

Caracterização Morfológica, Polimérica e Elementar de Microplásticos em Quatro Praias Urbanas da Baía de Guanabara

Adriana Favacho Curty¹; Fábio Tsuyama¹; Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk¹; Marcelino José dos Anjos¹; André Luís de Sá Salomão¹

✉ adriana.curty@yahoo.com.br

1. Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Maracanã, Rio de Janeiro – Brasil

Histórico do Artigo: O autor detém os direitos autorais deste artigo.

Recebido em: Outubro de 2025

Aceito em: Novembro de 2025

Publicado em: Dezembro de 2025

Resumo: A produção global de plásticos tem apresentado crescimento expressivo nas últimas décadas, e a fragmentação desses materiais resulta na formação de microplásticos (MPs), atualmente amplamente disseminados nas diversas matrizes ambientais. Este estudo investigou a quantificação, caracterização morfológica e polimérica, e os elementos químicos associados aos MPs em quatro praias urbanas da Baía de Guanabara (Flamengo, Botafogo, Urca e Vermelha). As coletas foram realizadas em dez pontos por praia, durante os períodos chuvoso e seco. As amostras de areia superficial foram secas, peneiradas e triadas manualmente (fração 1–5mm). Uma subamostra (10 %) foi analisada por Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier com Reflectância Total Atenuada (ATR-FTIR) para identificação polimérica e por microfluorescência de raios X (μ -XRF) para determinação dos elementos adsorvidos. Sedimentos dedicados foram caracterizados quanto à granulometria e analisados por Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (EDXRF). Foram isolados 899 MPs, por catação manual com pinças metálicas, evidenciando forte assimetria espacial. A praia de Botafogo apresentou as maiores concentrações (45,6 e 28 itens kg^{-1} nas estações chuvosa e seca, respectivamente), enquanto a praia Vermelha registrou as menores (1,2 e 0,1 itens kg^{-1}). Fragmentos predominaram (67 %), seguidos de filmes (16 %), fibras (10 %), espumas (5 %) e pelotas (2 %); a classe >5mm foi a mais frequente (51 %). As cores mais comuns foram azul (34 %) e branca (19 %). A composição polimérica foi dominada por poliestireno (PS, 48,15 %) seguido por polietileno (PE, 37,04 %) e polipropileno (PP, 14,81 %). MPs e sedimentos quartzosos (SiO_2) apresentaram elementos químicos como Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Zr, Pb e Br, com variações sazonais discretas. Os resultados evidenciam a presença de *hotspots* em praias abrigadas, modulados pela granulometria, e reforçam o papel dos MPs como vetores potenciais de contaminantes. Recomendam-se a ampliação de séries temporais e a inclusão da fração <1mm, em programas de monitoramento ambiental.

Palavras-chave: Microplásticos, Praias urbanas, Baía de Guanabara, Poluição marinha, Micro XRF.

Morphological, Polymer, and Elemental Characterization of Microplastics in Four Urban Beaches of Guanabara Bay

Abstract: Global plastic production has increased significantly over recent decades, and the fragmentation of these materials results in the formation of microplastics (MPs), which are now widely distributed across various environmental matrices. This study investigated the quantification, morphological and polymeric characterization, and associated chemical elements of MPs in four urban beaches of Guanabara Bay (Flamengo, Botafogo, Urca, and Vermelha). Sampling was conducted at ten points per beach during the wet and dry seasons. Surface sand samples were dried, sieved, and manually sorted (1–5 mm fraction). A 10 % subsample was analyzed by Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) for polymer identification and by micro-X-ray fluorescence (μ -XRF) for the determination of adsorbed elements. Dedicated sediment samples were characterized for grain size and analyzed by Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF). A total of 899 MPs were manually isolated using metallic tweezers, revealing strong spatial asymmetry. In summary, Botafogo Beach showed the highest concentrations by mass (45.6 and 28 items kg^{-1} during the wet and dry seasons, respectively), whereas Vermelha Beach exhibited the lowest (1.2 and 0.1 items kg^{-1}). Fragments predominated (67 %), followed by films (16 %), fibers (10 %), foams (5 %), and pellets (2 %); the >5 mm size class was the most frequent (51 %). The most common colors were blue (34 %) and white (19 %). Polymeric composition was dominated by polystyrene (PS, 48.15 %), followed by polyethylene (PE, 37.04 %) and polypropylene (PP, 14.81 %). MPs and quartz-rich sediments (SiO_2) contained elements such as Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Zr, Pb, and Br, showing only minor seasonal variations. The results highlight the occurrence of hotspots in more sheltered beaches, modulated by sediment grain size, and reinforce the role of MPs as potential vectors of contaminants. Further studies should expand temporal monitoring and include the <1 mm fraction in environmental monitoring programs.

Keywords: Microplastics, Urban beaches, Guanabara bay, Marine pollution, Micro X-Ray Fluorescence.

Caracterización Morfológica, Polimérica y Elemental de Microplásticos en Cuatro Playas Urbanas de la Bahía de Guanabara

Resumen: La producción mundial de plásticos ha aumentado significativamente en las últimas décadas, y la fragmentación de estos materiales da lugar a la formación de microplásticos (MPs), actualmente ampliamente distribuidos en diversas matrices ambientales. Este estudio investigó la cuantificación, la caracterización morfológica y polimérica, y los elementos químicos asociados a los MPs en cuatro playas urbanas de la Bahía de Guanabara (Flamengo, Botafogo, Urca y Vermelha). El muestreo se realizó en diez puntos por playa durante las estaciones lluviosa y seca. Las muestras de arena superficial fueron secadas, tamizadas y separadas manualmente (fracción 1–5 mm). Una submuestra (10 %) fue analizada mediante Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier con Reflectancia Total Atenuada (ATR-FTIR) para la identificación de los polímeros y por microfluorescencia de rayos X (μ -XRF) para la determinación de los elementos adsorbidos. Las muestras de sedimentos fueron caracterizadas granulométricamente y analizadas mediante Fluorescencia de Rayos X por Dispersión de Energía (EDXRF). Se aislaron un total de 899 MPs mediante separación manual con pinzas metálicas, evidenciando una marcada asimetría espacial. En resumen, la playa de Botafogo presentó las mayores concentraciones por masa (45.6 y 28 items kg^{-1} en las estaciones lluviosa y seca, respectivamente), mientras que la playa Vermelha registró las menores (1.2 y 0.1 items kg^{-1}). Predominaron los fragmentos (67 %), seguidos de las películas (16 %), fibras (10 %), espumas (5 %) y pellets (2 %); la clase >5 mm fue la más frecuente (51 %). Los colores más comunes fueron azul (34 %) y blanco (19 %). La composición polimérica estuvo dominada por el poliestireno (PS, 48,15 %), seguido por el polietileno (PE, 37,04 %) y el polipropileno (PP, 14,81 %). Los MPs y los sedimentos ricos en cuarzo (SiO_2) presentaron elementos como Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Zr, Pb y Br, con variaciones estacionales discretas. Los resultados destacan la presencia de *hotspots* en playas más abrigadas, moduladas por la granulometría, y refuerzan el papel de los MPs como vectores potenciales de contaminantes. Se recomienda ampliar las series temporales e incluir la fracción <1 mm en los programas de monitoreo ambiental.

Palabras clave: Microplásticos, Playas urbanas, Bahía de Guanabara, Contaminación marina, Microfluorescencia de Rayos X.

INTRODUÇÃO

A produção global de plásticos aumentou significativamente na última década. Em 2022, cerca de 90,6 % da produção global foi de plásticos de origem fóssil, enquanto que 8,9 % corresponderam a materiais reciclados e apenas 0,5 % a bioplásticos. A América Latina respondeu por aproximadamente 4 % desse total (PLASTIC EUROPE, 2023). Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), os resíduos plásticos geram prejuízos ambientais estimados em US\$ 13 bilhões por ano, o que levou à proposição do conceito de "pegada plástica" como ferramenta de gestão da carga plástica nos ecossistemas (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2015).

Devido à ação das intempéries e dos processos mecânicos de erosão, causados principalmente pela exposição ao sol, e pela ação das marés, os plásticos estão se fragmentando em tamanhos cada vez menores, sendo os microplásticos (MPs), a classe de tamanho de maior preocupação mundial, devido à sua constante presença nas matrizes ambientais (ACAYABA *et al.*, 2017).

Os MPs podem ser classificados quanto à origem em primários, produzidos em escala industrial com até 5 mm e utilizados principalmente em cosméticos e produtos de higiene pessoal, e secundários, provenientes da fragmentação de meso e macroplásticos (COLE, 2011).

De acordo com sua composição e propriedades físico-químicas, os MPs podem liberar compostos tóxicos na água (lixiviação), como aditivos plásticos e plastificantes, além de adsorver poluentes orgânicos e inorgânicos, atuando como vetores ou veículos de contaminação para organismos expostos e podendo causar efeitos ecotoxicológicos adversos (OLIVATTO *et al.*, 2018).

As faixas costeiras que se estendem até 100 km da costa, concentram cerca de dois terços da população (ANDRIGETTO FILHO, 2004). Estas regiões, além da relevância econômica e turística, abrigam importantes ecossistemas costeiros sensíveis como restingas, mangues, praias e estuários (MORAES, 2007). A alta densidade populacional, associada às atividades urbanas, industriais e portuárias, torna essas áreas fontes importantes de poluição marinha.

Os resíduos sólidos, principalmente os plásticos e MPs, chegam à costa (superfície e fundo) por meio de rios, canais e descartes irregulares, ou por meio das correntes marinhas percorrendo grandes distâncias. Ao chegar à costa, estes podem causar diversos impactos ambientais, afetando a fauna e flora local, indo desde os microrganismos até grandes mamíferos (LOPES, 2007). Além disso, sua biodisponibilidade favorece a bioacumulação e biomagnificação ao longo das cadeias tróficas, especialmente às marinhas, que vão desde microrganismos

planctônicos, invertebrados aquáticos e peixes, até os grandes mamíferos (LEHTINIEMI *et al.*, 2018).

Embora diversos estudos tenham investigado a presença de MPs em regiões costeiras brasileiras, ainda são escassas as pesquisas que integram análises morfológicas, poliméricas e químicas em praias urbanas da Baía de Guanabara, um dos ambientes costeiros mais impactados do país. A caracterização conjunta dessas propriedades fornece uma visão abrangente sobre as fontes potenciais e o papel dos MPs como vetores de elementos-traço, representando uma contribuição para a compreensão dos processos de contaminação em praias urbanas abrigadas.

Diante deste contexto, o presente estudo teve como objetivo quantificar e caracterizar os MPs e os elementos químicos adsorvidos em partículas isoladas de amostras de areias de quatro praias urbanas e abrigadas da Baía de Guanabara (Flamengo, Botafogo, Urca e Vermelha), localizadas em áreas de intensa atividade portuária, industrial e pesqueira, e em contato direto com comunidades de baixa renda, configurando um cenário representativo dos impactos antrópicos sobre ambientes costeiros urbanos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo abrange quatro praias banhadas pela Baía de Guanabara: Flamengo, Botafogo, Urca e Praia Vermelha, todas estão localizadas na Zona Sul do município do Rio de Janeiro. Inseridas em malha urbana consolidada, essas frentes costeiras são intensamente utilizadas para lazer, turismo e prática de atividades físicas, além de estarem circundadas por vias com comércio ativo ao longo da orla (SILVA *et al* 2016). A Figura 1 apresenta a localização geográfica das 4 praias estudadas e a indicação da Área de Proteção Ambiental (APA) no fundo da Baía de Guanabara.

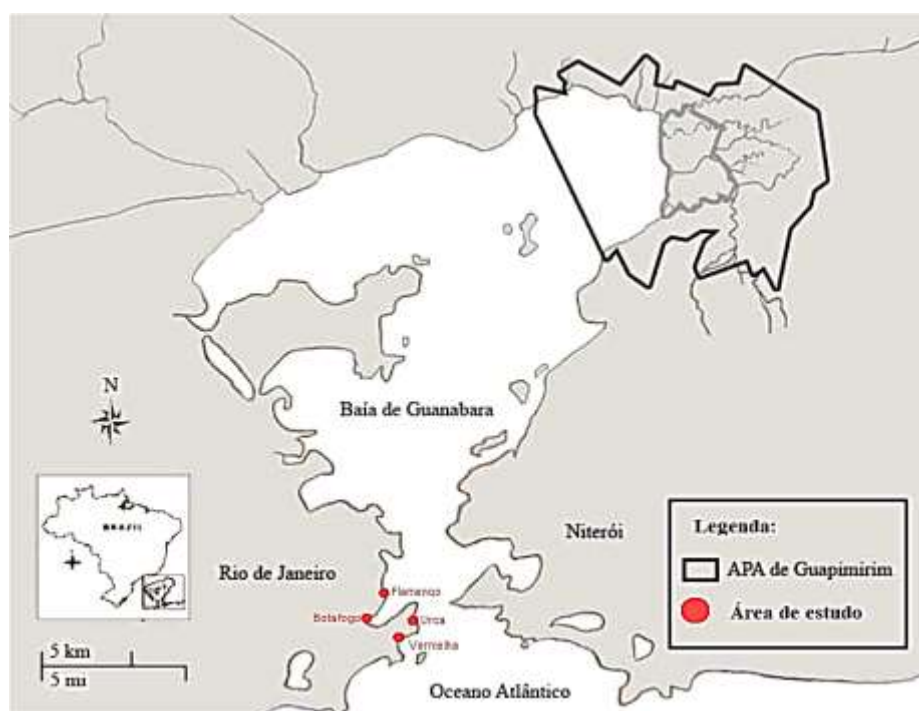


Figura 1. Mapa da Baía de Guanabara indicando as 4 praias da área de estudo (em vermelho).

Legenda: APA = Área de Proteção Ambiental.

Fonte: Elaboração própria.

A Baía de Guanabara é um estuário costeiro de elevada complexidade socioambiental que abriga 53 praias e recebe a descarga de 35 rios. Seu contorno é compartilhado por 6 municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro: Duque de Caxias, Magé, Guapimirim, Itaboraí, São Gonçalo e Niterói (BRANDINI; NOGUEIRA; ROLAND, 2016; COSTA, 2015).

O Município do Rio de Janeiro apresenta praias voltadas tanto para a baía quanto para o Oceano Atlântico. A bacia hidrográfica associada, à qual contribuem ainda outros 11 municípios, tem histórico de expansão urbana acelerada e pouco planejada, intensificando pressões antrópicas sobre a zona costeira. Do ponto de vista ecológico, a região conserva remanescentes de Mata Atlântica, incluindo formações paludosas, áreas alagadiças e extensos manguezais (PACHECO *et al.*, 2017; FERREIRA *et al.*, 2025).

A diversidade biológica registrada é expressiva, com 242 espécies de aves, 167 de peixes, 34 de répteis e 32 de mamíferos; entre os táxons aquáticos de maior relevância destacam-se golfinhos, tartarugas-marinhas e peixes de interesse ecológico e pesqueiro (p. ex., bagres, robalos, paratis, sardinhas e tainhas). (AZEVEDO *et al.*, 2017; GOLDBERG *et al.*, 2023; BRANDINI; NOGUEIRA; ROLAND, 2016).

Em contrapartida, fontes pontuais de poluição persistem: o emissário submarino de Icarai (Niterói, RJ) descarrega aproximadamente 952 L s⁻¹ de efluentes com tratamento

secundário na entrada da baía, contribuindo para a elevada carga orgânica e concentração de nutrientes do sistema (FEITOSA, 2017).

Amostragem

Em cada praia, foram selecionados 10 pontos de amostragem. As coletas de areia foram realizadas em dois períodos hidrológicos contrastantes: (i) estação chuvosa, correspondente ao verão austral, em fevereiro de 2022; e (ii) estação seca, correspondente ao inverno austral, em julho de 2022. Essa estratificação sazonal visa capturar variações associadas à presença de MPs e ao regime pluviométrico regional.

A metodologia utilizada para a coleta de amostras de sedimento foi a mesma em todas as 4 praias selecionadas a saber. As amostras foram coletadas em potes de vidro com tampa metálica (800 mL), com um coletor metálico, em uma área de 0,5m x 0,5m (0,25m²) e profundidade de até 2 cm. Os pontos amostrais foram divididos em duas fileiras paralelas de 5 pontos equidistantes em 5 m, tanto horizontalmente, como verticalmente (Figura 2). Linha superior, localizada na área suja da última maré mais alta, onde se concentravam a maior parte dos resíduos transportados pelas ondas, já a linha inferior situava-se entre a zona suja e a maré mais baixa (CURTY *et al.*, 2024).

As amostras coletadas foram levadas ao laboratório e secas em estufa (60°C) até que alcançassem massa constante. Os MPs foram separados por catação manual, com uma pinça metálica, e foram quantificados e classificados de acordo com sua forma, cor e tamanho com auxílio de um estereomicroscópio óptico (40x) no Laboratório de Biotecnologia e Fitorremediação (LABIFI / UERJ) (OGI E FUKUMOTO, 2000; MARTINS E SOBRAL, 2011). Uns pools dos MPs encontrado nas amostras por praia foram encaminhados para a identificação do tipo de polímero por Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier com Reflectância Total Atenuada (ATR_FTIR) e os elementos químicos adsorvidos as partículas de plástico por Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (EDXRF).

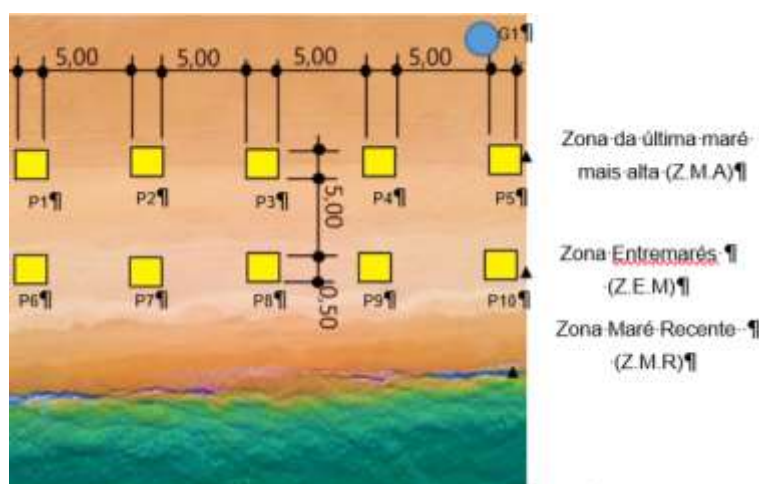


Figura 2. Esquema de coleta das amostras de areia superficial (2 cm de profundidade) CP em 10 pontos amostrais. *Legenda: P = ponto de amostragem; G1 = ponto de amostragem dedicado a análise granulométrica.*

Fonte: Elaboração própria.

Sendo assim, após a triagem dos MPs, retirou-se uma subamostra aleatória correspondente a 10% da massa total triada por praia. Esse subconjunto foi encaminhado ao Instituto de Química da UERJ para identificação da composição polimérica. Concluída a identificação, o mesmo conjunto (“pool”) foi remetido ao Laboratório de Instrumentação Eletrônica de Técnicas Analíticas (LIETA), no Instituto de Física da UERJ, para determinação de elementos químicos potencialmente adsorvidos às partículas.

As características físicas das praias, como a inclinação, comprimento e extensão do arco praial, foram avaliadas nos mesmos dias em que ocorreram as duas campanhas de coleta. Paralelamente, em cada campanha, foi coletada uma amostra de areia dedicada no ponto G1 de cada praia, destinada à caracterização físico-química do sedimento, incluindo análises granulométrica e quantificação de elementos químicos associados aos grãos de areia.

Análise Laboratorial dos Sedimentos

Os sedimentos foram caracterizados por análise granulométrica. A análise granulométrica foi realizada no material coletado no ponto amostral G1 em cada praia estudada, para todas as campanhas (verão e inverno).

A análise granulométrica com a amostra dedicada para a caracterização do sedimento (G1) de aproximadamente 800g foi realizada no agitador mecânico para peneiras redondas granulométricas (Marca Tamis) com a velocidade média de 100 rpm por 15 minutos e foram utilizadas 6 peneiras da série Tyler com aberturas em malha: 4,8mm; 2,4mm; 1,2mm; 0,6mm; 0,3mm; 0,15mm.

Após o peneiramento foi realizada a pesagem do sedimento segundo a NBR 7181:2016 a fim de ser elaborado um gráfico com um comparativo quanto a quantidade da presença de MPs e o módulo de finura da areia, sendo este classificado em: Grosso: 0,6 - 2,0 mm; Médio: 0,2 - 0,6 mm e Fino: 0,06 - 0,2 mm.

Após a avaliação da granulometria, foi separado 3 g de sedimento de cada praia de ambos os períodos analisados (seco e chuvoso) no ano de 2022 e encaminhado para a investigação dos metais adsorvidos nos sedimentos das areias das praias estudadas, pela técnica analítica de fluorescência por raios X por dispersão de energia no equipamento Epsilon 1 no LIETA (CURTY *et al.*, 2025).

A condição experimental do Epsilon 1 utilizada para determinação de metais em sedimentos foi o setup Omnian - Lieta2, que realiza três medições com diferentes condições, com as denominações: Omnian, Omnian2 e Omnian3. As condições experimentais são identificadas na Tabela 1, foram realizadas 3 medições por amostra de sedimento (3g).

Tabela 1 - Condições experimentais das medições realizadas pela técnica analítica de fluorescência por raios X por dispersão de energia no equipamento Epsilon 1.

Condição Experimental	Tensão	Corrente	Filtro	Tempo de medida
Omnian	50 kV	100 μ A	Ag	300 s
Omnian2	12 kV	416 μ A	Al-50	200 s
Omnian3	10 kV	500 μ A	Nenhum	60 s

Fonte: Elaboração própria.

Análise Laboratorial dos Microplásticos

Os sedimentos coletados foram secos e peneirados em malha fina ASTM/ABNT n.º 3,5 ($\approx$ 3,5 mesh Tyler; abertura 5,66 mm) para remover macrodetritos. Em seguida, os MPs da classe 1-5 mm foram isolados por inspeção visual a partir da fração < 5,66 mm, extraídos manualmente e quantificados, sendo classificados por cor, tamanho e morfotipo. Os resultados foram tabulados para análise subsequente.

A fim de mitigar a contaminação por fontes críticas do ambiente laboratorial, incluindo o ambiente de análise e o uso de utensílios plásticos, adotou-se um protocolo de QA/QC (ACAYABA *et al.*, 2021): coleta e armazenamento exclusivamente em frascos de vidro com tampa metálica, previamente lavados (sabão neutro, etanol e água Milli-Q), acondicionados por praia; secagem em estufa e manipulação sobre bancadas higienizadas (sabão neutro e etanol); ar-condicionado desligado e portas fechadas; abertura de frascos apenas no momento da extração; uso de jalecos de fibras naturais brancos; manipulação com pinças e bandejas metálicas; e por fim

acondicionamento imediato dos filtros em placas de Petri seladas com fita crepe e guardadas em caixas de papelão.

Os MPs extraídos dos sedimentos foram acondicionados em frascos de vidro (40 g) até a realização das análises. Devido à alta abundância de partículas (>1000 itens), procedeu-se a uma subamostragem aleatória correspondente a 10 % da massa total de MPs por praia, destinada à identificação polimérica por ATR-FTIR – técnica não destrutiva e de rápida aquisição espectral (~3 min por leitura). Os espectros em %T foram obtidos entre 4000–400 cm^{-1} , com correções de $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ e 16 varreduras, utilizando espectrômetro Frontier FT-IR/NIR (PerkinElmer) com acessório ATR; as medições ocorreram a ~25 °C e 30–35 % de umidade relativa.

Os fragmentos com polímero identificado foram então analisados por microfluorescência de raios X por dispersão de energia (μ -XRF/EDXRF; Bruker M4 Tornado) para quantificação de elementos adsorvidos à superfície. As condições instrumentais foram: 50 kV, 600 μA , ânodo de Rh, filtro AlTi_100/25, três pontos por amostra e 180 s por ponto. Essa análise é semiquantitativa e não substitui análises quantitativas absolutas, como ICP-OES, ICP-MS ou AAS.

A quantificação dos microplásticos neste estudo foi realizada por inspeção visual e catação manual, considerando exclusivamente a fração de partículas entre 1 e 5 mm. Embora essa metodologia seja amplamente utilizada em estudos ambientais, apresenta limitações associadas à observação humana e à seletividade de tamanho adotada. Essas restrições devem ser consideradas na interpretação dos resultados, especialmente quanto à representatividade da fração analisada e às estimativas de distribuição espacial dos microplásticos.

Análise Estatística dos Dados

A análise estatística dos dados foi realizada na plataforma Google Colab, utilizando a linguagem de programação Python. Os dados obtidos nas campanhas foram organizados em um DataFrame, contemplando as medições referentes aos dois períodos amostrais: seco e chuvoso.

A verificação da normalidade das distribuições foi conduzida por meio do teste de Shapiro-Wilk, enquanto as diferenças entre os grupos foram avaliadas com o teste de Kruskal-Wallis, adequado para dados não paramétricos.

Considerou-se o valor de p como critério para aceitação ou rejeição da hipótese nula: quando $p > 0,05$, a hipótese nula não é rejeitada, indicando que a amostra pode ser considerada normalmente distribuída; por outro lado, quando $p \leq 0,05$, a hipótese nula é rejeitada, sugerindo que os dados não seguem uma distribuição normal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação das características físicas das praias estudadas

As quatro praias estudadas inseridas em áreas urbanas, apresentaram declividade próxima de zero durante as campanhas, condição que pode favorecer o aporte e o acúmulo de MPs nos sedimentos costeiros.

Na faixa de intermaré, a zona mais exposta às oscilações de maré e ao espraiamento das ondas, observou-se intenso retrabalhamento sedimentar, caracterizado por processos episódicos de deposição e remoção, em consonância com a morfodinâmica descrita na literatura (SOUZA *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 1999; MACEDO, 2020).

O ângulo de inclinação do perfil transversal das praias, que nas áreas estudadas foi bastante reduzido (Tabela 2), relaciona-se diretamente à energia das ondas incidentes: quanto maior essa energia, mais íngreme tende a ser a faixa arenosa. (MACEDO, 2020, CURTY, 2024).

A granulometria dos sedimentos também é influenciada por essas condições, sendo geralmente mais grossa em ambientes de maior energia hidrodinâmica. (MACEDO, 2020, CURTY, 2024). Assim, as praias de baixa declividade e energia moderada, como as analisadas neste estudo, tendem a favorecer o acúmulo de resíduos sólidos e MPs ao longo de sua faixa costeira.

Tabela 2 – Características físicas das praias estudadas avaliadas nos dias de coleta.

Praia	Perfil das praias		Tipo de ocupação	Latitude	Longitude	Elevação (graus)	Extensão (m)
Flamengo	protegida	Baía de Guanabara	Zona residencial /comercial turística /	22°56'6" S	43°10'16" 0	1,25	1490
Botafogo	protegida	Baía de Guanabara	Zona residencial /comercial turística /	22°56'53"S	43°10'50" 0	0,4	632
Urca	protegida	Baía de Guanabara	Zona residencial /comercial turística /	22°56'53" S	43°9'49" 0	1,4	119
Vermelha	exposta	B.Guanabara/Oceânica	Zona residencial /comercial turística /	22°57'20" S	43°9'53" 0	0,7	257

Fonte: Elaboração própria.

Avaliação das características físico-química das areias

Volume Coletado

Considerando o conjunto das campanhas realizadas neste estudo, a massa total de areia coletada foi 193,8 kg. A área amostrada por praia em cada um dos dois períodos (seco e chuvoso) correspondeu a 2,5 m², totalizando 20 m² de área amostral.

Granulometria

A granulometria dos sedimentos e o grau de exposição das praias são fatores relevantes para compreender as variações na concentração de MPs nas areias costeiras (RODRIGUES, *et al.*, 2024). Em geral, observa-se que a concentração de MPs tende a ser maior em sedimentos mais finos, ou seja, quanto menor o módulo de finura, maior o acúmulo de partículas plásticas (MACEDO *et al.*, 2020; RODRIGUES, *et al.*, 2024). A análise granulométrica realizada baseou-se na classificação do módulo de finura segundo a norma NBR 7181:2016, aplicada às amostras nas duas campanhas (estações seca e chuvosa). A análise granulométrica indicou que as praias estudadas possuem módulos de finura semelhantes quando agrupadas conforme suas características geomorfológicas e perfis praias (Tabela 3). As praias do Flamengo, Botafogo e Urca apresentaram resultados semelhantes, enquanto a praia Vermelha apresentou módulo de finura significativamente maior que as demais.

Essa diferença pode estar relacionada à posição geográfica da praia Vermelha, localizada na entrada da Baía de Guanabara, onde sofre influência direta das correntes oceânicas do Atlântico e é delimitada por afloramentos rochosos, o que a distingue morfologicamente das demais praias urbanas analisadas.

Tabela 3 – Módulo de finura das areias das 9 praias.

Praia	Período Chuvoso Fev.2022	Período Seco Jul.2022	Média
Flamengo	2,05	1,91	1,98
Botafogo	1,97	1,81	1,89
Urca	1,87	1,96	1,92
Vermelha	2,96	2,92	2,94

Módulo de finura da NBR: 7181:2016: Fino (0,06–0,2); Médio (0,2–0,6); Grosso: 0,6–2,0.

Fonte: Elaboração própria.

Avaliação dos metais adsorvidos aos sedimentos

A associação dos elementos químicos aos MPs e à fração arenosa dos sedimentos envolve o entendimento dos mecanismos e eficiências da absorção envolvidas no processo. No ambiente, tem um grande potencial de migração constante (sorção e dessorção) dos poluentes ao longo de um gradiente de concentração nas superfícies dos MPs e sedimentos aderidos ao dióxido de silício (SiO₂) ou seja, areia, até alcançar o equilíbrio (CAO *et al.*, 2021; RODRIGUES *et al.*, 2022; CURTY *et al.*, 2025). Nesse estudo avaliou-se a presença ou ausência dos seguintes elementos químicos: Magnésio (Mg); Alumínio (Al), Fósforo (P), Enxofre (S), Cloro (Cl), Potássio (K), Cálcio (Ca), Titânio (Ti), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Rubídio (Rb), Estrôncio (Sr), Ítrio (Y), Zircônio (Zr), Chumbo (Pb), Bromo (Br), Nióbio (Nb). Esses elementos químicos foram avaliados qualitativamente tanto para o período seco, quanto no chuvoso (Tabela 4).

Tabela 4 – Avaliação qualitativa dos elementos químicos adsorvidos aos grãos de areia nos períodos chuvoso e seco.

Período Chuvoso	SiO ₂ (%)	Elementos químicos presentes nas amostras
Flamengo	84,2 ± 3,4	Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, r, Pb, Nb
Botafogo	85,7 ± 2,0	Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, r, Pb, Nb
Urca	90,4 ± 1,1	Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, r, Pb, Nb
Vermelha	92,6 ± 1,4	Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, r, Pb

Período Seco	SiO ₂ (%)	Elementos Químicos presentes nas amostras
Flamengo	92,7 ± 0,9	Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Pb, Br, Nb
Botafogo	85,1 ± 1,5	Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Pb, Nb
Urca	90,2 ± 1,6	Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Pb, Br
Vermelha	93,9 ± 1,9	Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Zr, Pb, Br

Fonte: Elaboração própria.

O SiO₂ apresentou os maiores percentuais nas amostras de areia, corroborando que a matriz sedimentar é predominantemente quartzosa, com a presença de outros elementos associados ou aderidos aos grãos. A variação entre os sedimentos coletados nos dois períodos amostrais foi mínima, indicando relativa homogeneidade composicional ao longo do tempo.

As interações entre MPs e elementos químicos dependem de propriedades de superfície das partículas (tamanho, área específica, porosidade e íons/grupos eletronegativos) e de

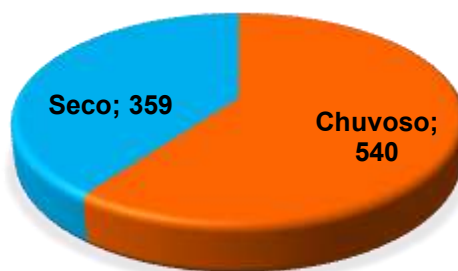
condições ambientais como pH, salinidade e temperatura (ATHIRA *et al.*, 2024; CASTILLO *et al.*, 2024; CURTY *et al.*, 2025).

A presença de Mg e Cr relaciona-se a pH, salinidade e temperatura, enquanto Ni, Cu, Zn, Pb, Co e As mostram correlação sobretudo com a temperatura (CASTILLO *et al.*, 2024; ATHIRA *et al.*, 2024). Esses vínculos devem ser interpretados com cautela dado o caráter semiquantitativo da análise μ -XRF e devem, quando pertinente, ser confirmados por técnicas quantitativas absolutas, como ICP-OES, ICP-MS ou AAS.

Análise quantitativa dos MPs

No total, 899 MPs foram triados das amostras de areia superficial por meio do protocolo de catação manual. Desses, 540 MPs foram obtidos durante o período chuvoso e 359 MPs no período seco (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Quantificação total do número absoluto de microplásticos triados durante os períodos seco e chuvoso.

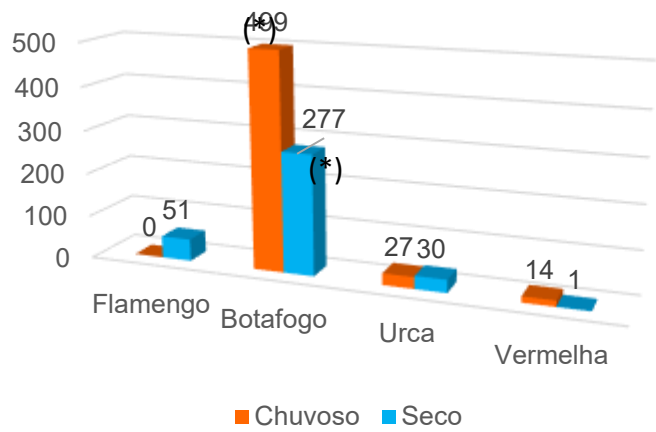


Fonte: Elaboração própria.

A análise dos dados apresentados na Gráfico 2 evidencia uma variação significativa na concentração de MPs entre as praias e os períodos amostrados (p -valor $<0,05$). A praia de Botafogo apresentou as maiores quantidades de MPs nos dois períodos, com destaque para o período chuvoso (499 itens), representando o principal aporte de MPs da área estudada. A praia do Flamengo mostrou ocorrência apenas no período seco (51 itens), enquanto Urca manteve valores próximos entre os períodos (27 e 30 itens, respectivamente).

Já a praia Vermelha apresentou baixas concentrações, especialmente no período seco (1 item). Os resultados indicam que as variações sazonais e as características locais de cada praia influenciam diretamente a acumulação de MPs nas areias superficiais.

Gráfico 2 – Quantificação dos microplásticos extraídos por praia para cada período.



(*) Diferença significativa (p -valor $<0,05$): Teste de Shapiro Wilk e Kruskal-Wallis apresentou variações para os períodos seco e chuvoso.

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 5 apresenta a relação entre a quantidade de MPs e a massa de sedimento seco coletada em cada praia durante os períodos chuvoso e seco. Observa-se que a praia de Botafogo apresentou as maiores concentrações em ambos os períodos, atingindo 45,6 itens/kg no período chuvoso e 28 itens/kg no período seco, o que confirma sua condição como o principal ponto de acúmulo de MPs na área estudada.

Nas demais praias, as concentrações foram substancialmente menores, com destaque para a praia do Flamengo, que apresentou MPs apenas no período seco (4,9 itens/kg).

As praias da Urca e Vermelha exibiram os menores valores relativos, com variação entre 0,1 e 3,1 itens/kg.

Tabela 5 – Variação sazonal da concentração de microplásticos (MPs) nas areias das praias estudadas.

Praias	Período chuvoso			Período seco		
	areia coletada/praias (kg)	MPs/ (itens)	MPs (itens/kg)	areia coletada/praias (kg)	MPs/ (itens)	MPs (itens/kg)
Flamengo	10,3	0	0	10,5	51	4,9
Botafogo	10,9	499	45,6	9,9	277	28
Urca	10,1	27	2,7	9,8	30	3,1
Vermelha	11,6	14	1,2	10,4	1	0,1
Total	42,9	540	12,6	40,6	359	8,8

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados corroboram com a literatura, apesar da variação granulométrica entre as praias ter sido discreta, Botafogo destacou-se por apresentar os menores tamanhos de grão

entre as áreas abrigadas e a maior carga de MPs (kg^{-1}). A Vermelha com maior granulometria, apresentou a menor concentração. (Figura 4; Tabela 5) A relação entre granulometria e ocorrência de MPs provavelmente reflete a combinação de contrastes litoestruturais e condições hidrodinâmicas locais. Essas incertezas reforçam a necessidade de investigações adicionais sobre como o tamanho dos grãos e os sedimentos aderidos aos mesmos modulam a distribuição de MPs em ambientes costeiros (SUN, *et al.*, 2021; CURTY, *et al.*, 2024).

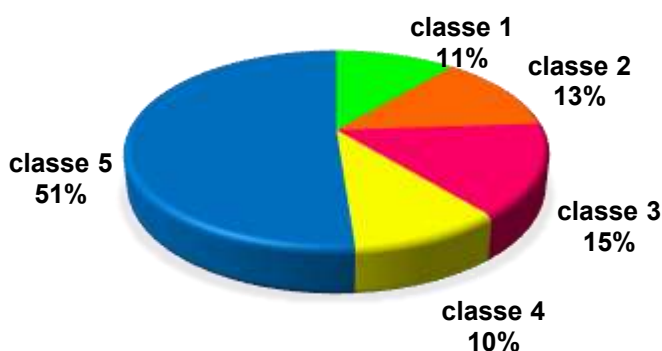
Análise qualitativa dos Microplásticos

Classe de tamanhos

Os microplásticos encontrado nas amostras de areia das praias foram divididos em 6 classes: classe 1 (1,00-1,99mm); classe 2 (2,00-2,99mm); classe 3 (3,00-3,99mm); classe 4 (4,00 – 4,99mm); classe 5 ($\geq 5,00\text{mm}$).

A classe 5 ($>5\text{mm}$) foi a mais representativa, representando 51% ($n=460$ itens) das amostras, seguidas pelas classes 3 ($n=136$; 15%), classe 2 ($n=93$; 13%), classe 1 ($n=100$; 11%) e a classes 4 ($n=88$; 10%) (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Distribuição dos microplásticos (MPs) nas quatro praias avaliadas, de acordo com as classes de tamanho: classe 1 (1,00–1,99 mm); classe 2 (2,00–2,99 mm); classe 3 (3,00–3,99 mm); classe 4 (4,00–4,99 mm); e classe 5 ($\geq 5,00$ mm)

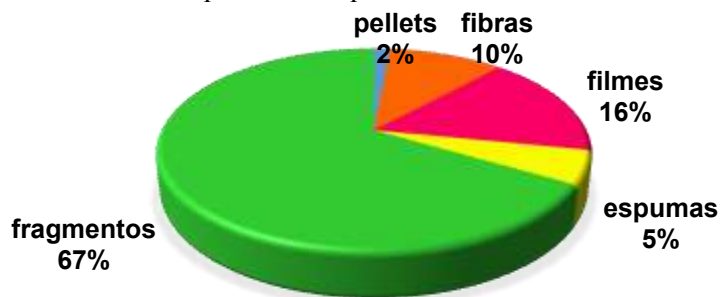


Fonte: Elaboração própria.

Morfotipo

A distribuição dos MPs por morfotipo foi realizada dividindo-se as partículas em cinco tipos. Os fragmentos foram o morfotipo mais abundante, representando 67% ($n = 598$) das amostras, seguidos por filmes (16%, $n = 147$), fibras (10%, $n = 93$), espumas (5%, $n = 48$) e pelotas (2%, $n = 13$) (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Distribuição dos microplásticos (MPs) nas amostras de areia das quatro praias avaliadas, segundo a classificação por morfotipo.



Fonte: Elaboração própria.

A presença de fragmentos nas areias das praias pode ser atribuída a diversos fatores, como a fragmentação de pedaços maiores pela ação mecânica das ondas ou a exposição à radiação solar, que pode enfraquecer as ligações poliméricas (ÖZTEKIN *et al.*, 2024; AZAAOUAJ *et al.*, 2024) (Figura 3).



Figura 3 – Microplásticos extraídos das amostras de areias superficiais da praia de Botafogo.

Fonte: Elaboração própria.

Cores

A análise qualitativa dos microplásticos por cor classificou as partículas em oito categorias: amarelo, azul, branco, preto, incolor, verde, vermelho e outras cores. No presente estudo, a cor mais representativa foi azul (34%; n = 309), seguida por branco (19%; n = 167), verde (14%; n = 123), vermelho (12%; n = 109), incolor (8%; n = 75), amarelo (5%; n = 46) e outras cores (5%; n = 41) (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Distribuição dos microplásticos (MPs) identificados nas amostras de areia das quatro praias avaliadas, segundo a classificação por cor.



Fonte: Elaboração própria.

A predominância de partículas azuis e brancas provavelmente reflete fontes e processos distintos. As fibras e fragmentos azuis são compatíveis com o uso disseminado de cabos e cordas de poliamida em atividades náuticas e de pesca, materiais frequentemente fabricados em tonalidades azuis/pretas (CURTY *et al.*, 2024). Já as frações brancas/incolores reiteradamente reportadas como as mais comuns no ambiente podem resultar de (i) ampla disponibilidade de itens descartáveis produzidos nessas cores, (ii) perda de pigmento por oxidação e fotodegradação induzida por UV, e (iii) menor detectabilidade visual por predadores, favorecendo sua permanência no sistema (ANDRADY, 2017; AYTAN *et al.*, 2022; ÖZTEKIN *et al.*, 2024; CURTY *et al.*, 2024).

Análise do tipo de polímero

A análise por FTIR permitiu identificar os grupos funcionais presentes nos MPs ambientais, possibilitando a determinação dos tipos de polímeros (LÓPEZ-VELÁZQUEZ *et al.*, 2024). Devido às limitações do equipamento, foram selecionados aleatoriamente 27 amostras, correspondendo a aproximadamente 10 % da massa total de MPs coletados. A caracterização revelou três tipos principais de polímeros: poliestireno (PS), predominante com 48,15 % das amostras; polietileno (PE), representando 37,04 %; e polipropileno (PP), com 14,81 %.

A predominância desses três polímeros (PE, PP e PS) é consistente com estudos realizados em zonas costeiras de diferentes regiões (LÓPEZ-VELÁZQUEZ *et al.*, 2024; ÁLVAREZ-ZEFERINO *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2020). As prováveis fontes incluem: fragmentação de sacolas, brinquedos e embalagens alimentares (PE); tampas de bebidas, descartáveis e embalagens farmacêuticas (PP); e materiais de construção e descartáveis rígidos/espumados (PS) (LÓPEZ-VELÁZQUEZ *et al.*, 2024; CURTY *et al.*, 2025).

A elevada representatividade desses polímeros está relacionada às suas propriedades físicas, em especial a densidade inferior à da água, que favorece a flutuação, o transporte por correntes fluviais e marítimas e a deposição subsequente em diferentes faixas litorâneas (CHEN *et al.*, 2022; LÓPEZ-VELÁZQUEZ *et al.*, 2024).

Os resultados apresentados na Tabela 6 corroboram a literatura ao indicar que microplásticos (MPs) podem adsorver metais como Cd, Co, Cr, Ni e Pb, sendo essa adsorção dependente das condições ambientais e do estado de envelhecimento do polímero. Em estuários, tanto MPs virgens quanto envelhecidos retêm esses elementos (TURNER *et al.*, 2020), e observa-se que o aumento do pH eleva a adsorção de Cd, Co, Ni e Pb, ao passo que reduz a de Cr (HOLMES *et al.*, 2020).

Em ambientes litorâneos, MPs encalhados tendem a adsorver maiores quantidades de metais em comparação a MPs virgens, e parte da carga metálica pode ser inerente às partículas, como evidenciado em sedimentos rasos do rio Beijiang (WANG *et al.*, 2019). A sorção resulta de processos sinérgicos e competitivos na solução e na interface água-partícula, modulados pela qualidade da água (pH, salinidade, temperatura e concentração de íons dissolvidos) e pelas propriedades da matriz polimérica, incluindo taxa de degradação e bioincrustação. Esses fatores influenciam a carga superficial, a molhabilidade e a área reativa dos MPs (BINDA *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2021).

Além disso, o envelhecimento físico-químico e a colonização por biofilmes aumentam a rugosidade superficial e a afinidade hidrofóbica das partículas, intensificando a adsorção de metais e reforçando o papel dos MPs como vetores de contaminantes ao longo da teia trófica (BINDA *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2021; LV *et al.*, 2015; LANG *et al.*, 2020; MASTERTON *et al.*, 2023).

Tabela 6 – Elementos químicos adsorvidos por microplásticos (MPs) segundo o tipo de polímero

Tipo de Polímero	Elementos Químicos adsorvidos ao MPs															
Poliestireno (PS)	Cl	Ca	Cu	Ti	Fe	Zn	K	Sr	Rb	Zr	Nb	S	Co	Br	-	-
Polipropileno (PP)	Cl	Ca	Cu	Ti	Fe	Zn	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polietileno (PE)	Cl	Ca	Cu	Ti	Fe	Zn	-	Sr	-	-	-	-	-	-	Pb	Cr

Fonte: Elaboração própria.

CONCLUSÃO

Este estudo avaliou a presença e caracterização de microplásticos (MPs) em quatro praias urbanas da Baía de Guanabara, sujeitas a pressões antrópicas crônicas. A baixa



declividade e o retrabalhamento na faixa de intermaré favoreceram a retenção de MPs, com distribuição espacial assimétrica: A praia de Botafogo apresentou as maiores concentrações, enquanto a Praia Vermelha, mais exposta e de granulometria mais grossa, apresentou os menores valores. A granulometria e a energia das ondas foram determinantes para a retenção, enquanto a variação sazonal foi pouco expressiva.

Fragmentos predominaram (67 %), seguidos por filmes e fibras, e as cores azul e branco/incolor sugerem fontes náuticas e descartáveis. A caracterização polimérica revelou predomínio de PS (48,15 %), seguido de PE (37,04 %) e PP (14,81 %), polímeros com baixa densidade que favorecem flutuação, transporte e deposição em praias abrigadas. Os MPs adsorveram metais e metaloides conforme descrito na literatura, refletindo a influência de pH, salinidade, temperatura, degradação e bioincrustação.

Os resultados indicam que a interação entre hidrodinâmica, granulometria e uso do entorno define *hotspots* de acúmulo, enquanto cor e tipo de polímero funcionam como indicadores de fontes e rotas. Além disso, os MPs atuam como vetores potenciais de elementos-traço, ampliando riscos ecotoxicológicos. Estudos futuros devem ampliar a cobertura temporal e espacial, incluir frações <1 mm, integrar traçadores de origem e padronizar protocolos QA/QC. Do ponto de vista da gestão, priorizar praias abrigadas, controlar fontes locais e adotar métricas operacionais constitui estratégia eficaz para monitoramento e mitigação na interface terra-mar.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos laboratórios LABIFI, LIETA e o Instituto de Química, envolvidos neste estudo pelo suporte técnico e infraestrutura disponibilizados, fundamentais para a realização das análises de microplásticos. Também expressamos nossa gratidão às agências de fomento FAPERJ e CAPES pelo financiamento, bolsas e verbas de custeio que possibilitaram a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACAYABA, R. D.; MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, São Paulo, v. 40, n. 9, p. 1094-1110, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170091>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/NJr4QLWkxChXd6gHvdwtNk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 5 jan. 2023.

ANDRIGETTO FILHO, J. M. Das “dinâmicas naturais” aos “usos e conflitos”: uma reflexão sobre a evolução epistemológica da linha do “costeiro”. **Desenvolvimento e Meio ambientes**, Curitiba, n. 10, p. 187-192, jul./dez. 2004. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/download/3108/2489>. Acesso em: 23 dez. 2022.

Caracterização Morfológica, Polimérica e Elementar de Microplásticos em Quatro Praias Urbanas da Baía de Guanabara

ALVAREZ-ZEGERINO, J. C. *et al.* Microplastics in Mexican beaches. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 155, p. 104633, 2020.

ATHIRA, T.R. *et al.* Shorebird droppings analysis: Microplastics and heavy metals in a key conservation reserve and adjoining sand beaches in the west coast of India. **Marine Pollution Bulletin**, v. 207, p. 116929, 2024.

AZAAOUAJ, S. *et al.* Abundance and distribution of microplastics on sandy beaches of the eastern Moroccan Mediterranean coast, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 200, 116144, 2024.

AZEVEDO, A. F. *et al.* The first confirmed decline of a delphinid population from Brazilian waters: 2000–2015 abundance of *Sotalia guianensis* in Guanabara Bay, SE Brazil. *Ecological Indicators*, v. 79, p. 1–10, 2017.

BINDA, G., *et al.* Unfolding the interaction between microplastics and (trace) elements in water: A critical review, **Water Research**, Volume 204, 117637, 2021.

BRANDINI, N.; NOGUEIRA, C. R.; ROLAND, F. Nutrient behavior in a highly eutrophicated tropical estuary (Guanabara Bay, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 28, e21, 2016.

CAO, Y. *et al.* A critical review on the interactions of microplastics with heavy metals: Mechanism and their combined effect on organisms and humans. **Science of The Total Environment**, v. 788, p. 147620, 2021.

CASTILLO, A. B. *et al.* Potential ecological risk assessment of microplastics in coastal sediments: Their metal accumulation and interaction with sedimentary metal concentration. **Science of The Total Environment**, Volume 906, 167473, 2024.

CHEN, G. *et al.* Mini-review of microplastics in the atmosphere and their risks to humans. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 703, 2020.

COLE, M. *et al.* Microplastic as contaminants in the marine environment: a review. **Marine Pollution Bulletin**, [s. l.], v. 62, n. 12, p. 2588–2597, 2011. DOI 10.1016/j.marpolbul.2011.09.025.

COSTA, M. A. M. Da lama ao caos: um estuário chamado Baía de Guanabara. *Cadernos Metrópole*, v. 17, n. 34, p. 321–342, 2015.

CURTY, A. F. *et al.* Análise comparativa de dois protocolos de extração para quantificação de microplásticos em sedimentos inconsolidados de praias costeiras. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 10, p. e8584, 2024.

CURTY, Adriana Favacho. Caracterização dos microplásticos ambientais presentes nos sedimentos inconsolidados das águas costeiras de 9 praias do litoral do Rio de Janeiro, Brasil. 2024. 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

CURTY, A. F. *et al.* Metals' Adsorption Onto Environmental Microplastics at Shoreline Sediments. **X-Ray Spectrometry**, 2025. <https://doi.org/10.1002/xrs.70053>

FERREIRA, T. *et al.* Foraminifera and geomicrobiology as indicators of environmental recovery in a mangrove affected by oil spills in Guanabara Bay (Brazil). *Science of the Total Environment*, v. 931, 173179, 2025

GOLDBERG, D. W. *et al.* *Mycobacterium gordonae* infection in a free-ranging green turtle (*Chelonia mydas*) from Guanabara Bay, Brazil. **Frontiers in Marine Science**, v. 10, 1197731, 2023

HOLMES, L.A., *et al.* In vitro avian bioaccessibility of metals adsorbed to microplastic pellets. **Environmental Pollution**, 261, 114107, 2020.

GROUP OF EXPERTS ON THE SCIENTIFIC ASPECTS OF MARINE ENVIRONMENTAL PROTECTION. Guidelines for the Monitoring and Assessment of Plastic Litter in the Ocean. **GESAMP**, London, 2019. Disponível em: <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean>. Acesso em: 9 jan. 2023.

- LANG, M., *et al.* Fenton aging significantly affects the heavy metal adsorption capacity of polystyrene microplastics. **Sci. Total Environ.**, 722, Article 137762, 2020.
- LEHTINIEMI, M. *et al.* Size matters more than shape: ingestion of primary and secondary microplastics by small predators. **Food Webs**, v. 17, Dec. 2018.
- LIU, P. *et al.* Review of the artificially-accelerated aging technology and ecological risk of microplastics. **Sci. Total Environ.**, 768, Article 144969, 2021.
- LOPES, C. F.; MILANELLI, J. C. C.; POFFO, I. R. F.; Ambientes costeiros contaminados por óleo: procedimentos de limpeza: manual de orientação. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, São Paulo, 2007.
- LÓPEZ-VELÁZQUEZ, M. *et al.* Microplastics on sandy beaches of Chiapas, Mexico. **Regional Studies in Marine Science**, v. 70, p. 103381, 2024.
- LV, Y. *et al.* Outdoor and accelerated laboratory weathering of polypropylene: a comparison and correlation study. **Polym. Degrad. Stab.**, 112, pp. 145-159, 2015.
- MACEDO, A.V. A influência da dinâmica e dos diferentes usos na distribuição e origem de microplásticos no litoral da Ilha Grande, Angra dos Reis (RJ). Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Formação de Professores. 132 f. 2020.
- MASTERTON, H., *et al.* The role of plastics in the accumulation and release of trace elements in the environment. **Cambridge Prisms: Plastics**. 1:el5. 2023.
- MORAES, A. C. R. Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: **Elementos para uma Geografia do Litoral Brasileiro**. São Paulo: Annablume, 2007. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001834365>. Acesso em: 27 dez. 2022.
- OLIVATTO, G. P. *et al.* Microplásticos: Contaminantes de Preocupação Global no Antropoceno. **Revista Virtual Química**, Niterói, v. 10, n. 6, p. 1968-1989, 17 dez. 2018.
- ÖZTEKIN, A. *et al.* Microplastic Contamination of the Seawater in the Hamsilos Bay of the Southern Black Sea. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 235, p. 325, 2024.
- PACHECO, F. S. *et al.* Environmental change in Guanabara Bay (SE Brazil) based on diatom records and geochemistry: evidence of increasing eutrophication during the last decades. **Ocean & Coastal Management**, v. 139, p. 86-99, 2017.
- PLASTICS EUROPE. Plastics: the facts 2023. **Plastics Europe**, Brussels, Oct. 2023. Disponível em: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/> Acesso em: 15 jul. 2024.
- RODRIGUES, J.P. *et al.* Interaction of microplastics with metal(oid)s in aquatic environments: What is done so far? **Journal of Hazardous Materials Advances**, v. 6, p. 1000722022, 2022.
- RODRIGUES, C. *et al.* Microplastics in beach sediments of the Azores archipelago, NE Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 201, p. 116243, 2024.
- SILVA, M. A. M. *et al.* Praias da Baía de Guanabara no estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 17, n. 2, p. 205-225, 2016. DOI: 10.20502/rbg.v17i2.839
- SOARES-GOMES, A. *et al.* An environmental overview of Guanabara Bay. **Regional Studies in Marine Science**, Rio de Janeiro, v. 8, p. 319-330, 2016.
- SOUZA, C.R.G. *et al.* Praias arenosas e erosão costeira. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K; OLIVEIRA, A.M.S. & OLIVEIRA, P.E. **Quaternário do Brasil**. Ed. Holos, Brasil, p.130-152, 2005.
- SUN, X. *et al.* Factors influencing the occurrence and distribution of microplastics in coastal sediments: From source to sink. **Journal of Hazardous Materials**, v. 410, p. 124982, 2021.



Caracterização Morfológica, Polimérica e Elementar de Microplásticos em Quatro Praias Urbanas da Baía de Guanabara

TUBINO, R. A.; *et al.* Atividade de pesca amadora desenvolvida na Área de Proteção Ambiental de Guapimirim, Baía de Guanabara, RJ. **Anais – Uso Público em Unidades de Conservação, Niterói, RJ**, v. 1, n. 1, 2013. Disponível em: <http://www.uff.br/usopublico>. Acesso em: 15 out. 2025.

TURNER, A.; FILELLA, M. Hazardous metal additives in plastics and their environmental impacts. **Environment International**, [s. l.], v. 156, Nov. 2021.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. From Pollution to solution: a global assessment of marine litter and plastic pollution. **UN Environment Programme**, Nairobi, 21 Oct. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/interactive/pollution-to-solution/>. Acesso em: 29 dez. 2022.

WU, N. *et al.* Colonization characteristics of bacterial communities on microplastics compared with ambient environments (water and sediments) in Haihe Estuary. **Science of the Total Environment**, v.708, p. 2020.