



# Análise do Índice de Poluição por Microplásticos (IPM) no sedimento arenoso do litoral da capital de Sergipe

Analysis of the Microplastic Pollution Index (MPI) in the sandy sediment of the coast of the capital of Sergipe

A. M. D. Monteiro<sup>1\*</sup>; F. J. S. Castro<sup>2,3</sup>; H. T. J. Santos<sup>4</sup>; J. A. N. Melo<sup>5</sup>;  
S. S. L. Costa<sup>1</sup>; M. N. Marques<sup>2,6</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe, 49107-230, São Cristóvão-SE, Brasil

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente da Universidade Tiradentes, 49032-490, Aracaju-SE, Brasil

<sup>3</sup>Instituto Federal de Sergipe, 49055-260, Aracaju-SE, Brasil

<sup>4</sup>Graduação em Arquitetura da Universidade Tiradentes, 49032-490, Aracaju-SE, Brasil

<sup>5</sup>Departamento de Química, Universidade Federal de Sergipe, 49107-230, São Cristóvão-SE, Brasil

<sup>6</sup>Instituto de Tecnologia e Pesquisa, 49032-490, Aracaju-SE, Brasil

\*ayla.dias@gmail.com

(Recebido em 31 de julho de 2025; aceito em 24 de outubro de 2025)

O Brasil é o quarto maior poluidor com resíduos plásticos do mundo. Quando degradados pela ação do intemperismo, esses plásticos fragmentam-se em partículas menores que 5 mm, conhecidas como microplásticos (MPs) e se acumulam nas praias. Esses MPs causam impactos negativos tanto no ambiente quanto na vida marinha. O objetivo desta pesquisa foi analisar os MPs encontrados na faixa de areia (FA) e na faixa de vegetação (FV) das praias de Aracaju, Sergipe. As amostras de areias foram coletadas superficialmente no período de outubro de 2023 a abril de 2024 em 10 quadrantes de 50 cm x 50 cm, em cada faixa, em uma área delimitada em 2.000 m<sup>2</sup>. Os MPs foram extraídos da areia, contabilizados e classificados quanto ao formato e a cor. Em seguida, o Índice de Poluição por Microplásticos (IPM) foi calculado. Entre os 438 MPs contabilizados, o formato “Fragmento” e a cor “Branca” foram os mais prevalentes, com 87% e 69% respectivamente, com maior frequência na FV ( $p < 0,001$ ). A Praia do Viral apresentou maior concentração de MPs em comparação a todas as outras ( $p < 0,001$ ). O maior IPM registrado foi na Praia do Viral, com 14 MPs/m<sup>2</sup>. A média das praias foi de 7,3 MPs/m<sup>2</sup> que as classificam como “Abundância Moderada”. Os resultados são úteis para apoiar a gestão dos resíduos sólidos em zonas costeiras e demonstram a necessidade de ações públicas e sociais voltadas à educação ambiental e à conservação do ecossistema, especialmente sobre o uso consciente e descarte correto dos plásticos.

Palavras-chave: microplásticos, poluição costeira, resíduos sólidos.

Brazil is the fourth largest plastic waste polluter in the world. When degraded by weathering, these plastics break into smaller particles than 5 mm, known as microplastics (MPs), and accumulate on beaches. These MPs cause negative impacts on both the environment and marine life. The aim of this research was to analyze the MPs found in the sand strip (SS) and in the vegetation strip (VS) of the beaches of Aracaju, Sergipe. Sand samples were collected superficially from October 2023 to April 2024 in 10 quadrants of 50 cm x 50 cm, in each strip, within a 2,000 m<sup>2</sup> area. The MPs were extracted from the sand, counted, and classified according to shape and color. Subsequently, the Microplastic Pollution Index (MPI) was calculated. Among the 438 MPs counted, the “Fragment” shape and “White” color were the most prevalent, with 87% and 69% respectively, with higher frequency in the VS ( $p < 0.001$ ). Viral Beach showed the highest concentration of MPs compared to all others ( $p < 0.001$ ). The highest MPI recorded was at Viral Beach, with 14 MPs/m<sup>2</sup>. The average for the beaches was 7.3 MPs/m<sup>2</sup>, which classifies them as “Moderate Abundance.” The results are useful for supporting solid waste management in coastal areas and demonstrate the need for public and social actions focused on environmental education and ecosystem conservation, especially regarding the conscious use and correct disposal of plastics.

Keywords: microplastics, coastal pollution, solids waste.

## 1. INTRODUÇÃO

Os plásticos têm um papel importante na sociedade atual, seja na fabricação de utensílios domésticos, na ciência e tecnologia e até mesmo na saúde [1], todavia, o consumo descontrolado

e o descarte inadequado têm causado altos índices de poluição nos diversos ambientes, incluindo o ambiente marinho [2], do litoral às profundezas do mar [3].

A produção mundial de plásticos ultrapassou os 360 milhões de toneladas [4] e, atualmente, mais de 65% dessa produção é composta por polímeros sintéticos que têm densidade menor que a água do mar [5]. Esses resíduos flutuantes se acumulam na superfície dos oceanos e chegam às costas marinhas transportados por correntes atmosféricas, ventos e ondas, e atingem áreas remotas, como os giros oceânicos subtropicais [6, 7]. Além disso, esses plásticos podem ser depositados ao longo das margens de rios, praias e manguezais [8]. Já os plásticos com densidade maior que da água do mar tendem a se acumular nos sedimentos, aumentando sua presença nas areias [9]. Essa situação tornou-se uma preocupação global, pois afeta todo o ecossistema marinho.

Geyer (2017) [10] estima um acumulado de 34 bilhões de toneladas na produção mundial de plástico de 1950 a 2050. Com o aumento do consumo, grande parte dos resíduos acaba sendo descartada no ambiente, sem qualquer tipo de tratamento, onde sofrem degradação (deterioração mecânica e química) dando origem a fragmentos menores que 5 mm, denominados de microplásticos pela *National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA* em 2009 [11].

Os microplásticos (MPs) vêm sendo categorizados a partir da sua origem, forma e tipo de polímero [12] e podem ser classificados como primários, produzidos intencionalmente, como os produtos de cuidados pessoais, de higiene e de limpeza, e os secundários, que são decorrentes da degradação dos fragmentos maiores que 5 mm, e podem surgir de fibras que se desprendem de roupas, cordas sintéticas e cascos de barcos [13].

Diversos estudos [14-16] têm encontrado MPs em ambientes como rios, estuários, oceanos e praias, o que tem gerado impactos ambientais e sociais, tanto à biota quanto às atividades econômicas [11]. A presença de MPs nessas áreas oferece grande perigo, principalmente à fauna, já que podem ser confundidos com alimentos e ingeridos por peixes [17] e aves aquáticas [18]. A ingestão de MPs por organismos aquáticos pode desencadear diversos efeitos, como a diminuição da ingestão de alimentos, danos ao trato gastrointestinal, estresse oxidativo e retardo no crescimento [19].

Com suas propriedades flutuantes e persistentes, os MPs de baixa densidade têm o potencial para ser amplamente dispersos por meio de processos hidrodinâmicos e correntes oceânicas e, sendo a praia um ambiente de deposição de sedimentos, torna-se um local propício para o acúmulo desse tipo de poluente, causando impacto negativo [14]. Além disso, devido ao seu tamanho, os fragmentos podem passar por estações de tratamento de água e serem adsorvidos a contaminantes, tornando-se vetores de transporte para vários organismos [20].

Somado a isso, a falta de tecnologia para quantificá-lo traz consequências para saúde, incluindo alterações genéticas, problemas respiratórios e no desenvolvimento cerebral, e para o meio ambiente, a exemplo da contaminação do solo que interfere no crescimento das plantas e na germinação das sementes [21], o que contribui para a gravidade do problema.

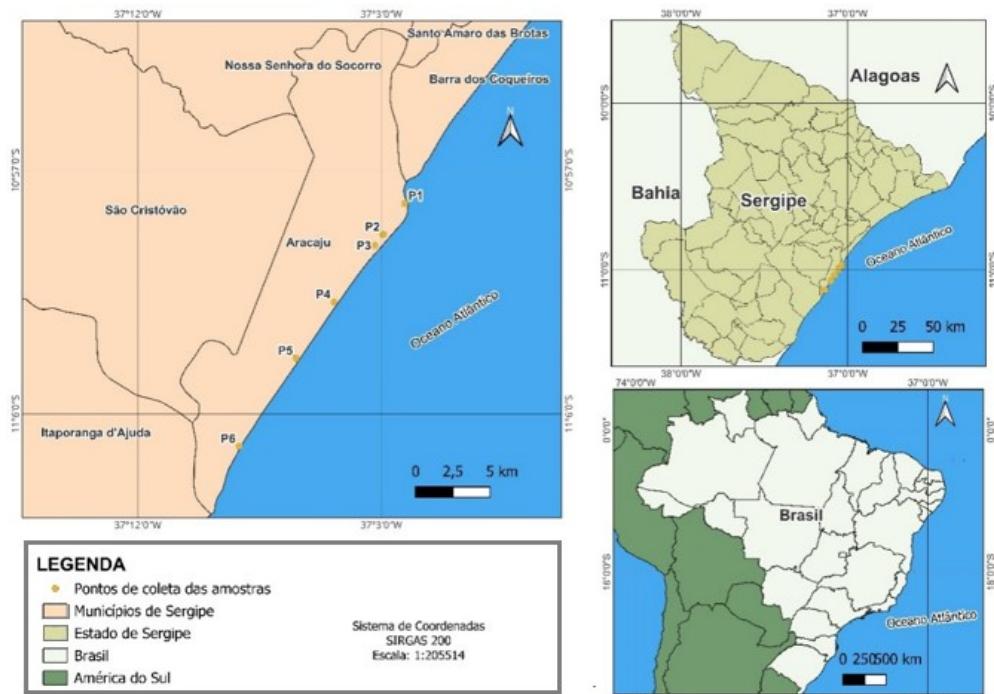
Diante do exposto, fica evidente o impacto da poluição por MPs nas praias, principalmente nos sedimentos arenosos, tornando imprescindível compreender a ocorrência da concentração e distribuição desses poluentes, assim como a sua origem e características para auxiliar a gestão pública, tanto na implementação de medidas preventivas e de mitigação de danos, quanto na elaboração de políticas públicas para conscientizar a sociedade quanto ao uso e descarte adequado.

Aracaju, capital do estado de Sergipe, situada no nordeste do Brasil, possui aproximadamente 35 quilômetros de praias no seu litoral, com ampla faixa de areia e vegetação de restinga, o que pode contribuir para a retenção e acúmulo de MPs nessa biota. Considerando esses fatos, o objetivo deste trabalho foi analisar o Índice de Poluição por Microplásticos (IPM) no sedimento arenoso, tanto na faixa de areia quanto na faixa de vegetação de seis praias de Aracaju.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Aracaju, capital de Sergipe, estado do nordeste brasileiro, que dispõe de aproximadamente 35 km de extensão de praias, com o Rio Vaza-Barris ao sul e o Rio Sergipe ao norte. As amostras foram coletadas em seis praias identificadas na

Figura 1 (Artistas, Atalaia, Cinelândia, Robalo, Refúgio e Viral) e caracterizadas na Figura 2, no período de outubro de 2023 a abril de 2024, sendo duas coletas em cada praia, tanto na faixa de areia quanto na faixa de vegetação que margeia a costa. Os pontos de coletas foram georreferenciados por meio do *Global Positioning System (GPS)*, marca Garmin, modelo *GPSmap64* e suas coordenadas constam na Figura 2.



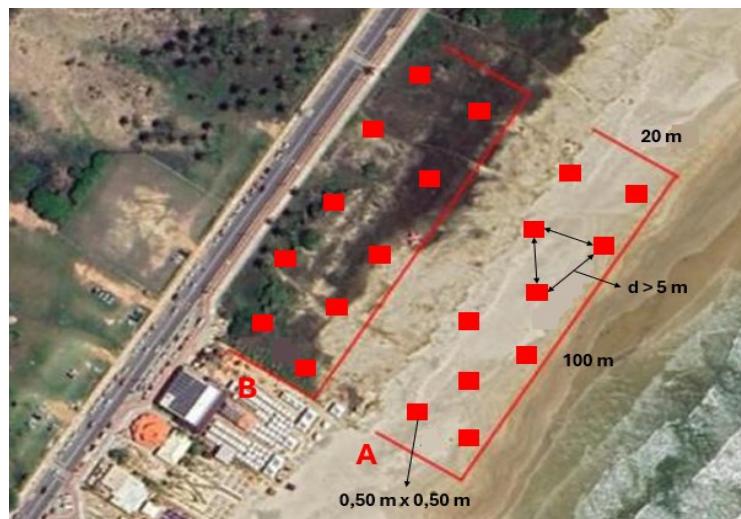
*Figura 1: Localização do município de Aracaju-SE e dos pontos de coletas das amostras (P1-Praia dos Artistas; P2-Praia de Atalaia; P3-Praia da Cinelândia; P4-Praia do Robalo; P5-Praia do Refúgio e P6-Praia do Viral).* Fonte: SIRGAS 2000/QGIS com adaptações dos autores, 2025.

PRAIAS	COORDENADAS	DATAS		CARACTERÍSTICAS
		COLETA 1	COLETA 2	
Artistas	24 L 0711038 E 8784602 S	27/10/2023	14//03/2024	Zona urbana com estruturas fixas de bares e restaurantes, próximo ao centro hoteleiro e comercial e residências.
Atalaia	24 L 0713192 E 8784500 S	08/11/2023	14/03/2024	Zona urbana com estruturas móveis de quiosques, próximo ao centro hoteleiro e comercial e residências. Ponto turístico.
Cinelândia	24 L 0712621 E 8783731 S	08/02/2024	17/04/2024	Zona urbana com estruturas móveis de quiosques e quadras poliesportivas, próximo ao centro hoteleiro e comercial e residências.
Robalo	24 L 0709868 E 8779924 S	29/02/2024	24/04/2024	Zona urbana com estruturas fixas de bares e restaurantes, próximo a condomínios residenciais.
Refúgio	24 L 0707289 E 8776102 S	29/02/2024	24/04/2024	Zona urbana com estruturas fixas de bares e restaurantes, próximo a condomínios residenciais e distante do centro urbano.
Viral	24 L 0703385 E 8770118 S	13/03/2024	25/04/2024	Zona urbana de difícil acesso, sem estrutura de atendimento a banhistas e distante de hotéis, residências e comércios.

*Figura 2: Informações sobre os pontos de coletas e características das praias estudadas em Aracaju-SE.* Fonte: Monteiro et al. (2024) [22].

A metodologia para a coleta do material foi adaptada de Maynard et al. (2021) [7]. A área de coleta na faixa de areia foi delimitada medindo-se 100 metros ao longo da faixa litorânea e 20 metros a partir do limite da preamar em direção à costa. Na faixa de vegetação, a medição

partiu do início da vegetação também em direção à costa (Figura 3). Assim, formou-se dois retângulos com área total de 2.000 metros quadrados cada. A coleta foi realizada retirando-se uma lâmina de areia de aproximadamente 5 centímetros de profundidade de 10 quadrantes localizados aleatoriamente no interior de cada retângulo (areia e vegetação), totalizando 20 amostras de areia em cada praia. Cada quadrante mede 0,50 metros por 0,50 metros e estão distantes entre si por no mínimo 5 metros, conforme ilustrado na Figura 3.



*Figura 3: Esquema de delimitação das áreas de coletas na faixa de areia (A) e faixa de vegetação (B) com os respectivos quadrantes ( $0,50\text{ m} \times 0,50\text{ m}$ ) distantes no mínimo 5m entre si. Fonte: Imagens do Google Earth com adaptações dos autores, 2024.*

Após a coleta, as amostras de areia de cada quadrante, separadas por faixa (areia e vegetação), foram misturadas a fim de alcançar uma homogeneização e, em seguida, sofreram um processo de secagem em estufa a  $60^{\circ}\text{C}$  por no mínimo 24 horas. Depois de secas foi feito o quarteamento e peneiramento com malhas de 5 mm e 1 mm para extração de 500 g de areia (Figura 4).



*Figura 4: Sequência metodológica da preparação inicial das amostras de areia. A - Quarteamento; B – secagem em estufa à  $60^{\circ}\text{C}$ ; C - Peneiramento; D - Pesagem (500 g).*

Em seguida, foi realizada a extração dos microplásticos (MPs) das amostras a partir do método adaptado de Masura et al. (2015) [23], Löder e Gerdts (2015) [24] e *Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection – GESAMP* (2019) [25].

O procedimento de extração dos MPs, ilustrado na Figura 5, ocorreu por meio da técnica de separação por densidade em duas etapas. Na primeira, a amostra de areia foi misturada a uma solução de cloreto de sódio (densidade = 1,2 g/mL), permaneceu em repouso por 2 horas e em seguida foram coletadas as partículas flutuantes de MPs. Esse procedimento foi realizado 2 vezes. Na segunda etapa, a mesma amostra de areia foi misturada a uma solução de cloreto de zinco (densidade = 1,5 g/mL), permaneceu em repouso por 5 horas e novamente foram coletadas as partículas flutuantes de MPs. Os MPs coletados foram lavados com água destilada para tirar os resquícios das soluções, colocados na estufa a 40°C por 24 horas para secagem e encaminhados para análise (quantificação e caracterização). Os materiais (areias e MPs) foram devidamente descartados ao final dos processos.

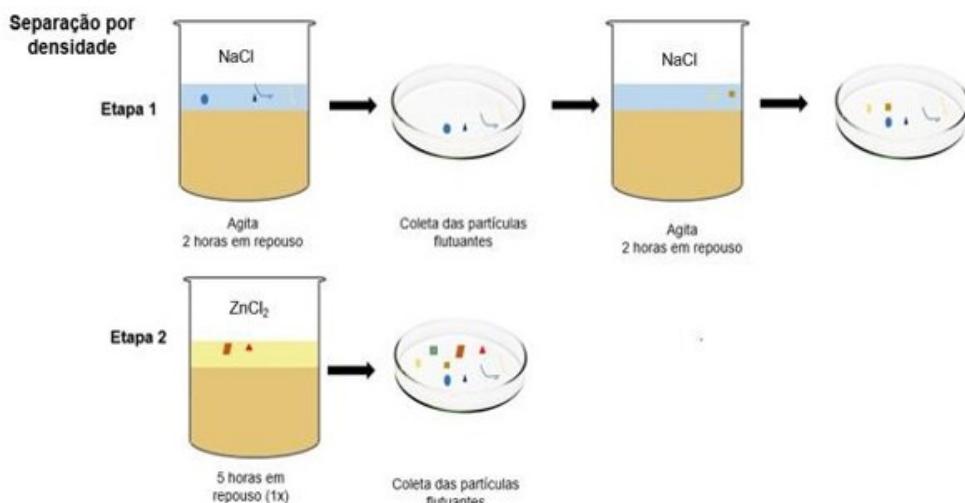


Figura 5: Sequência metodológica da extração de MPs das amostras da areia. Fonte: Maynard et al. (2021) [7] com adaptações dos autores.

Para a análise, os MPs passaram por uma inspeção visual no microscópio estereoscópico marca Nikon, modelo SMZ800, para caracterizá-los quanto ao formato e cor seguindo as orientações do *Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection – GESAMP* (2019) [25]. Concluída a triagem, os itens foram contabilizados para em seguida, gerar o Índice de Poluição por Microplásticos (IPM).

Para mensuração do IPM foi adotada a fórmula abaixo, proposta por Rangel-Buitrago et al. (2021) [26] que quantifica a presença de MPs no ambiente a partir da relação entre a quantidade de partículas e a área com resultados expresso em MPs/m<sup>2</sup> e classifica o IPM em 5 estágios: presença muito baixa para índices de 0 a 2; baixa abundância de 2 a 5; abundância moderada de 5 a 15; alta abundância de 15 a 25 e abundância muito alta para índices > 25.

$$\text{IPM} = \frac{\text{Quantidade de MPs}}{\text{Área total dos quadrantes}} \quad (1)$$

## 2.1 Tratamento estatístico

O modelo estatístico adotado foi o de regressão ajustado por máxima verossimilhança (*Likelihood Ratio Test*) com a função *ZeroInflatedPoisson* (ZIP) proposto por Fávero e Belfiore (2024) [27]. O modelo de regressão ZIP é caracterizado pela utilização de dois processos estatísticos distintos: a) processo de contagem de Poisson para modelar a quantidade esperada de microplásticos quando a contagem foi positiva; b) processo de inflação de zeros para modelar a frequência excessiva de zeros nas observações, ou seja, ausência real ou coleta sem microplásticos

em determinada praia. Nesse sentido, a variável resposta  $Y_i$  (quantidade de microplásticos na coleta  $i$ ) foi modelada matematicamente como:

$$P(Y_i = 0) = \pi_i + (1 - \pi_i)e^{-\lambda_i} \quad (2)$$

$$P(Y_i = y) = (1 - \pi_i) \cdot (\lambda_i^y \cdot e^{-\lambda_i}) \div y!, \text{ para } y > 0 \quad (3)$$

Em que:  $\pi_i = \text{logit}^{-1}(Z_{ij})$  é a probabilidade de um zero estrutural, modelada via regressão logística com variáveis explicativas  $Z_i$  (constante), e  $\lambda_i = e^{X_i\beta}$  é a média esperada da contagem para a coleta  $i$ , modelada como função exponencial dos preditores  $X_i$  (variável categórica praias).

No modelo ajustado, a praia com maior média de microplásticos foi utilizada como referência, o que permitiu comparar as demais praias em relação àquela com maior quantidade média de microplásticos. Nesse caso, a especificação do modelo ZIP foi a seguinte:

$$\log(\lambda_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^5 \beta_j \cdot \text{Praia}\{ij\} \quad (4)$$

Onde: Praia $\{ij\}$  são as variáveis indicadoras para as praias diferentes da referência.

Para a análise referente a comparação das faixas de coleta (areia e vegetação), o modelo foi ajustado de forma a considerar uma praia e uma faixa como referência como segue:

$$\log(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Praia}_i + \beta_2 \cdot \text{Faixa}_i + \beta_3 \cdot (\text{Praia}_i \cdot \text{Faixa}_i) \quad (5)$$

Na seleção foram comparados modelos alternativos e verificados critérios de convergência, *log-verossimilhança* e Pseudo  $R^2$ . O valor do *Log-Likelihood* foi mais baixo quando o modelo teve a interação praia versus faixa do que apenas a praia como variável categórica (-343,64 e -493,72, respectivamente), o que indica que o modelo se ajustou bem aos dados com a inclusão da variável preditora categórica faixa. Além disso, o pseudo  $R^2$  foi de 0,45, o que significa que 45% da variabilidade explicáveis na contagem dos microplásticos foi capturada pelo modelo ZIP com a inclusão da nova variável preditora categórica faixa. Portanto, praia e faixa, em conjunto, fortaleceram a precisão do modelo ZIP para essa amostra.

As análises dos dados foram realizadas no ambiente de programação *Python* (versão 3.10), utilizando as bibliotecas *pandas*, *statsmodels*, *scipy* e *numpy* para a análise dos dados e modelagem estatística. A visualização dos dados foi feita através das bibliotecas *matplotlib* e *seaborn*.

### 3. RESULTADOS

Foram contabilizados 438 MPs nas praias estudadas, com maior frequência ( $p < 0,001$ ) na faixa de vegetação (FV) em relação à faixa de areia (FA) quando consideradas todas as praias juntas. Suas distribuições por praia e faixa podem ser observadas na Tabela 1.

*Tabela 1: Distribuição dos MPs encontrados nas praias (areia e vegetação) de Aracaju-SE no período de out/23 a abr/24.*

PRAIAS	MICROPLÁSTICOS		
	FA	FV	TOTAL
<b>Artistas</b>	38	24	<b>62</b>
<b>Atalaia</b>	12	36	<b>48</b>
<b>Cinelândia</b>	30	12	<b>42</b>
<b>Robalo</b>	47	19	<b>66</b>
<b>Refúgio</b>	38	42	<b>80</b>
<b>Viral</b>	7	133	<b>140</b>
<b>TOTAL</b>	<b>172</b>	<b>266</b>	<b>438</b>

Legenda: FA = Faixa de areia; FV = Faixa de vegetação.

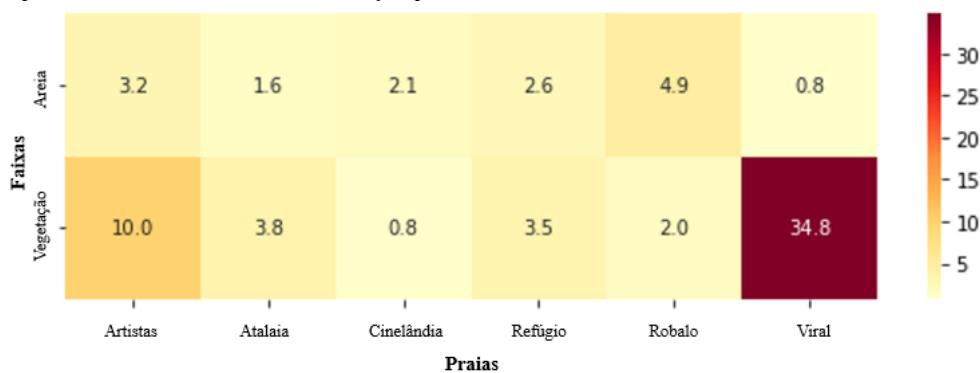
A Praia do Robalo foi a única que teve mais MPs na areia do que na vegetação ( $p < 0,001$ ). As Praias do Viral e da Atalaia tiveram mais MPs coletados na faixa de vegetação do que as outras praias ( $p < 0,001$ ). Não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre vegetação e areia na Praia dos Artistas, Cinelândia e Refúgio (Tabela 2).

*Tabela 2. Média estimada de MPs encontrados por praia e faixa e o IC de 95% de significância da média prevista.*

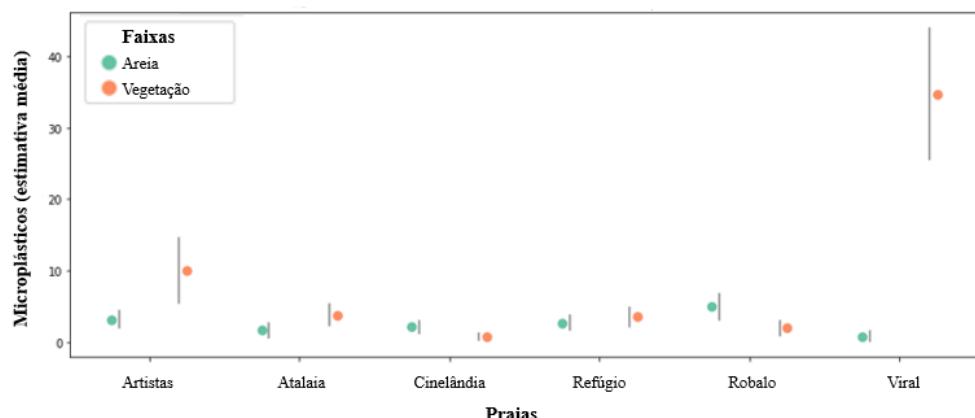
PRAIAS	MÉDIA ESTIMADA		IC 95%	
	FA	FV	FA	FV
<b>Artistas</b>	3,18	10,05	1,96 – 4,40	5,48 – 14,61
<b>Atalaia</b>	1,62	3,77	0,58 – 2,66	2,29 – 5,24
<b>Cinelândia</b>	2,09	0,79	1,21 – 2,96	0,29 – 1,28
<b>Robalo</b>	4,92	1,97	3,6 – 6,68	0,97 – 2,97
<b>Refúgio</b>	2,65	3,52	1,63 – 3,67	2,21 – 4,82
<b>Viral</b>	0,80	34,75	0,06 – 1,53	25,60 – 43,91

Legenda: FA = Faixa de areia; FV = Faixa de vegetação; IC = Intervalo de Confiança.

Complementarmente, a Figura 6 apresenta um mapa de calor com as médias estimadas pelas variáveis praia e faixa, que indicam a probabilidade de maior ou menor frequência de MPs entre praias e faixas e a Figura 7 mostra os efeitos marginais estimados dos MPs por praia e faixa com seus respectivos intervalos de confiança que denotam a variabilidade dos dados.



*Figura 6: Mapa de calor com as médias estimadas de MPs por praia e local de coleta a partir do modelo de regressão ZIP.*



*Figura 7: Efeitos marginais estimados da média de MPs coletados por praia e faixa com seus respectivos intervalos de confiança de 95% de significância.*

Em relação à classificação dos MPs encontrados nas praias, a partir da inspeção visual por meio do microscópio estereoscópico, identificou-se 4 categorias de formatos e 5 de cores. Observou-se a predominância do formato “Fragmento” com 87% e da cor “Branca” com 69% do total, conforme pode ser verificado na Figura 8.

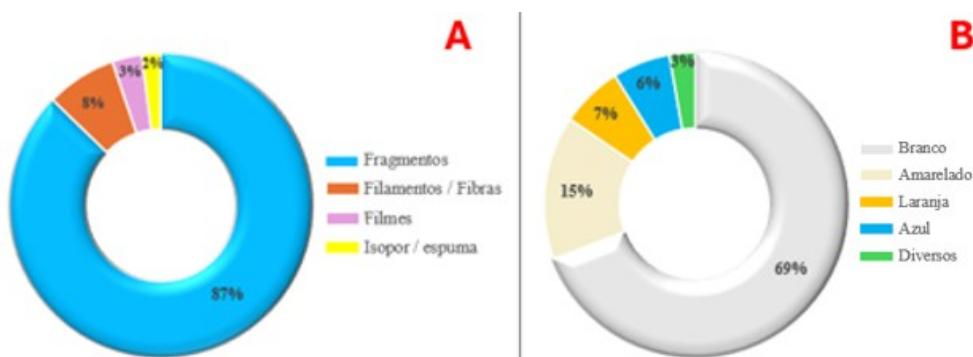


Figura 8: Frequência e classificação dos MPs quanto ao formato (A) e à cor (B) encontrados nas praias de Aracaju-SE no período de out/23 a abr/24.

Considerando a média dos valores de cada praia, o Índice de Poluição por Microplásticos (IPM) foi de 7,3 MPs/m<sup>2</sup>, sendo classificado como Abundância Moderada. A Praia do Viral foi a que apresentou maior IPM (14,0 MPs/m<sup>2</sup>) quando comparada com as demais ( $p < 0,001$ ), principalmente quando analisado por faixa, em que a FV foi a mais poluída com IPM de 26,6 MPs/m<sup>2</sup>, tendo sido classificada como Abundância Muito Alta. Por outro lado, as Praias da Atalaia e da Cinelândia foram as que apresentaram menores IPM (4,8 e 4,2 MPs/m<sup>2</sup>, respectivamente), sendo classificadas como Baixa Abundância. Na Tabela 3 observa-se os IPM por faixas (FA e FV) e os IPM por praia com as suas respectivas classificações.

Tabela 3: IPM encontrados nas praias (areia e vegetação) de Aracau-SE no período de out/23 a abr/24.

PRAIAS	ÍNDICE DE POLUIÇÃO POR MICROPLÁSTICOS (IPM)			
	FA	FV	TOTAL	CLASSIFICAÇÃO
<b>Artistas</b>	7,6	4,8	<b>6,2</b>	Abundância Moderada
<b>Atalaia</b>	2,4	7,2	<b>4,8</b>	Baixa Abundância
<b>Cinelândia</b>	6,0	2,4	<b>4,2</b>	Baixa Abundância
<b>Robalo</b>	9,4	3,8	<b>6,6</b>	Abundância Moderada
<b>Refúgio</b>	7,6	8,4	<b>8,0</b>	Abundância Moderada
<b>Viral</b>	1,4	26,6	<b>14,0</b>	Abundância Moderada
<b>MÉDIA</b>	<b>5,7</b>	<b>8,7</b>	<b>7,3</b>	<b>Abundância Moderada</b>

Notas: Os resultados dos IPM encontram-se em MPs/m<sup>2</sup> que expressa a relação entre a quantidade de MPs coletados e o tamanho da área de coleta [26]; tamanho da área de coleta = 0,25m<sup>2</sup> (área do quadrante) x 10 (quantidade de quadrante) x 2 (quantidade de coleta), totalizando 5m<sup>2</sup> por faixa e 10m<sup>2</sup> por praia; classificação conforme proposta de Rangel-Butrago et al. (2021) [26], em que: Presença Muito Baixa, corresponde ao IPM de 0 a 2, Baixa Abundância ao IPM de 2 a 5, Abundância Moderada de 5 a 15, Alta Abundância de 15 a 25 e Abundância Muito Alta IPM > 25. Legenda: Faixa de areia (FA); Faixa de vegetação (FV).

#### 4. DISCUSSÃO

A maior quantidade de MPs foi encontrada na FV e isso, pode ter relação com o tipo de limpeza que é realizada, já que na FA o recolhimento dos resíduos é feito também por meio de máquinas, enquanto na FV a limpeza é feita apenas manualmente [22], até mesmo para preservar a vegetação. Outra questão a ser considerada é que a vegetação predominante é de restinga, caracterizada por ramificações rasteiras, as quais favorecem a aderência de resíduos sólidos que

ao passar do tempo sofrem ações de fotodegradação e intemperismo e transformam-se em MPs. Vale ressaltar que Monteiro et al. (2024) [22], em um estudo realizado com macroplásticos nas mesmas praias de Aracaju, também encontraram maior quantidade na FV corroborando a hipótese anterior.

O fato das Praias do Viral e da Atalaia apresentar maior quantidade de MPs na FV do que as demais praias, pode ser explicado devido às suas localizações. A Praia do Viral apesar de ser a mais afastada, de difícil acesso e distante de residências, hotéis e comércios, não tem infraestrutura para atender os frequentadores. Além disso, suas águas se encontram com as águas do Rio Vaza-Barris, o que pode potencializar o acúmulo de resíduos, conforme já constatado em outros estudos [7, 26, 28]. Em contraste, as grandes concentrações de MPs na FV da Praia da Atalaia podem indicar, além da dificuldade de limpeza já mencionada, o reflexo da grande pressão urbana [29] e turística [30] sofrida por esta praia, já que ela é a mais popular do litoral aracajuano [22].

A predominância do formato “Fragmento” e da cor “Branca” nos MPs encontrados nas praias de Aracaju-SE estão em consonância com os resultados encontrados em outras praias de Sergipe [7], nas praias do Atlântico Sul [30] e em praias do Caribe Porto-riquenho [31], Costa-riquenho [32] e Guatemalteco [33]. Adicionalmente, o estudo realizado por Gonçalves et. al. (2024) [34] em que realizaram um raio-x dos resíduos na costa brasileira, também identificou a predominância do mesmo formato e cor em seus resultados, associando essas características aos resíduos plásticos originados de itens de consumo como embalagens e descartáveis, o que também pode ter acontecido com o presente trabalho, já que em estudo recente [22] nas mesmas praias, também foram encontradas grandes quantidades dos mesmos resíduos.

As diversas cores dos MPs sugerem diferentes fontes [34]. A coloração amarelada, segunda cor mais encontrada nesta pesquisa, pode estar associada a descoloração causada pelo intemperismo. É possível que essas partículas tenham sido originalmente brancas. O amarelamento e/ou descoloração são indícios de um longo período de permanência do plástico no ambiente, resultante principalmente da foto-oxidação [25]. Ressalta-se que o envelhecimento dos MPs no ambiente modifica suas cores, o que dificulta o rastreio das suas origens e pode determinar suas interações com agentes contaminantes [35].

Um estudo de Gonçalves et al. (2024) [34] publicado pela *Sea Shepherd* em parceria com o Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, chamado Expedição Ondas Limpas, apontou as praias sergipanas como as mais limpas do Brasil em relação aos resíduos sólidos por m<sup>2</sup> (2,8 itens/m<sup>2</sup>), ficando abaixo da média nacional que foi de 4,6 itens/m<sup>2</sup>.

No entanto, em se tratando de IPM, Sergipe ocupou a 5<sup>a</sup> posição com média de 5,8 MP/m<sup>2</sup>, ficando acima da média nacional que foi de 4,5 MP/m<sup>2</sup> [34]. Esse IPM classifica as praias sergipanas como Abundância Moderada, mesma classificação encontrada pelo presente estudo, que analisou apenas as praias da capital. Fazendo um recorte do estudo [34] citado anteriormente e considerando somente as praias de Aracaju (Atalaia, Náufragos, Refúgio e Mosqueiro), que, por sua vez registraram as maiores concentrações do estado, a média do IPM foi de 12,8 MP/m<sup>2</sup>, classificada como Abundância Moderada, estando acima da média encontrada neste estudo (7,3 MP/m<sup>2</sup>).

Outra consideração importante ao comparar as concentrações de MPs encontradas nas praias desse estudo com as concentrações das praias estudadas pela *Sea Shepherd* é que em ambas percebe-se o aumento de MPs à medida que as praias se distanciam dos centros urbanos, fato que pode estar relacionado com a ausência de lixeiras e a falta de infraestrutura, o que contribui para o descarte inadequado e consequente acúmulo de resíduos, já que o serviço de limpeza pública nessas regiões afastadas são incipientes.

A Praia do Viral, mesmo sendo pouco frequentada por banhistas, aparece como a praia com maior IPM (14,0 MPs/m<sup>2</sup>) quando comparadas com as demais, resultado semelhante ao obtido por Maynard et al. (2021) [7]. Os resíduos encontrados nesta praia podem ter sido levados por correntes marítimas ou pela influência da foz do Rio Vaza-Barris que mantém tráfego intenso de embarcações turísticas [7], que segundo Nobre et al. (2021) [29], são as principais fontes de resíduos sólidos no litoral sul de Sergipe, inclusive em praias longíquas.

A influência dos corpos hídricos na deposição de resíduos nas praias também foi identificada por Santos et al. (2020) [28] em pesquisa realizada nas praias da cidade de Pirambu-SE e por Rangel-Buitrago et al. (2021) [26] em praias do Caribe Central Colombiano.

Ainda sobre a Praia do Viral, chama a atenção o fato da sua FV ter sido classificada como Abundância Muito Alta de MPs, sendo a mais poluída entre todas as faixas de todas as praias. Apesar das dificuldades já mencionadas, tanto em relação à limpeza quanto em relação às características da vegetação, fica demonstrada a ineficiência da gestão dos resíduos sólidos na zona costeira de Aracaju, inclusive impactando negativamente no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) ligados à vida marinha e sustentabilidade [36].

Em outro extremo, as Praias da Atalaia e da Cinelândia foram as que apresentaram menores IPM, sendo classificadas como Baixa Abundância. Kim et al. (2015) [37] destacam que resultados de concentração de MPs nas amostras de areia, principalmente em praias urbanizadas, podem ser subestimados, já que os MPs podem ser soterrados para camadas mais profundas pelo pisoteio dos frequentadores. Além disso, as praias mais populares, como é o caso das Praias da Atalaia e da Cinelândia recebem mais atenção do poder público quanto à limpeza para proporcionar uma sensação de bem-estar aos usuários [29].

As praias arenosas têm sido o foco principal de estudos que avaliam a abundância de MPs, entretanto, a falta de padronização das metodologias utilizadas dificulta a comparação dos resultados obtidos [9]. Esse fator acaba impactando negativamente no entendimento sobre a distribuição de MPs nas praias, sendo necessário examinar mais profundamente as zonas de acumulação de MPs [11]. Além disso, a escolha dos locais para realizar a avaliação de poluição por MPs em praias de regiões costeiras, representa um fator crítico na determinação do resultado final [37].

A poluição das praias pelos MPs sugere a necessidade de melhorar o sistema de gestão de resíduos sólidos, com aplicação de leis e regulamentos apropriados, além de campanhas de conscientização para minimizar a geração de MPs e danos aos organismos e seus ecossistemas [38].

De acordo com Garcez-Ordóñez et al. (2020) [39], a poluição por plástico é um problema global que representa uma ameaça aos ecossistemas costeiros e marinhos, que são meios de subsistência de comunidades e requer soluções eficazes e adaptáveis às condições locais. Estudo como este torna-se cada vez mais importante para a tomada de medidas preventivas e para a análise da dinâmica dos MPs e dos caminhos por eles percorridos até sua destinação final.

## 5. CONCLUSÃO

Com a média de concentração de MPs acima da média nacional e a maioria das praias classificadas com o IPM em “Abundância moderada”, destaca-se a necessidade de melhorias na gestão de resíduos sólidos e medidas socioeducativas para a população local e turistas sobre o uso consciente dos plásticos. Além disso, a identificação do IPM e das características dos MPs encontrados, possibilita direcionar novos estudos capazes de analisar o comportamento dos plásticos associados às suas possíveis fontes geradoras, abundância, tempo de degradação, conhecimento da sociedade e impactos ao ecossistema.

Sobre o fato de maior quantidade de MPs terem sido encontrados na FV e a possível relação desse resultado com o tipo de limpeza empregado atualmente, faz-se necessária, além das medidas educativas citadas anteriormente, algumas mudanças de estratégias como aumentar o número de lixeiras e a frequência de limpeza nessa faixa.

A falta de padronização metodológica para analisar a ocorrência de MPs dificulta a comparação com alguns estudos, sendo necessário uma uniformização de metodologias para fomentar ações de prevenção e combate à poluição plástica. Espera-se que os resultados encontrados nesta pesquisa forneçam subsídios sobre o cenário da poluição por MPs na zona costeira da cidade de Aracaju, de forma a contribuir com ações que visem garantir a qualidade das praias da capital e melhorias no sistema de gestão pública. Além disso, tratar desta temática pode contribuir para o alcance das metas e dos ODS estabelecidos pelas Nações Unidas por meio da Agenda 2030 que visa promover o desenvolvimento sustentável, erradicar a pobreza e garantir

uma vida digna para todos até o ano de 2030, sem comprometer os recursos do planeta para as futuras gerações.

## 6. AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Sergipe, à Universidade Tiradentes, ao Instituto de Tecnologia e Pesquisa, ao Instituto Federal de Sergipe, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de iniciação científica, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior, ao Prof. Dr. Marcos Antônio Mattos dos Reis pela contribuição no tratamento estatístico dos dados e aos estudantes de iniciação científica do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica para o Ensino Médio (PIBIC) pela contribuição na coleta das amostras.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andrade AL, Neal MA. Applications and societal benefits of plastics. *Phil Trans R Soc B*. 2009 Jul;364(1526):1977-84. doi: 10.1098/rstb.2008.0304
2. Barnes DK, Galgani F, Thompson RC, Barlaz M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Phil Trans R Soc B*. 2009 Jul;364(1526):1985-98. doi: 10.1098/rstb.2008.0205
3. Lebreton L, Slat B, Ferrari F, Sainte-Rose B, Aitken J, Marthouse R, et al. Evidence that the great Pacific garbage patch is rapidly accumulating plastic. *Sci Rep*. 2018 Mar;8(4666). doi: 10.1038/s41598-018-22939-w
4. Plastics Europe. Plastics the Facts 2021 [Internet]. Brussels: An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data; 2021. Disponível em: <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/Plastics-the-Facts-2021-web-final.pdf>.
5. Ho NHE, Not C. Selective accumulation of plastic debris at the breaking wave area of coastal waters. *Environ Pollut*. 2019 Feb;245:702-10. doi: 10.1016/j.envpol.2018.11.04
6. Lebreton L, Egger M, Slat B. A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean. *Sci Rep*. 2019 Sep;9:12922. doi: 10.1038/s41598-019-49413-5
7. Maynard IFN, Bortoluzzi PC, Nascimento LM, Madi RR, Cavalcanti EB, Lima AS, et al. Analysis of the occurrence of microplastics in beach sand on the Brazilian coast. *Sci Total Environ*. 2021 Jun;771:144777. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144777
8. Martinelli Filho JE, Monteiro RCP. Widespread microplastics distribution at an Amazon macrotidal sandy beach. *Mar Pollut Bull*. 2019 Aug;145:219-23. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.05.049
9. Castro RO, Silva MLD, Marques MRC, Araújo FV. Spatio-temporal evaluation of macro, meso and microplastics in surface waters, bottom and beach sediments of two embayments in Niterói, RJ, Brazil. *Mar Pollut Bull*. 2020 Nov;160:111537. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111537
10. Geyer R, Jambeck JR, Law KL. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci Adv*. 2017 Jul 19;3(7):e1700782. doi: 10.1126/sciadv.1700782
11. Montagner C, Dias M, Paiva E, Vidal C. Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. *Quím Nova*. 2021 Jun;44(10):1328-52. doi: 10.21577/0100-4042.20170791
12. Hartmann NB, Huffer T, Thompson RC, Hassellöv M, Verschoor A, Daugaard AE, et al. Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris. *Environ Sci and Technol*. 2019 Jan;53(3):1039-47. doi: 10.1021/acs.est.8b05297
13. Anderson JC, Park BJ, Palace VP. Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. *Environ Pollut*. 2016 Nov;218:269-80. doi: 10.1016/j.envpol.2016.06.074
14. Andrade AL. Microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull*. 2011 Aug;62(8):1596-605. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030
15. Sadri SS, Thompson RC. On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England. *Mar Pollut Bull*. 2014 Apr;81(1):55-60. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.02.020
16. Fok L, Cheung PK. Hong Kong at the Pearl River Estuary: a hotspot of microplastic pollution. *Mar Pollut Bull*. 2015 Oct;99(1-2):112-8. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.07.050
17. Justino AKS, Ferreira GVB, Fauvette V, Schmidt N, Lenoble V, Pelage L, et al. Exploring microplastic contamination in reef-associated fishes of the Tropical Atlantic. *Mar Pollut Bull*. 2023 Jul;192:115087. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115087
18. Daudt NW, Bugoni L, Nunes GT. Plastics and waterbirds in Brazil: A review of ingestion, nest materials and entanglement reveals substantial knowledge gaps and opportunities for research. *Environ Pollut*. 2023 Jan;316:120615. doi: 10.1016/j.envpol.2022.120615

19. Hollerová A, Hodkovicová N, Blahová J, Faldyna M, Maršálek P, Svobodová Z. Microplastics as a potential risk for aquatic environment organisms – a review. *Acta Vet Brno.* 2021 Feb;90:99-107. doi: 10.2754/avb202190010099
20. Kinigopoulou V, Pashalidis I, Kalderis D, Anastopoulos I. Microplastics as carriers of inorganic and organic contaminants in the environment: A review of recent progress. *J Mol Liq.* 2022 Mar;350:118580. doi: 10.1016/j.molliq.2022.118580
21. Lalrinfela P, Vanlalsangi R, Lalrinzuali K, Babu PJ. Microplastics: Their effects on the environment, human health, and plant ecosystems. *Environ Pollut Manag.* 2024, Oct;1:248-59. doi: 10.1016/j.epm.2024.11.004
22. Monteiro AMD, Castro FJS, Marques MN. Estudo da poluição plástica em praias da cidade de Aracaju, SE, Brasil. *Sci Plena.* 2024 Aug;20(8):089913. doi: 10.14808/sci.plena.2024.089913
23. Masura J, Baker J, Foster G, Arthur C. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. Belgium: NOAA Technical Memorandum; 2015. doi: 10.25607/OPB-604
24. Löder MGJ, Gerdts G. Methodology Used for the detection and identification of microplastics - A Critical appraisal. In: Bergmann M, Gutow L, Klages M, editores. *Marine anthropogenic litter.* Cham (DE): Springer; 2015. p. 201-27. doi: 10.1007/978-3-319-16510-3\_8
25. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean. London (UK): GESAMP; 2019. Disponível em: <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean>
26. Rangel-Buitrago N, Arroyo-Olarco H, Trilleras J, Arana VA, Mantilla-Barbosa E, Gracia CA, et al. Microplastics pollution on colombian Central Caribbean beaches. *Mar Pollut Bull.* 2021 Sep;170:112685. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112685
27. Fávero LP, Belfiore P. Manual de análise de dados: Estatística e machine learning com Excel®, SPSS®, Stata®, R® e Python®. 2. ed. São Paulo (SP): LTC; 2024.
28. Santos AA, Nobre FSM, Ribeiro F, Nilin J. Initial beach litter survey in a conservation unit (Santa Isabel Biological Reserve, Sergipe) from northeast Brazil. *Mar Pollut Bull.* 2020 Apr;153:111015. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111015
29. Nobre FSM, Santos AA, Nilin J. Records of marine litter contamination in tropical beaches (Sergipe, Brazil) with different uses. *Mar Pollut Bull.* 2021 Jun;170:112532. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112532
30. Pfuetzenreuter A, Vieira CV. Avaliação do lixo marinho nas praias do norte da ilha de São Francisco do Sul, SC. *Rev Geama.* 2022 Apr;8(1):4-13. Disponível em: <https://www.journals.ufrrpe.br/index.php/geama/article/view/4204>
31. Pérez-Alvelo KM, Llegus EM, Forestier-Babilonia JM, Elías-Arroyo CV, Pagán-Malavé KN, Bird-Rivera GJ, et al. Microplastic pollution on sandy beaches of Puerto Rico. *Mar Pollut Bull.* 2021 Mar;164:112010. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112010
32. Madureira EAL, Silva ALC, Barrantes-Castillo G, Araújo FV. Occurrence and distribution of microplastics on the beaches of Limón on the Southern Caribbean Coast of Costa Rica. *Micro.* 2024 Dec;5(1):1. doi: 10.3390/micro5010001
33. Mazariegos-Ortíz C, Rosales MLA, Carrillo-Ovalle L, Cardoso RP, Muniz MC, Anjos RM. First evidence of microplastic pollution in the El Quetzalito sand beach of the Guatemalan Caribbean. *Mar Pollut Bull.* 2020 Jul;156:111220. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111220
34. Gonçalves JV, Torres-Florez JP, Fagundes L, Barbosa L, Franco-Assis M, Ramos MAB, et al. Raio-X dos Resíduos na Costa Brasileira: Descobertas da 1ª Expedição Ondas Limpas na Estrada. Edição brasileira. São Paulo (SP): Sea Shepherd Brasil; 2024. Disponível em: [https://seashepherd.org.br/files/relatorio\\_olne.pdf](https://seashepherd.org.br/files/relatorio_olne.pdf).
35. Luo H, Liu C, He D, Xu J, Sun J, Li J, et al. Environmental behaviors of microplastics in aquatic systems: A systematic review on degradation, adsorption, toxicity and biofilm under aging conditions. *J Hazard Mater.* 2022 Feb;5(423):126915. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126915
36. Os objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil. Nações Unidas Brasil [Internet]; c2024 [citado em 14 abr 2025]. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>.
37. Kim IS, Chae DH, Kim SK, Choi S, Woo SB. Factors influencing the spatial variation of microplastics on high-tidal coastal beaches in Korea. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2015 Oct;69(3):299-309. doi: 10.1007/s00244-015-0155-6
38. Silva Oliveira A, Costa LL, Lima JS, Costa ID, Machado PM, Zalmon IR. Contaminação por Micropolásticos em Praias Arenosas no Brasil: uma Revisão Sistemática. *Oecol Aust.* 2023 Mar;27(1):1-21. doi: 10.4257/oeco.2023.2701.01
39. Garcés-Ordóñez O, Mejía-Esquibia KA, Sierra-Labastidas T, Patiño A, Blandón LM, Espinosa Díaz LF. Prevalence of microplastic contamination in the digestive tract of fishes from mangrove ecosystem

in Cispata, Colombian Caribbean. Mar Pollut Bull. 2020 May;154:111085. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111085