



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA BACHARELADO

CAROLINE BRAUN REINALDO

**OCORRÊNCIA E CARACTERIZAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS NA AVALIAÇÃO
DE PARÂMETROS GOVERNANTES NA DINÂMICA NO ESTUÁRIO DO RIO
PACOTI, CEARÁ**

FORTALEZA

2023

CAROLINE BRAUN REINALDO

OCORRÊNCIA E CARACTERIZAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS NA AVALIAÇÃO DE
PARÂMETROS GOVERNANTES NA DINÂMICA NO ESTUÁRIO DO RIO PACOTI,
CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química com Habilitação Industrial.

Orientador Pedagógico: Prof. Dr. André Henrique Barbosa de Oliveira.

Orientador Profissional: Dr. Ari Clecius Alves de Lima.

FORTALEZA

2023

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

R289o Reinaldo, Caroline Braun.

Ocorrência e caracterização de microplásticos na avaliação de parâmetros governantes na dinâmica no estuário do Rio Pacoti, Ceará / Caroline Braun Reinaldo. – 2023.
47 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Química, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. André Henrique Barbosa de Oliveira.
Coorientação: Prof. Dr. Ari Clecius Alves de Lima.

1. Microplástico. 2. Estuário. 3. Sedimento. I. Título.

CDD 540

CAROLINE BRAUN REINALDO

OCORRÊNCIA E CARACTERIZAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS NA AVALIAÇÃO DE
PARÂMETROS GOVERNANTES NA DINÂMICA NO ESTUÁRIO DO RIO PACOTI,
CEARÁ.

Monografia apresentada ao Curso de
Bacharelado em Química da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Química com
Habilitação Industrial.

Aprovada em: ___/___/___.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André Henrique Barbosa de Oliveira (Orientador Pedagógico)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Ari Clecius Alves de Lima (Orientador Profissional)
Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC)

Prof. Dr. Paulo Henrique Gomes de Oliveira Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por todas as graças alcançadas.

Aos meus pais, por todo suporte e incentivo necessário dado durante toda a vida, e por se fazerem presentes sempre.

A Universidade Federal do Ceará e a todos os professores da instituição, pelos conhecimentos e experiências adquiridas durante o período de graduação.

À Instituição FUNCAP, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Dr. André Henrique Barbosa de Oliveira, por me receber no Laboratório de Estudos Ambientais, e apoiar a relevância da pesquisa.

Ao Dr. Ari Clecius Alves de Lima, por confiar no trabalho e possibilitar a parceria com o Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará.

Aos laboratórios parceiros, LGMA, LIB e Central Analítica da Química, que muito contribuíram para a realização do trabalho.

Aos Prof. Dr. Paulo Henrique Gomes de Oliveira Sousa pelo aceite do convite para participação e contribuição da banca examinadora.

Aos meus amigos de laboratório, em especial ao Victor Teles e ao Rufino Neto, por toda dedicação e paciência durante a pesquisa. Além do carinho que transcende para a vida.

Aos meus amigos de graduação, Marlon Erick, Mário Sérgio, Mariana Marquees e Ismael Pinheiro, pelos bons momentos compartilhados e pela amizade.

“Somos um grão de poeira para o universo,
mas, para alguém, em algum lugar do mundo, o
sol.” (ELAYNE BAETA)

RESUMO

A cultura de uso de plásticos revolucionou os padrões de produção, graças à sua maleabilidade, força e leveza. No entanto, o crescente uso indiscriminado de plásticos, aliado à sua má destinação, tem gerado graves problemas ambientais, destacando-se a preocupante questão dos microplásticos e seu impacto negativo no ecossistema e biodiversidade local. Os corpos hídricos, especialmente os estuários, são considerados as principais fontes de poluição por microplásticos, devido ao fluxo d'água lento e à presença de vegetação aquática que facilita a retenção dessas partículas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo investigar a incidência e distribuição dos microplásticos no estuário do Rio Pacoti, localizado no município de Fortaleza, Ceará, a fim de compreender a dinâmica desse ambiente específico. Para alcançar esse objetivo, foram realizadas coletas de sedimentos em 9 pontos distintos ao longo do estuário. As amostras foram devidamente processadas, submetidas à análise de digestão da matéria orgânica, e posteriormente investigadas por meio de microscopia, espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), granulometria e técnicas quimiométricas. Durante a análise, foram identificadas partículas de filmes plásticos, sendo observado um predomínio significativo das cores amarelo e branco. Os polímeros mais frequentes detectados foram o PE, PS e PP. Além disso, notou-se uma correlação entre a presença de matéria orgânica e a deposição preferencial da fração de sedimentos finos. Espera-se que os resultados dessa pesquisa contribuam para o conhecimento sobre a presença de microplásticos no estuário do Rio Pacoti, possibilitando uma melhor compreensão da interação desses materiais com o meio ambiente. Além disso, tais informações são de extrema relevância para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão e preservação ambiental, visando mitigar os impactos negativos decorrentes da poluição por microplásticos.

Palavras-chave: Microplástico; Estuário; Sedimento.

ABSTRACT

The culture of using plastics has revolutionized production standards, thanks to its malleability, strength, and lightness. However, the growing indiscriminate use of plastics, combined with their poor disposal, has generated serious environmental problems, highlighting the worrying issue of microplastics and their negative impact on the ecosystem and local biodiversity. Water bodies, especially estuaries, are considered the main sources of hydrocarbons for microplastics, due to the slow flow of water and the presence of aquatic vegetation that facilitates the retention of these particles. In this context, the present work aimed to investigate the incidence and distribution of microplastics in the Pacoti River estuary, located in the municipality of Fortaleza, Ceará, to understand the dynamics of this specific environment. To achieve this objective, sediment collections were carried out at 9 different points along the estuary. The samples were duly processed, observing the digestion analysis of the organic matter, and later investigated using microscopy, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), granulometry, and chemometric techniques. During an analysis, plastic film particles were identified, with a significant dominance of yellow and white colors being observed. The most detected polymers were PE, PS and PP. Furthermore, a change was noted between the presence of organic matter and the preferential deposition of fine sediment extraction. It is expected that the results of this research will contribute to knowledge about the presence of microplastics in the Pacoti River estuary, allowing a better understanding of the interaction of these materials with the environment. In addition, such information is of extreme protection for the development of effective strategies for environmental management and preservation, aiming to mitigate the secondary effects of microplastic flow.

Keywords: Microplastic; Estuary; Sediment.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Mapa da área de coleta no estuário do Rio Pacoti, Fortaleza, Ceará | 25 |
| Figura 2 - Materiais utilizados e coleta das amostras..... | 27 |
| Figura 3 - Esquema da metodologia utilizada para extração dos microplásticos..... | 28 |
| Figura 4 - Análise em microscópio estereoscópio. | 29 |
| Figura 5 - Agitador de peneiras do tipo ROT-UP..... | 31 |
| Figura 6 - Microplásticos identificados no microscópio estereoscópio. | 36 |
| Figura 7 - Espectros de FTIR das amostras de sedimento coletadas no estuário do Rio Pacoti. (A) ponto 1; (B) ponto 2; (C) ponto 4; (D) ponto 5; (E) ponto 7. | 38 |
| Figura 8 - PCA para correlação dos parâmetros governantes presentes na dinâmica do estuário do Rio Pacoti | 44 |
| Figura 9 - Análise hierárquica de Cluster | 44 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Grafico 1 - Distribuição percentual das formas de microplásticos presentes nos pontos de coleta de sedimento..... | 33 |
| Grafico 2 - Distribuição percentual de cores presentes nas formas: fibras (A), fragmentos (B), filmes (C), grânulos (D)..... | 34 |
| Grafico 3 - Distribuição quantitativa das partículas de microplásticos por cores..... | 35 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Identificação dos pontos de coleta e as localizações. | 26 |
| Tabela 2 - Massa de sedimento coletado por pontos (em gramas) | 28 |
| Tabela 3 - Análise granulométrica dos sedimentos coletados no estuário do Rio Pacoti..... | 41 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------|--|
| PNUMA | Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente |
| UICN | União Internacional para a Conservação da Natureza |
| MPs | Microplásticos |
| UNESCO | Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura |
| SEMACE | Superintendência Estadual do Meio Ambiente |
| ABIPLAST | Associação brasileira da indústria do plástico |
| SINDIPLAST | Sindicato da Indústria de Material Plástico |
| COI | Comissão Oceanográfica Intergovernamental |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável |
| UNEP | UN Environment Programme |
| SNUC | Sistema Nacional de Unidades de Conservação |
| APA | Área de Proteção Ambiental |
| ARIE | Áreas de relevante interesse ecológico |
| FTIR | Espectroscópio de Infravermelho com Transformada em Fourier |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 2 OBJETIVOS..... | 17 |
| 2.1 Objetivo Geral | 17 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 17 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 18 |
| 3.1 Microplásticos | 18 |
| 3.2 Dispersão e efeitos dos microplásticos..... | 19 |
| 3.3 Década dos Oceanos..... | 21 |
| 3.4 Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti | 22 |
| 4 METODOLOGIA..... | 25 |
| 4.1 Área de estudo | 25 |
| 4.3 Análise das amostras..... | 27 |
| 4.3.1 <i>Microscopia óptica</i> | 29 |
| 4.3.2 <i>Espectroscópio de Infravermelho com Transformada em Fourier (FTIR)</i> | 29 |
| 4.3.3 <i>Carbono Orgânico Total</i> | 30 |
| 4.3.4 <i>Granulometria</i> | 30 |
| 4.3.5 <i>Quimiometria e análise multivariada</i> | 31 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 33 |
| 5.1 Análise Quali-Quantitativa de Microplásticos..... | 33 |
| 5.2 Caracterização química através de FT-IR | 36 |
| 5.3 Granulometria e teor de matéria orgânica do sedimento..... | 40 |
| 5.4 Análise de Componentes Principais | 43 |
| 4 CONCLUSÃO..... | 46 |

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do último século e meio, surgiu uma categoria de material de longas cadeias de átomos de carbono advindos principalmente de combustíveis fósseis como o petróleo, por uma reação de polimerização (MIRANDA, 2010). Essa característica polimérica e sintética do material possibilitou o constante desenvolvimento de novos padrões de produção a partir da sua maleabilidade, bem como proporcionou força, leveza e flexibilidade. O principal objetivo de aplicabilidade dos plásticos foi atender as limitações sociais e econômicas impostas pela escassez dos recursos naturais, em razão ao seu baixo custo, resistência e versatilidade proposto por esse novo material em relação a outros, como vidros, madeiras ou metais (WIT *et al.*, 2019).

Entretanto, a intensa utilização de plásticos somada à má destinação desses resíduos tem ocasionado problemas ambientais, como alterações na fauna e flora em todo o mundo, principalmente em ambientes marinhos (GEYER *et al.*, 2017). Fatores naturais como intemperismo, a ação de microrganismos (biológica) e a exposição da superfície desse material a radiações (química) ou ações mecânicas (física) propiciam a fragmentação, bem como a dispersão desse material no ambiente. Desse fracionamento surge o microplástico (MP), definido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, PNUMA, como partículas de plástico sólidas e insolúveis em água de medidas de 5 milímetros ou menores.

Segundo a União Internacional para a Conservação da Natureza, UICN, 3,2 milhões de toneladas de microplásticos vão parar no meio ambiente todo ano com influências no ecossistema e na diversidade local. Os corpos hídricos são considerados as principais fontes de poluição por microplásticos, com variações de concentração a depender de fatores significativos como a intensidade de ação antrópica ou proximidade a áreas urbanizadas (SILVA-CAVALCANTI *et al.*, 2017). A introdução de MPs nesses ambientes pode impactar a absorção de nutrientes, comprometer o processo digestivo e o desenvolvimento reprodutivos dos seres da região, com possibilidade de inflamação e mortalidade dos organismos (PAUL-PONT *et al.*, 2016). A deposição e instalação de MPs são mais propícias em regiões como rios, lagos, manguezais e estuários, pois têm o fluxo d'água lântico, além da presença de plantas aquáticas, que permitem a retenção das partículas (BROWNE *et al.*, 2011).

A Década dos Oceanos é uma iniciativa global liderada pelas Nações Unidas que tem como objetivo fundamental aumentar a conscientização sobre a importância dos oceanos e promover políticas eficazes para a conservação e sustentabilidade dos ecossistemas marinhos.

Essa ação global destaca a necessidade de enfrentar desafios urgentes, como a poluição e a ameaça à biodiversidade costeira causada pelas atividades humanas, principalmente o descarte inadequado desses resíduos plásticos (UNESCO, 2019).

Nesse contexto, é crucial identificar e analisar o comportamento dos microplásticos em áreas particularmente vulneráveis, como as zonas estuarinas. Com esse propósito, foram realizados estudos na área de proteção ambiental do rio Pacoti, uma região de conservação ambiental de uso sustentável que engloba diversos ecossistemas, incluindo manguezais, os quais desempenham um papel de grande importância tanto em termos ambientais quanto regionais (SEMACE, 2023).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Investigar a incidência de microplásticos nos sedimentos da região estuarina do rio Pacoti, Ceará.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os microplásticos morfológica e quimicamente.
- Relacionar a sedimentologia com os microplásticos encontrados.
- Analisar as variáveis de relação das propriedades físico-químicas dos microplásticos de acordo com suas características.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Microplásticos

No ano de 2018, o Brasil consumiu 6,6 milhões de toneladas de plástico, com um aumento de 1,5% comparado ao ano anterior (ABIPLAST, 2018). Esse crescimento de consumo está associado principalmente à cultura de consumo atual e a sua geração de resíduos plásticos. Atualmente, a indústria do plástico está presente em diversos setores, senão em todos, ofertando facilidade e de inovação nos segmentos: de saúde, alimentação, construção civil, comunicação, indústria automobilística, agricultura, entre outros (SINDIPLAST, 2023). O plástico tem inúmeras aplicabilidades, e a sua composição e estrutura influenciam diretamente na propriedade de resistência e conservação desse material para a sua utilidade (JORGE, 2013).

Os plásticos são compostos sintéticos polimerizados à base de hidrocarbonetos que, em sua maioria, não são biodegradáveis. Isso significa que a ação dos microrganismos não é suficiente para a sua decomposição, resultando em sua persistência como poluentes no ambiente (HARRIS *et al.*, 2021). A degradação e fragmentação dos plásticos ocorrem naturalmente ao longo do tempo. Esse processo é impulsionado por diversos fatores, como exposição a microrganismos, radiação solar, forças mecânicas e dispersão no ambiente, levando à formação de microplásticos.

Esses microplásticos, por suas características e propriedades de sorção e adsorção a outros materiais, podem ser considerados fontes de contaminação química (TEUTEN *et al.*, 2009). Além do processo de degradação e fragmentação física ocasionada por fatores externos, existem processos químicos internos capazes de promover mudanças nos microplásticos (MPs), como rupturas e formação de novas ligações dentro dos polímeros (MONTAGNER *et al.*, 2021).

É importante ressaltar que a capacidade de transporte dos microplásticos faz com que atuem como vetores químicos, contribuindo para o deslocamento de substâncias, inclusive poluentes, ao longo dos ecossistemas marinhos e terrestres. Dessa forma, os microplásticos têm o potencial de ampliar a disseminação de poluentes prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana (VIEIRA *et al.*, 2021).

Os microplásticos podem assumir uma variedade de tamanhos, cores e formas, como fibras, fragmentos, filmes, ou grânulos, resultantes da degradação de plásticos maiores (ANGER *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018). Essa caracterização e distinção é realizada por meio de parâmetros visuais. Cada forma tem suas características próprias, por exemplo, os fragmentos são rígidos, enquanto os filmes são flexíveis e em sua maioria transparente; as fibras são finas e alongadas; e os grânulos tem capacidade de aprisionamento de ar (ANGER

et al., 2018; SILVA *et al.*, 2018). Em geral, essas partículas podem ser introduzidas diretamente no ambiente por meio de produtos de beleza em geral. Portanto, é possível distinguir entre microplásticos de origem primária, presentes em produtos cosméticos como sabonetes, pastas de dentes, esfoliantes, entre outros, e microplásticos de origem secundária, que se formam a partir da degradação sucessiva de macroplásticos (COLE *et al.*, 2011).

Os microplásticos (MPs) são encontrados em uma variedade de ecossistemas, tanto suspensos nas águas quanto nos sedimentos de praias (IVAR DO SUL *et al.*, 2009), rios, lagos ou estuários (BARNES *et al.*, 2009). Estima-se que cerca de um terço do descarte desses plásticos acabe sendo destinado principalmente às águas doces e marinhas (PIATTI; RODRIGUES, 2005).

Essas micropartículas são transportadas até corpos d'água e dispersas por fatores naturais, como vento e correntes oceânicas, resultando em efeitos adversos para a vida local. Esses efeitos ocorrem através da ingestão ou absorção desses resíduos por pequenos organismos, o que permite a entrada e o subsequente acúmulo desses materiais na cadeia alimentar (TEUTEN *et al.*, 2009). Essa bioacumulação pode ocorrer desde os consumidores primários até organismos de níveis tróficos mais altos, levando em consideração a participação do plâncton e o consumo humano (ZHANG *et al.*, 2006; ROCHMAN *et al.*, 2015).

3.2 Dispersão e efeitos dos microplásticos

A origem dos microplásticos pode ser classificada em primária, quando são fabricados intencionalmente, ou secundária, quando são gerados a partir da desintegração de plásticos maiores devido a processos intempéricos. Estudos indicam que a maior parte dos microplásticos está presente no fundo dos oceanos, enquanto apenas uma pequena parcela flutua na superfície. Essa dispersão está relacionada à composição de cada tipo de plástico e suas principais características, como porosidade, resistência do material, capacidade de fotooxidação, densidade, entre outras (WANG *et al.*, 2016; ALOMAR; ESTARELLAS; DEUDERO, 2016).

O fenômeno da fotodegradação e oxidação é comumente observado em polímeros, resultando na formação de radicais livres e na fragilização do material (JÚNIOR, 2022). Esses processos ocorrem quando os microplásticos são expostos a uma intensa radiação UV, capaz de modificar a estrutura molecular, romper as ligações químicas existentes e alterar as propriedades do polímero, caracterizando assim o fenômeno oxidativo (JÚNIOR, 2022).

As propriedades dos polímeros desempenham um papel importante no transporte dos microplásticos, influenciado por fatores internos e externos, como correntes marinhas. Estudos têm demonstrado que as correntes oceânicas desempenham um papel significativo na dispersão

e no transporte dessas partículas (COURTENE-JONES *et al.*, 2017; JAMBECK *et al.*, 2015; KANE *et al.*, 2020). É importante destacar que diferentes tipos de plásticos têm comportamentos distintos no ambiente marinho, devido às suas propriedades físicas e químicas. Alguns microplásticos podem afundar devido à sua densidade, enquanto outros podem flutuar na superfície devido a características como baixa densidade e presença de ar em sua estrutura. Além disso, a interação entre os microplásticos e organismos marinhos também pode afetar sua distribuição e transporte.

Em ambientes marinhos, os microplásticos podem interagir e se associar a contaminantes presentes no meio ambiente por meio de processos químicos de absorção e adsorção (TEUTEN *et al.*, 2009). Essa interação entre os compostos e os microplásticos pode ter diversos impactos, como a dispersão de outros poluentes no ecossistema aquático. Além disso, a superfície dos resíduos plásticos também pode servir como meio de transporte para microrganismos (CAMPANALE *et al.*, 2020). Os processos de absorção e adsorção ocorrem por meio das forças de interação entre os compostos presentes no ambiente e a estrutura do material. Os poluentes podem se associar à cadeia polimérica dos plásticos ou se fixar na parte externa dos microplásticos (ROCHMAN *et al.*, 2019).

Além da contaminação local causada pela atividade humana, os microplásticos podem entrar nos estuários tanto através dos rios quanto do oceano, por meio de contaminação preexistente (Moore & Clarke, 2002). O transporte e a deposição das partículas de microplásticos são determinados pelo seu tamanho, forma e densidade (Browne *et al.*, 2010). Além disso, o comportamento dos microplásticos também depende das condições e características específicas da região e das correntes oceânicas, como a velocidade, os regimes cíclicos das marés e a morfologia do estuário.

A entrada de microplásticos nos estuários pode ocorrer devido ao arraste e transporte pelas águas dos rios, que carregam essas partículas dos sistemas terrestres para o ambiente estuarino. Da mesma forma, os microplásticos também podem ser introduzidos nos estuários através do transporte marinho e levados pelas correntes oceânicas. Uma vez dentro do estuário, os microplásticos podem se depositar nos sedimentos e se acumular em diferentes áreas, comprometendo sua capacidade de funcionar como filtros naturais, e afetando a saúde do ambiente e das espécies que dependem dele (BARNES *et al.*, 2009).

3.3 Década dos Oceanos

A Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável é uma iniciativa proposta pelas Nações Unidas desde o ano de 2017 com a proposta de despertar a ciência oceânica por meio do incentivo a pesquisa científica e ações sustentáveis. Essa proposta compreende gerenciar condutas e soluções inovadoras para proteger os recursos marinhos durante os anos de 2021 a 2030. A década conta com o esforço e contribuição global, considerando: governos, cientistas, indústrias e sociedade civil. No Brasil, o órgão responsável por coordenar o direcionamento das ações em busca de resultados no país é o Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação como representante da UNESCO na Comissão Oceanográfica Intergovernamental (UNESCO, 2019).

A Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI) da UNESCO é uma organização ligada às Nações Unidas que desempenha um papel fundamental no avanço do conhecimento científico dos oceanos. Seu principal objetivo é promover o desenvolvimento sustentável dos recursos marinhos. Dentre as múltiplas responsabilidades da COI, destaca-se o compromisso em alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU, com especial atenção para o Objetivo 14. Esse objetivo visa a conservação e o uso sustentável dos oceanos, mares e recursos marinhos, e está diretamente alinhado com a Agenda 2030 (UNESCO, 2019).

O Relatório Mundial sobre a Ciência Oceânica revelou que os investimentos em pesquisa e desenvolvimento na área da ciência oceânica representam uma parcela muito pequena, variando de 0,04% a 4% do total mundial. Essa constatação ressalta a necessidade urgente de priorizar a compreensão e ações voltadas para os oceanos durante a década atual. A década dos oceanos oferece uma oportunidade para impulsionar a evolução da gestão das zonas costeiras e marinhas por meio do fortalecimento da infraestrutura científica, tecnológica e dos recursos humanos disponíveis (UNESCO, 2019). Ao aprimorar a compreensão sobre o oceano, é possível enfrentar de forma mais eficaz os desafios relacionados à mudança climática, acidificação dos oceanos, poluição marinha e a perda de espécies com a degradação dos ecossistemas (PAULI, 2010; SPALDING, 2016; BARI, 2017).

A mudança climática tem um impacto direto nos oceanos, levando ao aumento das temperaturas e dos níveis do mar, bem como a eventos climáticos extremos, como tempestades mais intensas e furacões. Esses fenômenos têm consequências devastadoras para a vida marinha e para as comunidades costeiras, exigindo a implementação de estratégias efetivas de adaptação

e mitigação. A poluição marinha é outro desafio crítico que precisa ser abordado. Os oceanos estão sofrendo com a acidificação dos oceanos, resultado da absorção de dióxido de carbono pela água do mar, ameaça os organismos marinhos que possuem conchas ou esqueletos calcários, como corais e moluscos. Essa acidificação compromete a integridade dos ecossistemas e a biodiversidade marinha.

Além disso, o despejo desenfreado de resíduos plásticos, produtos químicos tóxicos e poluentes diversos, afeta negativamente a saúde dos ecossistemas marinhos e a segurança alimentar de milhões de pessoas que dependem dos recursos advindos desses ambientes.

O uso dos plásticos tem efeitos abrangentes em todas as atividades econômicas, como transporte, pesca, aquicultura, turismo, entre outras. Esses efeitos têm impactos econômicos significativos, como a presença de microplásticos nas colunas de água e nos sedimentos. De acordo com Eriksen *et al.* (2014), estima-se que existam aproximadamente 5,35 trilhões de partículas de plástico nos oceanos, sendo que os microplásticos representam cerca de 92,4% desse total. Essa realidade coloca em risco a saúde dos oceanos e tem um impacto negativo nos recursos costeiros, marinhos e na economia, resultando em um gasto anual de aproximadamente US\$ 8 bilhões, de acordo com a UNEP (2016). Dessa forma, a década dos oceanos atua como uma oportunidade para aumentar os investimentos em ciência oceânica e promover uma gestão mais eficaz dos recursos marinhos.

3.4 Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti

A Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, estabelece as diretrizes para a criação de áreas de proteção ambiental e aborda outras questões relacionadas às suas características e permissões. Além disso, a Lei nº 9.985, de 18 de setembro de 2000, instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e complementa essa legislação. A Área de Proteção Ambiental (APA) é classificada como uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, o que significa que não é de domínio público. Portanto, atividades econômicas podem ser realizadas dentro dessa área, desde que sejam respeitados os limites estabelecidos por lei para a preservação da biodiversidade.

A regulamentação estabelece que uma Área de Proteção Ambiental (APA) é uma extensa área que apresenta um certo grau de ocupação humana e é composta por um ecossistema abrangente e fundamental para o equilíbrio ambiental. Essa área pode ser constituída tanto por

terras públicas quanto por terras privadas. No entanto, existem restrições e diretrizes a serem seguidas quando a APA é mapeada em propriedades privadas.

As leis têm como objetivo reconhecer a existência da área de proteção e definir sua titularidade, sendo responsabilidade da Secretaria do Meio Ambiente estadual garantir a aplicação dessas leis, em conjunto com os municípios que abrangem a região da APA.

No estado do Ceará, a gestão das Unidades de Conservação (UC) é realizada pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), órgão vinculado à Secretaria do Meio Ambiente. A criação e regulamentação dessas unidades ocorreram por meio da publicação da Lei 9.985, que institui o SNUC e estabelece critérios para sua gestão.

A SEMACE é responsável pela administração de 37 Unidades de Conservação estaduais, além de um Corredor Ecológico. Essas áreas são regidas por diretrizes, mecanismos e políticas públicas ambientais, com o objetivo de garantir uma administração efetiva e promover melhorias no manejo, conservação e pesquisa.

O SNUC define duas categorias de Unidades de Conservação: as de Proteção Integral, que têm como objetivo preservar a natureza permitindo apenas o uso indireto de seus recursos naturais; e as de Uso Sustentável, que buscam conciliar a conservação da natureza com o uso sustentável de seus recursos (SEMACE, 2023).

As Unidades de Conservação de Proteção Integral abrangem os parques, as estações ecológicas, os monumentos naturais, e o refúgio da vida selvagem; enquanto as Unidades de Conservação de Uso sustentável, as áreas de proteção ambiental (APAs) e as áreas de relevante interesse ecológico (ARIE).

A Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pacoti está localizada no estuário do Rio Pacoti e abrange principalmente o ecossistema de manguezal, onde se encontra uma diversificada fauna e flora local. A região ocupa uma área de 2.914,93 hectares, compreendendo manguezais, dunas fixas e móveis, mata de tabuleiro e mata ciliar, e está situada nos municípios de Fortaleza, Eusébio e Aquiraz (SEMACE, 2023).

A criação da APA do Rio Pacoti é regida pelo decreto estadual 25.778, de 15 de fevereiro de 2000, que estabelece as principais características e finalidades da região, bem como as atividades permitidas no local, visando o equilíbrio entre a proteção ambiental e a exploração socioeconômica. Dessa forma, apenas são permitidas na região atividades que não envolvam a supressão total ou parcial da vegetação ou dos recursos de preservação local. De acordo com a SEMA, os principais problemas enfrentados na APA são resultado da ação humana, incluindo construções não autorizadas, descarga de resíduos poluentes no manancial e tráfego de veículos proibidos nas dunas.

Percebe-se, portanto, que essa área é amplamente utilizada tanto por turistas como pela população local para a prática de atividades recreativas e de lazer. Além disso, trata-se de uma

região protegida e fiscalizada por um órgão estadual de proteção. Diante desse contexto, torna-se necessário investigar a ocorrência de microplásticos, bem como caracterizá-los e identificar possíveis fontes de acumulação.

O principal objetivo deste trabalho é avaliar a presença de microplásticos nos sedimentos em que estão inseridos, possibilitando a discussão para compreender sua distribuição e realizar uma avaliação das correlações disponíveis, como a afinidade desses contaminantes com matrizes arenosas ou lamacentas. Em um estudo realizado por Browne *et al.* (2010), verificou-se que a relação dos pellets com o material orgânico pode revelar o comportamento de agregação e movimento nos sedimentos. Além disso, Strand *et al.* (2013) demonstraram uma forte relação entre a abundância de microplásticos, a determinação de carbono orgânico (%TOC) e a fração fina nos sedimentos, corroborando a hipótese de que os microplásticos se acumulam nessa área.

Vianello *et al.* (2013) também observaram que os microplásticos se concentram menos em ambientes de alta agitação, em comparação com ambientes de menor hidrodinâmica e maior fração de partículas finas nos sedimentos, como é o caso de ambientes estuarinos e de mangues. Dessa forma, é possível relacionar essa perspectiva ao ambiente de estudo, buscando compreender a dinâmica do ambiente de estuário e mangue e analisar a relação dos microplásticos. Segundo Heo *et al.* (2013), foi constatado que os microplásticos apresentam comportamentos e dispersam-se de maneira distinta em praias, sendo influenciados pelo vento e correntes que afetam a distribuição desses poluentes na região costeira. Para a região de estudo, a perspectiva é que além da influência dos fatores naturais locais, exista a correlação com áreas de maior influência humana.

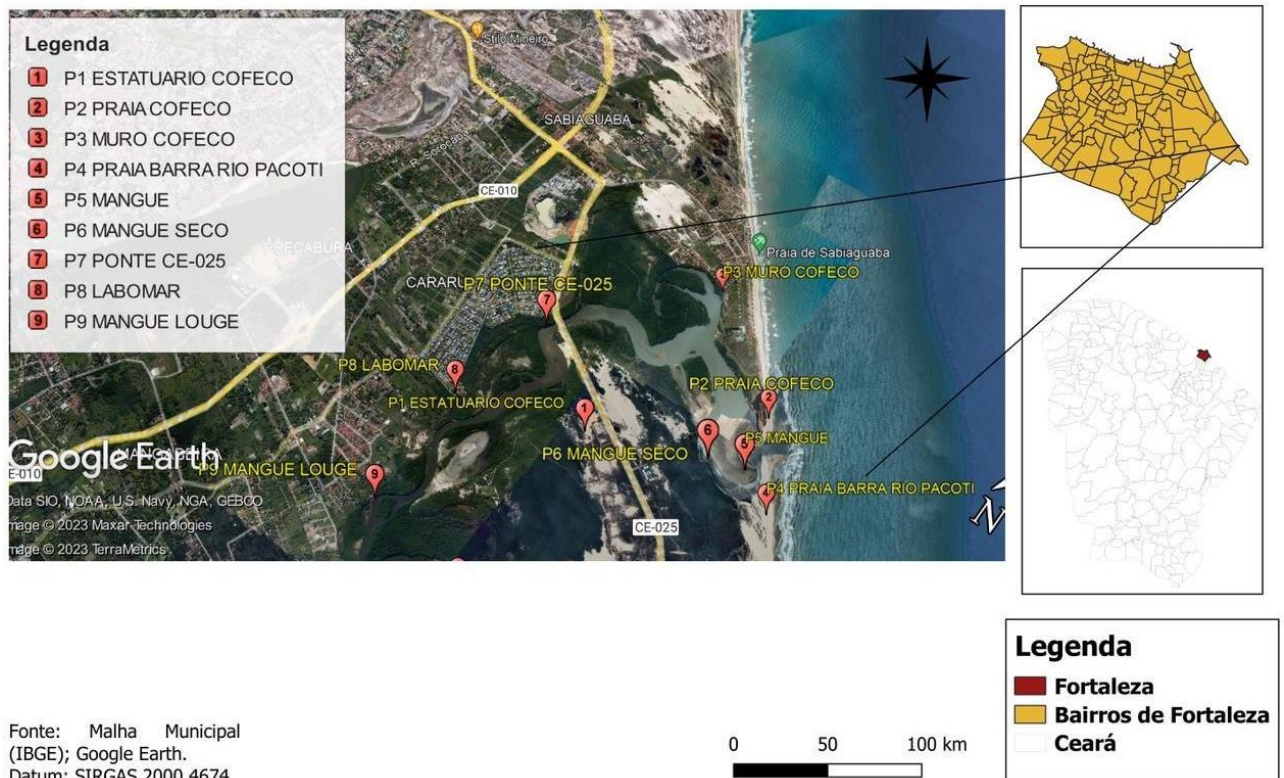
4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A área de estudo abrange o estuário do rio Pacoti e as áreas entorno. Essa região está situada entre os municípios de Fortaleza, Eusébio e Aquiraz, representada na figura 1. Segundo a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), essa região é uma unidade de conservação que engloba aproximadamente 2.914,93 hectares de proteção ambiental, e apresenta uma variedade de ecossistemas, como mata de tabuleiro, dunas móveis e fixas, além da presença predominante de manguezais, que representam a zona estuarina local.

Nesse local, existem cerca de nove comunidades que dependem dos recursos oferecidos pela região para sua subsistência, incluindo pesca, agricultura de subsistência e atividades turísticas. No entanto, a Secretaria do Meio Ambiente proíbe atividades ou intervenções que possam causar degradação dos recursos da área, uma vez que os principais problemas enfrentados na região são resultado da ação humana (SEMACE).

Figura 1 – Mapa da área de coleta no estuário do Rio Pacoti, Fortaleza, Ceará.



Fonte: Adaptado de malha municipal (IBGE); Google Earth

4.2 Amostragem

Foi realizada no dia 08/03/2023 a coleta de nove amostras nas margens e entorno da desembocadura do estuário do rio Pacoti, selecionando os pontos de maneira estratégica a fim de abranger uma ampla área para estudo; cada um dos pontos estão destacados na tabela 1.

Tabela 1 – Identificação e coordenadas dos pontos de coleta.

| Pontos | Nomes | Latitude | Longitude |
|--------|------------------------|----------|-----------|
| P1 | ESTUARIO COFECO | -38,248 | -3,4925 |
| P2 | PRAIA COFECO | -38,247 | 3,4919 |
| P3 | MURO COFECO | -38,2438 | -3,4852 |
| P4 | PRAIA BARRA RIO PACOTI | -38,24 | -3,4933 |
| P5 | MANGUE | -38,241 | -3,4934 |
| P6 | MANGUE SECO | -38,4003 | -3,8271 |
| P7 | PONTE CE-025 | -39,127 | -3,2454 |
| P8 | LABOMAR | -38,2514 | -3,5 |
| P9 | MANGUE LOUNGE | -38,254 | -3,505 |

Fonte: Elaborado pelo autor

As amostras foram coletadas na camada superficial, com uma profundidade aproximada de 5 cm, utilizando um quadrante de 50 x 50 cm para delimitar a área a ser amostrada. Um amostrador manual metálico foi utilizado para coletar o sedimento, juntamente com dois recipientes de vidro previamente higienizados e identificados, representados na figura 2. Um recipiente tinha capacidade de 500 mL e o outro de 200 mL, destinados à reserva do material coletado. A coleta foi realizada de maneira homogênea, empregando a técnica de quarteramento para garantir uma representação mais precisa da amostra.

Figura 2 - Materiais utilizados e coleta das amostras.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 Análise das amostras

O processamento das amostras foi conduzido no Laboratório de Estudos Ambientais (LEA/UFC). Inicialmente, as amostras de sedimento foram submetidas à evaporação da água até atingir peso constante em uma estufa a 100 °C. Em seguida, passaram por uma filtragem em malhas de 4,75 mm. O volume total de sedimento coletado foi de 4,456 kg, sendo os valores de cada ponto detalhados na tabela 1.

Posteriormente, as amostras foram submetidas à digestão da matéria orgânica presente, utilizando 20 mL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) a 30%, sob aquecimento a 75°C com o auxílio de uma chapa aquecedora (Masura *et al.*, 2015). Esse procedimento foi repetido várias vezes até a completa digestão da matéria orgânica.

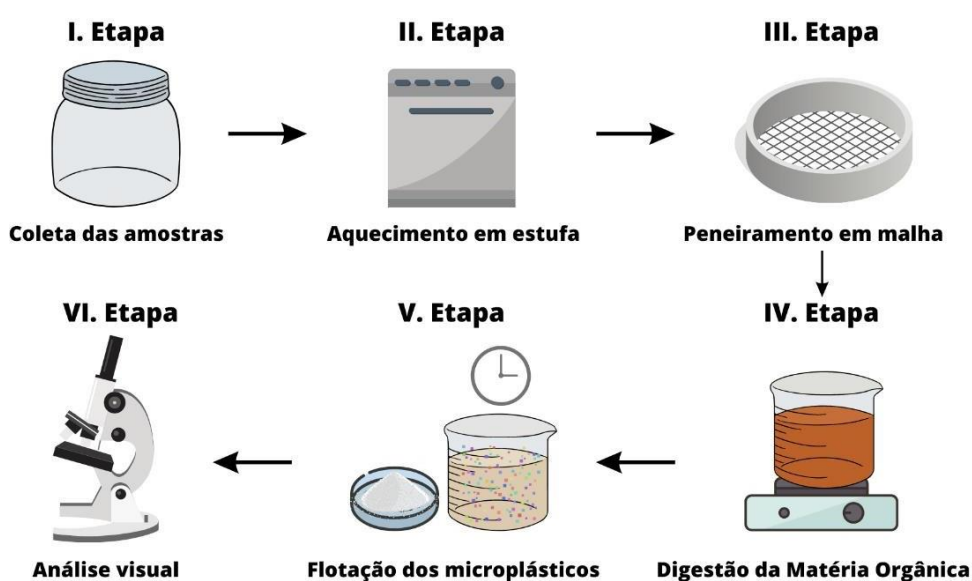
Tabela 2 - Massa de sedimento coletado por pontos (em gramas)

| Ponto | Massa coletada |
|-------|----------------|
| P1 | 420 g |
| P2 | 397 g |
| P3 | 524 g |
| P4 | 341 g |
| P5 | 516 g |
| P6 | 576 g |
| P7 | 518 g |
| P8 | 581 g |
| P9 | 583 g |
| Total | 4.456 g |

Fonte: Elaborado pelo autor

Em seguida, a amostra foi transferida para um béquer de vidro, onde foi submetida a uma solução salina concentrada de cloreto de sódio ($d=1,202 \text{ g/cm}^3$) com o objetivo de realizar a flotação e separação dos microplásticos utilizando o método de densidade (Pappis *et al.*, 2020; Couceiro, 2019). Essa solução foi reservada por um período de 48 horas para permitir a flutuação dos microplásticos.

Após o período de flotação, os microplásticos foram separados e coletados em placas de petri para posterior análise visual em microscópio. A figura 3 ilustra o esquema da metodologia utilizada para a extração dos microplásticos das amostras de sedimento.

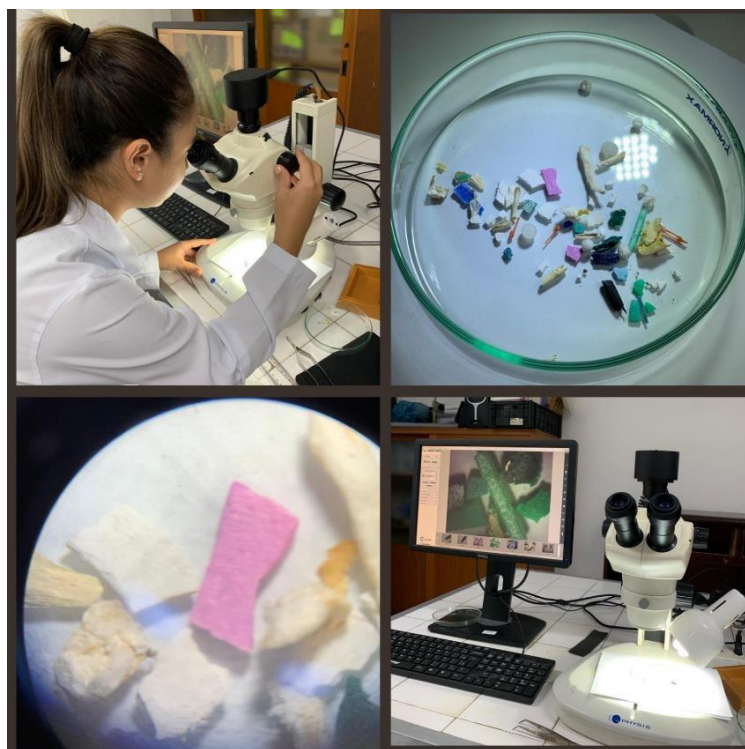
Figura 3 - Esquema da metodologia utilizada para extração dos microplásticos.

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.1 Microscopia óptica

A análise quali-quantitativa de microplásticos extraídos das amostras de sedimento foi realizada através de microscopia óptica, utilizando um estereomicroscópio binocular da marca Physis, com um aumento de 40x. Para uma melhor identificação foi acoplado uma câmera digital de alta resolução ao software 26 de 42 Tucsen - TCapture 4.3.0.605. Essa configuração permitiu a identificação e visualização das partículas, com o objetivo de quantificar de acordo com suas cores, formas e tipos, tais como fibras, fragmentos, filmes, espuma e grânulos (ANGER *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018).

Figura 4 - Análise em microscópio estereoscópio.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.2 Espectroscópio de Infravermelho com Transformada em Fourier (FTIR)

Foram realizadas análises de FTIR utilizando um espectrômetro IRTracer-100 da marca Shimadzu. A faixa de espectroscopia do infravermelho utilizada foi de 4000 a 400 cm^{-1} , e as

medições foram feitas em pastilha de KBr. Cada amostra foi submetida a 64 varreduras, com uma resolução de 4 cm⁻¹.

4.3.3 Carbono Orgânico Total

A análise de Carbono Orgânico Total foi realizada no Laboratório de Estudos Ambientais (LEA/UFC) utilizando o método de volumetria de oxirredução da matéria orgânica por via úmida, baseado no método Walkley-Black modificado. O procedimento seguiu inicialmente com a transferência de aproximadamente 1g de amostra para um erlenmeyer de 500 ml. Logo após, utilizando uma bureta, foi adicionado gota a gota 10 mL da solução de dicromato de potássio 1N, seguido imediatamente por 20 mL de ácido sulfúrico concentrado. A solução foi agitada manualmente por 1 minuto e deixada em repouso por 30 minutos.

Em seguida, foram adicionados à solução 200 mL de água destilada, 10 mL de ácido ortofosfórico concentrado e 1 mL da solução de difenilamina 1%, previamente preparada. A solução resultante foi titulada com a solução de sulfato ferroso amoniacal 0,5N até ocorrer a viragem de cor, que vai do roxo para o verde.

4.3.4 Granulometria

A análise textural dos sedimentos foi realizada no Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA/UFC), e baseou-se nos métodos clássicos de sedimentologia. Inicialmente as amostras foram levadas à estufa para secar a uma temperatura de 60°C, para não que não houvesse modificações quanto aos componentes sedimentares finos e orgânicos. Quando secas, as amostras foram quarteadas para homogeneização das mesmas e coletadas sub-amostras para as análises granulométricas, esfericidade, arredondamento e textura superficial.

Foram retiradas alíquotas de 100 gramas para o peneiramento úmido com peneira com malha de abertura de 0,062mm. A fração que passou sobre esta peneira corresponde ao silte e a argila que ficaram retidos no recipiente e entraram em processo de decantação que durou de 48 à 120 h, a depender do tipo de sedimento. A porção que ficou retida na peneira foi levada a estufa a 60°C até secagem.

Após a secagem dos sedimentos contidos na peneira 0,062 mm, foi separado o conjunto de peneiras a serem utilizados na etapa de peneiramento seco (4,000mm 2,830mm; 2,000mm; 1,410mm; 1,000mm; 0,710mm; 0,500mm; 0,354mm; 0,250mm; 0,177mm; 0,125mm; 0,088mm; 0,062mm). Encaixou-se as peneiras umas nas outras de modo a formarem uma

coluna de peneiração e levadas ao agitador ROT-UP representado na figura 5. O diâmetro de maior abertura fica no topo e decresce com a ordem de empilhamento.

Figura 5 - Agitador de peneiras do tipo ROT-UP.



Fonte: elaborado pelo autor

Em movimentos oscilatórios, as partículas foram agitadas por 10 minutos e o sedimento foi separado, de modo que as frações do material ficassem retidas em cada peneira, mediante o tamanho de abertura de cada uma delas. Pesou-se cada fração retida nas peneiras em uma balança analítica e os resultados foram anotados em fichas de descrição granulométrica. Após o procedimento, o material contido foi guardado separadamente em sacos identificados com o código da amostra e o diâmetro de abertura.

4.3.5 Quimiometria e análise multivariada

A Quimiometria é uma disciplina que se situa na interface entre a Química e outras áreas, como Estatística, Matemática, Ciência da Computação e até mesmo Biologia (FERREIRA, 2015). Essa ciência é dedicada à organização, análise e interpretação de dados experimentais, além de ser uma ferramenta essencial para o planejamento de experimentos com o objetivo de aperfeiçoar processos, reduzir custos e embasar tomadas de decisão. Dessa forma, trata-se de uma ferramenta matemático-estatística utilizada para extrair informações relevantes e indispensáveis do conjunto de dados, visando compreender determinados fenômenos exibidos pela matriz de dados (FERREIRA, 2015). Com essa abordagem, torna-se possível analisar diversas propriedades simultaneamente, contribuindo para uma compreensão mais profunda das informações com base em instrumentação moderna e softwares.

Dentre as principais técnicas de análise multivariada, destacam-se as metodologias exploratórias, como a Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise de Aglomerados Hierárquicos (HCA).

A Análise de Componentes Principais (PCA) é um método de análise multivariada que busca reduzir a dimensionalidade dos dados, preservando as informações contidas no espaço original de dimensão n , por meio da combinação linear das variáveis originais, resultando em um espaço de menor dimensão, geralmente de ordem 2 ou 3 (FERREIRA, 2002). A PCA permite a avaliação dos dados coletados e sua organização em grupos com base nas similaridades e diferenças observadas (FERREIRA, 2015). A reorganização desses agrupamentos é realizado considerando a natureza e a estrutura dos dados, auxiliado por representações gráficas organizadas em componentes principais (PANERO, 2008; CORREIA, 2007).

A análise de agrupamento hierárquico (HCA) é uma técnica que visa agrupar os dados de forma hierárquica, reduzindo a matriz de dados e unindo os elementos semelhantes em grupos (CORREIA, 2007). Seu objetivo é exibir os dados de maneira visual e agrupá-los em um espaço bidimensional com base em padrões identificados. O método estabelece relações entre as amostras, agrupando aquelas mais similares entre si. Nessa representação gráfica, a distância entre os pontos revela a similaridade das propriedades das amostras, permitindo a identificação de padrões e clusters (PANERO, 2009).

O estudo quimiométrico foi realizado a fim de investigar as relações que podem existir entre microplásticos e os parâmetros governantes presentes na dinâmica do estuário do Rio Pacoti. As técnicas de Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA) foram empregadas nas análises, utilizando o software R Project com o auxílio dos pacotes FactoMineR e FactoshinyR.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

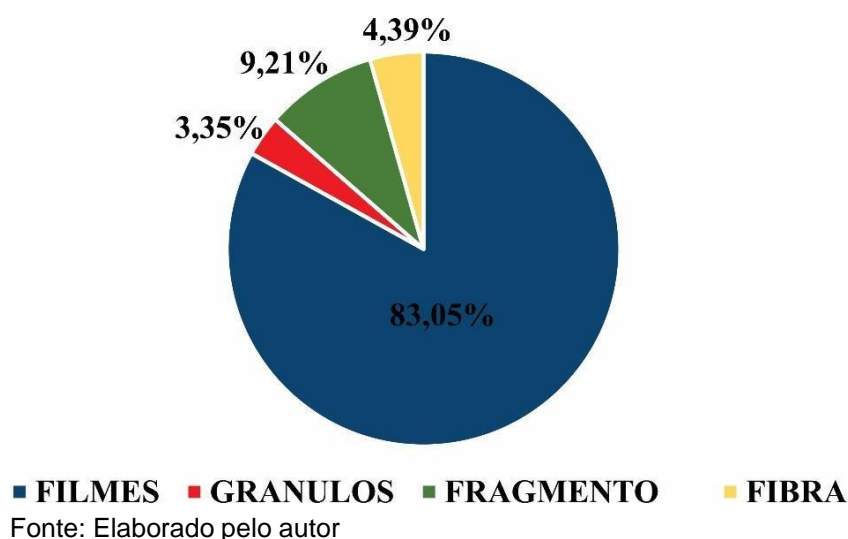
5.1 Análise Quali-Quantitativa de Microplásticos

Durante o estudo realizado, foram identificadas visualmente um total de 490 partículas de plástico nos nove pontos de coleta de sedimento. Essas partículas passaram por uma análise visual detalhada, permitindo a identificação prévia dos possíveis polímeros presentes, com base em aspectos visuais, tais como PET, PEAD, PEBD, PP, PS, PE, PVC, entre outros. Com base nessa classificação, as partículas foram agrupadas de acordo com as principais formas de microplásticos encontradas: fibras, fragmentos, filmes, grânulos e espumas.

Ao examinarmos a distribuição das partículas no sedimento, conforme ilustrado no gráfico 1, os filmes foram predominantes, representando 83,05% do total, seguidos pelos

fragmentos, fibras e grânulos, com 9,21%, 4,39% e 3,35%, respectivamente. No entanto, durante a análise visual, não foram identificadas lâminas e espumas. Essas informações são essenciais para compreender os diferentes tipos de microplásticos presentes no ambiente e suas possíveis fontes de origem, como a degradação de produtos plásticos maiores ou a disposição inadequada de resíduos plásticos.

Grafico 1 - Distribuição percentual das formas de microplásticos presentes nos pontos de coleta de sedimento.



Essa análise suscita questões pertinentes sobre o impacto dos filmes na poluição ambiental e ressalta a urgência de abordar essa fonte específica de contaminação. A presença predominante de filmes plásticos indica que esses materiais são amplamente utilizados em embalagens, sacolas, envoltórios e outros produtos descartáveis, conforme a *Association of Plastics Manufacturers*. Isso levanta a preocupação sobre as diversas possíveis rotas de entrada desses filmes plásticos no ecossistema local.

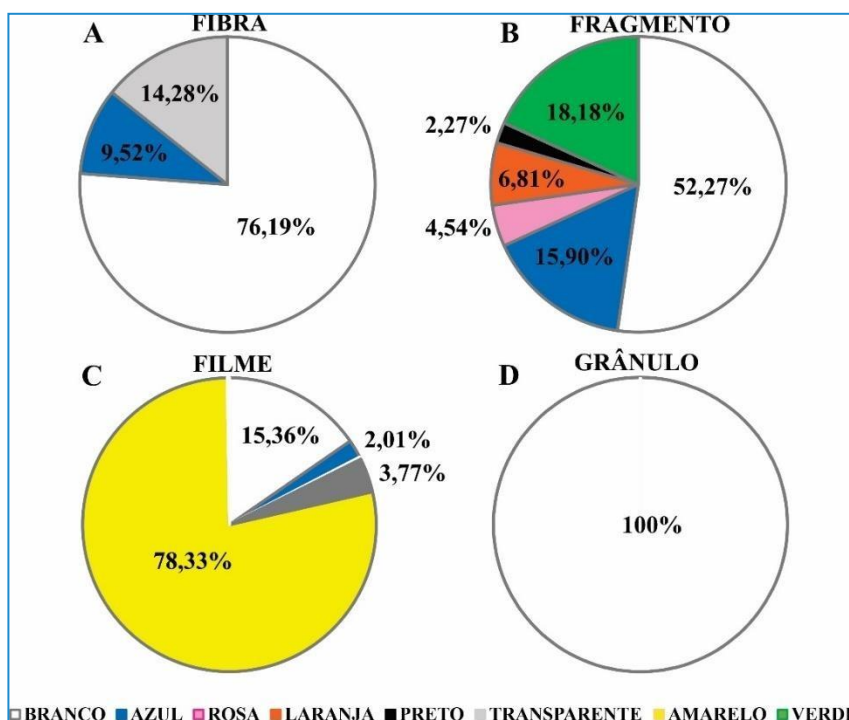
Além disso, os ventos fortes provenientes da região marítima podem ter transportado esses materiais para o local do estudo, levando em consideração a proximidade de diversas atividades antrópicas na área.

As características físicas dos filmes plásticos, sendo finos e leves, são extremamente relevantes e podem explicar o predomínio de sua detecção em comparação com outras formas, como os fragmentos. A degradação dos plásticos no ambiente natural é um processo bastante lento, impulsionado por processos mecânicos e fotoquímicos, conforme mencionado por KALOGERAKIS *et al.* (2017).

Um estudo investigou esses efeitos em polietilenos e constatou que a fragmentação de filmes plásticos ocorreu em maior quantidade em regiões aquáticas, enquanto altos níveis de oxidação foram observados em outras regiões (BAJT *et al.*, 2021). Portanto, a coleta desses

materiais em uma zona estuarina pode ter contribuído para sua fragmentação.

Grafico 2 - Distribuição percentual de cores presentes nas formas: fibras (A), fragmentos (B), filmes (C), grânulos (D).

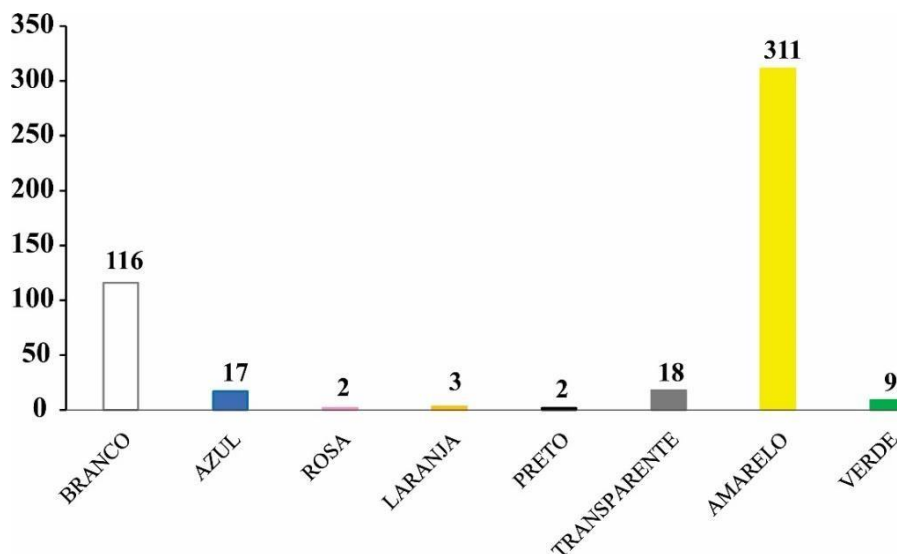


Fonte: Elaborado pelo autor

Com base na análise realizada, conforme representado no gráfico 2, observou-se que a cor branca foi a mais predominante e esteve presente em todas as formas de microplásticos encontradas, com maior incidência em fibras, fragmentos e grânulos. No entanto, em relação aos filmes plásticos, a cor amarela foi a mais prevalente e não foi detectada nas outras formas.

Na literatura, as cores transparentes, brancas, pretas e coloridas (como vermelho, azul, verde e cinza) são as mais comumente encontradas em análises de microplásticos em geral, conforme mencionado por Zhao *et al.* (2022). No entanto, no caso específico dos filmes plásticos, a distribuição das cores difere completamente do padrão esperado. Essa discrepância nas cores dos filmes plásticos levanta questões importantes sobre suas possíveis fontes e processos de degradação. Pode-se inferir que diferentes tipos de filmes plásticos, com pigmentações específicas, estão sendo utilizados na região estudada, prevalência da cor amarela.

Grafico 3 - Distribuição quantitativa das partículas de microplásticos por cores.



Fonte: Elaborado pelo autor

No gráfico 3, é possível observar a distribuição total das partículas de microplásticos por cores, o que permite identificar que a cor amarela é quantitativamente predominante, com um total de 311 partículas, seguida pelas partículas brancas, com um total de 116. Esse gráfico oferece uma visão mais detalhada do comportamento e da disposição das cores em relação ao gráfico anterior. No entanto, é importante ressaltar que a distribuição percentual das cores por forma pode levar a uma falsa percepção de que a cor branca é a mais frequente.

Foram observadas as cores mais comumente encontradas nos microplásticos, sendo o amarelo e o branco, com uma ampla variedade de tonalidades, desde cores vibrantes até tons mais suaves, como um creme claro. Essa ocorrência pode estar relacionada ao processo de fotodegradação, ao tempo de exposição à radiação solar e a outros fatores ambientais, como mencionado por HIDALGO-RUZ et al. (2012). O processo de fotoenvelhecimento está geralmente associado às interações com o meio ambiente e ao tratamento térmico, resultando em degradação oxidativa (JUNIOR, 2022). Portanto, pode-se estabelecer uma conexão entre esse fenômeno e a mudança de cor ou amarelamento dos polímeros estudados, conforme apontado por Endo et al. (2005).

5.2 Caracterização química através de FT-IR

Foram selecionadas cinco amostras para a análise em FT-IR, levando em consideração a microscopia representada na Figura 6, bem como os resultados obtidos nas análises anteriores. Com base nesse contexto, as amostras escolhidas foram:

- Amostra 1: Selecionada devido ao seu teor granulométrico de cascalho e alto teor de matéria orgânica.

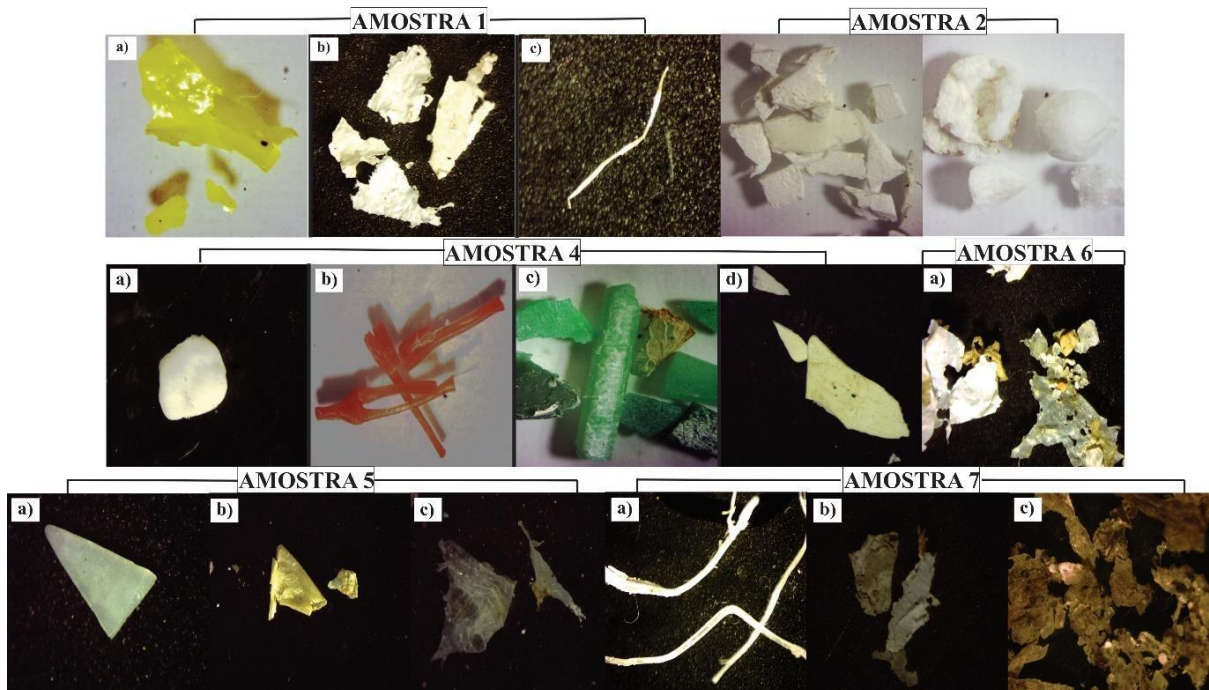
- Amostras 2: Foi escolhida por se situar em ponto estratégico entre a faixa de praia e o interior do estuário.

- Amostra 4: Foi selecionada pois além de apresentar um alto teor de matéria orgânica, essa amostra exibiu variedades de microplásticos em diferentes formas e cores.

- Amostra 5: Foi selecionada por ser proveniente de um ponto de mangue e apresentar uma menor quantidade de matéria orgânica.

Amostra 7: Se destacou por exibir uma alta fração lamosa e por estar localizada próxima a uma área de despejo de efluentes.

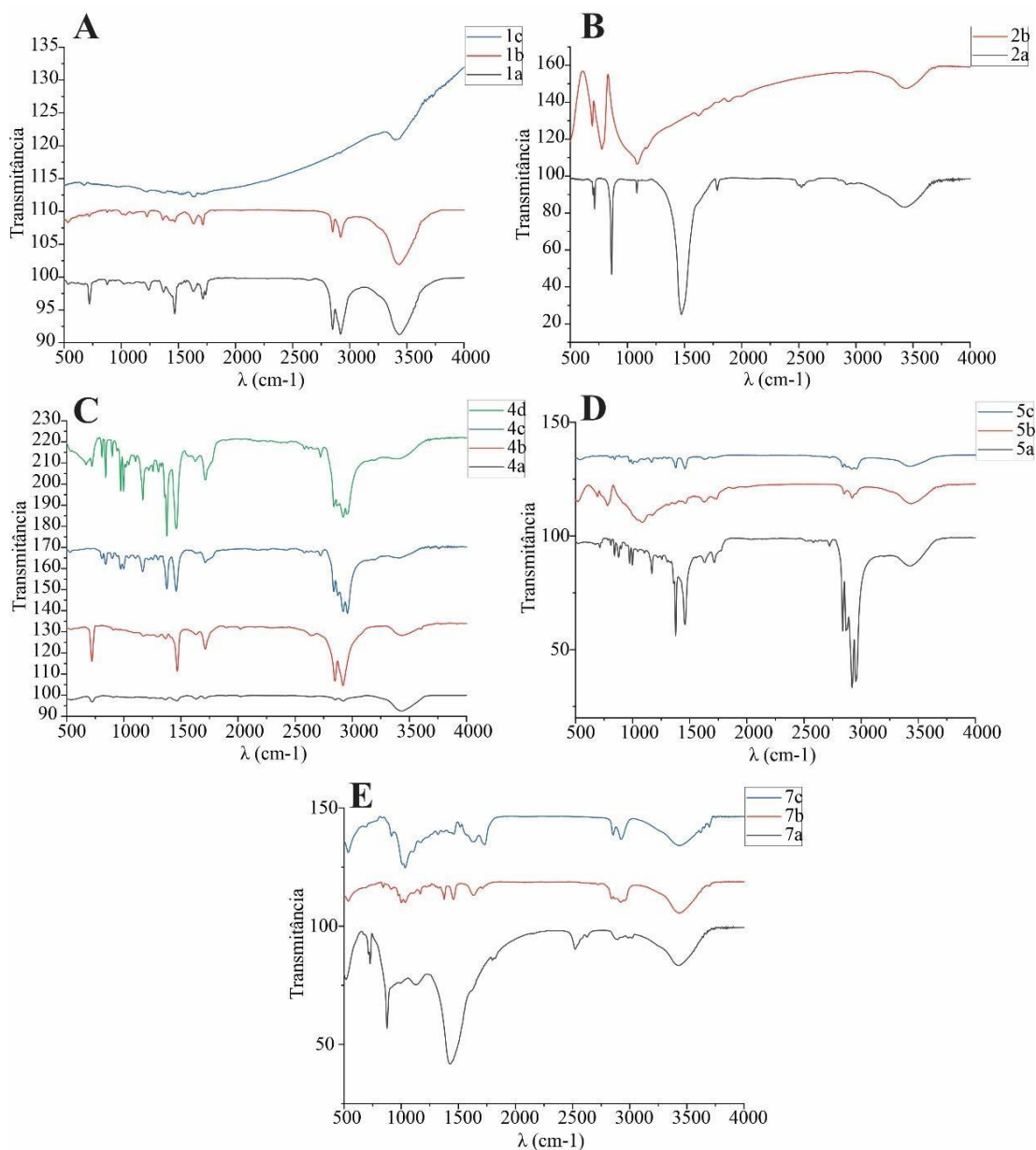
Figura 6 - Microplásticos identificados no microscópio estereoscópio.



Fonte: Elaborado pelo autor

Essa seleção buscou considerar diferentes características das amostras, a fim de obter informações mais abrangentes e representativas sobre a composição e propriedades dos sedimentos analisados.

Figura 7 - Espectros de FTIR das amostras de sedimento coletadas no estuário do Rio Pacoti. (A) ponto 1; (B) ponto 2; (C) ponto 4; (D) ponto 5; (E) ponto 7.



Fonte: Elaborada pelo autor

As amostras 1a e 1b apresentaram um espectro FTIR característico do polietileno (PE) e poliestireno (PS), com bandas de absorção nas regiões de 2980 a 2780 cm^{-1} , relacionadas às vibrações de alongamento dos grupos $\text{CH}/\text{CH}_2/\text{CH}_3$, e de 1480 a 1400 cm^{-1} , características das vibrações do CH_2 . No entanto, a amostra 1c se diferenciou das demais ao não apresentar um espectro FTIR característico dos microplásticos encontrados comumente no meio ambiente (Kappler *et al.*, 2016; Ng e Jeff *et al.*, 2006).

A amostra 2a exibiu um espectro FTIR com bandas de absorção em duas regiões específicas: 1800 - 1740 cm^{-1} e 1760 - 1670 cm^{-1} . Essas bandas são características do polietileno tereftalato (PET) e correspondem ao estiramento vibracional do grupo funcional C=O. A presença dessas bandas indica a presença do grupo C=O, que é uma característica específica de PET. A amostra 2a também mostrou uma banda de absorção na região de 1400 a 1480 cm^{-1} . Essa banda está relacionada à vibração do grupo CH_2 . A amostra 2b apresentou uma banda de absorção característica na região de 1174 a 1087 cm^{-1} . Essa banda está relacionada ao estiramento vibracional do grupo CF_2 . Essa característica indica a presença do politetrafluoretileno (PTFE), que contém ligações CF_2 (Kappler *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2019).

As amostras 4b, 4c e 4d exibiram um espectro FTIR característico do PE e PS, com bandas nas regiões de 2980 a 2780 cm^{-1} , correspondentes às vibrações de alongamento dos grupos $\text{CH}/\text{CH}_2/\text{CH}_3$, e de 1480 a 1400 cm^{-1} , relacionadas às vibrações do CH_2 . Similarmente, a amostra 4a também apresentou bandas características do PE e PS, porém com menor intensidade em comparação às outras amostras coletadas no ponto quatro.

As amostras 5a, 5b e 5c apresentam espectros FTIR característicos do polietileno (PE) ou poliestireno (PS). No entanto, a amostra 5a demonstrou uma maior intensidade nas regiões espectrais de 2980 a 2780 cm^{-1} e de 1480 a 1400 cm^{-1} em comparação com as outras amostras coletadas no ponto 5. A região de 2980 a 2780 cm^{-1} está relacionada às vibrações de alongamento dos grupos $\text{CH}/\text{CH}_2/\text{CH}_3$, enquanto a faixa de 1480 a 1400 cm^{-1} corresponde às vibrações do CH_2 . O aumento da intensidade nessas regiões sugere uma concentração mais significativa de polietileno (PE) ou poliestireno (PS) na amostra 5a em relação às demais amostras do mesmo ponto (Kappler *et al.*, 2016; Ng e Jeff *et al.*, 2006).

A amostra 7a apresenta um espectro característico de espectroscopia de infravermelho próximo (PE), com duas bandas de absorção distintas. A primeira banda está na faixa espectral de 2980-2780 cm^{-1} , indicando vibrações de alongamento dos grupos $\text{CH}/\text{CH}_2/\text{CH}_3$. Essa faixa de absorção é típica de ligações simples de carbono-hidrogênio (C-H) em cadeias alifáticas. As diferentes frequências dentro dessa faixa podem ser atribuídas a diferentes tipos de grupos funcionais. A segunda banda intensa está na faixa espectral de 1480-1400 cm^{-1} , correspondente ao dobramento CH_2 . Essa região indica a presença de ligações C-H em grupos metileno (CH_2). O dobramento CH_2 é uma vibração característica de cadeias de carbono com grupos metileno.

A amostra 7b apresenta um espectro característico de espectroscopia de infravermelho próximo (PP), com duas bandas de absorção semelhantes às descritas anteriormente. A primeira banda está na faixa espectral de 2980-2780 cm^{-1} , indicando vibrações de alongamento dos

grupos CH/CH₂/CH₃. Além disso, foi observado um duplete próximo da região de 1458-1378 cm⁻¹, correspondente ao dobramento CH₂. Essa região também indica a presença de ligações C-H em grupos metileno (CH₂). O aparecimento de um duplete nessa faixa de absorção sugere a presença de grupos CH₂ adjacentes, que exibem vibrações de dobramento CH₂ com diferentes frequências.

A amostra 7c apresenta um espectro característico de espectroscopia de infravermelho próximo (EVA). No espectro, foi observada uma banda de absorção na faixa espectral de 2980-2780 cm⁻¹, indicando vibrações de alongamento dos grupos CH/CH₂/CH₃. Além disso, foi observada uma banda de absorção na faixa espectral de 1760-1670 cm⁻¹, correspondente à vibração de alongamento C=O. Essa região é característica da presença de ligações carbono-oxigênio duplo (C=O), indicando a presença de grupos funcionais cetona ou aldeído. Esses dados são consistentes com as características espectroscópicas do EVA (acetato de etileno vinílico), que é um copolímero utilizado em aplicações como filmes plásticos, embalagens e adesivos.

5.3 Granulometria e teor de matéria orgânica do sedimento

A avaliação granulométrica foi realizada com o objetivo de analisar os parâmetros físico-químicos do ambiente estuarino em estudo. Os resultados da análise sedimentológica revelam uma composição heterogênea ao longo do estuário do Rio Pacoti para as frações de cascalho, areia, silte e argila em cada ponto de coleta.

Tabela 3 - Análise granulométrica dos sedimentos coletados no estuário do Rio Pacoti.

| PONTO | LOCAL | %CO | %MO | % CASCALHO | % AREIA | % LAMA |
|---------|------------------------|------|-------|------------|---------|--------|
| Ponto 1 | ESTUARIO COFECO | 7,79 | 13,44 | 7,33 | 92,36 | 0,31 |
| Ponto 2 | PRAIA COFECO | 5,29 | 9,13 | 0,04 | 99,08 | 0,88 |
| Ponto 3 | MURO COFECO | 5,99 | 10,33 | 5,49 | 88,79 | 11,16 |
| Ponto 4 | PRAIA BARRA RIO PACOTI | 6,47 | 11,16 | 8,00 | 99,53 | 0,39 |
| Ponto 5 | MANGUE | 5,23 | 9,03 | 0,01 | 97,96 | 2,03 |
| Ponto 6 | MANGUE SECO | 5,88 | 10,14 | 0,03 | 97,3 | 2,67 |
| Ponto 7 | PONTE CE-025 | 6,16 | 10,62 | 0,73 | 60,31 | 38,96 |
| Ponto 8 | LABOMAR | 5,63 | 9,72 | 0,55 | 79,19 | 20,26 |
| Ponto 9 | MANGUE LOUNGE | 5,65 | 9,74 | 4,16 | 74,22 | 21,62 |

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 3 apresenta os dados referentes aos percentuais da análise granulométrica e ao teor de matéria orgânica encontrados nas amostras de sedimentos. Os resultados obtidos nas amostras coletadas revelam que a área em estudo é, em sua maioria, composta por areia, seguida por lama e cascalho, com variações observadas entre os diferentes pontos analisados e fornecem uma visão geral da composição dos sedimentos na região.

Ao analisar os resultados das amostras, torna-se evidente um teor elevado da fração de areia nos pontos 1, 2, 4 e 6, com percentuais de 92,36%, 99,08%, 99,53% e 97,3%, respectivamente. Essa predominância de areia está diretamente relacionada à proximidade desses pontos com a faixa de praia dentro do estuário. Em relação às frações de cascalho e lama (argila + silte), os pontos 2, 3, 5, 6, 7, 8 e 9 seguem uma distribuição granulométrica esperada para amostras de sedimento, com a fração lamosa predominando em relação ao cascalho. Essa observação está em concordância com a dinâmica do sistema estuarino e com as características específicas do ambiente estudado (Pettijohn, 1975; Tyson, 1995).

Como resultado geral, os pontos que apresentaram alto teor de matéria orgânica também apresentaram um alto teor de material fino. Esse padrão sugere uma boa relação entre a presença de matéria orgânica e a predominância da fração de sedimentos mais finos.

O alto teor de lama encontrado pode ser atribuído ao baixo fluxo de energia no ambiente estuarino, uma vez que esses pontos estão localizados mais internamente no estuário. Essa condição favorece a deposição de sedimentos finos, resultando em uma maior proporção de lama (Caill-Milly *et al.*, 2012). Além disso, com base na compreensão que os estuários possuem alta hidrodinâmica e capacidade de aprisionamento de nutrientes, é possível fornecer informações relevantes sobre as propriedades do local e seu comportamento em relação as partículas presentes no ambiente (Miranda, 2002).

É essencial destacar que, devido ao dinamismo do ambiente estuarino, ocorre uma deposição preferencial de sedimentos finos, conforme indicado por Oliveira *et al.* (2014). Esse padrão de comportamento é claramente observado nas amostras coletadas no mangue e está em consonância com estudos anteriores na literatura, que evidenciam a tendência de predominância de sedimentos finos e um elevado teor de matéria orgânica nos ambientes estuarinos

No entanto, os pontos do estuário localizados na área mais próximas à faixa de praia, como os pontos 1 e 4, apresentaram um percentual maior de cascalho em sua composição em relação ao percentual de lama. No ponto 1, foi observado um teor de 7,33% de cascalho e 0,31% de lama, em relação a uma concentração de 13,44% de matéria orgânica. Já no ponto 4, foram registrados 8,00% de cascalho e 0,39% de lama, associados a 11,16% de matéria orgânica.

Os valores para esses dois pontos contradizem a distribuição comumente encontrada na literatura, uma vez que a presença de altos níveis de matéria orgânica geralmente está relacionada à predominância da fração lamosa. Essa diferença evidencia as características específicas desse ambiente e contribui para a compreensão dos processos físicos e biogeoquímicos locais, bem como as possíveis influências humanas, visto que são ambientes que estão localizados em ambientes de fácil acesso pelo público visitante, e em consonância com Gao *et al.* (2012), a poluição urbana têm uma grande influência na qualidade ambiental das zonas costeiras (Oliveira *et al.*, 2014).

No restante dos pontos, há uma forte correlação entre os valores de distribuição granulométrica e o teor de matéria orgânica. Especificamente, o ponto 7 apresentou a segunda maior concentração de matéria orgânica, possivelmente devido à sua proximidade com a área de despejo de efluentes. Conforme demonstrado no estudo de Gao *et al.* (2012) sobre ambientes costeiros, tanto os efluentes domésticos quanto os industriais contribuem para o aumento do teor de matéria orgânica e de contaminantes no sedimento.

5.4 Análise de Componentes Principais

A distribuição granulométrica das amostras de sedimento no estuário do rio Pacoti revelou-se heterogênea, conforme já avaliado nas análises anteriores. Para confirmar esse comportamento e buscar uma ordenação e identificação dos padrões de distribuição das amostras com base nas variáveis, foi empregada a Análise de Componentes Principais (PCA). Os dados avaliados correspondem a 9 amostras e 18 variáveis.

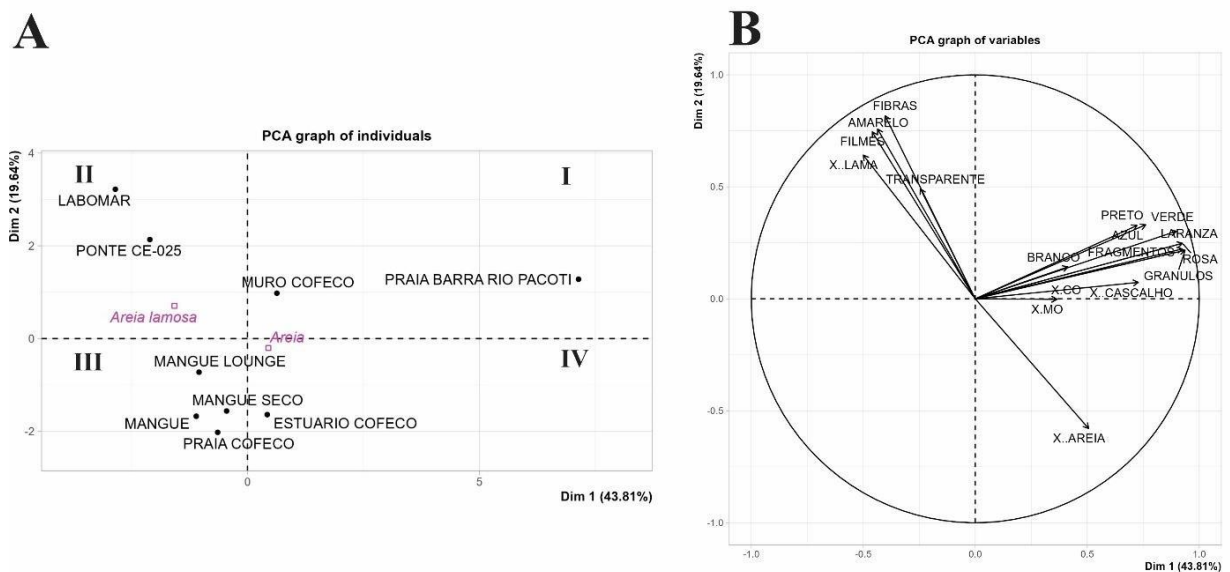
Na Figura 8, é apresentada uma análise multivariada dos parâmetros governantes e dos locais de amostragem do estudo. Através da análise de componentes principais (PCA), observamos que a Dim1 explica 43,81% e a Dim2 explica 19,64% da variância. Dessa forma, análise das componentes principais representa 63,45% da variância total do conjunto de dados,

fornecendo informações relevantes acerca do estudo.

No gráfico de loadings, foi observada uma forte correlação entre o ponto 8 (Labomar) e os tipos de microplásticos, como fibras e filmes, além da cor amarela. Em relação ao ponto 7 (Ponte CE-025), foi possível identificar uma associação significativa com a cor transparente e a presença de sedimento de areia lamosa. Além disso, tanto o ponto 7 (Ponte CE-025) quanto o ponto 8 (Labomar) apresentam uma relação direta com a presença de areia lamosa, o que está de acordo com a classificação média dos grãos obtida na análise granulométrica (Anexo 1). Essas correlações, obtidas a partir das projeções das variáveis, indicam a distribuição dos microplásticos no ambiente e reforçam as tendências de comportamento observadas nos parâmetros previamente estudados, corroborando as correlações identificadas em análises anteriores.

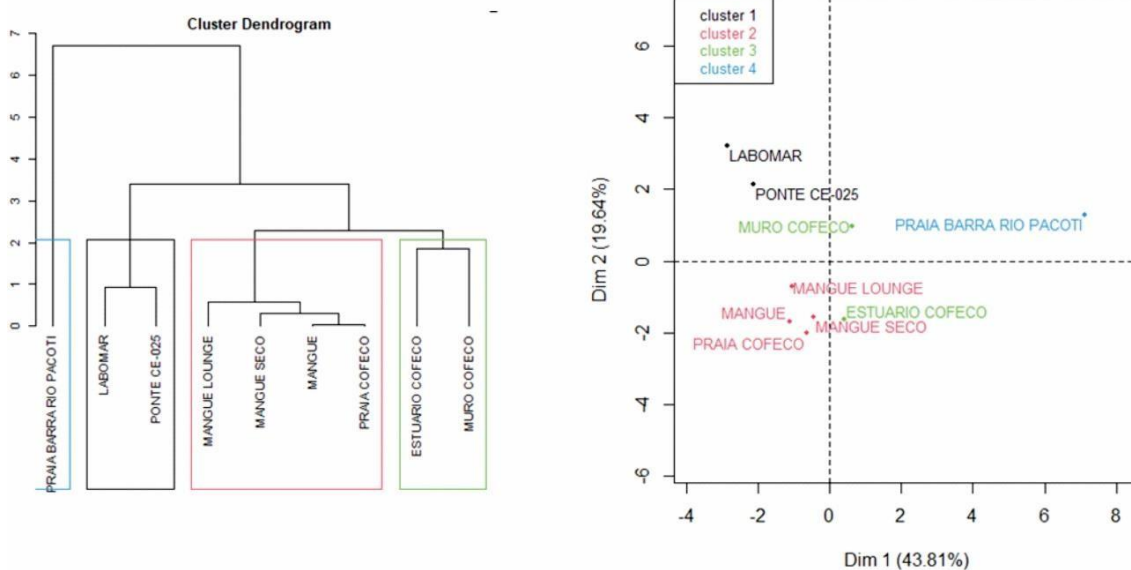
Os demais pontos analisados mostraram uma classificação dos grãos com maior teor de areias finas, médias e muito grossas, diferentemente dos padrões observados anteriormente. A Figura 8 revelou uma correlação entre o ponto 4 (praia barra rio Pacoti) e os tipos de microplásticos, como fragmentos e grânulos, além de uma ampla diversidade de cores, incluindo verde, preto, azul, laranja, rosa e branco. Essa correlação sugere uma forte relação entre essas variáveis e essa amostra em particular, além de uma correlação entre os tipos de plásticos, coloração e o tipo de grãos encontrados nesse ponto de análise.

Figura 8 - PCA para correlação dos parâmetros governantes presentes na dinâmica do estuário do Rio Pacoti.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 9 - Análise hierárquica de Cluster.



Fonte: Elaborado pelo autor

A análise estatística através do dendrograma permitiu identificar a formação desses grupos distintos, evidenciando as diferentes características e propriedades presentes nos indivíduos analisados. Com base no dendrograma apresentado na figura 9, podemos observar a formação de quatro grupos distintos no espaço, os quais diferem em termos de propriedades e características próprias.

I. O cluster 1 é composto por indivíduos como PONTE CE-025 e LABOMAR, que se destacam pelos valores elevados nas variáveis FIBRAS, AMARELO, FILMES e X.LAMA, e valores baixos para a variável AREIA.

II. O cluster 2 é formado por indivíduos como PRAIA COFECO, MANGUE, MANGUE LOUNGE, MANGUE SECO, os quais não apresentam valores significativamente diferentes em relação à média.

III. O cluster 3 é caracterizado por indivíduos como MURO COFECO, ESTUÁRIO COFECO, que exibem valores elevados nas variáveis de matéria orgânica e carbono orgânico.

IV. O cluster 4 é composto por indivíduos como PRAIA BARRA RIO PACOTI, que se destacam pelos valores altos para as variáveis ROSA, LARANJA, FRAGMENTOS, VERDE e GRÂNULOS.

4 CONCLUSÃO

O estudo conduzido no estuário do Rio Pacoti revelou a presença predominante de partículas de filmes plásticos, sendo notável o predomínio das cores amarelo e branco, sugerindo uma relação com os processos de fotodegradação e oxidação dos polímeros.

A análise de FT-IR, revelou que os polímeros predominantes detectados foram PE, PS e PP, distribuídos de maneira variada ao longo do local estudado, e em concordância com os diferentes tipos de sedimentos presentes. Observou-se também que a presença de matéria orgânica está correlacionada com a deposição preferencial da fração de sedimentos finos. Dessa forma, cada parâmetro está interligado, contribuindo para a compreensão da dinâmica local.

Em resumo, os resultados obtidos neste estudo podem servir de base para estudos futuros, como um monitoramento do local, a fim de melhor compreender o ambiente e os impactos das atividades humanas. Essas descobertas levantam ainda preocupações sobre as fontes de contaminação e os impactos ambientais resultantes, destacando assim a importância de compreender detalhadamente a distribuição e o comportamento dessas partículas, levando em consideração outros fatores para uma avaliação mais precisa.

REFERÊNCIAS

- ALOMAR, Carme; ESTARELLAS, Fernando; DEUDERO, Salud. Microplastics in the Mediterranean Sea: deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. **Marine environmental research**, v. 115, p. 1-10, 2016.
- ANGER, Philipp M. et al. Raman microspectroscopy as a tool for microplastic particle analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 109, p. 214-226, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). Profile 2019. São Paulo, Abiplast, 2019. p. 45.
- BAJT, Oliver. From plastics to microplastics and organisms. *FEBS Open bio*, v. 11, n. 4, p. 954-966, 2021.
- BARI, Abdullahel. Our oceans and the blue economy: Opportunities and challenges. *Procedia engineering*, v. 194, p. 5-11, 2017.
- BARNES, David KA et al. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, v. 364, n. 1526, p. 1985-1998, 2009.
- BORGES, Endler Marcel; FILGUEIRAS, Matheus Fernandes. Principal Component Analysis (PCA) and Statistical Tests Using Factoshiny and R Commander. 2021.
- BROWNE, Mark Anthony et al. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental science & technology*, v. 45, n. 21, p. 9175-9179, 2011.
- BROWNE, Mark A.; GALLOWAY, Tamara S.; THOMPSON, Richard C. Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental science & technology*, v. 44, n. 9, p. 3404-3409, 2010.
- CAMPANALE, Claudia et al. A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International journal of environmental research and public health*, v. 17, n. 4, p. 1212, 2020.
- COLE, Matthew et al. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, v. 62, n. 12, p. 2588-2597, 2011.
- CORREIA, Paulo RM; FERREIRA, Márcia. Reconhecimento de padrões por métodos não supervisionados: explorando procedimentos quimiométricos para tratamento de dados analíticos. *Química Nova*, v. 30, p. 481-487, 2007.
- COUCEIRO, Denise Carla da Silva. Definição de uma metodologia para extração e quantificação de microplásticos em areia de praia. 2019. Tese de Doutorado.
- COURTENE-JONES, Winnie et al. Microplastic pollution identified in deep-sea water and ingested by benthic invertebrates in the Rockall Trough, North Atlantic Ocean. *Environmental pollution*, v. 231, p. 271-280, 2017.

DO SUL, Juliana A. Ivar; SPENGLER, Ângela; COSTA, Monica F. Here, there and everywhere. Small plastic fragments and pellets on beaches of Fernando de Noronha (Equatorial Western Atlantic). *Marine pollution bulletin*, v. 58, n. 8, p. 1236-1238, 2009.

ENDO, Satoshi et al. Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: variability among individual particles and regional differences. *Marine pollution bulletin*, v. 50, n. 10, p. 1103-1114, 2005.

ERIKSEN, Marcus et al. Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PloS one*, v. 9, n. 12, p. e111913, 2014.

FERREIRA, Edilene Cristina et al. Análise exploratória dos teores de constituintes inorgânicos em sucos e refrigerantes de uva. *Eclética Química*, v. 27, p. 77-90, 2002.

FERREIRA, Marcia Miguel Castro. *Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações*. Editora da UNICAMP, 2015.

GAO, Xuelu; YANG, Yuwei; WANG, Chuanyuan. Geochemistry of organic carbon and nitrogen in surface sediments of coastal Bohai Bay inferred from their ratios and stable isotopic signatures. *Marine pollution bulletin*, v. 64, n. 6, p. 1148-1155, 2012.

GEYER, R.; JAMBECK, J.R.; LAW, K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.*, v. 3, p. 25–29. 2017.

HARRIS, P. T. et al. Exposure of coastal environments to river-sourced plastic pollution. *Science of the Total Environment*, v. 769, p. 145222, 2021.

HEO, Nak Won et al. Distribuição de pequenos detritos plásticos em seção transversal e linha de praia alta na praia de Heungnam, Coreia do Sul. *Ocean Science Journal*, v. 48, p. 225-233, 2013.

HIDALGO-RUZ, Valeria et al. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental science & technology*, v. 46, n. 6, p. 3060-3075, 2012.

HUSSON, F. et al. FactoMineR: multivariate exploratory data analysis and data mining with R. R package version 1.14. 2010.

JAMBECK, Jenna R. et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, v. 347, n. 6223, p. 768-771, 2015.

JORGE, Neuza. *Embalagens para alimentos*. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013.

JUNIOR, Rafael Paiva Nunes. *Multivariate statistics applied to microplastic analysis techniques*. 2022. Tese de Doutorado. Universidade do Porto (Portugal).

KALOGERAKIS, Nicolas et al. Microplastics generation: onset of fragmentation of polyethylene films in marine environment mesocosms. *Frontiers in Marine Science*, v. 4, p. 84, 2017.

KANE, Ian A. et al. Seafloor microplastic hotspots controlled by deep-sea circulation. *Science*, v. 368, n. 6495, p. 1140-1145, 2020.

KÄPPLER, Andrea et al. Análise de microplásticos ambientais por microespectroscopia vibracional: FTIR, Raman ou ambos?. *Química analítica e bioanalítica*, v. 408, p. 8377-8391, 2016.

KUMAR, BN Vinay et al. Análise de microplásticos de uma ampla faixa de tamanho em mexilhões comercialmente importantes, combinando as abordagens de espectroscopia FTIR e Raman. *Poluição Ambiental*, v. 269, p. 116147, 2021.

MASURA, Julie et al. Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. 2015.

MIRANDA, J.G. 2010. 29 f. Era do plástico. Monografia (Curso de Graduação em Comunicação Social - Publicidade e Propaganda), Curso de Graduação em Comunicação Social, Faculdades Integradas Hélio Alonso.

MOORE, SUE E. et al. Potential impact of offshore human activities on gray whales (*Eschrichtius robustus*). *J. Cetacean Res. Manage.*, v. 4, n. 1, p. 19-25, 2002.

MONTAGNER, Cassiana C. et al. Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. *Química Nova*, v. 44, p. 1328-1352, 2021

NG, KL; OBBARD, Jeff P. Prevalência de microplásticos no ambiente marinho costeiro de Cingapura. *Boletim de Poluição Marinha*, v. 52, n. 7, pág. 761-767, 2006.

PANERO, Francisco S.; DA SILVA, Henrique EB. Application of exploratory data analysis for the characterization of tubular wells of the North of Brazil. *Microchemical Journal*, v. 88, n. 2, p. 194-200, 2008.

PANERO, Francisco dos Santos et al. Aplicação da análise exploratória de dados na discriminação geográfica do quiabo do Rio Grande do Norte e Pernambuco. *Eclética Química*, v. 34, p. 33-40, 2009.

PAPPIS, Thatiane; KAPUSTA, Simone Caterina; OJEDA, Telmo. Metodologia de extração de microplásticos associados a sedimentos de ambientes de água doce. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 26, p. 749-756, 2021.

PAUL-PONT, Ika et al. Exposure of marine mussels *Mytilus* spp. to polystyrene microplastics: toxicity and influence on fluoranthene bioaccumulation. *Environmental pollution*, v. 216, p. 724-737, 2016.

PAULI, Gunter A. The blue economy: 10 years, 100 innovations, 100 million jobs. Paradigm publications, 2010.

Pettijohn, F.J., 1975. *Sedimentary Rocks*. Harper & Row, 3. ed., New York, NY, U.S.A. 628p.

PIATTI, Tania Maria; RODRIGUES, Reinaldo Augusto Ferreira. Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais. Maceió: Edufal, p. 51, 2005.

Plastics - the Facts 2020 an Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data, Plastics Europe. Association of Plastics Manufacturers, Bruxelas, Bélgica (2020). Disponível em: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/>

ROCHMAN, Chelsea M. et al. Scientific evidence supports a ban on microbeads. 2015.

SCHUMACHER, Brian A. Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. 2002.

SILVA, Ana B. et al. Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry-A review. *Analytica chimica acta*, v. 1017, p. 1-19, 2018.

SILVA-CAVALCANTI, Jacqueline Santos et al. Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource. *Environmental pollution*, v. 221, p. 218-226, 2017.

SPALDING, Mark J. The new blue economy: the future of sustainability. *Journal of Ocean and Coastal Economics*, v. 2, n. 2, p. 8, 2016.

STRAND, Jakob et al. Microplastic particles in sediments from Danish waters. In: ICES annual science conference. 2013. p. 23-27.

TEUTEN, Emma L. et al. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, v. 364, n. 1526, p. 2027-2045, 2009.

Tyson, R. V., 1995. *Sedimentary organic matter: organic facies and polyfacies*. Chapman & Hall. 615p.

UNESCO. *A ciência que precisamos para o oceano que queremos: a Década das Nações Unidas da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável (2021-2030)*. Paris, 2019

UNESCO. *Relatório Mundial sobre a Ciência Oceânica: o estado da ciência oceânica no mundo*. Paris, 2017. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000249373_por

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Un Declares War on Ocean Plastic*. 2017.

VAISSIE, P.; MONGE, A.; HUSSON, F. *Factoshiny: Perform Factorial Analysis from "FactoMineR" with a Shiny Application; R Package Version 2.4*; 2021.

VIANELLO, Alvise et al. Partículas microplásticas em sedimentos da Lagoa de Veneza, Itália: primeiras observações sobre ocorrência, padrões espaciais e identificação. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 130, p. 54-61, 2013.

VIEIRA, Khauê Silva. Bioacumulação de metais pesados e suas interações ambientais com microplásticos e parâmetros físico-químicos em moluscos bivalves.

WANG, Jundong et al. The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research*, v. 113, p. 7-17, 2016.

WANG, Y. et al. Distribution, biological effects and biofilms of microplastics in freshwater systems - A review. *Chemosphere*, v. 299, p. 134370, 2022.

WIT, Wijnand De; HAMILTON, Adam; SCHEER, Rafaella; STAKES, Thomas; ALLAN, Simon. Por solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização. WWF: Fundo Mundial para a Natureza. Genebra, 2019

XU, Jun-Li et al. Imagens FTIR e Raman para análise de microplásticos: estado da arte, desafios e perspectivas. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 119, p. 115629, 2019.

ZHANG, Qun et al. Microplastics in food: health risks. *Microplastics in Terrestrial Environments: Emerging Contaminants and Major Challenges*, p. 343-356, 2020.

ZHANG, Yafei et al. How climate change and eutrophication interact with microplastic pollution and sediment resuspension in shallow lakes: A review. *Science of the Total Environment*, v. 705, p. 135979, 2020.

ZHAO, Haoran et al. Pollution status of microplastics in the freshwater environment of China: A mini review. *Water Emerg. Contam. Nanoplastics*, v. 1, n. 5, 2022.