da cidade de Maceió, região costeira central do Estado de Alagoas (região Nordeste do Brasil) entre os paralelos 09°21'31" e 09°42'49" Sul e os meridianos 35°33'56" e 35°38'36" Oeste (Figura 1).

3.2.1.1 Caracterização da área

A praia de Ponta Verde está situada no bairro de mesmo nome, na capital do Estado brasileiro de Alagoas. O bairro da Ponta Verde é área do principal corredor de turismo e lazer da cidade de Maceió (Santos, 2004; Moura, 2020), caracterizado também por ser densamente povoado, abrigando, segundo o IBGE, mais 28 mil habitantes (IBGE, 2025).

A praia é caracterizada pela composição recifal de corais e algas, próximos à faixa de areia e por sua formação em franja, forma promontórios, com topo erodido mostrando cavidades cobertas por crosta algálica e corais vivos (Santos, 2004; Correia & Sovierzoski, 2009). Possui uma plataforma recifal com 1 km² de área na região entremarés, exposta em marés baixas de sizígia formando pequenas piscinas naturais (Lima, 2011). Estes recifes são considerados impactados devido seu fácil acesso durante a maré baixa por pescadores, moradores e turistas (Correia & Sovierzoski, 2009).

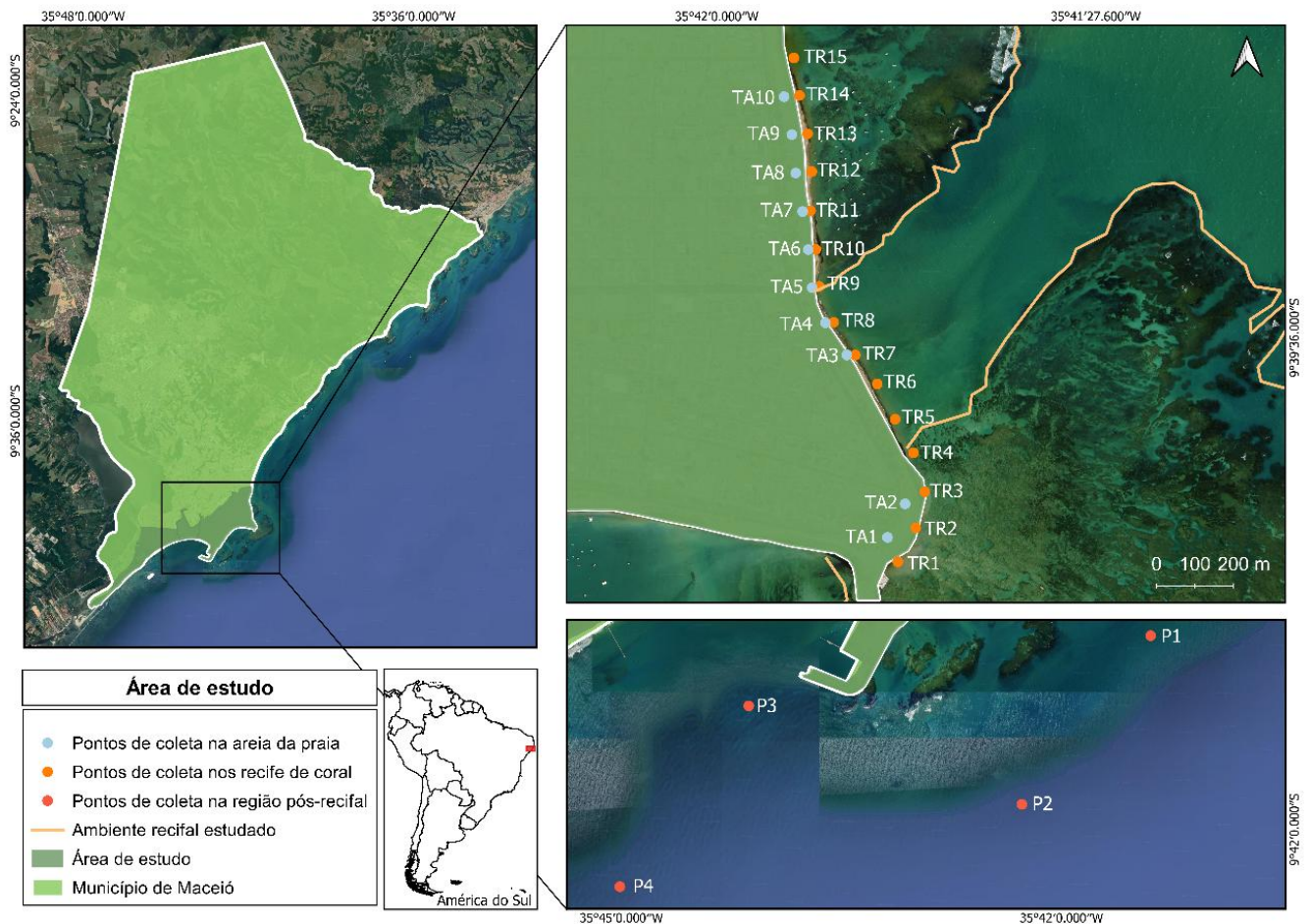


Figura 3: Recifes da Ponta Verde – Maceió, Alagoas, área de estudo. Os pontos de coleta na praia arenosa são formados por 10 transectos identificados pela sigla TA = Transectos Areia e o número que o segue. Os pontos de coleta no recife de coral são formados por 15 transectos identificados pela sigla TR = Transectos Recife e o número que os segue. Os pontos de coleta nos bancos de lama são formados por 4 pontos identificados pela sigla P = Ponto e o número que os segue.

3.2.2 Coleta de dados nos diferentes ecossistemas

A presença do plástico foi avaliada em quatro diferentes ecossistemas, são eles: (1) Praia arenosa, (2) Superfície da água (3) substrato dos Recifes de coral e (4) Banco de lama.

3.2.2.1 O macroplástico na Praia arenosa

A avaliação do macroplástico depositado na praia arenosa foi realizada entre o período de novembro de 2023 a novembro de 2024, as coletas foram realizadas mensalmente. Para estas coletas, foram dispostos 10 transectos de 2 m de largura e comprimento variável (mín.: 0,27 m; máx.: 35,4 m; média 17,79 m; desvio padrão: 24,84) perpendiculares à borda da água, indo da linha de maré alta até o limite superior da faixa de areia, definido por uma barreira sólida natural ou artificial (Figura 4). Os transectos foram executados em uma faixa de areia de 1 km com uma distância de 100 m entre eles (Figura 3). Devido a áreas sem faixa de areia, causadas pela morfologia da praia amostrada, alguns pontos foram realocados, com variação de 200 a 300 m de distância, conforme a Figura 3. Todos os itens antropogênicos maiores que 5 cm foram coletados para avaliação em laboratório.

3.2.2.2 O macroplástico nos recifes de coral: superfície da água

Para avaliação do plástico maior que 10 cm presente na superfície da água foram registradas imagens, com o auxílio do drone DJI Mavic 2 Zoom, em 10 transectos de 1000 m de comprimento e 10 m de largura distribuídos sobre a recifes de coral (Figura 4). O limite inferior de 10 cm foi estabelecido devido à capacidade de detecção limitada de objetos menores. Os voos foram automatizados e realizados com o auxílio do *software* Drone Deploy, que permite uma execução precisa seguindo as predefinições para cada transecto. Para captura de imagem com a melhor qualidade possível e maior possibilidade de identificação dos itens, os voos foram realizados a 10 m de altura e a câmera regulada a um ângulo de 90° e 30% de sobreposição. Os voos tiveram uma duração média de 6 minutos, com velocidade máxima de 8 m/s, sendo obtidas de 100 a 103 imagens por transecto, utilizadas para identificação e quantificação dos itens (Escobar-Sanchez et al., 2020).

3.2.2.3 O macroplástico nos recifes de coral: substrato

O macroplástico depositado sobre o substrato foi avaliado através de mergulhos livres em 15 transectos, com 20 m de comprimento e 2 m de largura (Figura 4). Assim como os transectos executados na praia arenosa, os transectos dos recifes de coral apresentaram uma distância de 100 m entre eles em 1,5 km de praia.

3.2.2.4 O macroplástico no banco de lama

O macroplástico depositado no substrato do banco de lama foi avaliado a partir de coletas utilizando redes de arrasto. A amostragem foi realizada por meio de arrastos de 30 minutos em uma velocidade média de 2,5 nós, utilizando redes de arrasto duplo de 12 metros de largura e malha de 20 mm, operadas em um barco de pesca, em quatro transectos na área de estudo. Após o arrasto, o macroplástico foi identificado e separado do material biológico para posterior quantificação.

3.2.2.5 O microplástico na praia arenosa

Para avaliação de itens entre 1 mm e 5mm, classificados conforme a norma intitulada “*Plastic – Environmental Aspects – State of knowledge and Methodologies*” (ISO/TR 21960:2020) como os grandes microplásticos, foram coletados em cada um dos transectos, amostras de sedimento em um espaço de 40 cm de diâmetro e 8 cm de profundidade. Para evitar ao máximo qualquer tipo de contaminação nas amostras, todo o sedimento coletado foi

armazenado em sacos de tecido natural previamente identificados e separados para posterior secagem e avaliação de microplástico.

3.2.2.6 O microplástico no recife de coral

Os itens entre 1 mm e 5 mm, foram coletados a partir de amostras de sedimento do recife de coral, com o auxílio de recipientes de vidro, medindo 6 cm de diâmetro e 11 cm de altura. As coletas ocorreram de forma alternada entre os 15 transectos selecionados para coleta de macroplástico (Figura 4).

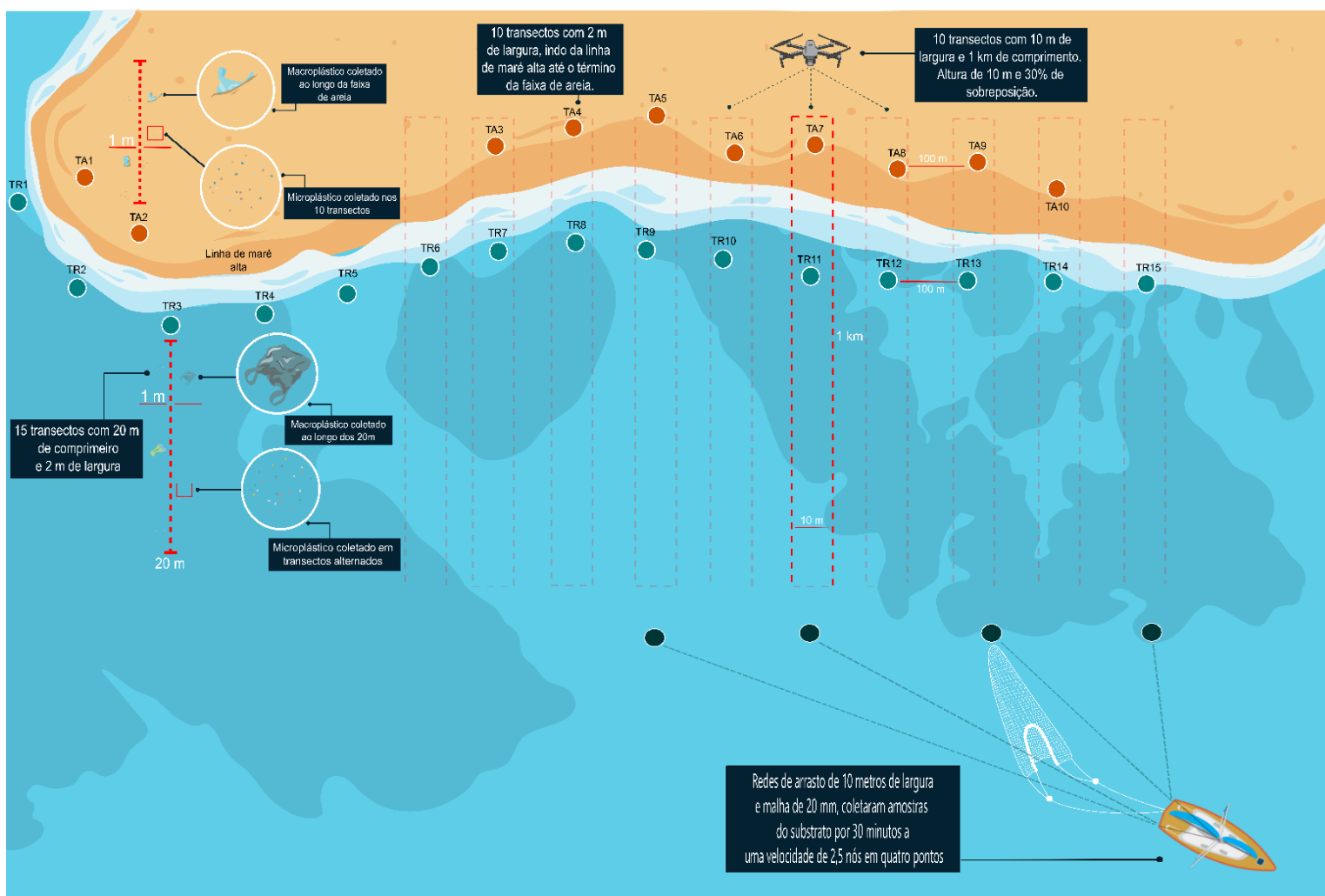


Figura 4: Esquema ilustrativo dos procedimentos metodológicos empregados nas amostragens. As siglas apresentadas representam a identificação de cada ponto de coleta, TA = Transecto Areia, TR = Transecto Recife.

3.2.3 Análise de dados

3.2.3.1 Análise do macroplástico nos diferentes ecossistemas

Os itens coletados na Praia arenosa, Superfície da água, Recife de coral e no Banco de lama foram classificados de acordo com o material, tamanho e possível origem, seguindo as

diretrizes de Gesamp (2019) e Morales-Caselles (2021). Cada item foi associado a um tipo específico de material: plástico (Bituca, Espuma, Plástico Rígido, Plástico Flexível, Nylon e Isopor), metal, papel, tecido, vidro e outros (e.g. madeira e cerâmica).

Para os itens categorizados como plástico, foi realizada uma classificação adicional quanto ao tipo de plástico: Rígido (material que apresenta alta resistência mecânica e pouca ou nenhuma flexibilidade), plástico tipo Filme (plástico flexível apresentando alta capacidade de deformação quando submetido a forças externas, como dobramento, torção ou compressão), plástico do tipo Linha (plástico utilizado em produtos de Linha ou de uso contínuo, como fios, cordas e materiais semelhantes), Espuma plástica (plástico que durante seu processo de fabricação é expandido ou aerado, formando espaços vazios que lhe conferem leveza, porosidade e absorção de impactos) e N. I. para itens não identificados. A possível origem dos itens foi separada nas categorias de alimentação, fragmentos, fumo, higiene/hospitalar, outras origens, pesca e sacolas, como demonstrado na Figura 5.



Figura 5: Esquema ilustrativo da classificação do macróplástico na praia arenosa, recife de coral, banco de lama e superfície da água. Cada cor representa as classificações utilizadas no estudo.

O número de itens fotografados com o auxílio do drone na superfície da água, foi determinado a partir de contagens manuais. As fotos contendo itens antropogênicos foram selecionadas em cada um dos transectos e separadas para contagem posterior. Todos os itens

foram classificados quanto ao tipo de material, não sendo possível a caracterização de uso e descrição da maior parte deles.

3.2.3.2 Análise do microplástico nos diferentes ecossistemas

As amostras de substratos coletadas na Praia arenosa e no Recife de coral passaram por secagem em estufa a 60°C entre 48h e 72h para remoção de toda a água e umidade contida. Após a secagem, as amostras passaram por peneiramento manual com o auxílio de um conjunto de quatro peneiras de aço inoxidável, de tamanhos entre 1 mm e 5 mm. O material retido na peneira de 1 mm foi identificado e armazenado em recipientes de acrílico para contagem e caracterização do microplástico.

A visualização das amostras foi realizada usando um estereomicroscópio Digilab DI-152T com câmera HDMI acoplada e ampliação de 40x. A identificação visual é um procedimento delicado que permite reconhecer o microplástico devido a sua forma e cor, além de separá-los de elementos naturais como madeira, grãos de areia, conchas e silicatos (Alvarez-Zeferino et al., 2020). A identificação do microplástico foi realizada através do método da agulha quente, que consiste em uma técnica simples que distingue partículas plásticas de outras partículas a partir do comportamento térmico destas quando expostas a fontes de calor (De Witte et al., 2014). Uma agulha foi aquecida e mantida em contato com as partículas de microplástico, durante o contato, as partículas que apresentaram resposta térmica (deformação ou enrolamento) foram separadas e identificadas como microplástico.

Os itens identificados como microplástico foram separados, fotografados e medidos utilizando o programa próprio do estereomicroscópio, o ImageView. Após este processamento, todos os itens foram classificados de acordo com as diretrizes de GESAMP (2019), quanto a forma e tipo de plástico.

O tipo de plástico foi separado em 5 categorias, são elas: Fragmento (partículas rígidas e opacas, com bordas irregulares, geralmente derivadas da fragmentação mecânica ou fotodegradação de macrolásticos, apresentando superfícies desgastadas ou com marcas características de intemperismo), Espuma (partículas leves, de densidade baixa, frequentemente compostas de poliestireno expandido, apresentando estrutura granular ou esférica, deformam-se facilmente sob pressão e podem exibir elasticidade parcial, dependendo do grau de intemperismo), Filme (Fragmentos finos, planos e flexíveis, geralmente transparentes ou translúcidos, com bordas que podem ser lisas ou angulares, dependendo do estágio de degradação), Filamento (Partículas alongadas, de estrutura fibrosa, com comprimento

significativamente maior que sua largura. Comumente derivadas de materiais como nylon, redes de pesca ou fibras sintéticas presentes em tecidos e cordas) e Pellets (Partículas sólidas, esféricas ou cilíndricas, com superfícies lisas e uniformes).

3.2.3.3 Análises estatísticas

Para avaliar diferenças na composição do plástico entre os diferentes ecossistemas, foi aplicada a análise de Similaridade (ANOSIM), e uma representação NMDS, para a visualização dos dados, ambas utilizando o pacote *vegan* no R.

A análise ANOSIM foi realizada para testar a hipótese de que há conectividade entre os diferentes ecossistemas na composição de plástico. A análise baseou-se na matriz de dissimilaridade calculada com distância de Bray-Curtis, utilizando um teste de permutação ($n=999$) para determinar a significância estatística do coeficiente R.

Para avaliar as forças que influenciam a dispersão e acúmulo de plástico nos diferentes ecossistemas, utilizamos dados de variáveis ambientais e antrópicas recolhidos no NOAA Now Coast (Nowcoast.noaa.gov), Null School Earth (Earth.nullschool.net) e no IBGE (sidra.ibge.gov.br). As variáveis utilizadas para análise de influência foram precipitação mensal (mm), velocidade do vento (km/h), intervalo entre ondas (s) e o Índice de atividade turística, utilizado como proxy para as atividades turísticas realizadas no ano de 2023-2024 na área de estudo. Os dados de turismo referem-se a taxa de ocupação de leitos hoteleiros em Alagoas, utilizados como proxy para a atividade turística, tendo em vista que a maioria dos leitos estão em Maceió (mais de 60%) (IBGE, 2025).

Os dados foram modelados utilizando Modelos Lineares Generalizados (GLM), com a família *quasipoisson* para corrigir possíveis super dispersões. Além disso, modelos específicos foram ajustados para cada ecossistema de forma independente. O teste de colinearidade entre as variáveis explicativas foi realizado para evitar redundância entre as variáveis preditoras.

3.3 Resultados

3.3.1 Material dos resíduos antropogênicos nos diferentes ecossistemas

Um total de 8.855 itens foram coletados nos diferentes ecossistemas descritos neste estudo (Praia arenosa= 7.150 itens, Recife de coral= 440 itens, Superfície da água = 278 itens, Banco de lama = 987 itens) e classificados de acordo com seu material, tipo de plástico e possível origem. Apesar da notável diferença na quantidade de itens entre os ecossistemas, a prevalência de itens plásticos foi semelhante em todos, como demonstrado na Figura 6. Em três dos quatro ecossistemas, mais de 80% dos itens coletados foram classificados como plástico, seguido de materiais classificados como Outros, que incluíam itens de construção e madeiras processadas, itens classificados como Não Identificados – NI, Papel, Tecidos e Metais (Figura 6).

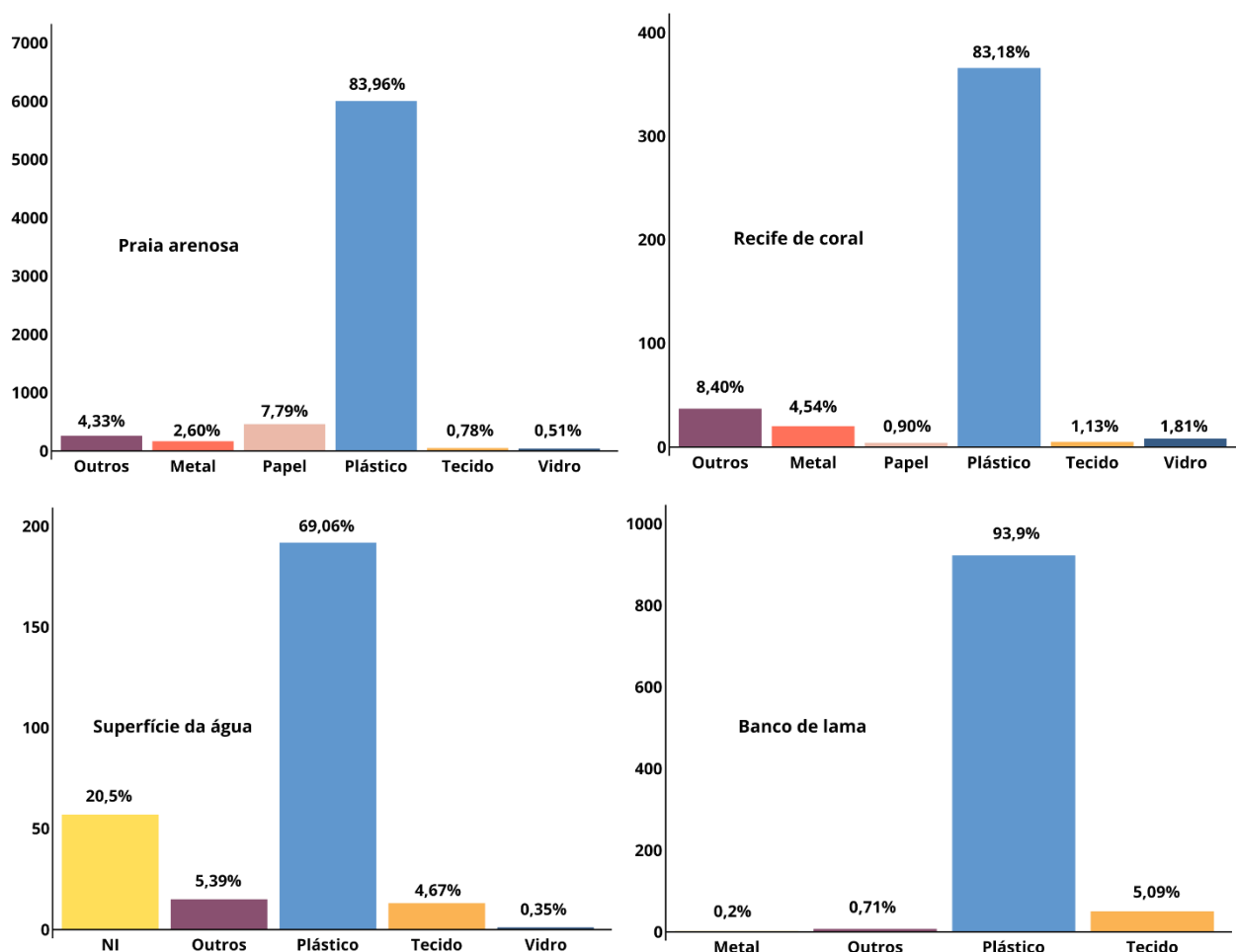


Figura 6: O tipo de material encontrado na praia arenosa, recife de coral, superfície da água e banco de lama. Os materiais encontrados foram plásticos, papel, metal, tecido, vidro, outros (que incluem Fragmentos de material de construção como cerâmicas e madeiras) e itens Não Identificados (NI) quanto

ao tipo material. Os valores estão apresentados em porcentagem e as cores seguem as classificações listada na Figura 5.

Os resíduos antropogênicos não plásticos foram compostos predominantemente de itens fragmentados (53,25%) e uma pequena diversidade de outros itens (Figura 7). A praia arenosa apresentou a maior variedade, incluindo embalagens de papel, tampas metálicas, lacres, guardanapos, cordas e notas fiscais, provenientes de diferentes fontes. O recife de coral e banco de lama, exibiram composições semelhantes, contendo exclusivamente itens fragmentados sem origem definida. Na superfície da água, destacaram-se cordas associadas a pesca e materiais de construção (Figura 7). O ANOSIM realizado mostrou que existe uma diferença significativa na composição do material, porém, essa diferença é baixa ($R = 0.0633$; $p = 0.021$).

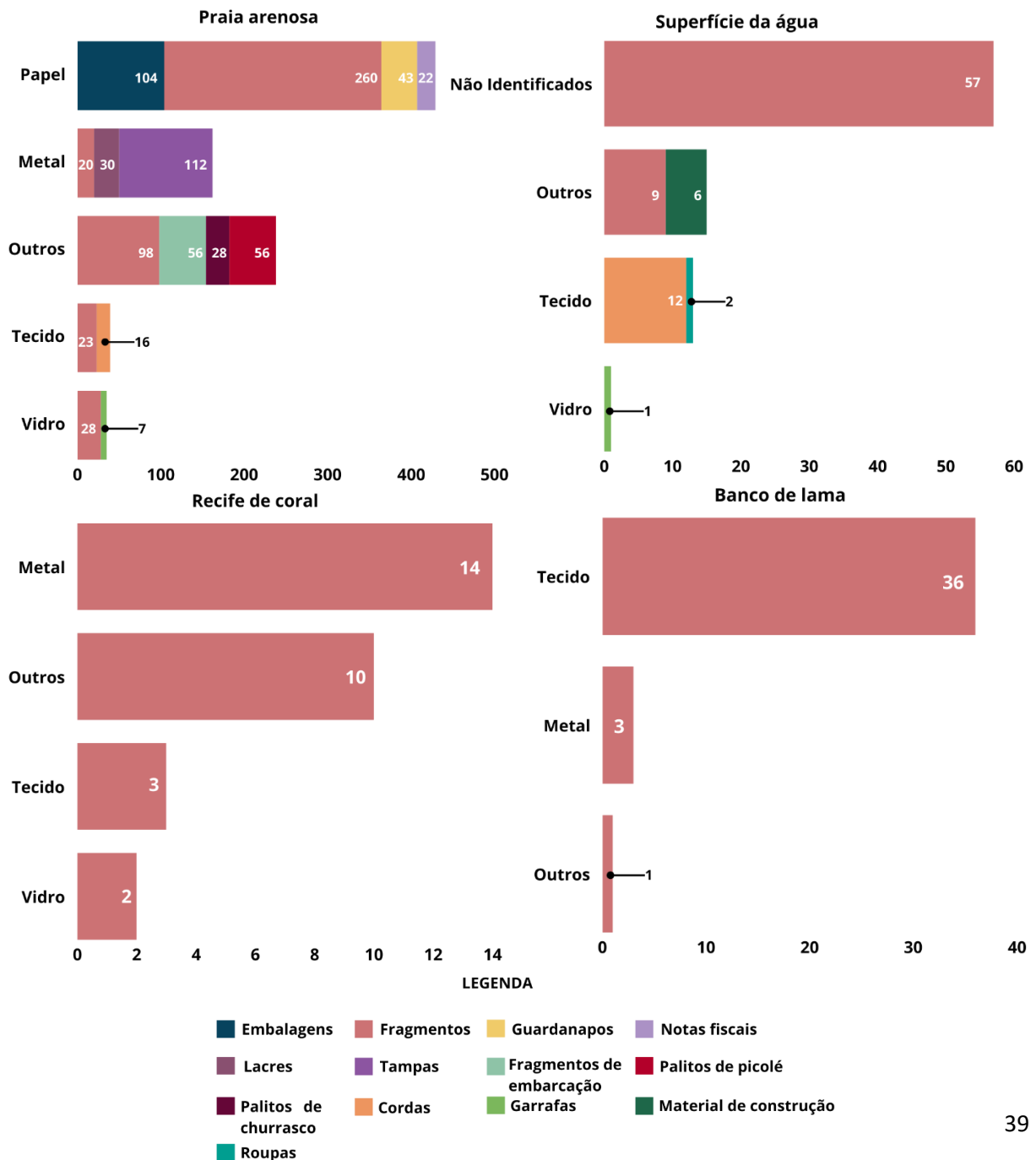


Figura 7: Os principais itens não plásticos encontrados na praia arenosa, recife de coral, superfície da água e banco de lama. As barras empilhadas apresentam os itens encontrados em cada ecossistema com base em seus valores absolutos.

3.3.2 Densidade e composição do macroplástico

Do total de itens coletados nos diferentes ecossistemas deste estudo, 7.483 itens foram classificados com plástico (Praia arenosa= 6.002 itens, Recife de coral= 366 itens, Superfície da água = 192 itens e Banco de lama = 923 itens). A densidade de itens apresentada para cada ecossistema foi de 2,28 itens/m² para a Praia arenosa; 0,11 itens/m² para Recife de coral, enquanto a Superfície da água e o Banco de lama apresentaram 0,011 itens/m² e 0,003 itens/m², respectivamente (Figura 8).

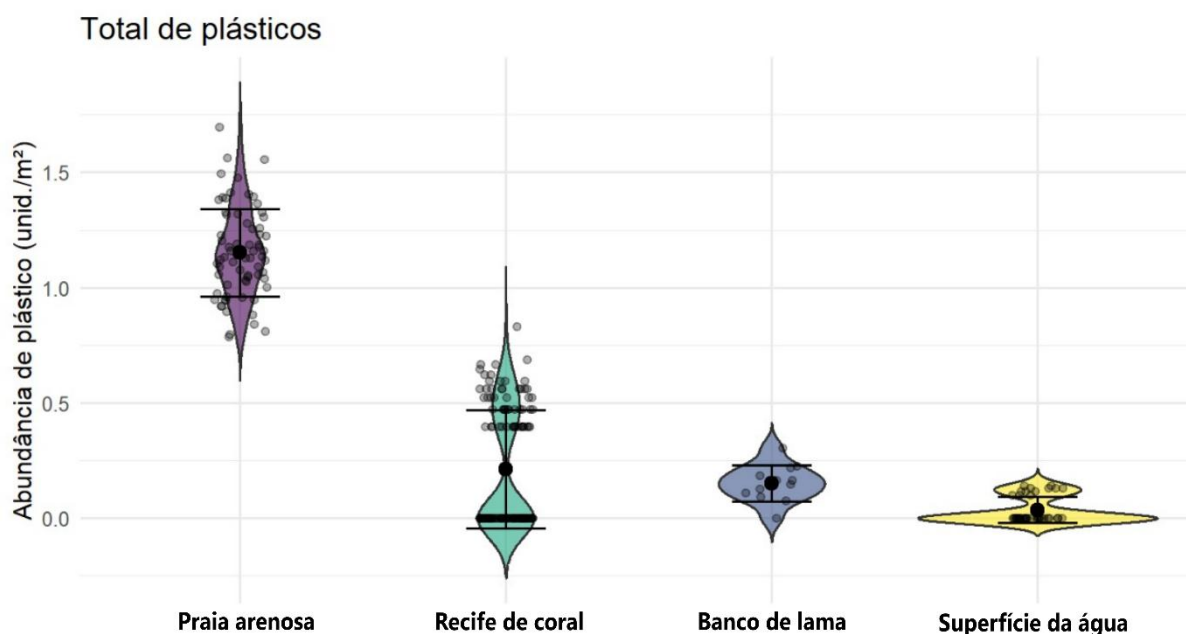


Figura 8: Densidade de itens plásticos na praia arenosa, recife de coral, superfície da água e banco de lama. O gráfico apresenta as médias (pontos centrais nos violin plots), desvio padrão (barras) e a concentração dos dados (áreas mais alargadas no violin plot) nos transectos em cada mês de amostragem.

A Praia arenosa apresentou 83,96% de seus itens classificados como plástico, com os tipos Filme, Linha e Rígido apresentando porcentagens semelhantes, e apenas 6,9% classificados como Espuma (Figura 9). Das categorias de possível origem aplicada aos itens, Fragmentos e itens de origem alimentícia foram os mais representativos neste ecossistema, seguido de itens com origens classificadas como Fumo, Pesca e Sacolas (Figura 10).

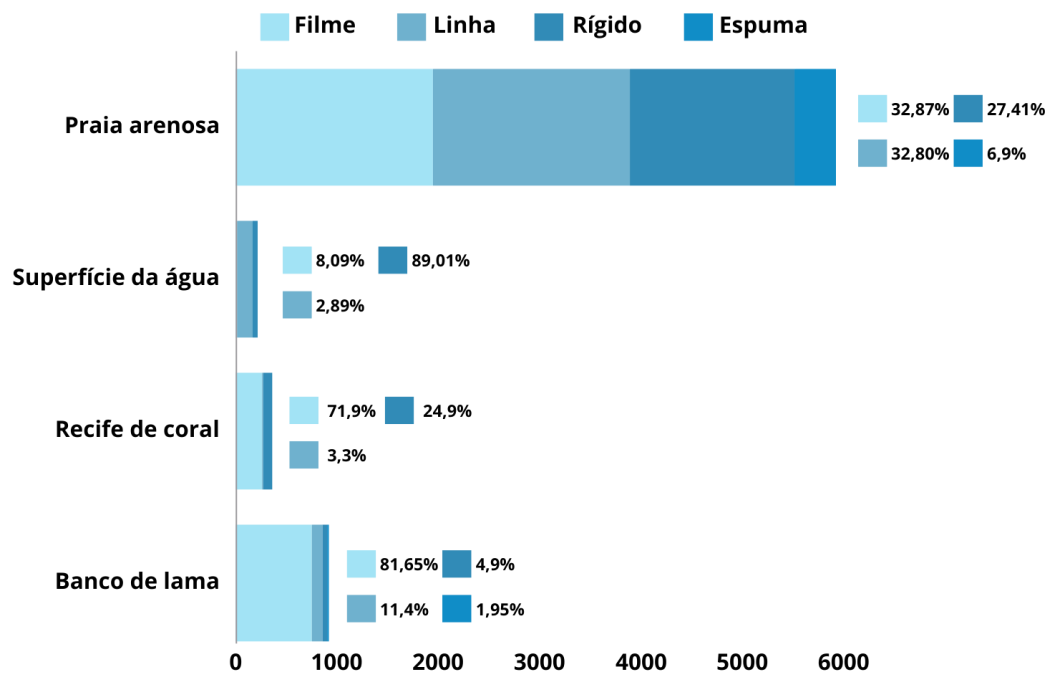


Figura 9: Os diferentes tipos de plásticos encontrados na praia arenosa, recife de coral, superfície da água e banco de lama. As barras empilhadas apresentam os tipos de plástico em porcentagens, cada cor representa os tipos de plástico de acordo com a Figura 5.

No Recife de coral, 83,18% dos itens foram classificados como plástico. Destes plásticos, os tipos Filme e Rígido foram os que mais se destacaram, plásticos do tipo Espuma não foram encontrados nesse ecossistema. Assim como na praia arenosa, itens fragmentados e de origem alimentícia foram os prevalentes nesse ecossistema, tendo se destacado também itens classificados como Sacolas (Figura 10).

Assim como nos dois ecossistemas já citados, a Superfície da água obteve uma alta porcentagem de itens plásticos (Figura 6), dentro dessa classificação a maior porcentagem foi para itens Não Identificados (N.I. - 81%) quanto ao tipo de plástico, seguido dos tipos Filme e Rígido (Figura 9). Quanto a sua origem, 83% dos itens tiveram a origem classificada como Fragmento, seguido de itens de origem pesqueira, diferindo dos ecossistemas anteriores, além de itens de origem alimentícia (Figura 10).

Nos bancos de lama os itens classificados como plástico obtiveram uma porcentagem de 93,9%. Dentre estes, o plástico do tipo Filme, apresentou a maior porcentagem com 81,65%, seguido de plásticos do tipo Linha e Rígido. Quanto a sua origem, itens fragmentados e sacolas obtiveram juntos, 82,96% da amostragem seguido de itens de origem alimentícia e pesqueira (Figura 10).

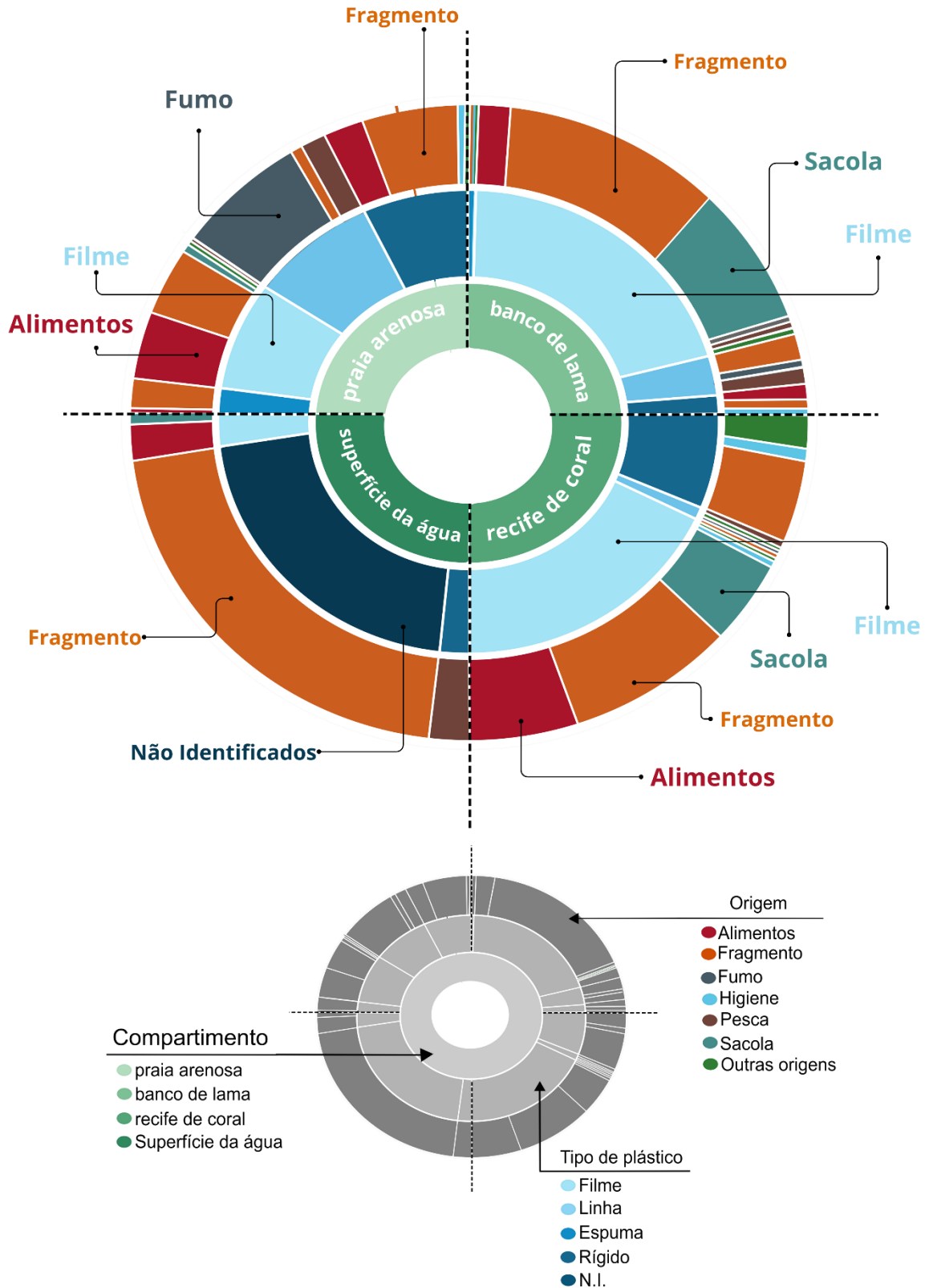


Figura 10: Caracterização do macropástico nos diferentes ecossistemas analisados. Cada anel apresenta 4 segmentos, representando cada ecossistema analisado. De dentro para fora, os anéis representam o tipo de plástico e a possível origem dos itens coletados e os tamanhos representam as contagens dos itens em cada ecossistema.



Figura 11: Macroplástico encontrado nos diferentes ecossistemas. (a) ao (i) macroplástico coletado na praia arenosa, recife de coral e banco de lama contabilizado e caracterizado no laboratório, (k) apetrecho

de pesca abandonado capturado pela imagem do drone (l) embalagem capturada pela imagem do drone (m) área de ancoragem de barcos com resíduos no sedimento (n) câmara de ar coletada no recife de coral(o) embalagem na praia arenosa (p) Fragmento plástico coletado junto ao arrasto.

3.3.3 Uso original do macroplástico

O macroplástico encontrado nos quatro ecossistemas variou. De maneira geral, os quatro ecossistemas apresentaram grandes quantidades de itens fragmentados com médio e alto nível de degradação que impossibilitaram sua identificação (Praia arenosa= 32%, Recife de coral= 51,36%, Superfície da água = 83% e Banco de lama = 52,6%). Além de itens fragmentados, embalagens, sacolas e descartáveis foram comuns em todos os ecossistemas.

Na praia arenosa, bitucas de cigarro, embalagens e descartáveis somaram, juntos, 53,44% do material coletado, enquanto no recife de coral embalagens e sacolas se destacaram (12,56% e 11,74%, respectivamente). Já na superfície da água, além dos itens fragmentados encontrados em 83% das amostras, embalagens e fibras sintéticas somaram juntas cerca de 12%. No banco de lama, as sacolas foram dominantes (26,35%), refletindo fontes distintas de poluição nesses ecossistemas.

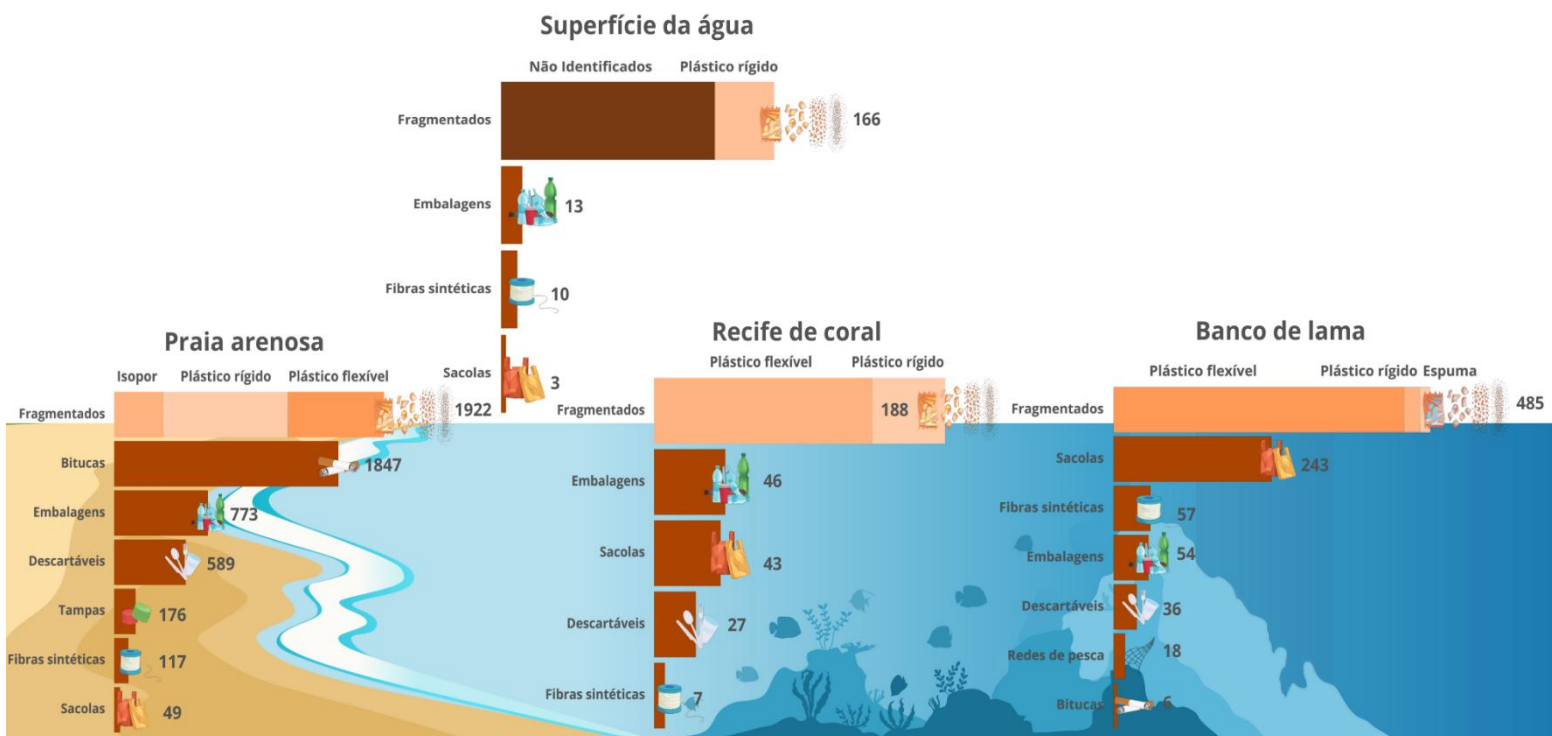


Figura 12: A composição do macroplástico encontrado na praia arenosa, recife de coral, superfície da água e banco de lama. As barras apresentam a quantidade de cada um dos principais itens encontrados em cada ecossistema analisado com base em seus valores absolutos.

3.3.4 A similaridade do macroplástico nos diferentes ecossistemas

Os resultados obtidos a partir do teste ANOSIM realizado para o tipo de plástico revelam uma diferença significativa entre os ecossistemas analisados ($R=0.483$; $p=0.001$; NMDS stress=0.0843), o que indicou que as amostras dentro de cada ecossistema são consideravelmente mais similares entre si do que quando comparados entre eles.

O gráfico NMDS (Figura 13) reforça os resultados obtidos no teste ANOSIM, demonstrando uma clara separação entre os grupos representados por Praia arenosa, Recife de coral, Superfície da água e Banco de lama. No espaço multidimensional gerado pelo NMDS, as amostras de cada ecossistema se organizam em grupos distintos, evidenciando que a composição do plástico é diferente entre os ecossistemas. Essa segregação visual reflete a diferença nos padrões de acumulação de plástico em cada ecossistema, sugerindo que os processos que contribuem para a deposição do plástico nestes ambientes não são os mesmos.

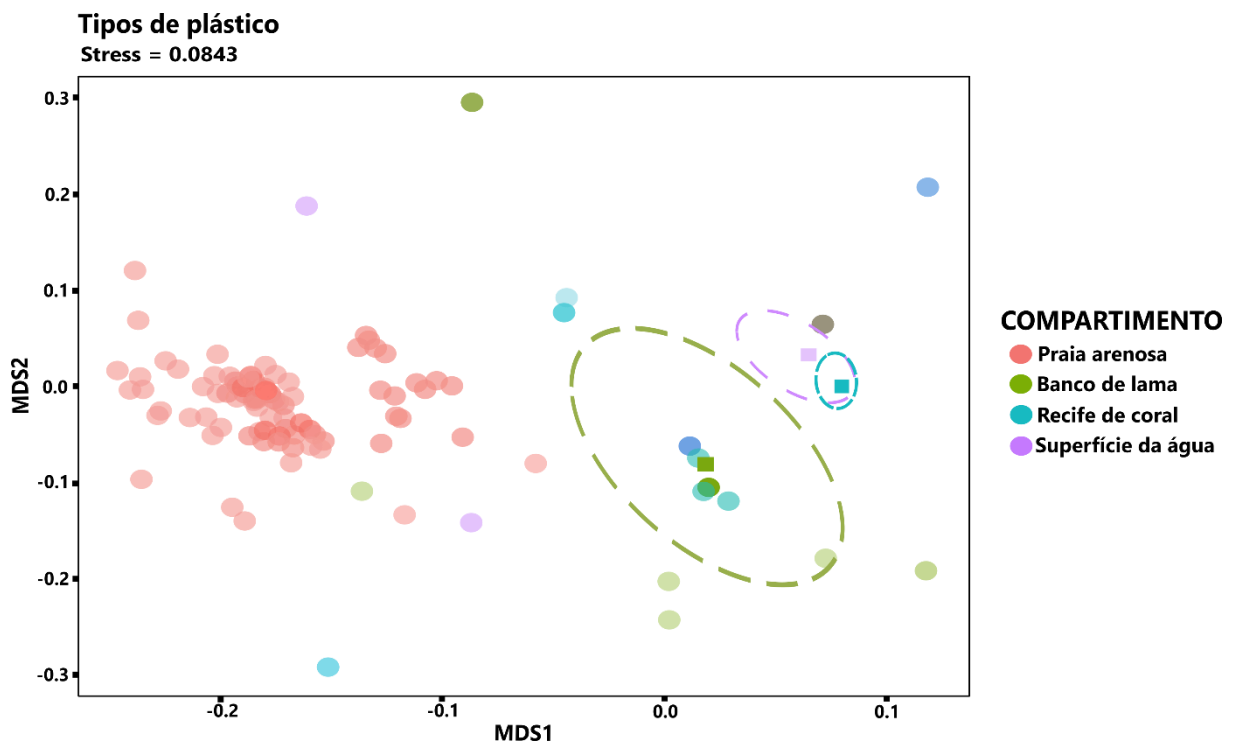


Figura 13: Gráfico de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS) demonstrando a diferença entre o tipo de plástico nos ecossistemas analisados.

3.3.5 Influências na distribuição e acúmulo de plástico nos diferentes ecossistemas

Os resultados obtidos a partir dos Modelos Lineares Generalizados (GLM) quando realizados para todos os ecossistemas indicaram que, de modo geral, o vento e a ondas foram estatisticamente significativos para distribuição e acúmulo do plástico (tabela 1) (Figura 14). No entanto, ao analisar separadamente cada um dos ecossistemas e os tipos plásticos neles encontrados, padrões distintos foram apresentados.

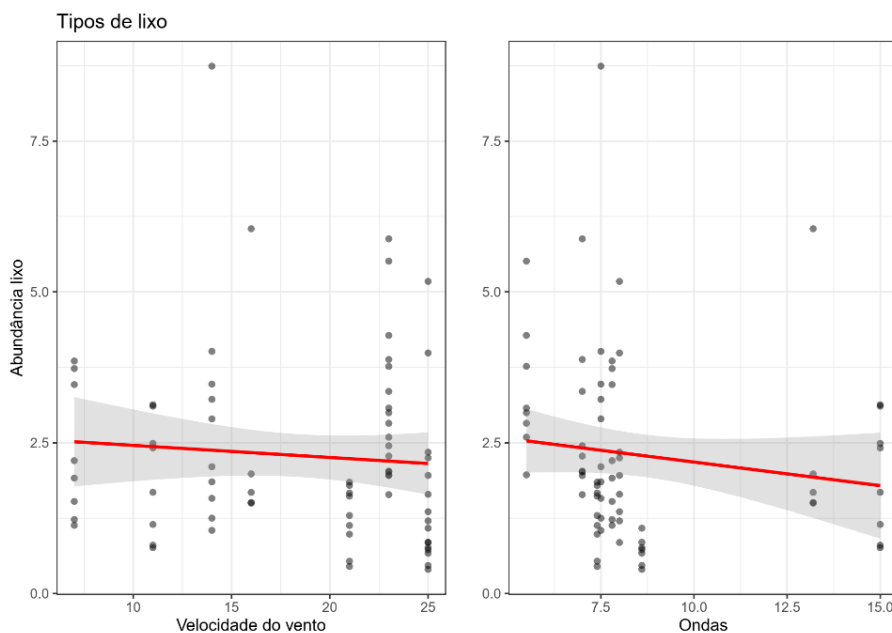


Figura 14: Variáveis ambientais que influenciam o plástico na praia arenosa, recife de coral, superfície da água e banco de lama. As variáveis predictoras velocidade do vento e intervalo das ondas são representadas nos gráficos, as linhas mostram que quanto maior o intervalo entre as ondas e maior a velocidade do vento, maior será a distribuição do plástico entre os ecossistemas.

Na praia arenosa, a atividade turística demonstrou uma relação estatisticamente positiva para o plástico (tabela 1), sugerindo que o aumento da presença humana intensifica a deposição de resíduos nesse ambiente. A velocidade do vento e o intervalo entre as ondas também apresentaram valores significativos (tabela 1), indicando uma possível influência destes na distribuição do plástico neste ecossistema. Quanto aos tipos plásticos encontrados nesse ecossistema, plástico do tipo Linha e Filme apresentaram valores significativos para ondas e ventos, já o plástico do tipo Rígido apresentou uma significância para as atividades turísticas (Figura 15).

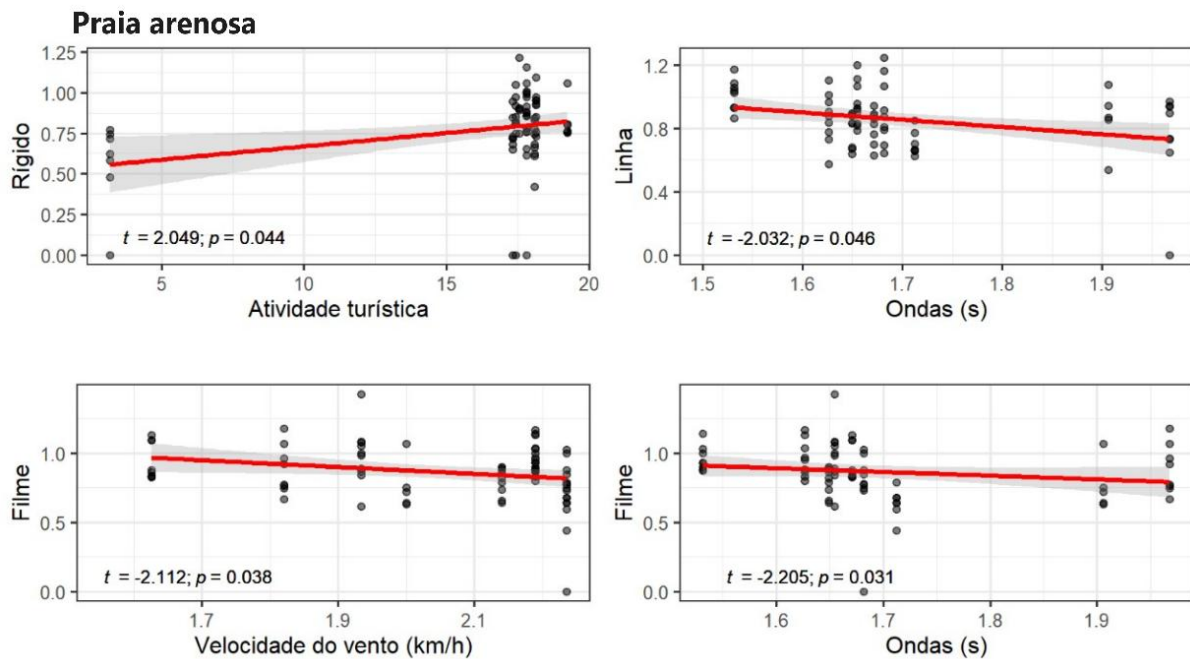


Figura 15: Variáveis predictoras que influenciam o acúmulo e distribuição dos tipos de plástico na praia arenosa. Atividades turísticas apresentam relação positiva para o acúmulo de plástico Rígido na praia arenosa. As variáveis ambientais Velocidade do vento e ondas apresentam relação significativa com as distribuições de plástico do tipo Linha e Filme.

No recife de coral, nenhuma das variáveis testadas apresentou efeito significativo (tabela 1), o que pode indicar o acúmulo e dispersão do plástico nesse ecossistema está relacionado com outros fatores hidrodinâmicos locais. No banco de lama, nenhuma das variáveis obteve um efeito significativo (tabela 1), isto pode estar associado ao fato de que a deposição do plástico nos fundos marinhos é histórica, o acúmulo ocorre ao longo do tempo, a partir de mais variáveis além das analisadas neste estudo. Para a superfície da água, os coeficientes estimados apresentaram baixa significância estatística (tabela 1), indicando a baixa explicabilidade do modelo para este ecossistema.

Tabela 1: Valores estatísticos t (t-value) e nível de significância (p-value) obtidos a partir dos Modelos Lineares generalizados (GLM) aplicados nos quatro ecossistemas: praia arenosa, recife de coral, superfície da água e banco de lama. Os valores representam a influência das quatro variáveis predictoras do modelo: precipitação, atividade turística, velocidade do vento e intervalos de ondas, indicando a significância estatística dos efeitos analisados.

Ecosistema	Variável	Valor t	p-valor
Geral	Intercepto	3.064	0.00313
	Precipitação	1.509	00.13595
	Atividade Turística	-1.821	0.07307
	Velocidade do Vento	-2.818	0.00632
	Ondas	-3.043	0.00332
Praia arenosa	Intercepto	3.291	0.001586
	Precipitação	1.599	0.114564
	Atividade Turística	-2.223	0.029511
	Velocidade do Vento	-3.368	0.001248
	Ondas	-3.547	0.000711
Recife de coral	Intercepto	-0.757	0.450
	Precipitação	-0.027	0.978
	Atividade Turística	-0.194	0.847
	Velocidade do Vento	0.317	0.752
	Ondas	0.173	0.863
Banco de lama	Intercepto	-3.123	0.0122
	Precipitação	1.285	0.2308
	Atividade Turística	0.627	0.5459
Superfície da Água	Intercepto	0.008	0.993
	Precipitação	0.012	0.991
	Atividade Turística	-0.009	0.993
	Velocidade do Vento	0.008	0.993

3.3.6 Densidade e composição do microplástico na praia arenosa e recife de coral

Um total de 246 partículas de microplástico foram coletadas nos diferentes ecossistemas (Praia arenosa= 221 partículas; Recife de coral= 25 partículas). Com uma densidade de 5,59 partículas/cm³ na praia arenosa e 1,65 partículas/cm³ no recife de coral.

Para a praia arenosa, as cinco categorias de plástico foram encontradas, com sua maior parte sendo do tipo Espuma (43%), caracterizado principalmente por microesferas de poliestireno expandido, o isopor, classificação dada com bases em características visuais (Lusher et al., 2020; Xie et al., 2021), encontrados pelo menos uma vez em todas as amostras de sedimento que continham microplástico. Além das microesferas, microplásticos do tipo Fragmento e Filamentos foram abundantes nas amostras, que somaram juntos 50% do microplástico encontrado no Praia arenosa (Figura 16). Pequenos Fragmentos e fibras sintéticas coloridas se destacaram nas visualizações (Figura 17).

No Recife de coral o tipo de plástico que mais se destacou foi o Filamento (58%), também caracterizado por fibras sintéticas, seguido do tipo Filme (33%) e do tipo Fragmento (9%) (Figura 16).

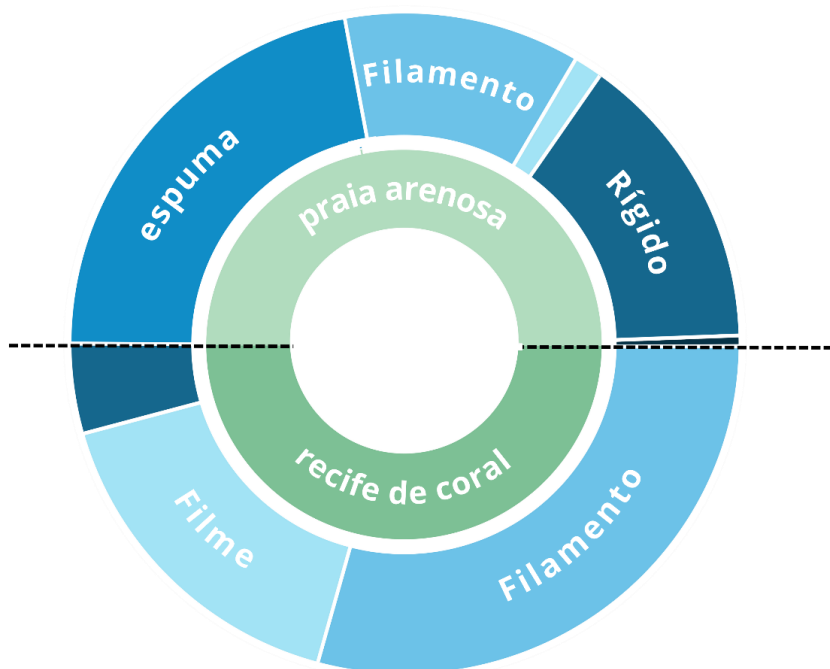


Figura 16: Caracterização do microplástico nos diferentes ecossistemas analisados. Cada anel apresenta 2 segmentos, representando cada ecossistema analisado. De dentro para fora, os anéis representam o tipo de plástico dos itens coletados e os tamanhos representam as contagens dos itens em cada ecossistema.

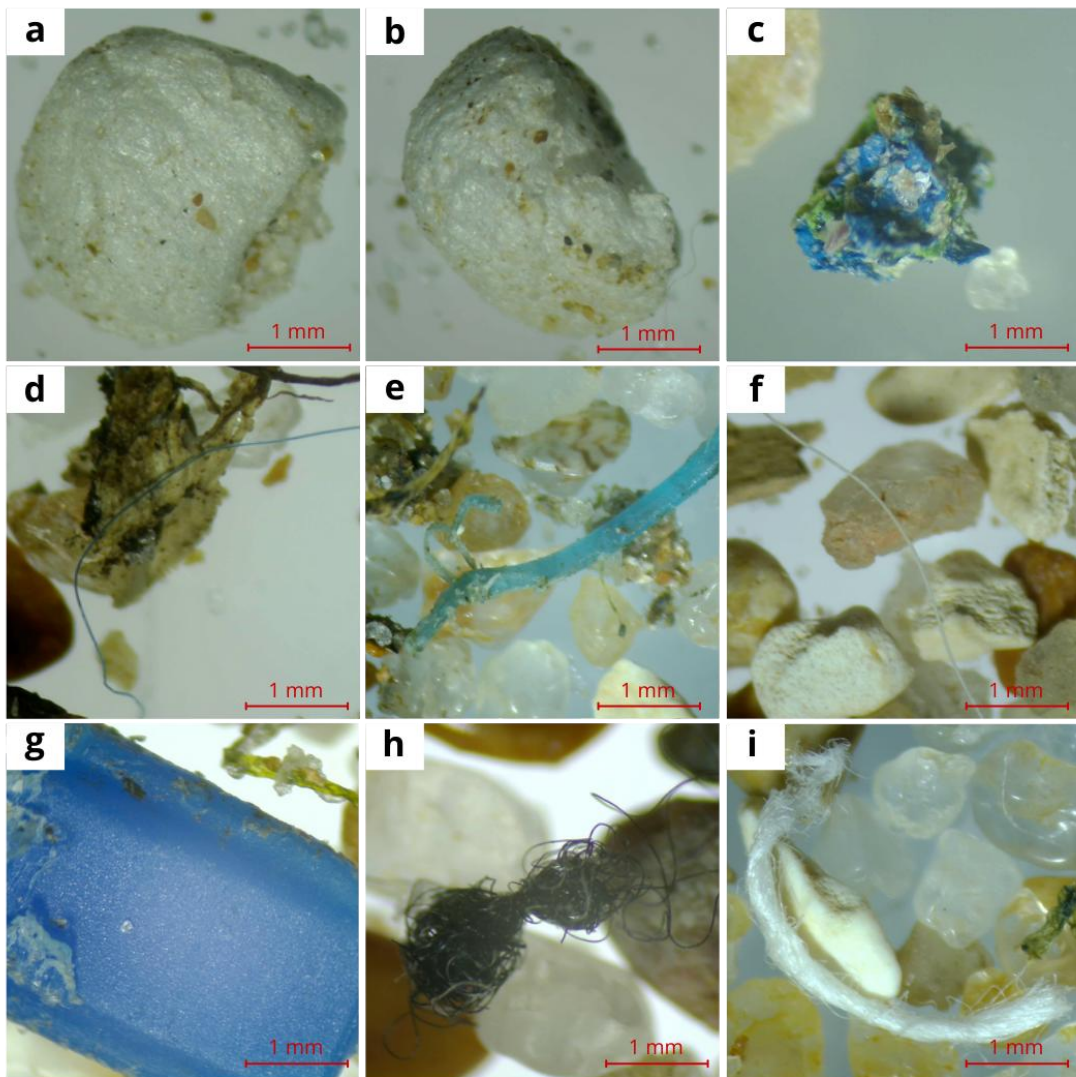


Figura 17: Microplástico encontrado nos diferentes ecossistemas. (a) Microesfera de isopor, (b) microesfera de isopor, (c) Floco de tinta de embarcação encontrada nas amostras da praia arenosa, (d), (e) e (f) fibra sintética encontrados nas amostras da Recife de coral, (g) Fragmento, (h) emaranhado de fibra sintética (i) fibra sintética.

Assim como no macroplástico, as micropartículas plásticas encontradas na Praia arenosa e no recife de coral apresentaram características bem distintas entre elas. Os resultados obtidos no teste ANOSIM revelam uma diferença significativa na composição do tipo de microplástico presente nos dois ecossistemas analisados ($R=0.477$, $p=0.001$). Semelhante aos resultados obtidos para o macroplástico.

O gráfico NMDS (Figura 18) obtido para o microplástico reforçou os resultados do teste ANOSIM, demonstrando uma clara separação entre os grupos representados por Praia arenosa e Recife de coral.

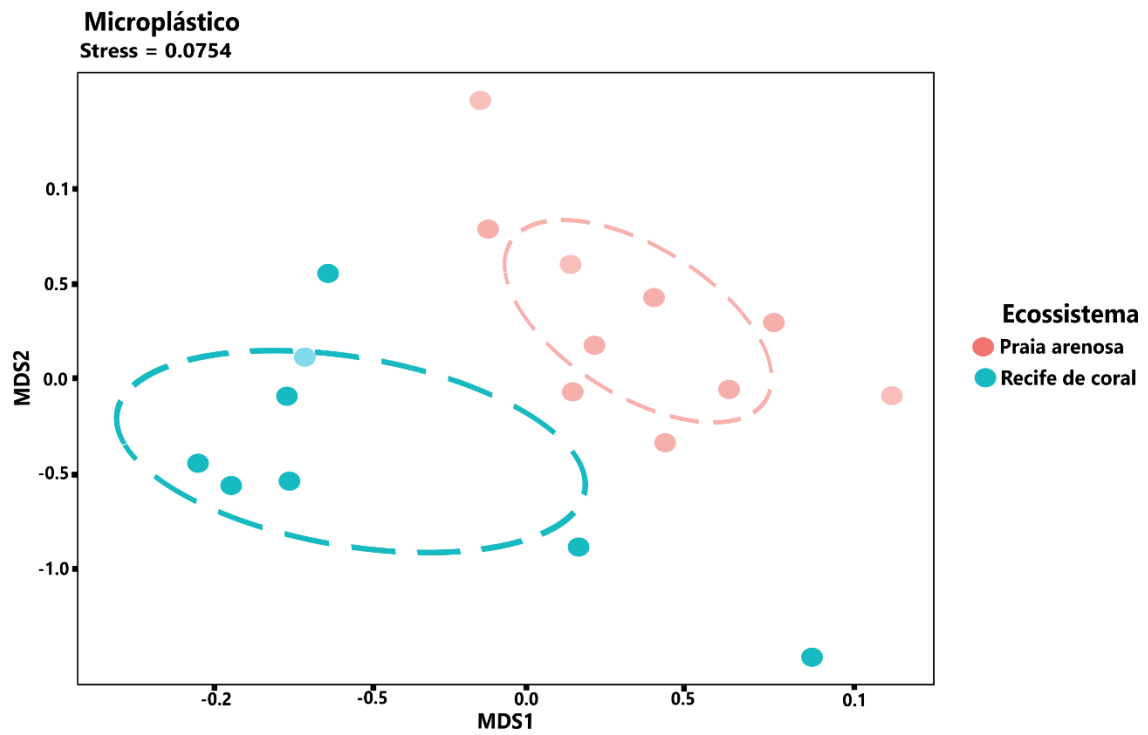


Figura 18: Gráfico de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS) demonstrando a diferença entre o tipo de microplástico na praia arenosa e no recife de coral.

3.4 Discussão

3.4.1 O macrolástico nos diferentes ecossistemas

O plástico foi o resíduo antropogênico mais abundante em todos os ecossistemas analisados. Apesar da grande diferença na quantidade de itens, o plástico obteve valores acima de 80% em três dos quatro ecossistemas, o que coincide com diversos estudos realizados em ambientes costeiros (Lagbauer et al., 2014; Jambeck et al., 2015; Portman e Brennan, 2017; Balcells et al., 2023). A prevalência do plástico sobre os demais resíduos antropogênicos pode estar relacionada com suas altas taxas de produção (Martynova et al., 2014), e sua persistência nos ambientes (Portman e Brennan, 2017).

O plástico tipo Filme foi prevalente no recife de coral e banco de lama, sendo semelhante em prevalência aos outros tipos na praia arenosa, devido à grande diversidade presente nesse ecossistema, e o segundo maior na Superfície da água, como demonstrado também em outros estudos (Morales-Caselles et al., 2021; Manullang et al., 2023, Alvarado-Zambrano et al., 2024). Esse tipo plástico é formado principalmente por sacolas, embalagens e descartáveis de uso único (Lazcano et al., 2020; Manullang et al., 2023), principais itens coletados em todos os ecossistemas deste estudo e suas fontes podem ser associadas a urbanização e alta atividade turística que ocorre na área de estudo (Moura et al., 2020).

Embalagens, sacolas e outros plásticos leves do tipo Filme podem ser transportados por longas distâncias pelos ventos quando depositados incorretamente nas faixas de areia, indo para as superfícies da água (Morales-Caselles et al., 2021). Esses itens podem iniciar suas rotas de flutuação influenciados pelas correntes e ventos pela superfície, mas ao se encherem de água acabam afundando e acumulam-se nos fundos marinhos, recifais ou de mar aberto (Ryan, 2020; Balcells et al., 2023; Jimenez et al., 2023). Além disso, estes itens apresentam superfícies disponíveis para a agregação de organismos bioincrustantes, ocasionando um transporte vertical e sua deposição nos fundos marinhos (Ryan, 2019; Roman et al., 2020; Morales-Caselles et al., 2021). Outros fatores como a degradação mecânica, térmica, biológica e a fotodegradação também influenciam a deposição desses resíduos nos fundos marinhos (Jimenez et al., 2023). E uma vez no fundo, os macrolásticos podem ser arrastados até parar em estruturas do recife, serem colonizados por organismos fazendo parte da paisagem ou serem gradualmente enterrados devido à sedimentação (Balcells et al., 2023; Jimenez et al., 2023).

A praia arenosa teve uma diversidade maior de tipos de plástico se comparado aos outros ecossistemas estudados. Na praia arenosa, assim como o plástico do tipo Filme, Espumas

podem estar associadas a grande urbanização, que ocasiona o transporte de mercadorias e o uso de caixas de armazenamentos de alimentos, como relatado no estudo de Nabizadeh e colaboradores (2019) e Chan e colaboradores (2023). Já no banco de lama, estudos relacionaram este tipo plástico principalmente a pesca (Kuroda et al., 2024; Pegado et al., 2024). Dada a sua natureza leve e sua grande capacidade de isolamento térmico, esses itens são amplamente utilizados para pequenos e grandes barcos, o que leva ao acúmulo de Fragmentos de isopor na superfície e posteriormente, no fundo marinho (Kuroda et al., 2024Par).

Para todos os tipos de plástico relatados nesse estudo (Filme, Linha, Rígido e Espuma), itens fragmentados foram os mais abundantes em todos os ecossistemas, como encontrado por outros autores (Lazcano et al., 2020; Morales-Caselles et al., 2021; Andrady et al., 2022; Nursari et al., 2022). Isso se dá principalmente pela ação de forças externas que ocasionam a degradação rápida do plástico na praia arenosa e mais lentamente na superfície e fundo marinho (Lazcano et al., 2020; Morales-Caselles et al., 2021).

A superfície da água apresentou a maior porcentagem de itens fragmentados (83% de todos os itens), contudo, essa alta quantidade se deu especialmente pelo fato de que grande parte dos itens avistados nas imagens apresentaram formas amorfas que dificultaram a identificação do tipo de plástico e a possível origem desses itens. Estudos de identificação de itens antropogênicos utilizando drones são alternativas acessíveis e de baixo custo para a quantificação de detritos, no entanto, as diversas formas, dimensões, cores e materiais nos quais os resíduos se apresentam, pode ser a principal restrição para esse método (Escobar-Sanchez et al., 2020).

Além de itens fragmentados prevalentes em todos os ecossistemas estudados, as demais origens diferiram de forma considerável. Sacolas inteiras e seus Fragmentos foram abundantes no recife e no banco de lama, enquanto itens categorizados como fumo obtiveram altas taxas na praia arenosa (Green et al., 2022). A diferença na origem e composição destes itens pode mostrar que a entrada do plástico nos diferentes ecossistemas se dá de maneira distinta. A praia arenosa é o principal sumidouro de resíduos antropogênicos (Pasquini et al., 2016), mais de um terço do plástico fica encalhado na costa onde se origina devido à grande exposição as múltiplas fontes de poluição, (Pasquini et al., 2016; Lazcano et al., 2020,). Tais fontes fazem com que este ecossistema receba uma quantidade maior e mais frequente de resíduos em contraste com outros ecossistemas.

A praia arenosa apresenta uma estrutura sedimentar mais receptiva a incorporação de resíduos (Corcoran et al., 2009). O tipo de sedimentos que forma este ecossistema permite que o plástico fique parcialmente enterrado, principalmente itens menores, como bitucas de cigarro, que obtiveram altas taxas de coleta nesse ecossistema. Este fato pode explicar a retenção e diversidade de plásticos encontrados na praia arenosa (Corcoran et al., 2009; Galgani et al., 2015; Lazcano et al., 2020).

Os resíduos flutuantes captados nas imagens da superfície da água podem chegar a esses ecossistemas através da ação dos ventos e das correntes do mar advindo de outros locais (Kuhn et al., 2015). Estudos demonstraram que a maior parte dos resíduos marinhos flutuantes são de fontes locais, com o plástico terrestre não se dispersando para longe de suas áreas de origem (Ryan, 2020). Quando mais afastados da costa, muitos estudos demonstraram que parte substancial desse plástico flutuante é formado de equipamentos de pesca abandonados ou perdidos, o que também foi demonstrado em nosso estudo, uma vez que itens de origem pesqueira obtiveram a segunda maior abundância (Kuhn et al., 2015; Galgani et al., 2015; Kuroda et al., 2024). Ao afundarem, estes itens podem ser sobrecarregados por sedimentos, permanecendo presos no fundo (Lebreton et al., 2019). Outros estudos realizados em fundos marinhos com resíduos plásticos coletados com o auxílio de redes de arrasto, demonstraram que a maior parte do plástico coletado eram produzidos de polímeros menos densos que a água e após a limpeza voltaram a flutuar (Ryan, 2020) resultado semelhante ao do nosso estudo.

As análises do Modelo Linear Generalizado (GLM), apresentou, de forma geral, que ventos e ondas são as principais influências no acúmulo e distribuição do plástico, como encontrado em outros estudos (Critchell & Lambrechts, 2016; Khoeriyah & Sembiring, 2023; Collins e Norton, 2024). Os ventos podem influenciar a heterogeneidade espacial do macroplástico alterando correntes e ondas, redistribuindo os resíduos plásticos entre os ecossistemas (Collins & Norton, 2024). Já as ondas podem induzir uma sedimentação mais rápida de resíduos em ambientes marinhos e próximos à costa (Nunez et al., 2023).

Quando analisados separadamente, os ecossistemas apresentaram pouca ou nenhuma relação significativa com as variáveis preditoras do estudo. No recife de coral e banco de lama, a falta de relações significativas pode estar associada a influência de outros fatores hidrodinâmicos, como as correntes, que não foram analisadas neste estudo, que podem, junto as ondas, influenciar a sedimentação e ressuspensão do macroplástico nos recifes e fundo marinho. Já a falta de relações na superfície da água pode estar associada principalmente a

limitada capacidade de identificação de itens plásticos por meio do uso de drones, já explicada nesta discussão.

Diferindo dos demais ecossistemas, a praia arenosa apresentou relações estatisticamente positivas com três das quatro variáveis preditoras utilizadas no estudo. Atividades turísticas, ventos e ondas apresentaram valores estatísticos significativos para o ecossistema e para os tipos plásticos encontrados nele, resultado semelhante ao de outros estudos (Maione, 2021; Pegado et al., 2024). Ventos e ondas servem como os principais impulsionadores no transporte e sedimentação de plásticos nos ambientes terrestres, influenciando ainda nos processos de degradação e ressuspensão (Zhang et al., 2024). Praias mais urbanizadas e turísticas como a praia da Ponta Verde são mais poluídas, o que pode explicar a relação positiva da variável preditora atividades turísticas em nosso estudo (Atlas do plástico, 2020; Pegado et al., 2024).

O Brasil apresenta baixas taxas de reciclagem e um alto descarte irregular de resíduos antropogênicos (Atlas do plástico, 2020; Pegado et al., 2024). E apesar do tratado global da poluição por plástico já existir e estar ativo, estratégias em escala local são essenciais para o combate e redução do plástico nos ecossistemas costeiros (Critchell & Lambrechts, 2016; Maione, 2021; Pegado et al., 2024).

3.4.2 O microplástico nos diferentes ecossistemas

A morfologia e as características do microplástico coletado nos diferentes ecossistemas deste estudo (Figura 17), indica que estes são provenientes da decomposição de itens plásticos maiores em microplástico secundário.

A classificação do microplástico nos dois ecossistemas diferiu consideravelmente. Plástico do tipo Espuma foi o mais abundante na Praia arenosa (43% de todo o microplástico encontrado), enquanto para o recife de coral o tipo Filamento prevaleceu (58% de todo microplástico encontrado). As microesferas de isopor e os flocos de tinta foram os itens mais encontrados em nossas amostragens na Praia arenosa, o primeiro item pode estar relacionado principalmente a alta urbanização da região, onde essas microesferas de isopor são provenientes de embalagens de alimentos que se fragmentam mais fácil e rapidamente que outros materiais plásticos (Xie et al., 2021; Chan et al., 2023). A Espuma de isopor é composta de numerosas microesferas (Figura 11), com força de adesão relativamente fraca tornando sua fragmentação mais rápida, mesmo na ausência de radiação ultravioleta, o que acelera sua degradação e dispersão nos ecossistemas (Kuroda et al., 2024). Além disso, produtos derivados da pesca, como boias, por exemplo, também podem ocasionar essas microesferas. E, como relatado em

outros estudos a taxa de recuperação desses itens para reciclagem é menor que 30%, o que leva ao seu acúmulo e disseminação na costa (Parker et al., 2020; Lee et al., 2024). Então esses itens, assim como os provenientes de embalagens, sofrem rápida oxidação, fragmentando-se rapidamente (Utami et al., Xie et al., 2021). Um dos transectos analisados neste estudo (transecto 8), está localizado na área com maior quantidade de barcos em toda a praia (Figura 11) e foi o local onde a maior quantidade dessas partículas e de flocos de tintas foram encontradas nos sedimentos analisados.

Os flocos de tinta, segundo maior item encontrado na praia arenosa (17,25%), estão cada vez mais associados a fontes importantes de poluição por microplástico, sendo prevalentes em muitos sedimentos costeiros (Tagg, 2023). Áreas com altas atividades de barcos, com portos e marinas são as com maior abundância nesse tipo de microplástico, podendo compor uma parte considerável da massa total dos sedimentos (Tagg, 2023; Jaini et al., 2023). No estudo realizado por Soroldoni e colaboradores (2018) em um porto brasileiro, por exemplo, as micropartículas de tinta constituíram até 4% da massa total de sedimentos. A manutenção de barcos de madeira, ocorre geralmente nas faixas de areia, nessa manutenção, a tinta contendo poliuretanos, poliésteres e poliacrilatos (plásticos em todos os aspectos) pode lascas facilmente dos barcos, sendo depositadas no sedimento e contribuindo para o acúmulo de microplástico (Eo et al., 2018; Turner, 2021; Jaini et al., 2023). Uma vez que os barcos utilizados para atividades de pesca e turismo encontrados na área de estudo são produzidos majoritariamente de madeira processada (Figura 11), esta hipótese pode explicar a grande quantidade de flocos de tinta encontrado em nossas amostras.

Já no recife de coral, assim como em outros estudos, o tipo microplástico classificado como Filamento foi encontrado em mais da metade das amostras, seguido de microfragmentos de tecido sintético classificados como Filme. Estudos indicam que o acúmulo de partículas filamentosas de microplástico em substratos recifais podem ser impulsionados pelos mesmos processos hidrodinâmicos que levam ao aprisionamento de sedimentos (Soares et al., 2023), essas partículas podem permanecer nesses substratos a partir do emaranhamento com os grãos que ali estão (Utami et al., 2021). O formato irregular e poroso de substratos recifais podem facilitar esses emaranhamentos fazendo com que uma quantidade maior de fibras permaneça presa ao substrato se comparado a outros tipos de microplástico (Luther et al., 2020; Kor et al., 2020; Utami et al., 2021).

Esses microfios encontrados são possivelmente derivados da pesca. Fibras provenientes de apetrechos de pesca abandonados, esquecidos ou perdidos são relatadas como

a forma mais comum de microplástico no ambiente marinho (Rebelein et al., 2021; Napper et al., 2022; Montero et al., 2023). Além dessas opções, uma grande proporção dessas fibras se origina da abrasão dos equipamentos usados ativamente. Cordas torcidas e trançadas de Nylon, bastante utilizadas na pesca, podem emitir cerca de 300 a 1000 Fragmentos por metro de praia (Napper et al., 2022) e, uma vez que os recifes da praia de Ponta Verde apresentam grande quantidade de pequenos barcos de pesca ancorados e ativos (Santos, 2022), isso pode explicar os microfilamentos encontrados no recife de coral.

A permanência desses microfilamentos nos ambientes recifais pode causar diversos efeitos negativos (Rebelein et al., 2021). Os microplásticos encontrados nas camadas mais superficiais dos sedimentos, como os encontrados nesse estudo, podem ser ressuspensos por bioturbação e processos como ondas e correntes (Soares et al., 2023). Essa ressuspensão pode ocasionar a incorporação dessas partículas aos corais, por adesão ou ingestão, assim como em outros organismos filtradores e conseqüentemente evoluir ao longo da teia alimentar (Rebelein et al., 2021; Soares et al., 2023). A incorporação do microplástico aos corais e outros organismos desencadeia sumidouros de curto prazo, fazendo com que a disponibilidade real dessas partículas no sedimento seja subamostrada (Rebelein et al., 2021; Soares et al., 2023), a longo prazo pode afetar severamente a resiliência dos recifes, podendo causar branqueamento e morte dos seus tecidos, comprometendo assim os serviços ecossistêmicos que eles fornecem (Reichert et al., 2021).

A diferenciação na presença e características do microplástico nos diferentes ecossistemas também reflete os diferentes processos envolvidos em sua entrada e dispersão nos ambientes. Como mencionado anteriormente, o microplástico presente na praia arenosa é resultante do macropelástico, que ao degradar-se em micropartículas pode sofrer transferência vertical misturando-se aos centímetros superiores do sedimento, que os impendem de chegar ao mar (Piperagkas et al., 2021). Esse processo ocorre principalmente em áreas com alta agitação do solo, como a praia de Ponta Verde, em que o grande número de pessoas que transitam por este ambiente afeta a mistura de areia (Moura, 2020), ocasionando a verticalização e permanência do microplástico nos sedimentos (Zhang et al., 2023). Por outro lado, no recife de coral, os microplásticos flutuantes podem aderir-se a detritos orgânicos, o que aumenta a sua probabilidade de afundamento nas águas recifais (Ryan, 2020). No fundo, a natureza do substrato facilita o aprisionamento das partículas, com o microplástico presente na coluna d'água sendo transportado verticalmente para os fundos marinhos (Li et al., 2021; Utami et al., 2021; Zhang et al., 2023). Essa distinção nos mecanismos de dispersão e acumulação dos

microplásticos pode ter implicações significativas para a dinâmica dos ecossistemas locais, particularmente no que se refere à interação com organismos marinhos e a resiliência dos recifes (Soares et al., 2023).

3.5 Conclusão

A análise de resíduos nos diferentes ecossistemas evidencia a predominância do plástico como o principal resíduo encontrado, especialmente plásticos do tipo Filme. A dinâmica de transporte e deposição desses resíduos, influenciada por fatores como ventos e ondas, ressalta a complexidade do plástico nos ambientes marinhos e costeiros. Além disso, a fragmentação desses resíduos em microplástico reforça a persistência desse poluente nos ecossistemas,

A distinção na composição dos resíduos plásticos entre os ecossistemas sugere que estratégias diferenciadas de mitigação devem ser adotadas para cada ambiente. A gestão eficaz da poluição por plástico requer esforços integrados entre políticas públicas, monitoramento contínuo e conscientização da sociedade, visando à preservação dos ecossistemas marinhos e costeiros, além da redução dos impactos negativos associados a esses resíduos.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, Melanie Vianna et al. Advancing plastic pollution hotspotting at the subnational level: Brazil as a case study in the Global South. **Marine Pollution Bulletin**, v. 194, p. 115382, 2023.
- ALVARADO-ZAMBRANO, Daniela; RIVERA-HERNÁNDEZ, José R.; GREEN-RUIZ, Carlos. Macroplastic and Microparticle Pollution in Beach Sediments from Urias Coastal Lagoon (Northwest Mexico). **Toxics**, v. 12, n. 6, p. 439, 2024.
- ALVAREZ-ZEFERINO, Juan Carlos et al. Method for quantifying and characterization of microplastics in sand beaches. **Revista internacional de contaminación ambiental**, v. 36, n. 1, p. 151-164, 2020.
- ANDRADY, A. L. et al. Oxidation and fragmentation of plastics in a changing environment; from UV-radiation to biological degradation. **Science of The Total Environment**, v. 851, p. 158022, 2022.
- Baia, B. G. F., Fontanez, C. F., Silva, G. G., Almeida, L. R. de, Assis, M. P. de, Cinezi, G. R., & Dias, L. (2020). Plásticos e seus impactos ambientais.
- BALCELLS, Marc et al. Fishing for litter, accidental catch in bottom trawl nets along the Catalan coast, Northwestern Mediterranean. **Waste Management**, v. 166, p. 360-367, 2023.
- BARBOZA, Luís Gabriel A. et al. Macroplastics pollution in the marine environment. In: **World seas: An environmental evaluation**. Academic Press, 2019. p. 305-328.
- BERGMANN, Melanie; GUTOW, Lars; KLAGES, Michael. **Marine anthropogenic litter**. Springer Nature, 2015.
- BORRELLE, Stephanie B. et al. Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. **Science**, v. 369, n. 6510, p. 1515-1518, 2020.
- CHAN, Hamsun HS; NOT, Christelle. Variations in the spatial distribution of expanded polystyrene marine debris: Are Asian's coastlines more affected? **Environmental Advances**, v. 11, p. 100342, 2023.
- CHATURVEDI, S., Yadav, B.P., Siddiqui, N.A., Chaturvedi, S.K., 2020. Mathematical modelling and analysis of plastic waste pollution and its impact on the ocean surface.
- COLLINS, Scott F.; NORTON, Andrea. Prevailing wind patterns influence the distribution of plastics in small urban lakes. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 17741, 2024.

CORCORAN, Patricia L.; BIESINGER, Mark C.; GRIFI, Meriem. Plastics and beaches: a degrading relationship. **Marine pollution bulletin**, v. 58, n. 1, p. 80-84, 2009.

Correia, M.D. & H.H. Sovierzoski. 2009. Ecosistemas Costeiros de Alagoas – Brasil. Rio de Janeiro, Technical Books Editora, p. 142.

CRITCHELL, Kay; LAMBRECHTS, Jonathan. Modelling accumulation of marine plastics in the coastal zone; what are the dominant physical processes? **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 171, p. 111-122, 2016.

DA LUZ, Thiarlen Marinho; DE MATOS, Letícia Paiva; MALAFAIA, Guilherme. Tracing Plastic Origins: Unveiling the Role of Ocean Currents and Commercial Shipping in Plastic Pollution on Coqueirinho Beach, Brazil. **Earth Systems and Environment**, p. 1-20, 2025.

DA SILVA OLIVEIRA, Ariane et al. CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS EM PRAIAS ARENOSAS NO BRASIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA. **Oecologia Australis**, v. 27, n. 1, p. 1-21, 2023.

DE VITA, Riccardo Luciano; GIANNUZZI, Anna Giunone. Plastic marine pollution. **Prosperitas**, v. 6, n. 3, p. 23-33, 2019.

DE WITTE, B. et al. Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*): Comparison between commercial and wild types. *Marine Pollution Bulletin*, v. 85, n. 1, p. 146-155, 2014; Xie et al.,

EO, Soeun et al. Abundância, composição e distribuição de microplásticos maiores que 20 µm em praias de areia da Coreia do Sul. **Environmental pollution**, v. 238, p. 894-902, 2018.

ESCOBAR-SÁNCHEZ, Gabriela et al. Efficiency of aerial drones for macrolitter monitoring on Baltic Sea beaches. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, p. 560237, 2021.

Fundação Heinrich Böll. (2020). Atlas do plástico: Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos. 1ed. Rio de Janeiro, Brasil. Lupa. pp. 16

GALGANI, François; HANKE, Georg; MAES, Thomas. Global distribution, composition and abundance of marine litter. **Marine anthropogenic litter**, p. 29-56, 2015.

GESAMP, GESAMP. Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean. **GESAMP Reports Stud**, v. 99, p. 130, 2019.

GREEN, Dannielle S.; TONGUE, Andrew DW; BOOTS, Bas. The ecological impacts of discarded cigarette butts. **Trends in ecology & evolution**, v. 37, n. 2, p. 183-192, 2022.

- JAINI, Mahima; NAMBOOTHRI, Naveen. Boat paint and epoxy fragments-Leading contributors of microplastic pollution in surface waters of a protected Andaman bay. **Chemosphere**, v. 312, p. 137183, 2023.
- JAMBECK, Jenna R. et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. **science**, v. 347, n. 6223, p. 768-771, 2015.
- KEITH, David A. et al. IUCN Global Ecosystem Typology 2.0: descriptive profiles for biomes and ecosystem functional groups. 2020.
- KHOERiyAH, Z. B. A.; SEMBIRING, E. Role of Wind, Ground Surface, and Slope in Plastic Waste Movement on Terrestrial Environments. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2023. p. 012007.
- KOR, Kamalodin; GHAZILou, Amir; ERSHADIFAR, Hamid. Microplastic pollution in the littoral sediments of the northern part of the Oman Sea. **Marine pollution bulletin**, v. 155, p. 111166, 2020.
- Krelling, A. P., Williams, A. T., & Turra, A. 2017. Differences in perception and reaction of tourist groups to beach marine debris that can influence a loss of tourism revenue in coastal areas. *Marine Policy*,
- Kuhn, S., Bravo Rebolledo, E. L., & van Franeker, J. A. (2015). Deleterious effects of litter on marine life. In M. Bergmann, L. Gutow & M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* (pp. 75–116).
- KURODA, Mao et al. Abundance and potential sources of floating polystyrene foam macro- and microplastics around Japan. **Science of The Total Environment**, v. 925, p. 171421, 2024.
- LAGLBAUER, Betty JL et al. Macrodebris and microplastics from beaches in Slovenia. **Marine pollution bulletin**, v. 89, n. 1-2, p. 356-366, 2014.
- LAU, Winnie WY et al. Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. **Science**, v. 369, n. 6510, p. 1455-1461, 2020.
- LAW, Kara Lavender. Plastics in the marine environment. **Annual review of marine science**, v. 9, p. 205-229, 2017.
- LAZCANO, Raúl F.; VINCENT, Anna ES; HOELLEIN, Timothy J. Dança do lixo: Lixo antropogênico e matéria orgânica coacumulam-se em praias urbanas. **Geosciences**, v. 10, n. 9, p. 335, 2020.

Lebreton L, Egger M, Slat B. Um orçamento de massa global para detritos macrolásticos positivamente flutuantes no oceano. *Sci Rep*. 2019

LI, Penghui et al. Characteristics of plastic pollution in the environment: a review. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 107, p. 577-584, 2021.

LIMA, Maria Lilian de Freitas et al. Variação temporal da fauna de Ophiuroidea (Echinodermata) associada aos fitais do recife de coral da ponta Verde, Maceió, Alagoas, Brasil. 2011.

LUSHER, Amy L. et al. Is it or isn't it: the importance of visual classification in microplastic characterization. *Applied spectroscopy*, v. 74, n. 9, p. 1139-1153, 2020.

MACLEOD, Matthew et al. The global threat from plastic pollution. **Science**, v. 472 373, n. 6550, p. 61-65, 2021.

MAIONE, Carol. Quantifying plastics waste accumulations on coastal tourism sites in Zanzibar, Tanzania. **Marine Pollution Bulletin**, v. 168, p. 112418, 2021.

MANULLANG, Corry Yanti et al. Distribution of plastic debris pollution and its implications on mangrove vegetation. *Marine Pollution Bulletin*, v. 160, p. 111642, 2020.

MARTYNOVA, Anastasiia et al. Density and distribution patterns of seafloor macrolitter in the eastern Red Sea. **Science of The Total Environment**, v. 953, p. 176042, 2024.

MASSOS, Angelo; TURNER, Andrew. Cadmium, lead and bromine in beached microplastics. **Environmental Pollution**, v. 227, p. 139-145, 2017.

MATIAS, Tális Pereira et al. Plásticos em ecossistemas costeiros brasileiros: ocorrência e impactos na fauna marinha. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. e208111133329-e208111133329, 2022.

MONTERO, Andrés A. Galindo et al. Microplastic pollution in coastal areas of Colombia. **Marine Environmental Research**, v. 190, p. 106027, 2023.

MORALES JIMÉNEZ, Citlalmina et al. Macrolásticos in the Bottom of the Veracruz Reef System National Park. **Sustainability**, v. 15, n. 8, p. 6934, 2023.

MORALES-CASELLES, Carmen et al. An inshore–offshore sorting system revealed from global classification of ocean litter. **Nature Sustainability**, v. 4, n. 6, p. 484-493, 2021.

MOURA, MARILIA MEDEIROS et al. O AMBIENTE FÍSICO E SOCIAL COMO UM DETERMINANTE DA SAÚDE URBANA. Diagnóstico de situação de espaços verdes no

bairro de Ponta Verde. Maceió/AL. **Caderno de Graduação-Ciências Humanas e Sociais-UNIT-SERGIPE**, v. 6, n. 1, p. 65-65, 2020.

NABIZADEH, Ramin et al. Microplastic pollution on the Persian Gulf shoreline: A case study of Bandar Abbas city, Hormozgan Province, Iran. **Marine pollution bulletin**, v. 145, p. 536-546, 2019.

NAPPER, Imogen Ellen et al. Potential microplastic release from the maritime industry: Abrasion of rope. **Science of the Total Environment**, v. 804, p. 150155, 2022.

NÚÑEZ, Paula et al. Wave-induced cross-shore distribution of different densities, shapes, and sizes of plastic debris in coastal environments: A laboratory experiment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 187, p. 114561, 2023.

NURSARI, Ayla; RITONGA, Irwan Ramadhan; ERYATI, Ristiana. Karakteristik Sampah Makroplastik di Pantai Wisata Lamaru Kota Balikpapan: Characteristics of Macroplastic at Lamaru Tourism Beach Balikpapan City. **Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan**, v. 9, n. 2, p. 342-351, 2023.

PASQUINI, Giulia et al. Seabed litter composition, distribution and sources in the Northern and Central Adriatic Sea (Mediterranean). **Waste management**, v. 58, p. 41-51, 2016.

PEGADO, Tamyris et al. Meso-and microplastic composition, distribution patterns and drivers: A snapshot of plastic pollution on Brazilian beaches. **Science of the Total Environment**, v. 907, p. 167769, 2024.

PIPERAGKAS, Odysseas; PAPAGEORGIOU, Nafsika. Changes in (micro and macro) plastic pollution in the sediment of three sandy beaches in the Eastern Mediterranean Sea, in relation to seasonality, beach use and granulometry. **Marine Pollution Bulletin**, v. 173, p. 113014, 2021.

PORTMAN, Michelle E.; BRENNAN, Ruth E. Marine litter from beach-based sources: Case study of an Eastern Mediterranean coastal town. **Waste Management**, v. 69, p. 535-544, 2017.

REBELEIN, Anja et al. Microplastic fibers—underestimated threat to aquatic organisms? **Science of the Total Environment**, v. 777, p. 146045, 2021.

REICHERT, Jessica et al. Reef-building corals act as long-term sink for microplastic. **Global Change Biology**, v. 28, n. 1, p. 33-45, 2022.

- RELLÁN, Adriana García et al. Sources, sinks and transformations of plastics in our oceans: review, management strategies and modelling. *Science of the Total Environment*, v. 854, p. 158745, 2023.
- RHODES, Christopher J. Plastic pollution and potential solutions. *Science progress*, v. 101, n. 3, p. 207-260, 2018.
- Rio, G. P. do. (2018). Mares e oceanos: novas fronteiras da regulação territorial? *Revista Brasileira de Geografia*, 63(1), 61–72. https://doi.org/10.21579/issn.2526-0375_2018_n1_p61-72
- ROCHMAN, Chelsea M. et al. Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, v. 494, n. 7436, p. 169-171, 2013.
- Roman, L. et al. A global assessment of the relationship between anthropogenic debris on land and the seafloor. *Environ. Pollut.* **264**, 114663 (2020).
- RYAN, Peter G. et al. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 364, n. 1526, p. 1999-2012, 2009.
- RYAN, Peter G. The transport and fate of marine plastics in South Africa and adjacent oceans. *South African Journal of Science*, v. 116, n. 5-6, p. 1-9, 2020.
- SANTOS, Robson G.; MACHOVSKY-CAPUSKA, Gabriel E.; ANDRADES, Ryan. Plastic ingestion as an evolutionary trap: Toward a holistic understanding. *Science*, v. 373, n. 6550, p. 56-60, 2021.
- SANTOS, Rochana Campos de Andrade Lima. Evolução da Linha de costa a médio e curto prazo associada ao grau de desenvolvimento urbano e aos aspectos geoambientais na Planície Costeira de Maceió-Alagoas. 2004.
- SETALA, Outi et al. Microplastics in marine food webs. In: **Microplastic contamination in aquatic environments**. Elsevier, 2018. p. 339-363.
- SOARES, Marcelo O. et al. Do coral reefs act as sinks for microplastics? *Environmental Pollution*, v. 337, p. 122509, 2023.
- SOROLDONI, Sanye et al. Antifouling paint particles: sources, occurrence, composition and dynamics. *Water research*, v. 137, p. 47-56, 2018.

- TAGG, Alexander S. Microplastic paint particle production for spiking experiments; silicone rubber as application material provide high yield with low effort. **Microplastics and Nanoplastics**, v. 3, n. 1, p. 12, 2023.
- TURNER, Andrew. Paint particles in the marine environment: an overlooked component of microplastics. **Water rEsearch x**, v. 12, p. 100110, 2021.
- TURSI, A., Baratta, M., Easton, T., Chatzisyneon, E., Chidichimo, F., De Biase, M., De Filpo, G., 2022. Microplastics in aquatic systems, a comprehensive 516 review: origination, accumulation, impact, and removal technologies. *RSC Adv.* 12, 28318–28340.
- UTAMI, Dwi Amanda et al. Microplastics as a sedimentary component in reef systems: a case study from the Java Sea. **Sedimentology**, v. 68, n. 6, p. 2270-2292, 2021.
- WINDSOR, Fredric M. et al. A catchment-scale perspective of plastic pollution. **Global change biology**, v. 25, n. 4, p. 1207-1221, 2019.
- XIE, Qun et al. Characteristics of expanded polystyrene microplastics on island beaches in the Pearl River Estuary: abundance, size, surface texture and their metals-carrying capacity. **Ecotoxicology**, p. 1-12, 2021.
- ZHANG, Shaoliang et al. Microplastic migration and distribution in the terrestrial and aquatic environments: A threat to biotic safety. **Journal of environmental management**, v. 333, p. 117412, 2023.
- ZHANG, Yongyong et al. Modeling multi-source plastic pollution yield and transport driven by catchment hydrometeorological processes. **Water Research**, v. 259, p. 121863, 2024.