



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Educação e Humanidades

Faculdade de Formação de Professores

Lucas Ferreira Corrêa

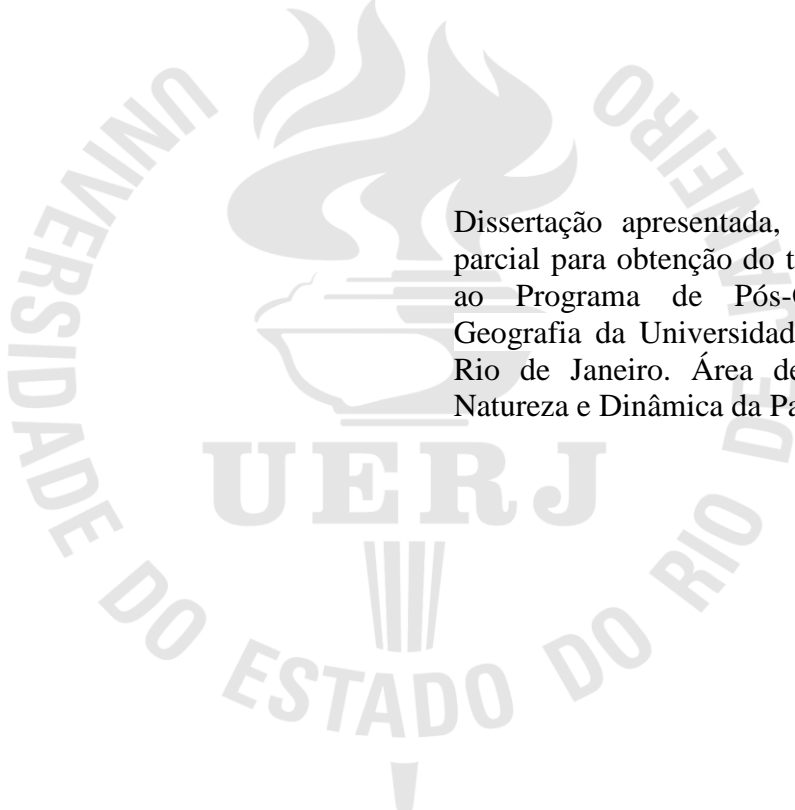
**Ocorrência e distribuição de microplásticos nos sedimentos de fundo,  
margem e nas águas superficiais do sistema lagunar Maricá-Guarapina  
(RJ)**

São Gonçalo

2022

Lucas Ferreira Corrêa

**Ocorrência e distribuição de microplásticos nos sedimentos de fundo, margem e nas águas superficiais do sistema lagunar Maricá-Guarapina (RJ)**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Natureza e Dinâmica da Paisagem.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Carvalho da Silva

São Gonçalo

2022

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CEH/D

C824 Corrêa, Lucas Ferreira.  
Ocorrência e distribuição de microplásticos nos sedimentos de fundo,  
margem e nas águas superficiais do sistema lagunar Maricá-Guarapina (RJ) /  
Lucas Ferreira Corrêa. – 2022.  
99f.:il.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Carvalho da Silva.  
Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade do Estado  
do Rio de Janeiro, Faculdade de Formação de Professores.

1. Poluição marinha – Maricá (RJ) – Teses. 2. Resíduos – Eliminação no  
oceano – Maricá (RJ) – Teses. I. Silva, André Luiz Carvalho da.  
II Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Formação de  
Professores. III. Título.

CRB/7 – 4994

CDU 504.03(815.3)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta  
dissertação, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Lucas Ferreira Corrêa

**Ocorrência e distribuição de microplásticos nos sedimentos de fundo, margem e nas águas superficiais do sistema lagunar Maricá-Guarapina (RJ)**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Natureza e Dinâmica da Paisagem.

Aprovada em 17 de maio de 2022.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. André Luiz Carvalho da Silva (Orientador)  
Faculdade de Formação de Professores – UERJ

---

Prof. Dr. Vinícius da Silva Seabra  
Faculdade de Formação de Professores – UERJ

---

Prof. Dr. Fábio Vieira de Araújo  
Faculdade de Formação de Professores – UERJ

---

Prof. Dr. Lázaro Luiz Mattos Laut  
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

São Gonçalo

2022

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, Agradeço ao meu Aba (Deus) por ter me permitido chegar até aqui. A caminhada não tem sido fácil, mas a tua infinita Graça continua provendo o sustento em Força e Fé.

À minha família (Marta, Altamiro, Ludimilla e Patrícia), por todo amor que vocês depositaram em mim ao longo da minha vida. Por cada gesto de cuidado, carinho, dedicação. Vocês sabem o quanto eu sou grato por ter vocês ao meu lado.

À minha sobrinha, Larissa, por me ensinar que ser tio é uma das maiores dádivas da vida. Você desconstruiu o cara durão que eu dizia ser e me tornou a criança mais singela que existe. Eu te amo hoje, amanhã e sempre. Titio tá aqui.

Ao meu orientador e amigo, André Luiz Carvalho da Silva, por todo ensinamento e dedicação que teve comigo desde a graduação. É uma honra poder caminhar ao seu lado e direi, incansavelmente, o quanto te admito e sou seu fã. Obrigado por absolutamente tudo.

Aos presentes que a UERJ me deu e que tenho certeza que carregarei em mim, por onde eu for. Obrigado Ana Beatriz, Valéria e Jessyca! Vocês estiveram comigo nos momentos bons e ruins, me deram conselhos, me seguraram quando achei que não tinha para onde ir e cá estamos nós. Não existem adjetivos que expressem o que sinto por vocês.

Aos meus amigos de laboratório (LABDIN), que estão sempre solícitos para ajudar nos momentos de adversidade, assim como estão sempre prontos para festejar nos momentos de alegria. Andrea, Manu, Rebeca, Lorena, Letícia, Andressa Batista, Débora, Mabi e Carol, vocês foram fundamentais ao longo de todo esse processo. Nos vemos no próximo café.

Gostaria de fazer um agradecimento especial a Dandara, uma amiga que a pesquisa me deu e que, sem dúvidas, tem muito suor e dedicação na construção do resultado deste trabalho. Obrigado por atuar neste trabalho como se fosse seu e se dedicar com tanto carinho.

Ao professor Fábio e ao departamento de Biologia por disponibilizarem o laboratório para uso e permitirem o avanço desta etapa no desenvolvimento da presente dissertação.

Aos meus amigos de alma, Thiago, Júlia, Sara e Viviane, por todas as horas de conversa, desabafos, risos e choros. Vocês fazem parte da minha história e sou eternamente grato por tudo.

À minha amada UERJ-FFP, por ser esse lugar acolhedor. São seis anos andando por esses corredores e repletos de histórias para contar. Vamos lutar por você hoje e sempre.

Agradeço, também, aos meus incríveis professores que sempre estiveram dispostos à compartilharem os seus conhecimentos, seja na sala de aula ou num cafezinho. Um agradecimento especial ao professor Rodrigo Coutinho Abuchacra, pois jamais esquecerei as brincadeiras de “perseguição” e os conselhos que me foram dados para este momento. Fica aqui a minha gratidão.

À minha turma de mestrado (2019), que é composta por pessoas incríveis, dedicadas e que possuem um diferencial. Trilhar essa jornada, com vocês, faz de mim uma pessoa melhor. Vocês são incríveis.

Agradeço à Comunidade de Pescadores de Zacarias pelo acolhimento durante as minhas atividades de campo e pela receptividade ao Grupo de Estudos Costeiros da UERJ-FFPao longo destes muitos anos de pesquisas.

Não poderia deixar de agradecer aos meus amigos “de longe”, mas que estão sempre por perto. Hai e Diego, estou morrendo de saudade de vocês. Breve, estaremos juntos. Obrigado por entenderem todas as vezes que desmarquei um encontro por motivos acadêmicos.

Agradeço à CAPES pela bolsa de pesquisa que foi fundamental ao longo desta caminhada, possibilitando a minha manutenção pessoal assim como o desenvolvimento deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## RESUMO

CORRÊA, L. F. *Ocorrência e distribuição de microplásticos nos sedimentos de fundo, margem e nas águas superficiais do sistema lagunar Maricá-Guarapina (RJ)*. 2022. 99f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2022.

A crescente urbanização do litoral tem causado, com frequência diversos impactos provenientes do descarte de resíduos sólidos, poluentes domésticos e industriais, culminando no desequilíbrio dos ecossistemas lagunares e prejudicando atividades importantes como à pesca artesanal e o turismo local. O Sistema lagunar Maricá-Guarapina, localizado no município de Maricá (RJ), vem apresentando problemas relacionados à poluição devido à ocupação de suas áreas marginais nas últimas décadas. Diante do exposto, o conhecimento sobre a poluição por resíduos sólidos neste ambiente, assim como, os processos responsáveis pela origem e distribuição destes materiais, são de grande relevância para a análise da qualidade ambiental dessas lagunas. Estudos dessa natureza permitem identificar os impactos causados pelas atividades desenvolvidas no entorno desse ambiente e o estado de poluição por resíduos sólidos no sistema lagunar. Este estudo objetivou estabelecer um diagnóstico acerca da poluição por resíduos sólidos nas Lagoas de Maricá e Guarapina utilizando os microplásticos como indicador. Foram realizados trabalhos de campo para a coleta de 16 amostras de água na superfície, 16 amostras de sedimentos de fundo e 13 de margem lagunar, para a extração e classificação de microplásticos. Os procedimentos laboratoriais incluem a pesagem das amostras secas, peneiramento, extração de microplásticos através do método de separação por densidade e identificação dos microplásticos encontrados com o auxílio de uma lupa binocular. Os resultados permitiram identificar a presença de 5.339 microplásticos nas lagunas estudadas, com as maiores concentrações na margem lagunar (40,4%), seguida pela superfície da água (39%) e nos sedimentos de fundo (20,60%). Esse valor representa uma média de 165,92 MPs/kg<sup>-1</sup> para sedimentos de margem, 68,75 MPs/kg<sup>-1</sup> para os sedimentos de fundo e 11,93 MPs/m<sup>-3</sup> para a água superficial. Os tipos de microplásticos identificados foram: fragmentos (36,09%), fibras (29,96%), filmes (26,72%), pellets (4,46%), espumas (2,29%) e isopor (0,48%). Um total de 98,89% dos microplásticos analisados aparentavam uma superfície desgastada, indicando atrito ou deterioração pela ação dos processos intempéricos. Entre as cores do material analisado predominou o azul para fragmentos (34,22%), fibras (26,83%) e filmes (52,52%), bronze para pellets (29,41%), e branco para espumas (36,07%) e isopor (96,43%). As possíveis fontes de microplásticos para as lagunas de Maricá e Guarapina podem estar relacionadas com o processo de expansão urbana, as atividades de lazer e turismo, com expressiva contribuição dos rios, do escoamento superficial urbano e do mar. Por ser uma laguna do tipo confinada e de baixa troca com o mar, o tempo de permanência de materiais em disponibilidade na superfície d'água é maior na laguna de Maricá. Em Guarapina, o Canal de Ponta Negra permite a troca constante de água entre o a laguna e o mar, o que favorece também a remobilização de microplásticos para fora deste ambiente. Por outro lado, a entrada de água através do canal possibilita a entrada de microplásticos na laguna, principalmente durante eventos de tempestade, como constatado neste estudo.

Palavra-chave: Microplásticos. Resíduos sólidos. Lagoas costeiras. Maricá. Guarapina.

## ABSTRACT

CORRÊA, L. F. *Occurrence and distribution of microplastics in the bottom sediments, margin and surface waters of the Maricá-Guarapina (RJ) lagoon system*. 2022. 99f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2022.

The increasing urbanization of the coast has often caused several impacts from the disposal of solid waste, domestic and industrial pollutants, culminating in the imbalance of lagoon ecosystems and harming important activities such as artisanal fishing and local tourism. The Maricá-Guarapina lagoon system, located in the municipality of Maricá (RJ), has been presenting problems related to pollution due to the occupation of its marginal areas in recent decades. Given the above, knowledge about pollution by solid waste in this environment, as well as the processes responsible for the origin and distribution of these materials, are of great relevance for the analysis of the environmental quality of these lagoons. Studies of this nature make it possible to identify the impacts caused by the activities carried out in the surroundings of this environment and the state of pollution by solid waste in the lagoon system. This study aimed to establish a diagnosis about pollution by solid waste in Lagoas de Maricá and Guarapina, using microplastics as an indicator. Field work was carried out to collect 16 samples of surface water, 16 samples of bottom sediments and 13 of the lagoon margin, for the extraction and classification of microplastics. Laboratory procedures include weighing the dry samples, sieving, extracting microplastics using the density separation method and identifying the microplastics found with the aid of a binocular magnifying glass. The results allowed identifying the presence of 5,339 microplastics in the studied lagoons, with the highest concentrations in the lagoon margin (40.4%), followed by the water surface (39%) and in the bottom sediments (20.60%). This value represents an average of 165.92 MPs/kg<sup>-1</sup> for margin sediments, 68.75 MPs/kg<sup>-1</sup> for bottom sediments and 11.93 MPs/m<sup>-3</sup> for surface water. The types of microplastics identified were: fragments (36.09%), fibers (29.96%), films (26.72%), pellets (4.46%), foams (2.29%) and styrofoam (0.48%). A total of 98.89% of the analyzed microplastics appeared to have a worn surface, indicating friction or deterioration by the action of weathering processes. Among the colors, blue predominated for fragments (34.22%), fibers (26.83%) and films (52.52%), bronze for pellets (29.41%), and white for foams (36.07%). and polystyrenes (96.43%). The possible sources of microplastics for the Maricá-Guarapina lagoon system may be related to the process of urban expansion, leisure and tourism activities, with a significant contribution from rivers, urban surface runoff and the sea. As it is a confined type lagoon with low exchange with the sea, the time of permanence of materials in availability on the water surface is longer in the lagoon of Maricá. In Guarapina, the Ponta Negra Canal allows the constant exchange of water between the lagoon and the sea, which also favors the remobilization of microplastics out of this environment. On the other hand, the entry of water through the channel allows the entry of microplastics into the lagoon, especially during storm events, as observed in this study.

Keywords: Microplastics. Solid waste. Coastal lagoons. Maricá. Guarapina.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Caracterização da área de estudo .....	12
Figura 2 –	Geomorfologia da planície costeira de Maricá: lagoa de Maricá ao norte, duas barreiras arenosas (uma de idade pleistocênica e outra holocênica) separadas pela planície lagunar .....	14
Figura 3 –	Canal aberto artificialmente na Barra de Maricá para rebaixar o nível das lagoas de Maricá após a ocorrência de chuvas torrenciais ..	15
Figura 4 –	Canal de Ponta Negra .....	16
Figura 5 –	Modelo de taxa de renovação de água no sistema lagunar Maricá-Guarapina .....	18
Figura 6 –	Rosa dos ventos referente à estação de verão de 2020 na área de estudo .....	19
Figura 7 –	Mapa de batimetria da lagoa de Maricá .....	20
Figura 8 –	Granulometria dos sedimentos de fundo e da margem da Lagoa de Maricá .....	21
Figura 9 –	Mapa de uso e cobertura da terra de Maricá .....	23
Figura 10 –	Diferentes fontes de poluição na Lagoa de Maricá e seus efeitos no ecossistema .....	24
Figura 11 –	Diagrama esquemático das principais fontes e direções dos plásticos no ambiente marinho .....	28
Figura 12 –	Número de artigos sobre microplásticos publicados no Brasil entre 2009 e 2017 .....	30
Figura 13 –	Estudos de macro resíduos e microplásticos no Estado do Rio de Janeiro .....	31
Figura 14 –	Classificação de tamanho de microplástico segundo autores .....	32
Figura 15 –	Tipos de microplásticos .....	33
Figura 16 –	Estudos de microplásticos em lagoas costeiras ao redor do mundo ...	39
Figura 17 –	Fluxograma da pesquisa .....	40
Figura 18 –	Localização geográfica dos pontos de monitoramento .....	43

Figura 19 – Coleta de amostras de margem .....	44
Figura 20 – Coleta de amostras de superfície .....	46
Figura 21 – Coleta de amostras de fundo .....	47
Figura 22 – Etapas laboratoriais para amostras de água .....	48
Figura 23 – Etapas laboratoriais para amostras de margem e fundo .....	49
Figura 24 – Queima de matéria orgânica para amostras de fundo lagunar .....	50
Figura 25 – Porcentagem, tipo e características dos microplásticos identificados	53
Figura 26 – Microplásticos identificados nas lagunas de Maricá e Guarapina ....	54
Figura 27 – Ocorrência de microplásticos na superfície lagunar .....	56
Figura 28 – Ocorrência de microplásticos no fundo lagunar .....	57
Figura 29 – Ocorrência de microplásticos na margem lagunar .....	59
Figura 30 – Distribuição espacial de fragmentos nas lagunas de Maricá e Guarapina .....	62
Figura 31 – Principais cores identificadas por tipo de microplásticos .....	63
Figura 32 – Distribuição espacial de fibras nas lagunas de Maricá e Guarapina .	65
Figura 33 – Distribuição espacial de filmes nas lagunas de Maricá e Guarapina	67
Figura 34 – Distribuição espacial de pellets nas lagunas de Maricá e Guarapina	69
Figura 35 – Distribuição espacial de espumas nas lagunas de Maricá e Guarapina .....	71
Figura 36 – Distribuição espacial de isopor nas lagunas de Maricá e Guarapina	73
Figura 37 – Figura síntese com dados de concentração e distribuição de microplásticos nas lagunas de Maricá e Guarapina .....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais técnicas de amostragem do lixo marinho .....	29
Tabela 2 – Pigmentos e corantes empregados na coloração de plásticos .....	34
Tabela 3 – Trabalhos sobre microplásticos em lagunas costeiras ao redor do mundo .....	38
Tabela 4 – Coordenadas geográficas dos pontos de monitoramento .....	42
Tabela 5 – Categoria de microplásticos utilizadas no presente trabalho .....	50
Tabela 6 – Microplásticos identificados nas lagunas de Maricá e Guarapina .....	52

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
1	<b>OBJETIVOS</b> .....	13
1.1	<b>Objetivo geral</b> .....	13
1.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	13
1.3	<b>Área de estudo</b> .....	13
2	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	26
2.1	<b>Poluição por resíduos sólidos</b> .....	26
2.2	<b>Microplásticos</b> .....	30
2.3	<b>Microplásticos em lagoas costeiras – Uma breve revisão</b> .....	35
3	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	40
3.1	<b>Metodologia de campo</b> .....	41
3.1.1	<u>Amostragem de sedimentos de margem lagunar</u> .....	44
3.1.2	<u>Amostragem de água de superfície lagunar por arrasto</u> .....	45
3.1.3	<u>Coleta dos sedimentos de fundo</u> .....	46
3.2	<b>Análises laboratoriais</b> .....	47
3.3	<b>Processamento dos dados</b> .....	51
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	52
4.1	<b>Microplásticos identificados nas lagoas de Maricá e Guarapina</b> .....	52
4.2	<b>Características dos microplásticos</b> .....	60
4.3	<b>Possíveis fontes para os microplásticos encontrados nas lagoas de Maricá e Guarapina</b> .....	74
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	85
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	87

## INTRODUÇÃO

Os estudos referentes aos impactos causados pela poluição dos ambientes costeiros por resíduos sólidos vêm crescendo ao longo dos últimos anos, despertando a atenção para o descarte irregular de diferentes tipos de materiais que chegam aos ambientes costeiros e marinho. Entre os resíduos encontrados, o plástico tem sido relatado como o mais abundante nos litorais e oceanos ao redor do mundo (COE; ROGERS, 1997; BAPTISTA NETO; FONSECA, 2011; SANTANA NETO et al., 2016; PLASTICS EUROPE, 2017; GEYER et al., 2017; MACEDO et al., 2020; CORRÊA et al., 2020; WAYMAN; NIEMANN, 2021), tornando as regiões litorâneas constantemente ameaçadas pelo desenvolvimento das atividades humanas (OLIVATTO et al., 2018; WAKKAF et al., 2020). Os objetos compostos de plásticos são produtos oriundos de um conjunto de polímeros sintéticos (GESAMP, 2019), combinados com aditivos químicos que possuem diferentes funções (CADORE, 2008), tais como a de coloração, forma, densidade, brilho, entre outros, gerando risco à saúde de diferentes organismos e de consumidores devido sua toxicidade (CADORE, 2008, VERMA et al., 2016).

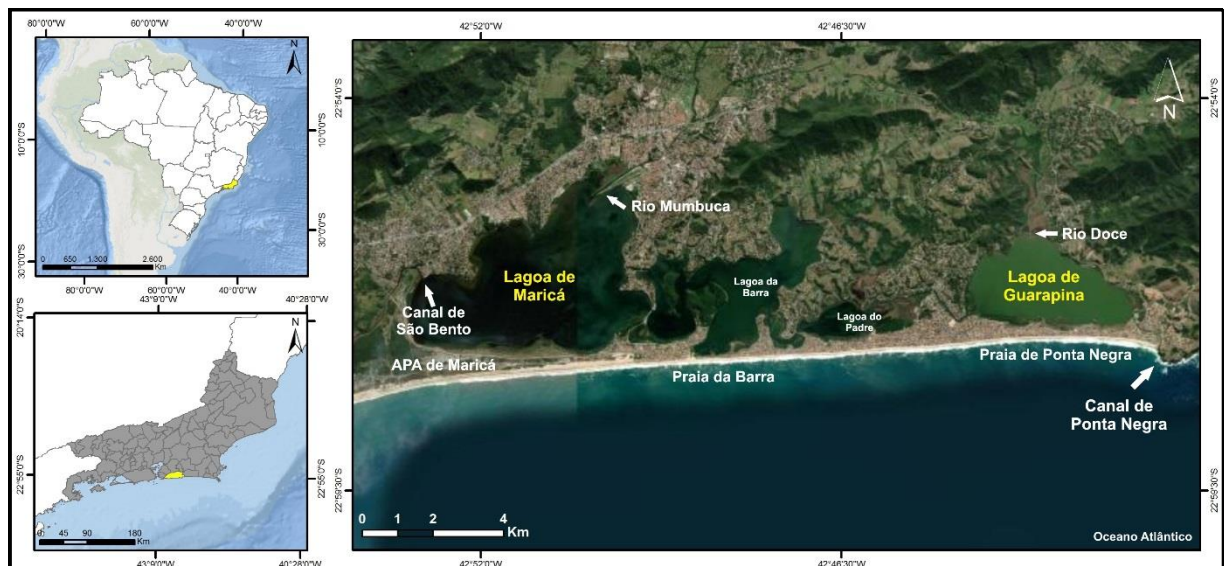
O conhecimento sobre as características dos resíduos sólidos presentes no litoral, associados aos processos hidro-sedimentares, é de extrema importância para o entendimento dos impactos ambientais numa região. Os polímeros utilizados na fabricação de objetos plásticos podem apresentar alta resistência à fotodegradação (ZBYSZEWSKI; CORCORAN, 2011), além de alta capacidade de flutuabilidade e longo tempo de decomposição (RYAN et al., 2009; PLASTICS EUROPE, 2020) e por essa razão podem ser dispersados por longas distâncias. A atuação dos processos costeiros, como ondas, correntes e marés, tende à agir diretamente na remobilização de resíduos plásticos, acentuando os processos de fotodegradação e transformando os resíduos maiores em fragmentos menores de tamanhos variados, incluindo os microplásticos (ANDRADY, 2011).

Estudos sobre a ocorrência de microplásticos em lagoas costeiras são escassos, principalmente quando comparados com a grande quantidade de pesquisas concentradas em praias e baías. Dessa maneira, compreender o papel dos processos físicos na distribuição e deposição de diferentes materiais no ambiente lagunar, assim como das atividades relacionadas aos mais distintos usos que são exercidos sobre ele, é de suma importância para a elaboração de medidas voltadas ao planejamento, gestão e conservação deste ambiente, a fim

de melhor preservar a sua rica biodiversidade e os diversos ecossistemas litorâneos, em especial aqueles associados aos sistemas lagunares.

O litoral de Maricá está localizado no leste metropolitano do estado do Rio de Janeiro, entre os municípios de Niterói e Saquarema (Figura 1). Trata-se de um trecho do litoral leste fluminense com 46 quilômetros de extensão, com belas paisagens, marcadas pela presença de serras, praias e lagoas costeiras. Devido as suas belezas naturais e por pertencer à Região Metropolitana do Rio de Janeiro, o município tem vivenciado um acelerado crescimento urbano, o que tem ocasionado uma série de problemas ambientais, com impacto direto no sistema lagunar, promovendo alterações na dinâmica e na qualidade da água, comprometendo o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos (LAUT et al., 2019).

Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Autor, 2020.

Segunda Batista (2018), os processos de degradação da Lagoa de Maricá foram intensificados pelo lançamento de esgoto doméstico no entorno desta laguna e pelos materiais transportados por diferentes afluentes, responsáveis por introduzir grandes quantidades de nutrientes neste ambiente. Estudo realizado por Laut et al. (2019) possibilitou identificar elevadas concentrações de carbono orgânico total nas lagoas de Maricá, Barra e Guarapina (com o máximo de 5,5% em Guarapina), além de elevadas concentrações de compostos biopoliméricos lábeis (proteínas, carboidratos e lipídios) no sistema lagunar, apontando para regiões nas lagoas com acentuado processo de eutrofização.

## **1 OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo geral**

Este estudo tem como objetivo estabelecer um diagnóstico acerca da ocorrência e distribuição de microplásticos nas lagoas de Maricá e Guarapina e investigar a relação entre as possíveis fontes e os diferentes usos no entorno das lagoas. Para tal, foi caracterizado e analisado o conteúdo de microplásticos nos sedimentos (margem e fundo lagunar) e água superficial das lagoas de Maricá e Guarapina. A dinâmica de acumulação e distribuição de microplásticos foi analisada a partir da integração de dados de batimetria, sedimentação e hidrodinâmica, assim como dos diferentes usos com potencial para a geração de resíduos sólidos para as lagoas (atividade turística, pesca, indústrias, vias, aporte fluvial, escoamento superficial urbano, etc.).

### **1.2 Objetivos específicos**

- 1–Caracterizar a ocorrência, a distribuição e os tipos de microplásticos nas lagoas estudadas;
- 2– Identificar as possíveis fontes com potencial para a geração de resíduos sólidos para o sistema lagunar;
- 3 –Compreender a relação entre as diferentes formas de interação dos processos costeiros relacionados à circulação interna das lagoas e a acumulação de microplásticos nas lagoas;

### **1.3 Área de estudo**

O sistema lagunar Maricá-Guarapina está localizado a aproximadamente 50 km a leste do município do Rio de Janeiro (Figura 1). Este ambiente se encontra numa extensa planície

costeira, caracterizado pela presença de barreiras arenosas e por uma série de pequenas lagoas colmatadas (SILVA et al., 2014) (Figura 2). O complexo lagunar de Maricá conta com a presença de 4 lagoas costeiras principais, sendo de oeste para leste: Lagoa de Maricá, Lagoa da Barra, Lagoa do Padre e Lagoa de Guarapina. As Lagoas de Maricá e Guarapina (Figura 1) foram selecionadas em função dos seguintes fatores: (1) dentro do sistema lagunar são as que apresentam as maiores dimensões;(2) exibem diferenças significativas quanto à hidrodinâmica e trocas, em função da conexão direta com o oceano (no caso de Guarapina), o que não ocorre com Maricá; (3) a diversidade de usos e ocupação das áreas de margem lagunar e os possíveis impactos associados às lagoas.

Figura 2 - Planície costeira de Maricá: lagoa de Maricá



Fonte: Guichard, D., 2009 (A, B e C) e Canal Isac Mariano, 2021 (D e E).

A troca de água e sedimentos com o mar no sistema lagunar Maricá-Guarapina ocorre das seguintes maneiras: (1) através da abertura artificial de um canal ligando a Lagoa da Barra à praia (Figura 3). Este trecho apresenta menor resistência da barreira arenosa à incidência de



grandes ondas de tempestade (SILVA et al., 2008) (Figura 3A e B). A abertura do canal promove a diminuição dos níveis d'água dentro das lagoas através da troca com o mar. O mesmo tende a permanecer aberto até ser fechado naturalmente pela deposição de areias transportadas pela corrente de deriva litorânea (PINHEIRO et al., 2015 - Figura 3C e D). A conexão com o mar através de canais de maré ocorreu também de forma natural, em escala geológica, ao longo de boa parte do litoral de Maricá, o que pode ser evidenciado por meio de paleocanais preservados no registro sedimentar costeiro da região (SILVESTRE et al., 2015); essa troca ocorre também através dos canais de São Bento e da Costa (conectados entre si e com a laguna de Maricá), porém com menor eficiência; (2) A conexão entre o sistema lagunar de Maricá e o oceano ocorre de forma permanente através do Canal de Ponta Negra, em Guarapina (Figura 4A e B). Esse canal foi aberto artificialmente no ano de 1945, através do programa de saneamento básico do município (OLIVEIRA et al., 1955; KJERFVE et al., 1990), possui aproximadamente 1,4km de extensão e uma profundidade média de 1,3 m (KJERFVE et al., 1990). Sua abertura possibilitou o escoamento das águas do sistema lagunar como um todo, principalmente na Lagoa de Guarapina, além de promover alterações na salinidade com a entrada constante de água do mar dentro deste ambiente (KJERFVE et al., 1990; SOUSA et al., 2013).

Figura 3 - Abertura artificial do Canal da Barra para rebaixar o nível das lagoas após a ocorrência de chuvas torrenciais (A e B). Fechamento parcial do Canal da Barra devido a remobilização de sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea (C); fechamento total do Canal da Barra (D)



Fonte: A- Canal Henrique RJ, 2016; B - Prefeitura de Maricá, 2019; C - Prefeitura de Maricá, 2014; e D - JMP Drones, 2017.

Figura 4 - Canal de Ponta Negra visto de cima (A), Canal de Ponta Negra em condição de tempo bom (B), Canal de Ponta Negra em condição de eventos de tempestade (C); e entrada do Canal de Ponta Negra na Lagoa de Guarapina (D)



Fonte: A - Autor, 2020; B -mapio.net; C -Rodrigo Landim, 2010; D - Autor, 2020.

O nível d'água dentro do sistema lagunar tende a se elevar rapidamente em resposta à ocorrência de fortes chuvas na região, principalmente no verão, ocasionando algumas enchentes (OLIVEIRA et al., 1955). Neste sentido, o canal de Ponta Negra desempenha um importante papel no escoamento das águas pluviais. Nas demais lagoas, as inundações têm ocorrido com mais frequência devido à dificuldade de escoamento rápido de grande quantidade de água para o mar. Para resolver este problema, a prefeitura tem realizado a abertura do Canal da Barra desde a década de 50 para diminuir os danos causados pelas inundações nas áreas marginais das lagoas (OLIVEIRA et al., 1955; KJERFVE et al., 1990; SOUSA et al., 2013).

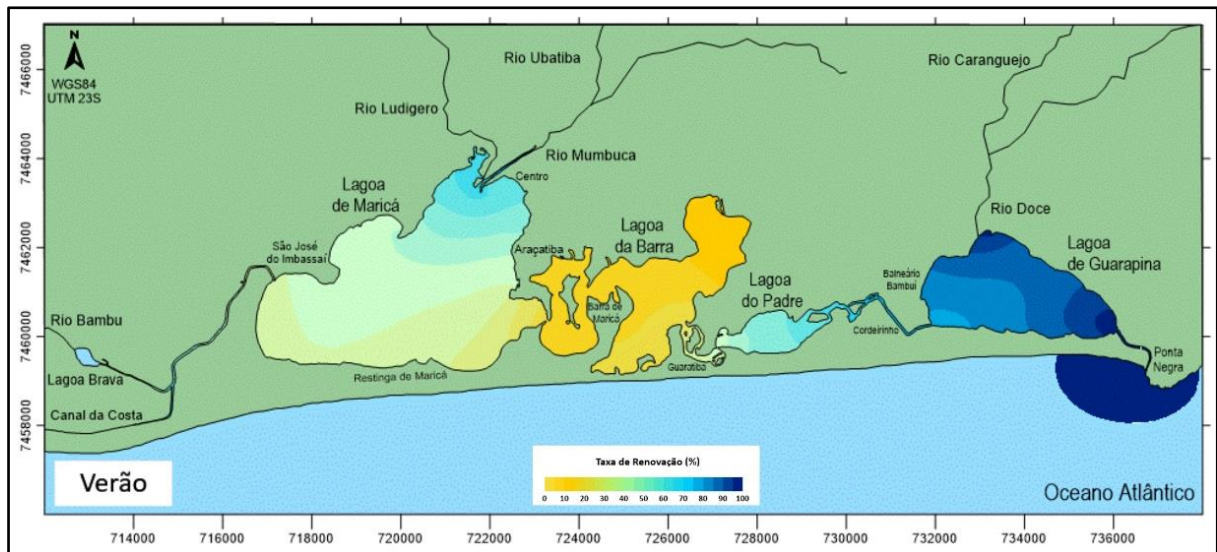
O padrão de circulação das águas dentro deste ambiente é gerado primeiramente pelos ventos e pela intrusão das águas marinhas através do canal de Ponta Negra e, esporadicamente, pelo canal da Barra (SOUZA et al., 2016). A intrusão de águas marinhas ocorre com maior força após a diminuição do nível do espelho d'água durante uma estiagem prolongada e o estabelecimento de um gradiente hidráulico que proporciona o escoamento contínuo das águas lagunares para o oceano (SOUZA et al., 2016).

Essa região do litoral fluminense apresenta oscilações de maré com amplitude máxima de 1,5m, sendo classificada como micro-maré (DHN). A lagoa de Guarapina é caracterizada por uma baixa amplitude das marés (KJERFVE et al., 1990) em condições de tempo bom, pois os 1,4 km de extensão da entrada do Canal de Ponta Negra até a lagoa de Guarapina atuam como um filtro dinâmico para minimizar as oscilações de água dentro do sistema lagunar, que em Guarapina é inferior a 0,3m (KJERFVE et al., 1990). Porém, com a entrada de ondas de tempestade no canal, as oscilações de maré se alteram significativamente, assim como a dinâmica de ondas e correntes dentro da mesma (Figura 4C).

Na Lagoa de Maricá, medições de maré realizadas por Silvestre et al. (2017) encontraram variações de apenas 0,04 m, sob condição de maré de quadratura. Essa característica se deve ao fato da Lagoa de Maricá ser a mais interna desse sistema lagunar (SILVESTRE et al., 2017). Cruz (2010) buscou compreender os padrões relacionados às trocas de água no sistema lagunar Maricá-Guarapina com o mar, utilizando como indicadores os dados adquiridos através do SisBahia (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental) através de modelagem, integrada através de dados de batimetria, sedimentação, entre outros parâmetros físicos. Os ambientes lagunares se apresentam geralmente sensíveis devido a sua lenta taxa de renovação das águas (Figura 5), o que favorece a acumulação de matéria orgânica e sedimentos (CRUZ, 2010; LAUT et al., 2019).

O clima na região de Maricá é do tipo tropical quente-úmido (Aw), segundo Köppen e Geiger, com temperaturas médias anuais de 23,4 °C, com precipitação anual média de cerca de 1.034 mm; umidade relativa do ar de 80% aproximadamente (CLIMATE-DATA, 2021). O regime de ventos é determinado pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, com ocorrência de ventos predominantes dos quadrantes leste e nordeste (Figura 6) (AMARANTE et al., 2002). Quando há uma mudança na orientação dos ventos, vindos de sudeste, sul e sudoeste, gerados pelas massas polares provenientes de sul, tornam-se mais intensos (INPE, 2015).

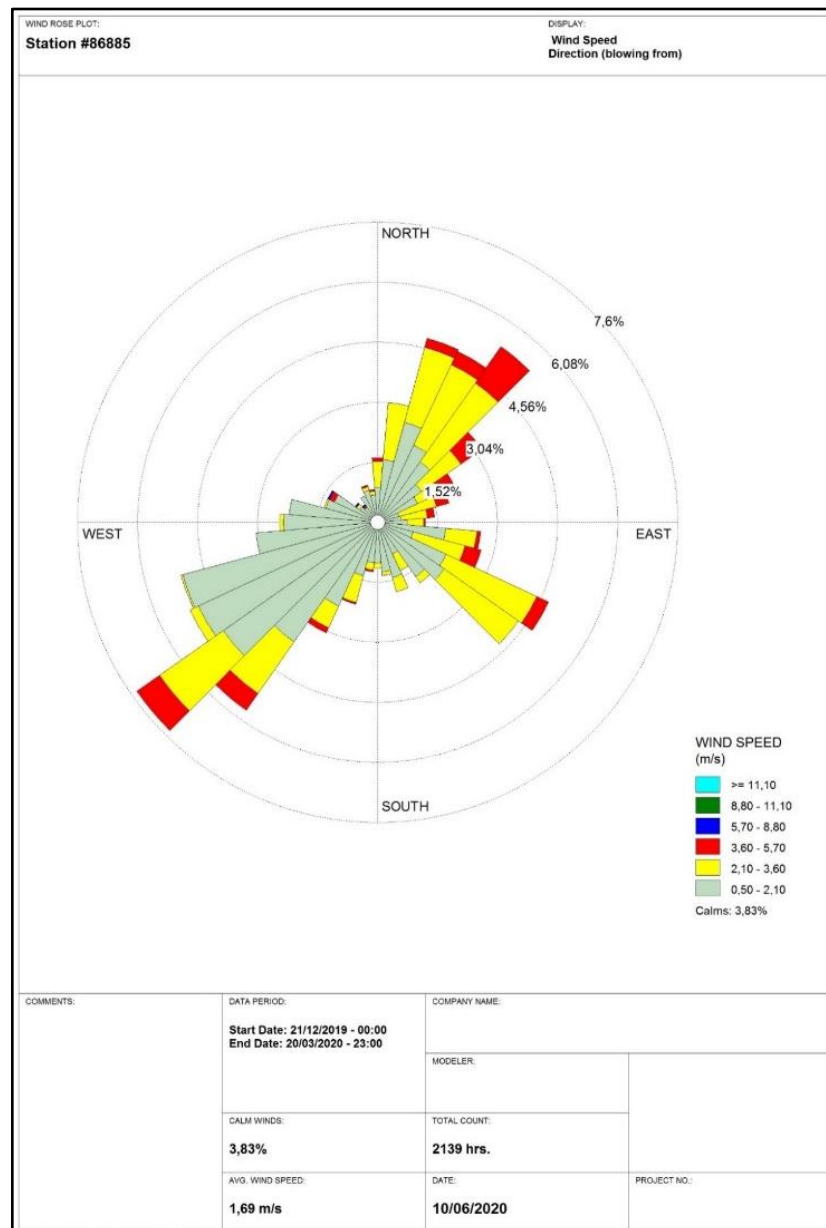
Figura 5 - Modelo de renovação de água no sistema lagunar Maricá-Guarapina



Fonte: SISBAHIA, 2018. Reprodução do modelo por ocasião do verão (inserido na figura pelo autor).

A Lagoa de Maricá possui cerca de 19 km<sup>2</sup> de área, 4,5 km no sentido norte-sul e 6,3 km entre os extremos leste-oeste, sendo a maior lagoa dentro do sistema lagunar Maricá-Guarapina. A lagoa apresenta uma profundidade máxima em torno de 2 metros e um fundo suave em forma de prato (Figura 7), como resultado da sedimentação e hidrodinâmica interna, influenciada, principalmente, pelo regime de ventos que atuam diretamente no padrão de circulação interna da lagoa (BARBIÉRE, 1985; SILVESTRE et al., 2017; SILVA et al., 2021).

Figura 6 - Rosa dos ventos referentes ao verão de 2020 na área de estudo com base em dados do INPE - 2020

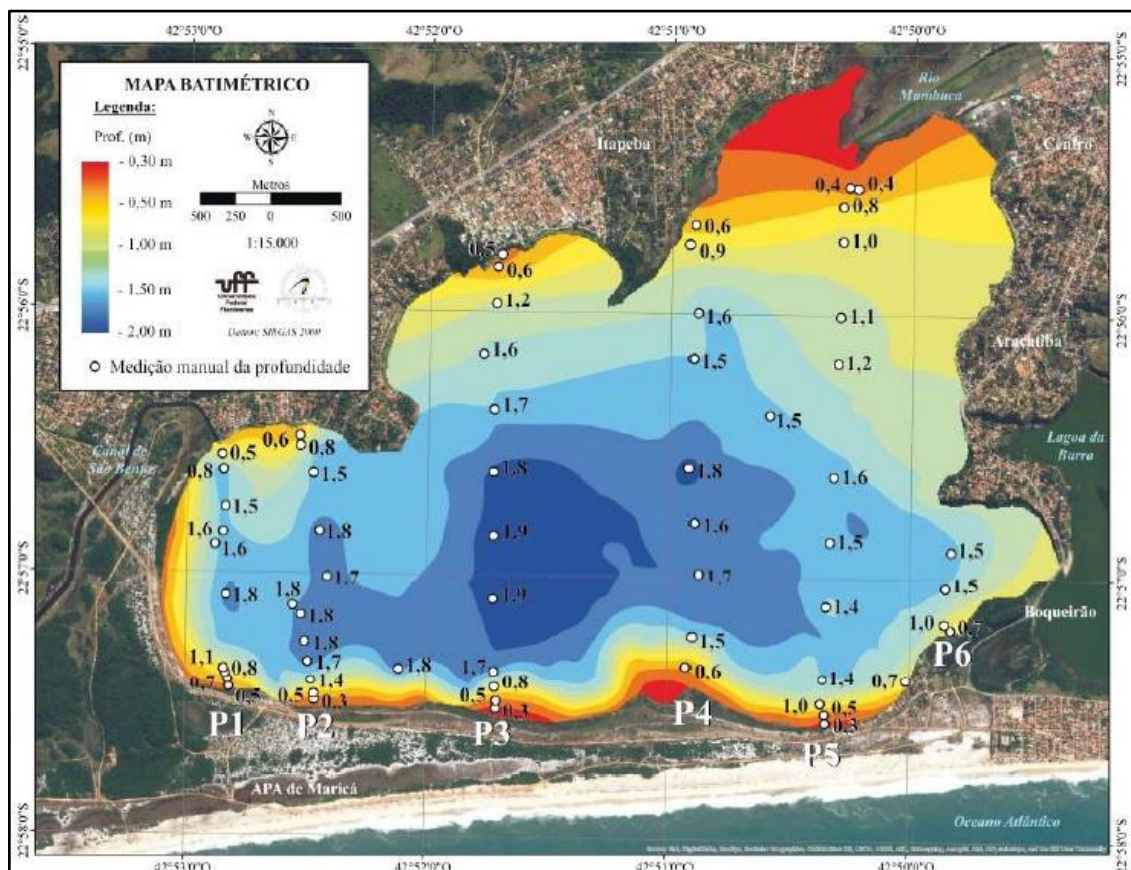


Fonte: Autor, 2020.

A Lagoa de Maricá pode ser morfologicamente definida enquanto uma laguna do tipo sufocada (KJERFVE; MAGILL, 1989; KJERFVE, 1994), com uma baixa taxa de renovação da água, dificultada pela pouca abertura e conexão com o mar. O aporte de água doce que chega nesta laguna é oriundo da descarga fluvial do Rio Mumbuca e dos córregos Imbassáí, Itapeba, Buriche, Cunha, Cancio, Camburí, Madruga e Retiro (CRUZ et al., 1996; SEMADS, 2001). A baixa hidrodinâmica gera, como consequência, um ambiente com um grande potencial para acumular matéria orgânica, o que favorece o processo de eutrofização

(CARMOUZE; DOMINGOS, 2001; LAUT et al., 2019). A Lagoa de Maricá apresenta a menor salinidade (entre 0-19‰) entre as demais na área de estudo, influenciada por fatores como o índice pluviométrico, aporte de esgoto doméstico que chega dentro da lagoa e do tempo de abertura do Canal da Barra (LACERDA; GONÇALVES, 2001; GUERRA et al., 2011; LAUT et al., 2019).

Figura 7 - Mapa batimétrico da Lagoa de Maricá

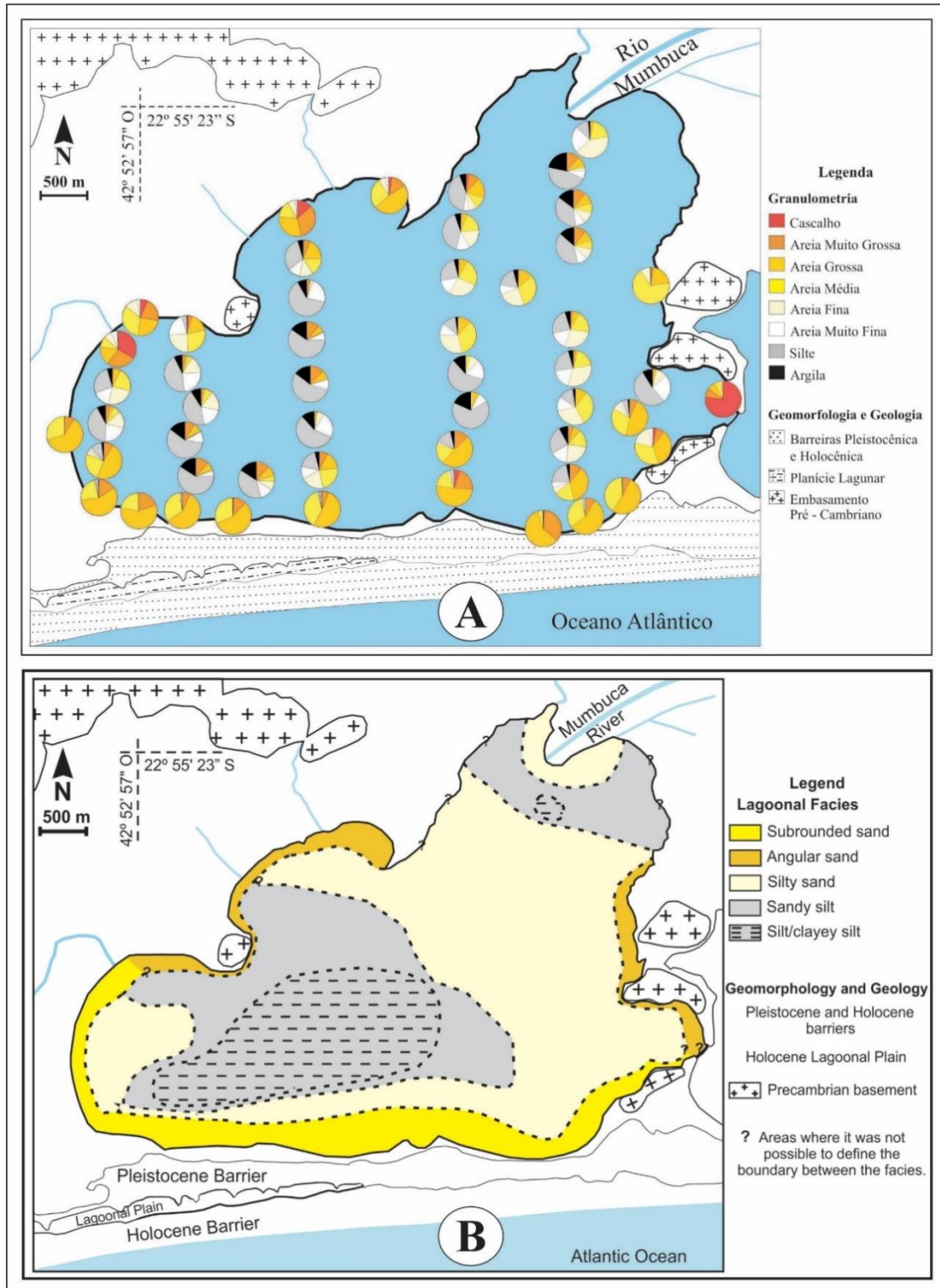


Fonte: Silvestre et al. (2017).

Estudo realizado por Silvestre et al. (2017) permitiu caracterizar a sedimentação da Lagoa de Maricá (Figura 8), que é composta basicamente por silte arenoso e areia siltosa (Figura 8), resultado da contribuição predominante de pequenos rios que drenam para esta lagoa. No setor nordeste, há uma predominância de areia siltosa com argila (Figura 8), resultado da deposição de materiais trazidos pelo Rio Mumbuca e formando um pequeno delta dentro da lagoa. Na margem lagunar norte predominam areia cascalhosa e cascalho arenoso, pobremente selecionado (Figura 8), resultantes da erosão dos afloramentos Pré-Cambrianos e da urbanização no entorno das margens lagunar. Na margem associada à restinga predominam sedimentos nas frações areia grossa e média, semelhante à das barreiras arenosas localizadas

na APA de Maricá (Figura 8). Essas areias são quartzosas com presença de feldspato, micas, minerais pesados, com conchas e fragmentos de conchas (SILVESTRE et al., 2017).

Figura 8 - Granulometria dos sedimentos (A) e fácies sedimentares(B) de fundo e da margem da Lagoa de Maricá



Fonte: A, Silvestre et al. (2017); B, Silva et al. (2021).

A Lagoa de Guarapina possui aproximadamente 6,5 km<sup>2</sup>, sendo 3,9 km de extensão no sentido leste-oeste e 2,2 km entre as extremidades norte-sul, o que confere a mesma uma morfologia alongada. Essa lagoa é abastecida por uma bacia de drenagem que possui cerca de 48 km<sup>2</sup>, abrangendo os rios Caranguejo (responsável por 90% da água doce que chega até esta lagoa), Padreco e Bananal, considerados os mais importantes (PATCHINEELAM et al., 1988; KJERFVE et al., 1990; LAUT et al., 2019).

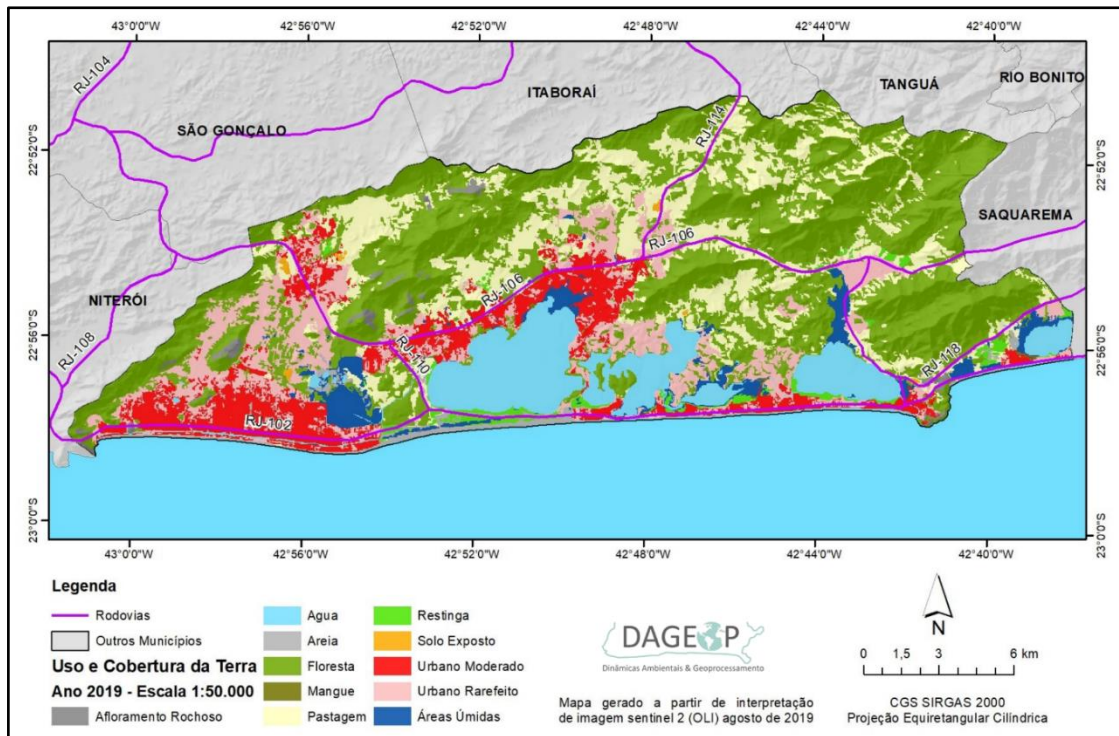
A sedimentação em Guarapina é composta predominantemente por areia próximo a entrada do canal de Ponta Negra e do Rio Padreco, silte na região central da lagoa e próximo ao Canal de Guarapina, e argila ao longo de todo fundo lagunar (LAUT et al., 2019). As profundidades na Lagoa de Guarapina variam bastante, no geral entre 1 e 5 metros de profundidade (LAUT et al., 2019).

A cobertura vegetal na área de estudo é fortemente marcada pela vegetação de restinga nas áreas de planície costeira e pela Mata Atlântica nos morros e serras (Figura 9) (CASTRO; SEABRA, 2021). No entanto, o sistema lagunar de Maricá vem sofrendo um grande processo de degradação e alterações, decorrentes da expansão urbana e das atividades econômicas no seu entorno (SOUSA et al., 2013), principalmente a partir da construção da ponte Presidente Costa e Silve (Rio-Niterói), no ano de 1974 que, segundo Aliprando et al. (2014), intensificou a ocupação do litoral estudado.

O processo de expansão urbana no entorno das lagoas de Maricá e Guarapina ocorre de maneira diferenciada. Na Lagoa de Maricá, o processo de urbanização está concentrado na margem norte e, principalmente, na porção nordeste (Figura 9), como reflexo de uma maior ocupação e usos nessas áreas. Nas margens sul e oeste da lagoa estão localizadas a APA de Maricá e Comunidade de Pescadores de Zacarias (Figura 9). Este complexo ambiental é bastante expressivo do ponto de vista da preservação da biodiversidade, da produtividade dos ecossistemas, da conservação do patrimônio paisagístico, cultural e histórico (HOLZER et al., 2004). Nas áreas marginais à Lagoa de Guarapina, a porção sul se encontra fortemente ocupada quando comparada com a porção norte. O crescimento imobiliário se apresenta, então, como um agente de potencialização da descaracterização da geomorfologia costeira, proporcionando alterações nos ecossistemas costeiros e marinhos ali existentes.



Figura 9 - Mapa de uso e cobertura da terra de Maricá



Fonte: Castro e Seabra, 2021.

A falta do planejamento urbanístico adequado frente a esse intenso processo de ocupação, principalmente no que diz respeito à falta de saneamento básico, tem disponibilizado um grande aporte de poluentes nos afluentes que deságuam no sistema lagunar (LAUT et al., 2019). Os materiais que são despejados de maneira irregular podem chegar ao ambiente lagunar de diferentes formas, dentre elas está o descarte de esgoto doméstico que deságua através dos pequenos afluentes dentro das lagoas do município de Maricá, assim como os diferentes usos nas suas margens, seja através de atividades econômicas ou por atividades recreativas de esporte e lazer (SOUSA et al., 2013).

A Lagoa de Maricá recebe um considerável aporte de esgoto sem tratamento (*in natura*) que compromete a qualidade da água, causando mau cheiro e produzindo uma espuma facilmente observada nas margens (Figura 10). Tal fenômeno tem contribuído para a mortalidade de peixes, principalmente nos períodos prolongados de estiagem, conforme explica Barroso (2001). À ocupação urbana no entorno das lagoas é preocupante, principalmente devido à grande quantidade de materiais lançados em suas águas. Na lagoa de Maricá, essa situação é agravada por sua baixa profundidade, baixa hidrodinâmica, lento tempo de renovação da sua massa de água e o que a caracteriza como um ecossistema costeiro frágil (SANTIAGO, 2008; RODRIGUES et al., 2015).

Laut et al. (2019) realizou um estudo com base em análises geoquímicas no sistema lagunar de Maricá-Guarapina. Os autores destacam que a presença de matéria orgânica nas lagoas é marcante e provém de fontes distintas, com a contribuição autóctone predominando (produtividade fitoplanctônica e detritos vegetais provenientes da vegetação de mangue). As lagoas de Guarapina, Barra e Maricá foram as que apresentaram as maiores concentrações de carbono orgânico total (com máximo de 5,5% - Lagoa de Guarapina) e compostos biopoliméricos lábeis (proteínas, carboidratos e lipídios). Os autores apontaram para a existência de algumas áreas no sistema lagunar com grande processo de eutrofização (LAUT et al., 2019).

Figura 10 - Poluição e seus efeitos na Lagoa de Maricá



Fonte: Fotos A e B, Desirée Guichard (2009); C, André Silva (2014); D, João Henrique (2015), por Rodrigues et al. (2015).

Estudos realizados por Batista (2018) na Lagoa de Maricá permitiram caracterizar alguns parâmetros físico-químicos e identificar as concentrações de alguns nutrientes, como o nitrito, nitrato, amônia, nitrogênio total e fosfato. Batista (2018) identificou que o setor noroeste da Lagoa de Maricá, próximo à desembocadura do canal de São Bento, apresentou o maior nível de degradação frente aos demais, resultante da carga de nutrientes provenientes de

esgoto lançado sem tratamento nessa área. A porção norte da Lagoa de Maricá, com destaque para a área próxima à desembocadura do Rio Mumbuca, também apresentou concentrações elevadas de nutrientes, quando comparado às demais áreas, podendo estar relacionada com a grande concentração de construções presentes nessas áreas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Poluição por resíduos sólidos

Durante muito tempo, a humanidade utilizou de diferentes tipos de matérias-primas para a confecção de objetos relacionados às suas atividades diárias, sem ao menos se preocupar com o destino final dos resíduos gerados, que em grande parte acabavam nos oceanos pelas mais variadas fontes (MOORE, 2008; JAMBECK et al., 2015). A produção de resíduos sólidos têm crescido a cada ano e o descarte inadequado destes materiais tem afetado diretamente as zonas costeiras, que são cada vez mais exploradas devido os seus atrativos ambientais, turísticos e imobiliários.

A poluição dos ambientes costeiros e marinhos consiste numa realidade que afeta a sociedade nas suas mais amplas escalas, causando prejuízos de caráter ambiental, econômico e social (SANTOS et al., 2008; FARIA; JARDIM, 2012; ZANELLA, 2013; TURRA et al., 2020; GESAMP 2020). O pensamento negligente em relação à poluição das zonas costeiras trouxe a necessidade de se voltar a atenção para os estudos referentes a esta temática (MANZANO, 2009). Embora uma maior percepção referente à poluição através do descarte de resíduos plásticos tenha crescido a partir da década 70 (BUCHANAN, 1971; CARPENTER; SMITH, 1972; COLTON et al., 1974), os estudos voltados para esta problemática vêm ganhando maior preocupação ao longo das últimas décadas, permitindo maior compreensão desses efeitos nos mais diversos ecossistemas presentes nos ambientes costeiros e marinhos (ARETOULAKI et al., 2021).

Os estudos relacionados aos impactos causados por resíduos sólidos nos litorais, em seus diferentes ambientes, tem despertado o interesse de diversos pesquisadores que buscam compreender os níveis de degradação e os danos causados por esses materiais aos ecossistemas costeiros e marinhos, além de sua consequência para a saúde humana (SANTOS et al., 2008; COLABUONO et al., 2009; COLE et al., 2014; ROMEO et al., 2015; VISNE; BAT, 2016; VENDEL et al., 2017; WRIGHT e KELLY, 2017; CARBERY et al., 2018; SMITH et al., 2018; RIST et al., 2018; WAITE et al., 2018; ABIDLI et al., 2019; MACEDO et al., 2020; CORRÊA et al., 2020; OZTEKIN et al., 2020; MOTA et al., 2021; entre outros).

O descarte inadequado de materiais nas zonas costeiras pode ser consequência da ocupação e dos diferentes usos nos municípios litorâneos, podendo ocorrer desde o seu

abandono por frequentadores e usuários locais, ou através da descarga fluvial de rios que deságuam nestes ambientes, ocasionando uma série de problemas ambientais relacionadas ao aumento da poluição costeira e marinha, especialmente no que diz respeito aos resíduos sólidos (SANTOS et al., 2008; FARIA; JARDIM, 2012). Somerville, et. al. (2003) apresenta 4 principais fontes geradoras de resíduos sólidos: (1) turismo e atividades recreativas, (2) atividades pesqueiras, (3) esgotos e (4) navegação. Todas essas fontes de lixo estão diretamente condicionadas ao aumento da produção e do consumo mundial e a falta de preocupação com o destino destes rejeitos produzidos.

Entre os resíduos sólidos mais encontrados nos ambientes costeiros e marinhos, o plástico tem sido quase sempre apontado como o material predominante nos litorais do Brasil (IVAR DO SUL et al., 2011; BAPTISTA NETO & FONSECA, 2011; CORRÊA et al., 2019; MACEDO et al., 2020; ROSA; WIDMER, 2021; LEANDRO et al., 2021) e de outras regiões do mundo (GEYER et al., 2017; MARTELIINI et al., 2018; WU, 2022). A quantidade de lixo composto por plástico pode aumentar com a distância em relação às áreas de origem, pois devido a sua leveza, estes materiais são mais facilmente transportados do que outros materiais de maior densidade (HIDALGO-RUZ; THIEL et al., 2013; RYAN et al., 2009;). Além disso, os objetos plásticos possuem um maior tempo de decomposição quando comparado com outros materiais, como papel e tecidos (TURRA et al., 2020).

O plástico causa prejuízos aos ecossistemas costeiros e marinhos e danos diretamente à fauna e à flora presente nesses ambientes, como a acumulação de resíduos plásticos nos tecidos de pescados, ostras e caranguejos que são consumidos pelo ser humano (CARBERY et al., 2018; SMITH et al., 2018; WAITE et al., 2018; ABIDLI et al., 2019). Tal problema traz a necessidade de atenção de diferentes instâncias governamentais, a nível global, de adotarem medidas que possam prevenir os impactos do descarte irregular de resíduos sólidos e diminuir os danos causados nos ambientes costeiros e marinhos.

Estima-se que 8 a 10 milhões de toneladas de resíduos plásticos atingem os oceanos por diferentes fontes a cada ano. Destes, cerca de 80 a 90% vieram de fontes terrestres, e esse número deve quadruplicar até o ano de 2050 (GALLO et al., 2018; WU, 2022), tornando-se um dos emergentes padrões ambientais em escala global. Diante deste fenômeno, torna-se necessário estabelecer esforços internacionais, fazendo com que estruturas de governança enfrentem essa questão com a seriedade necessária (WU, 2022).

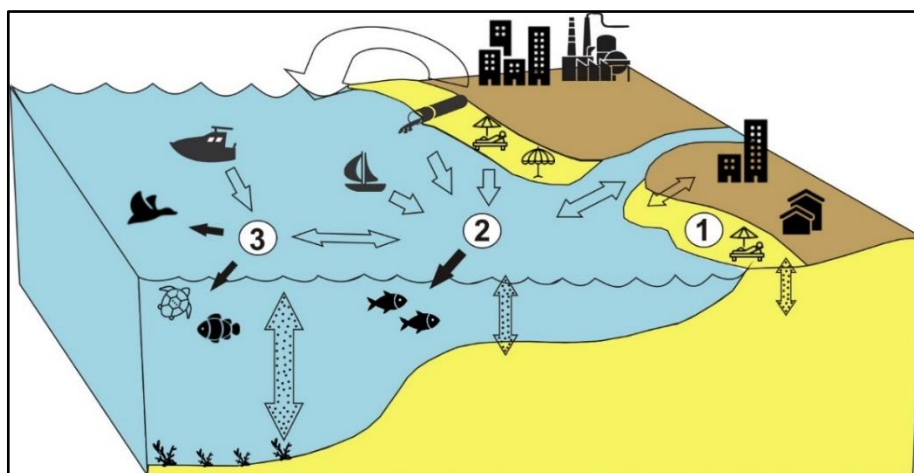
A produção em massa deste material criou um problema urgente para formuladores de políticas globais, que tem a responsabilidade de criar os instrumentos capazes de enfrentar os desafios causados pelo aumento crescente de detritos plásticos nos oceanos (LOHR et al.,

2017). Exemplos como a Convenção das Nações Unidas sobre O Direito do Mar (UNCLOS), a MARPOL, a Convenção sobre a Prevenção da Poluição Marinha por despejo de resíduos, entre outras, buscam por meio de acordos internacionais, a implementação de ações que possam combater a problemática referente aos resíduos sólidos (WU, 2022). Porém, estes acordos não se aplicam como uma legislação específica referente a detritos plásticos no ambiente marinho. Ainda assim, tais medidas buscam proporcionar ações que possam melhorar a qualidade dos ecossistemas e das águas marinhas.

O processo de fotodegradação dos materiais plásticos possibilita a identificação de uma categoria de contaminantes denominada como “microplásticos”. Esses detritos plásticos flutuantes têm se tornado um problema global crescente, pois são transportados por longas distâncias através das bacias oceânicas, alcançando até mesmo as ilhas mais remotas, como o caso da Ilha de Henderson, localizada no Pacífico Sul (RYAN et al., 2009). A interação com os processos costeiros potencializa o processo de degradação destes materiais (BARNES, 2002; HIDALGO-RUZ; THIEL et al., 2013; RYAN et al., 2009; CHESHIRE et al., 2009; HINATA et al., 2017; CORRÊA et al., 2019).

Os resíduos sólidos podem ser monitorados por diferentes métodos (Figura 11). A escolha de um método deve considerar as particularidades de cada localidade, assim como, os objetivos a serem alcançados em cada investigação. O custo do monitoramento varia conforme a logística e estrutura necessária à coleta e análise dos dados (REES; POND, 1995; SANTOS et al., 2008; HIDALGO-RUZ et al., 2012; MCEACHERN et al., 2019).

Figura 11 - Diagrama esquemático das principais fontes e direções de transporte dos plásticos no ambiente marinho



Legenda: As setas curvas representam o transporte de resíduos pelo vento, as setas azuis pelas correntes, as setas pontilhadas mostram o transporte vertical e às setas pretas indicam a ingestão por organismos marinhos e aves.

Fonte: Adaptada de Ryan et al., 2009.

As técnicas de monitoramento de resíduos sólidos nos ambientes costeiros e marinhos se apresentam de maneira diferenciada, de acordo com os critérios adotados por cada autor e a metodologia que melhor se adequa com a realidade do ambiente estudado (Tabela 1). A dispersão, deposição e acumulação destes materiais necessitam de metodologias diferenciadas para compreender seus comportamentos em dados ambientes (KAISER, 2010). As manchas de lixo no oceano, por exemplo, resultam da acumulação de resíduos transportados por longas distâncias pela ação das correntes oceânicas, podendo atingir até as áreas mais remotas como as ilhas inóspitas do Pacífico (STAP, 2011). Por outro lado, nas baías e enseadas o transporte de resíduos sólidos pode ocorrer de forma mais local em resposta a baixa dinâmica de algumas áreas (GENC et al., 2020). Ryan et al. (2009) aponta que a amostragem de lixo costeiro e marinho pode ocorrer, principalmente, de três diferentes formas: (1) amostragem do lixo nos litorais; (2) amostragem na superfície do mar; e (3) amostragem no fundo. O custo desses monitoramentos varia de acordo com a maneira que a coleta de dados é realizada e conforme os objetivos da pesquisa.

Tabela 1 - Principais técnicas de amostragem do lixo marinho

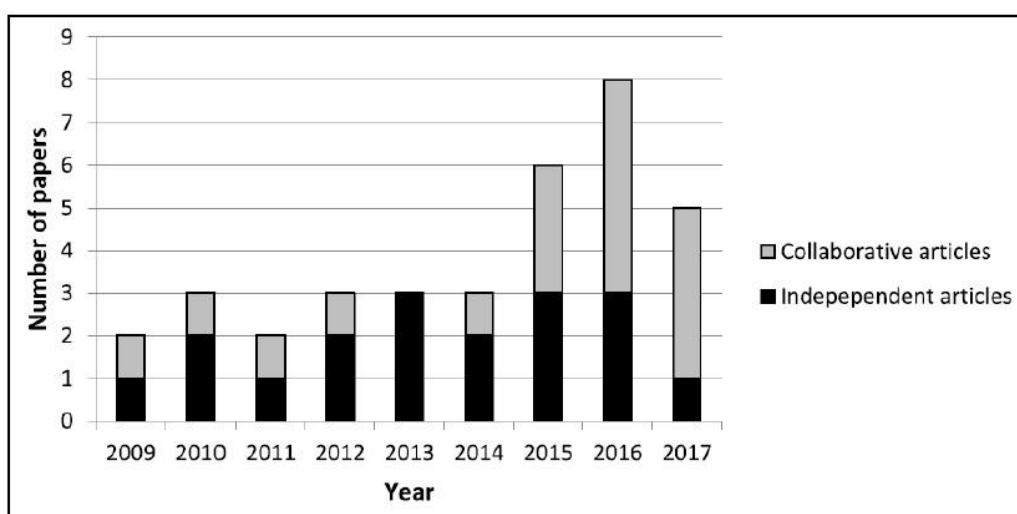
<b>Método</b>	<b>Equipamentos</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Amostragem do lixo nos litorais	- Demarcação de perímetro com aço inoxidável (ABIDLI et al., 2017).	- Baixo custo; - Não são necessários equipamentos sofisticados; - Facilidade na delimitação da área representativa; - Integração temporal;	- Pode não representar a composição real do lixo marinho; - Falta de um método padrão e dificuldade de comparação entre diferentes localidades; - Sistemas de limpeza podem distorcer os resultados.
Amostragem na superfície do mar	- Rede de Plâncton (NAIDOO; GLASSOM, 2019; MCEACHERN et al., 2019; KUKLINSKI et al., 2019). - Amostrador de Van Dorn (MCEACHERN et al, 2019).	- Avaliação dos riscos diretos a fauna marinha.	- Elevados custos e necessidade de equipamentos; - As condições meteorológicas podem prejudicar o monitoramento; - Exclusão de materiais que não flutuam.
Amostragem no fundo oceânico	- Amostrador de van Veen (BAPTISTA NETO et al, 2019; PAGTER et al, 2018). - Amostrador shipek (MCEACHERN et al, 2019).	- Fácil extrapolação dos dados; - Proporciona informações acerca dos estoques permanentes de resíduos nos oceanos.	- Elevados custos; - Necessidade de navios e equipamentos amostrais; - Exclusão de materiais flutuantes.

Fonte: Santos et al., 2008 - Adaptado

## 2.2 Microplásticos

Os primeiros trabalhos sobre microplásticos foram realizados nos anos 70 (BUCHANAN, 1971; CARPENTER; SMITH, 1972) e buscavam compreender os impactos ocasionados por um novo tipo de material, cada vez mais presente nos litorais e oceano. Os estudos referentes aos microplásticos tem ganhado notoriedade na comunidade científica com o decorrer dos anos, principalmente nas últimas duas décadas (CASTRO et al., 2018), chamando atenção para os impactos relacionados a presença destes materiais na fauna e na flora marinha (COLE et al., 2014; ROMEO et al., 2015; VISNE; BAT, 2016; VENDEL et al., 2017; RIST et al., 2018; WAITE et al., 2018; ABIDLI et al., 2019; BELLASI et al., 2020; WU, 2022; WOOTTON et al., 2021; LI et al., 2021). Castro et al. (2018) demonstram o crescimento das pesquisas científicas que abordam esta problemática no litoral brasileiro, principalmente a partir da última década (Figura 12). No litoral do estado do Rio de Janeiro, os estudos têm sido desenvolvidos em diferentes áreas e por diversos pesquisadores, conforme observado por Corrêa et al. (2020) (Figura 13). Mais recentemente, importantes contribuições foram realizadas com objetivos voltados para a caracterização dos tipos e possíveis fontes de materiais encontrados em praias e baías. Especialmente, a maior parte dos estudos já realizados sobre resíduos sólidos, incluindo os microplásticos, tem se concentrado na região da Baía de Guanabara e áreas adjacentes (Figura 13).

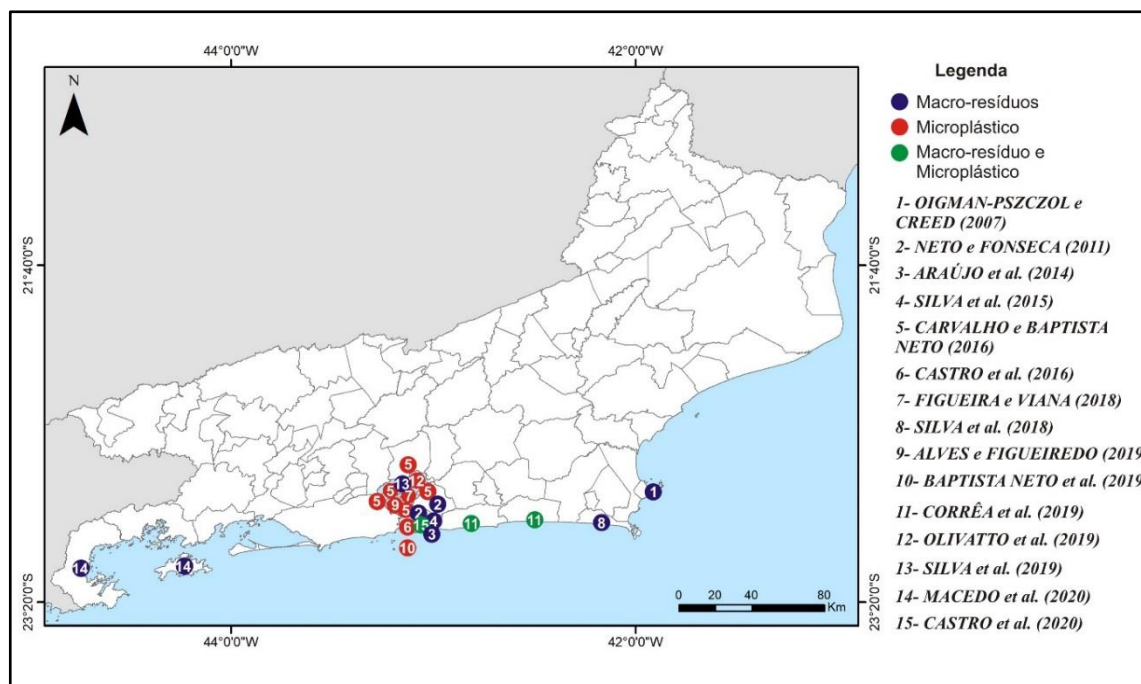
Figura 12 - Número de artigos sobre microplásticos publicados no Brasil entre 2009 e 2017



Fonte: Castro et al., 2018.



Figura 13 - Estudos de macro resíduos e microplásticos no Estado do Rio de Janeiro



Fonte: Adaptado de Corrêa et al., 2020.

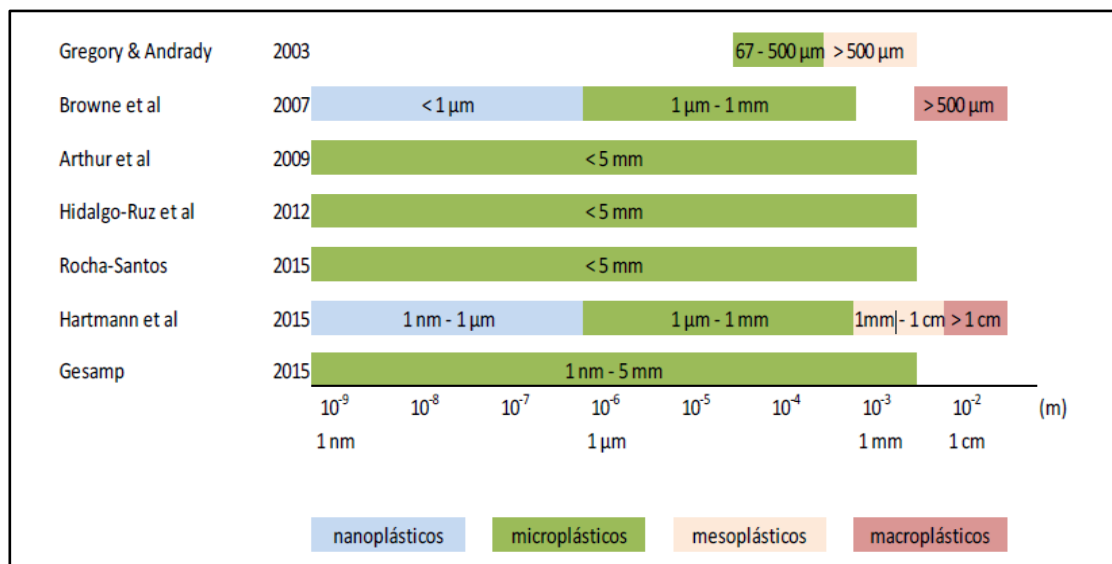
Com base no tamanho, as partículas de plásticos são geralmente classificadas como mega-plástico (100 mm), macro-plástico (20mm), meso-plástico (20–5 mm), microplástico (<5 mm) e nanoplástico (<1  $\mu\text{m}$ ) (THOMPSON et al., 2004; BARNES et al., 2009), porém a sua classificação pode variar de acordo com os critérios utilizados no desenvolvimento de cada pesquisa (OLIVATTO, 2018) (Figura 14). O termo “microplásticos (MPs)” passou a ser amplamente utilizado para se referir aos detritos antropogênicos com tamanho inferior a 5 milímetros a partir de 2004 (THOMPSON et al., 2004). Alguns autores consideram microplásticos como qualquer partícula sólida sintética ou matriz polimérica, com forma regular ou irregular e com tamanho variando de 1  $\mu\text{m}$  a 5 mm (Figura 14), seja de fabricação primária ou secundária e que são insolúveis em água.

Trata-se, então, de uma nomenclatura que foi adotada para caracterizar e descrever uma mistura heterogênea de partículas com tamanhos variados e que podem atingir o mínimo de alguns milímetros (BERGMANN et al., 2015). Essas partículas se apresentam de formas e composições variadas, relacionadas a diferentes fontes, podendo ser terrígena ou marinha (RYAN et al., 2009; BERGMANN et al., 2015; BLAIR et al., 2017; CORRÊA et al., 2019; GESAMP, 2019; CASTRO et al., 2020).

O plástico é um material suscetível aos raios ultravioletas e sua vida útil ao ar livre tende a diminuir devido a interação com a radiação, que pode proporcionar reações

oxidativas, levando à degradação (GREGORY; ANDRADY, 2003; ZEPP et al., 2011; BERGMANN et al., 2015). Segundo Bellasi et al., (2020), a degradação mecânica é um aspecto importante, uma vez que o material deteriorado é fragmentado em partículas menores através do atrito proporcionado por diferentes agentes. Dessa maneira, os microplásticos são, também, o resultado da fragmentação de objetos plásticos maiores, que podem ser transportados por longas distâncias, servindo até mesmo como vetores para diferentes microrganismos e afetando diretamente os ecossistemas costeiros e marinhos e à saúde humana (WRIGHT; KELLY, 2017; CARBERY et al., 2018; SMITH et al., 2018; RIST et al., 2018; WAITE et al., 2018).

Figura 14 - Classificação de tamanho de microplástico segundo diferentes autores



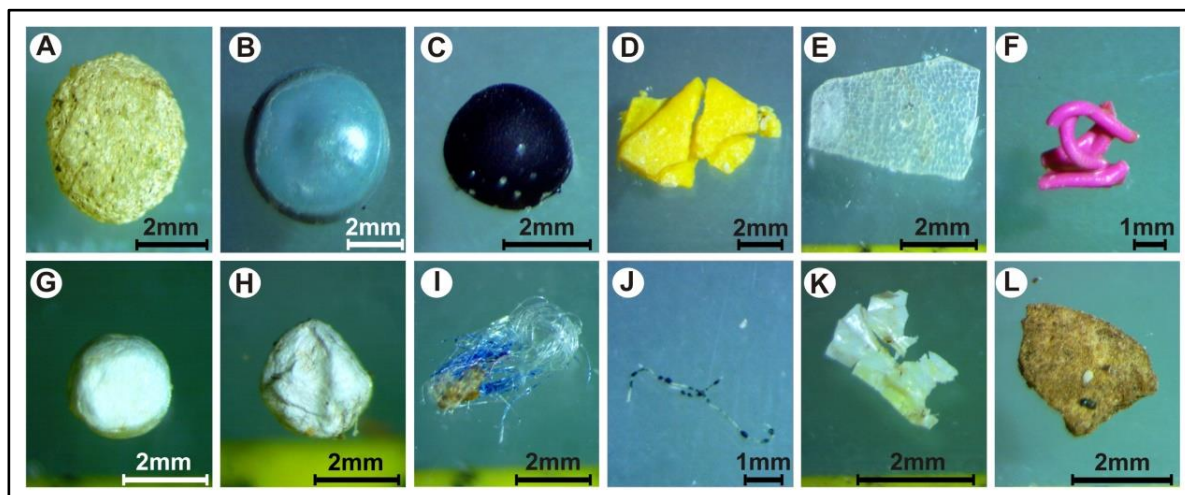
Fonte: Olivatto, 2018.

As fontes de microplásticos no ambiente marinho e costeiro podem ser divididas em quatro principais grupos de formação, podem surgir através: (1) da deterioração de fragmentos maiores; (2) da liberação direta de materiais nas vias navegáveis, (3) através da perda acidental de matéria-prima industrial; (4) ou pela descarga direta de resíduos macerados (GESAMP, 2019; FAURE et al., 2012; SIEBER et al., 2019). Esses critérios estabelecem uma classificação destes materiais encontrados em categorias primária e secundária, onde os microplásticos primários são fabricados especificamente em escala micro e são susceptíveis a serem lavados pelos sistemas de drenagem industriais ou domésticos (HORTON et al., 2017). Os microplásticos secundários são formados como resultado da fragmentação de resíduos plástico maiores devido a exposição prolongada à luz ultravioleta e a abrasão física

(BERGMANN et al., 2015). Syberg et al. (2015) aponta que existe uma correlação entre a tipologia dos microplásticos e a posição destes no ambiente marinho. Os microplásticos primários, por exemplo, tendem a ser mais concentrados nas proximidades de efluentes de águas (SYBERG et al., 2015).

Os microplásticos são identificados e classificados também quanto aos tipos de materiais, com base na sua morfologia e composição. Para o presente estudo, a classificação adotada será a mesma utilizada pelo *Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas* (2013), que compreende os seguintes tipos de microplásticos: fragmentos, filamentos, filmes plásticos, espuma de plástico, isopor e pellets (Figura 15).

Figura 15 - Tipos de microplásticos: pellets (A, B, C); fragmentos (D, E, F); isopor (G, H); fibras (I, J); filme (K); e espuma (L)



Fonte: Corrêa et al., 2020.

Segundo GESAMP (2019), os microplásticos podem ser agrupados nos seguintes tipos: (1) fragmento: partículas duras, de formato irregular, que possuem aspecto característico de que de materiais plásticos maiores; (2) fibra (filamento, linha, fio): materiais fibrosos, longos, que possuem um comprimento substancialmente mais longo do que sua largura; (3) filmes: interpretados com partículas planas e flexíveis, com bordas angulares; (4) espuma: partícula quase esférica ou granular, que se deformam prontamente sob pressão e podem se apresentar, parcialmente, de maneira elástica; (5) poliestireno, frequentemente utilizado para fabricar produtos como embalagens para alimentos e utensílios de laboratório; e (6) pellets: esférulas plásticas comumente usados como matéria-prima para a fabricação de utensílios plásticos e possuem um diâmetro inferior a 5 mm, sendo eles encontrados, principalmente, em ambientes litorâneos e próximos as atividades portuárias e industriais

(USEPA, 1992). Essas esférulas plásticas costumam chegar ao ambiente costeiro e marinho através dos rios, canais de drenagem de águas pluviais ou quando são derramados no mar por meio de acidentes envolvendo embarcações (ANDRADY, 2011).

O conhecimento referente à coloração dos microplásticos vem se tornando cada vez mais abordado em diversos estudos. As diferentes tonalidades de cores dos materiais são alcançadas por meio do uso de aditivos, pigmentos e corantes, fazendo com que estes objetos apresentem um elevado potencial tóxico (CADORE et al., 2008) (Tabela 2). Dessa maneira, a coloração pode servir como um indicador para o composto existente em um dado material plástico e seu nível de toxicidade, como descrito por Cadore et al. (2008).

Tabela 2 - Pigmentos e corantes empregados na coloração de plásticos e sua toxicidade

Cor do plástico	Principais componentes dos pigmentos	Informações
Branco	TiO <sub>2</sub> ; ZnS; ZnO; Branco de chumbo (Pb(CO) <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ou Pb(OH) <sub>2</sub> .	O material que contém chumbo é tóxico e passa esta característica ao produto pigmentado.
Preto	Óxido de ferro preto (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) e Sulfeto de antimônio (Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> ).	O elemento antimônio é potencialmente tóxico.
Amarelo, laranja e verde	À base de cromo: Amarelo e Laranja de cromo (PbCrO <sub>4</sub> e PbSO <sub>4</sub> ); Verde de cromo (amarelo de cromo + azul da Prússia); Óxido de cromo puro (CrO <sub>3</sub> ).	A grande limitação deste pigmento é a presença do chumbo, pois este composto é tóxico, passando esta característica ao produto pigmentado.
Amarelo, vermelho e marrom	À base de ferro: Óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO(OH) + Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ); Azul da Prússia (Fe <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sub>3</sub> ).	
Laranja	À base de molibdato: Laranja de molibdato (80% PbCrO <sub>4</sub> + 15% PbMoO <sub>4</sub> + 5% PbSO <sub>4</sub> ).	A grande limitação deste pigmento é a presença do chumbo, que é tóxico, passando esta característica ao produto pigmentado.
Amarelo, laranja e vermelho	À base de cádmio: Amarelo, Laranja e Vermelho de cádmio: Cadmopur (CdS, ZnS e CdSe); Cadmopone (CdS, ZnS, BaSO <sub>4</sub> , CdSe).	A toxicidade destes pigmentos é devida ao cádmio, que limita o seu uso em algumas aplicações.
Amarelo	À base de níquel: Titanato de níquel (NiTiO <sub>3</sub> ).	
Esverdeado, avermelhado	À base de silicatos: Azul ultramar (Sílica 34-43%, Alumínio 20-28%, enxofre 10-16% e Óxido de enxofre 12-20%).	O alumínio pode causar distúrbios neurológicos.
Laranja, vermelho	À base de mercúrio: Mercadium (CdS + HgS).	O fator limitante desse corante é a presença de cádmio e mercúrio, que são tóxicos.
Azul	À base de cobalto: Azul de Cobalto (CoO*Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).	O cobalto é essencial em baixas concentrações, mas é tóxico em altas concentrações.

Fonte: (Cadore et al., 2008).

### 2.3 Microplásticos em lagoas costeiras – Uma breve revisão

Estudos sobre a ocorrência de microplásticos em lagoas costeiras são escassos (Tabela 3; Figura 16), principalmente quando se considera a grande concentração de pesquisas realizadas em praias e baías. No total foram encontradas 10 publicações resultantes de investigações em lagoas costeiras, sendo a maioria dos estudos desenvolvidos em superfície d'água, seguido por sedimentos de margem e fundo lagunar (Tabela 3). As revistas selecionadas para a publicação dos resultados sobre microplásticos em lagoas variam consideravelmente, com destaque para: *Marine Pollution Bulletin* (2 publicações), *Environmental Pollution* (2), *Environmental Science and Pollution Research* (2), *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (1); *Water Air Soil Pollut* (1), revista *GeoSciences* (1) e *Regional Studies in Marine Science* (1).

Estudo realizado na Lagoa de Veneza (Itália) por Vianello et al. (2013) buscou identificar os principais tipos de microplásticos encontrados nos sedimentos de fundo e relacionou o padrão de distribuição das partículas com a dinâmica do ambiente. O padrão de distribuição dos materiais encontrados esteve diretamente associado com a circulação interna da lagoa, que é influenciada pela troca de água com o mar por meio de três canais e a presença de alguns rios que desaguam neste ambiente. Vianello et al., (2013) aponta para a correlação entre o tamanho dos grãos dos sedimentos de fundo e a dinâmica da água (correntes e marés) que, gradativamente, diminuem da entrada para a parte mais interna de uma lagoa. De maneira similar, as partículas de microplástico tendem a se acumular em locais caracterizados por menor hidrodinamismo (VIANELLO et al., 2013).

A lagoa de Bizerte (Tunísia) tem se apresentado como um laboratório para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à poluição por microplásticos. Abidli et al. (2017) estabeleceram uma relação entre a forma dos materiais encontrados, a coloração, o tamanho, a tipologia e aponta para o potencial grau de risco à biodiversidade existente. O complexo lagunar de Bizerte pode ser caracterizado como uma área de elevado potencial para a concentração de microplásticos neste tipo de ambiente. Recentemente, Wakkaf et al. (2020) buscou correlacionar a presença de microplásticos nas águas superficiais da Lagoa de Bizerte com os parâmetros físico-químicos encontrados nas águas deste ambiente, tais como Eh, pH, salinidade, temperatura, direção de ventos, entre outros. Os resultados permitiram identificara contribuição dos rios na disponibilidade de macro e microplásticos para a lagoa, principalmente durante as estações chuvosas e nas áreas onde o controle municipal de

resíduos domésticos é quase ausente. Os autores também sugerem que os diferentes materiais podem ser provenientes de fontes distintas, com destaque para o esgoto doméstico e a falta de gerenciamento de resíduos plásticos. Toumi et al. (2019) identificou que os 7 rios que desaguam na lagoa de Bizert contribuem para o aporte de microplásticos para este ambiente. O maior número de microplásticos foi identificado em áreas próximas de pequenos povoados, além de regiões com influência de atividades industriais, que acabam possibilitando a descargas de materiais através de pequenos efluentes.

Wakkaf et al. (2020), também na lagoa de Bizert, buscou avaliar os níveis de MPs na superfície da água, buscando entender os efeitos dos fatores ambientais na sua distribuição e abundância. Entre as várias fontes potenciais de microplásticos, os objetos de uso doméstico que são descartados, de maneira irregular, são provavelmente a principal fonte de poluição para este ambiente. Quanto à distribuição espacial destes materiais alguns fatores ambientais pareceram influenciar nesta dinâmica, tais como os processos costeiros e a densidade destas partículas encontradas. Essas informações contribuem para melhor compreender a dinâmica dos microplásticos nos lagoas e desenvolver ações de gestão ambiental.

Bayo et al. (2019) detectou a presença de microplástico na Lagoa Mar Menor (Espanha), conhecida por ser um importante destino turístico, ligado ao Mar Mediterrâneo por alguns canais que realizam a troca de água dentro do sistema. Essa região conta com diferentes áreas protegidas de acordo com as normas internacionais e políticas ambientais espanholas. Este estudo voltou-se para a análise da concentração de microplásticos em áreas protegidas e não protegidas, relacionando com a importância das atividades locais. Foram identificados 17 diferentes tipos de polímeros na Lagoa Mar Menor, sendo a maioria em forma fragmentada e com ampla variedade de cores.

Estudos realizados por Chico-Ortiz et al. (2020) permitiram compreender a distribuição espacial e temporal de microplásticos em sedimentos de duas lagoas costeiras (nome das lagoas) em Gana, África Ocidental. Os microplásticos foram encontrados em todas as amostras distribuídas ao longo do ambiente estudado, com uma tendência decrescente de oeste para leste.

Lorenzi et al. (2020) buscou determinar o nível de contaminação por detritos plásticos em amostras de água da Lagoa Acaraí (Brasil), estabelecendo padrões sazonais de distribuição de densidade ao longo da lagoa no inverno e no verão. Seu estudo mostrou que as maiores concentrações de materiais observados durante o inverno poderiam estar relacionadas com a ausência de chuvas deste período e a entrada das águas costeiras na laguna estudada. Já a redução na quantidade de microplásticos no verão está relacionada ao aumento da água doce

que flui do interior da laguna para a foz, já que esse período é marcado por uma estação chuvosa.

Olarinmoye et al. (2020) buscou identificar a presença de microplásticos em sedimentos e água na Lagoa de Lagos (Nigéria). Amostras de água e sedimentos foram coletadas em quatro locais na Lagoa de Lagos e em um afluente. Segundo os autores, a abundância de microplásticos pode ser observada nos dois setores analisados, com predominância nos sedimentos finos. A concentração ocorreu de maneira diferenciada entre os compartimentos, onde fibras constituíram a maioria dos materiais encontrados em água; enquanto fragmentos e microplásticos menores foram observados em sedimentos.

Estudo realizado por Çullu et al. (2021) buscou investigar a abundância de microplásticos em águas superficiais da Lagoa Kuçukçekmece (Turquia), e suas possíveis fontes. Os autores constataram um aumento de microplásticos no outono, o que difere dos resultados apresentados em outros estudos que apontam para uma maior ocorrência em outras estações do ano. As conclusões deste estudo apontam uma contribuição da descarga proveniente da estação de tratamento de águas.

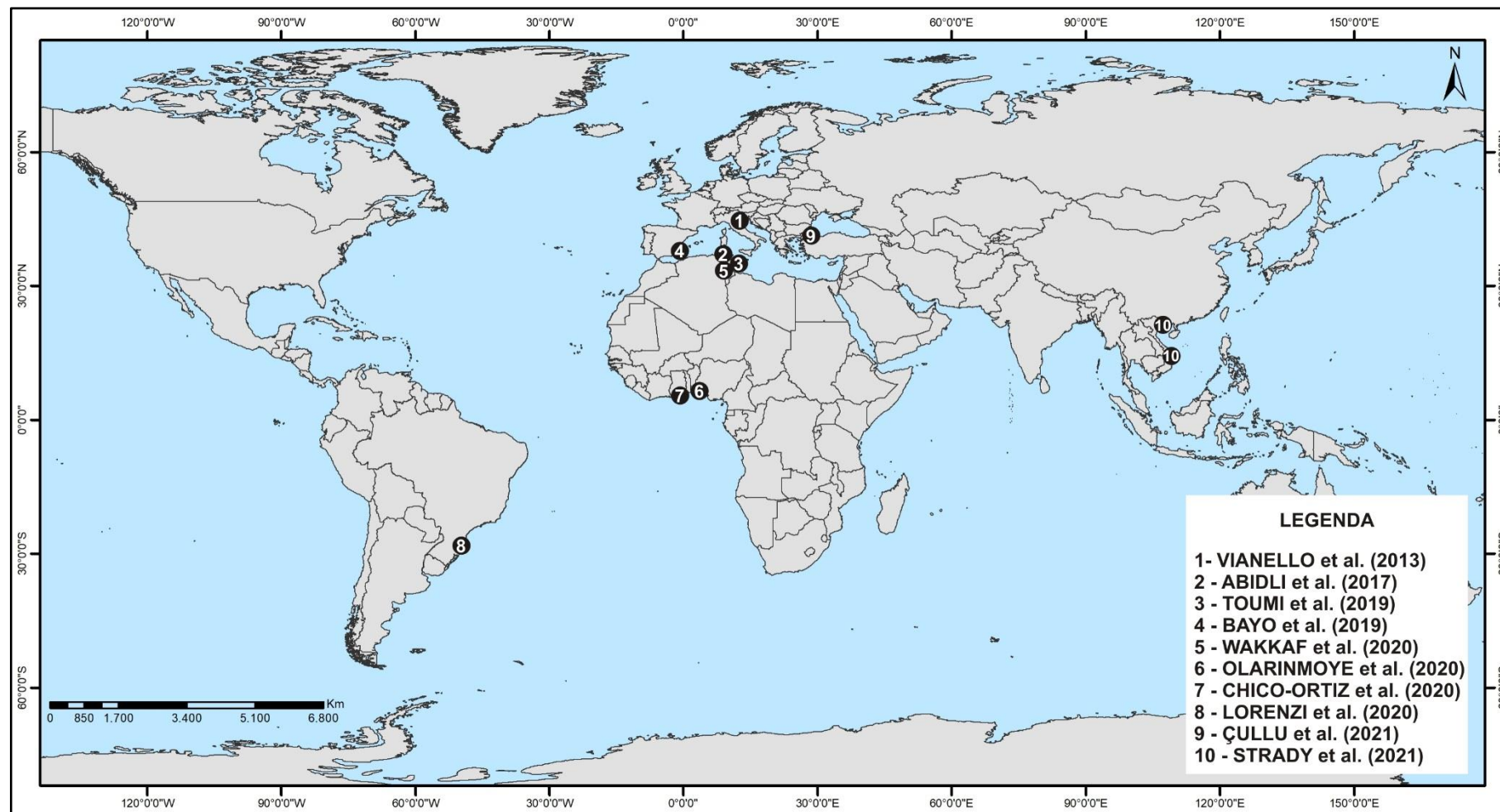
Um dos trabalhos mais recente sobre microplásticos em ambiente lagunar foi realizado por Strady et al. (2021), na lagoa de Thi Nai (Vietnã), com o objetivo de identificar a presença de microplásticos em ambientes costeiros e marinhos no sudeste asiático. Segundo os autores, os materiais encontrados estão possivelmente relacionados com a chegada de águas residuais domésticas e industriais não tratadas, que podem ser responsáveis pelos principais insumos de microplásticos para a lagoa e baía, além das atividades pesqueiras.

Tabela 3 - Trabalhos de microplásticos em lagoas costeiras

<b>Localização</b>	<b>País</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Metodologia de extração</b>	<b>Concentração</b>	<b>Referência</b>
<b>Lagoa de Venezia</b>	Itália	Amostrador de Box-Corer (sedimento)	120g NaCl / 1L de água	2175 a 672 MPs/kg	Vianello et al., 2013
<b>Lagoa de Bizert</b>	Tunísia	Transecto -0,25 x 0,25m (sedimento)	140g NaCl / 1L de água	3000 a 18000 MPs/kg	Abidli et al., 2017
<b>Lagoa de Bizert</b>	Tunísia	Transecto -0,25 x 0,25m (sedimento)	140g NaCl / 1L de água	2340 ± 227,15 itens kg <sup>-1</sup> (seco)	Toumi et al., 2019
<b>Lagoa Mar Menor</b>	Espanha	Transecto -0,25 x 0,25m (sedimento)	120g NaCl / 1L de água	53,1 ± 7,6 itens kg <sup>-1</sup>	Bayo et al., 2019
<b>Lagoa de Bizert</b>	Tunísia	Auxílio de uma bomba (água)	40 mls de Nacl pré filtrados	453,0 ± 335,2 itens m <sup>3</sup>	Wakkaf et al., 2020
<b>Lagoa de Lagos</b>	Nigéria	Jarra de água e Amostrador de van Veen	Formato de potássio (1.6g mL <sup>-1</sup> )	310 – 2319 MPs/kg <sup>-1</sup> e 139 – 303 MPs / L	Olarinmoye et al., 2020
<b>Lagoa Ghanaian</b>	Gana	Testemunho (sedimento)	350g NaCl / 1L de água	467 MPs / 10cm <sup>3</sup>	Chico-Ortiz et al., 2020
<b>Lagoa Acarí</b>	Brasil	Rede de plâncton (água)	-	-	Lorenzi et al., 2020
<b>Lagoa Kuçukçekmece</b>	Turquia	Auxílio de uma bomba (água)	100 mls de água + 20 mls de H2O2 30% + 100 mls de água	33 partículas / L ou 33000/cm <sup>3</sup>	Çullu et al., 2021
<b>Lagoa Thi Nai</b>	Vietnã	Rede de plâncton (água)	118g NaCl / 1L de água	3,4 – 4,1 item / m <sup>3</sup>	Strady et al., 2021



Figura 16 - Estudos de microplásticos em lagoas costeiras no mundo

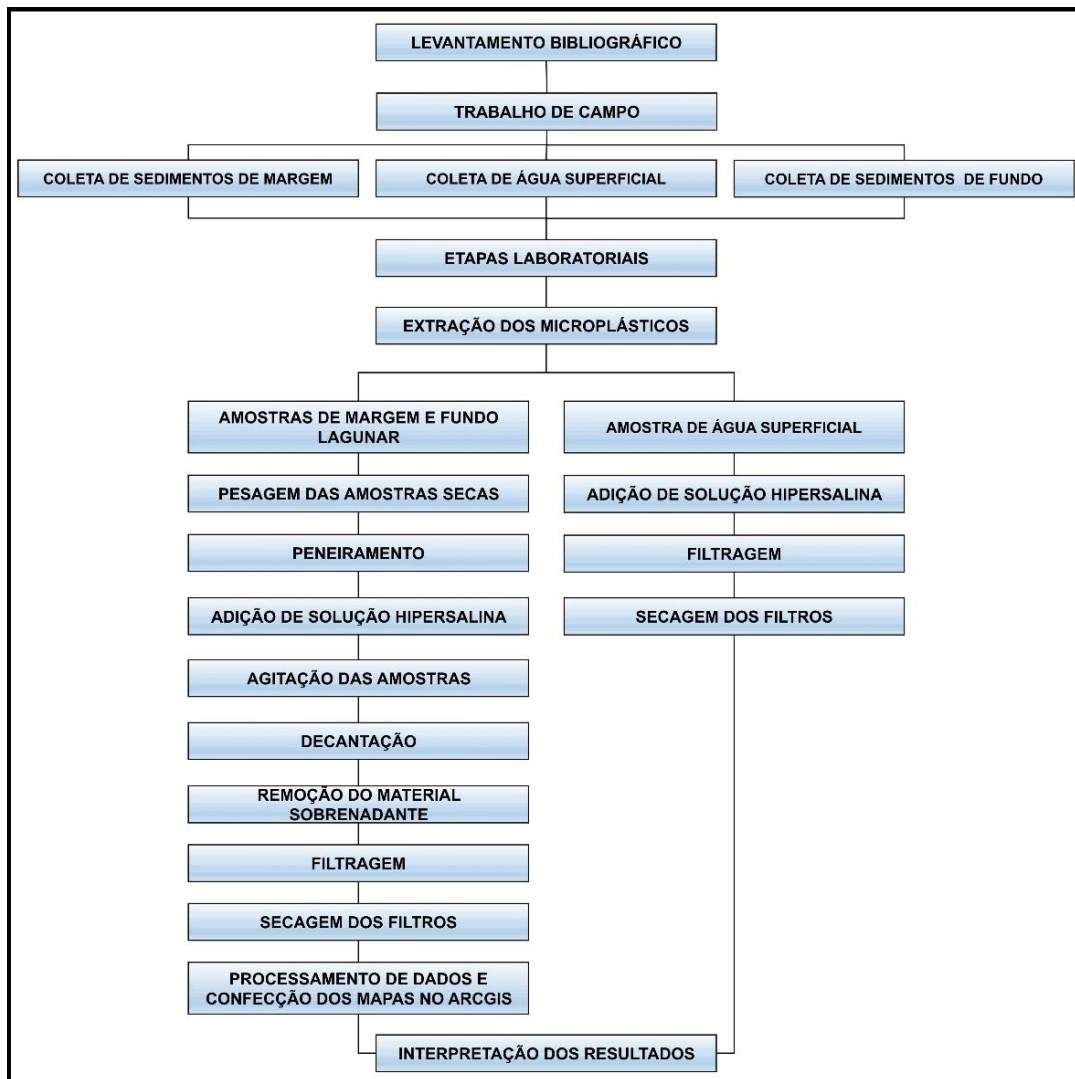


Fonte: Autor, 2021.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido com base nas seguintes etapas: (1) trabalhos de campo nas Lagoas de Maricá e Guarapina para a coleta de água superficial, amostragem de sedimentos de fundo e de margem lagunar; (2) análise laboratorial para a separação, identificação e classificação dos microplásticos presentes nas amostras coletadas; (3) processamento dos dados e confecção dos mapas. Todas as etapas foram apresentadas no fluxograma para a melhor compreensão dos procedimentos realizados (Figura 17).

Figura 17 - Fluxograma apresentando as diferentes etapas das metodologias estabelecidas para o desenvolvimento desta pesquisa



Fonte: Autor, 2020.

Foram coletadas um total de 45 amostras ao longo das lagoas de Maricá e Guarapina, sendo: 16 amostras de superfície de água das lagoas, 13 amostras de sedimentos da margem lagunar e 16 amostras de sedimentos de fundo das lagoas. A amostragem de sedimentos e de água superficial objetivou caracterizar a poluição por microplásticos em diferentes setores da área de estudo, compreendendo as duas principais lagoas estudadas (Figura 18).

### 3.1 Metodologia de campo

Os locais de amostragem selecionados para a elaboração do presente estudo (Tabela 4, Figura 18) foram escolhidos com base nos processos hidrodinâmicos, que ocorrem de forma diferenciada entre as lagoas de Maricá e Guarapina (KJERFVE et al., 1990; SILVESTRE et al., 2017; LAUT et al., 2019). Foram considerados também na escolha dos pontos de amostragem: os diferentes usos na planície costeira de Maricá (áreas com maior ou menor ocupação, áreas protegidas, proximidade com rios e canais modificados, etc.) e acessibilidade (áreas navegáveis e com acesso por terra).

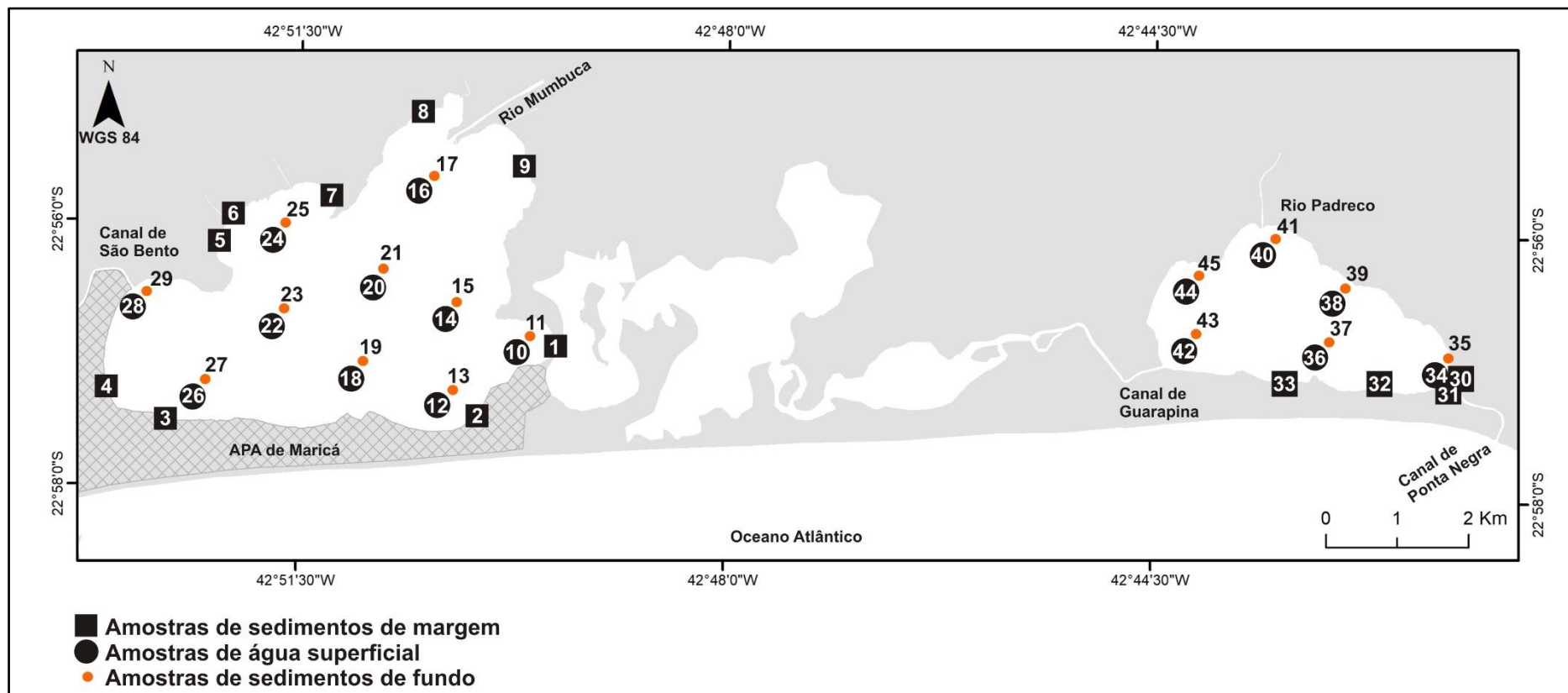
Na Lagoa de Maricá foram selecionados 29 pontos de amostragem, sendo: 9 nas areias da margem lagunar, 10 para coleta de amostras de água na superfície e 10 para sedimentos de fundo lagunar. Na lagoa de Guarapina foram estabelecidos 16 pontos, sendo: 4 nos sedimentos da margem lagunar, 6 para a coleta de amostras de água na superfície e 6 nos sedimentos de fundo (Tabela 4, Figura 18). Os locais de amostragens foram devidamente georreferenciados através da obtenção de coordenadas geográficas, obtidas com o auxílio de um equipamento GPS (Sistema de Posicionamento Global) da marca GARMIN Etrex 30, por meio do sistema de navegação WGS 84. Em ambas as lagoas, as amostras de fundo e superfície foram coletadas na mesma coordenada geográfica. Para a coleta das amostras de água na superfície e de sedimentos de fundo lagunar foi utilizado um bote inflável da marca REMAR, equipado com motor de popa de 25 HP, de propriedade do Laboratório de Dinâmicas da Natureza (LABDIN) da FFP-UERJ.

Os trabalhos de campo para a caracterização dos microplásticos nas lagoas estudadas foi realizado no verão, nos meses de fevereiro e março de 2020, antes da publicação do decreto que estabeleceu o isolamento social por conta da pandemia causada pelo COVID-19.

Tabela 4 - Locais de amostragem nas lagunas estudadas

Lagoa	ID	Latitude	Longitude	Material	Profundidade (m)
MARICÁ	1	22°56'54.2"S	42°49'23.8"O	Areia – margem	-
	2	22°57'26.5"S	42°50'02.3"O	Areia – margem	-
	3	22°57'30.1"S	42°52'35.5"O	Areia – margem	-
	4	22°57'14.6"S	42°53'04.6"O	Areia – margem	-
	5	22°56'08.8"S	42°52'10.1"O	Areia – margem	-
	6	22°55'56.6"S	42°52'03.2"O	Areia – margem	-
	7	22°55'47.5"S	42°51'15.0"O	Areia – margem	-
	8	22°55'08.8"S	42°50'30.5"O	Areia – margem	-
	9	22°55'33.3"S	42°49'40.5"O	Areia – margem	-
	10	22°56'57.06"S	42°49'43.02"O	Água – superfície	-
	11	22°56'57.06"S	42°49'43.02"O	Lama – fundo	1,5
	12	22°57'22.03"S	42°50'21.48"O	Água – superfície	-
	13	22°57'22.03"S	42°50'21.48"O	Lama – fundo	1,4
	14	22°56'42.71"S	42°50'18.20"O	Água – superfície	-
	15	22°56'42.71"S	42°50'18.20"O	Lama – fundo	1,6
	16	22°55'44.65"S	42°50'32.18"O	Água – superfície	-
	17	22°55'44.65"S	42°50'32.18"O	Lama – fundo	0,9
	18	22°57'10.40"S	42°51'3.94"O	Água – superfície	-
	19	22°57'10.40"S	42°51'3.94"O	Lama – fundo	1,5
	20	22°56'29.01"S	42°50'54.00"O	Água – superfície	-
	21	22°56'29.01"S	42°50'54.00"O	Lama – fundo	1,5
	22	22°56'46.90"S	42°51'43.35"O	Água – superfície	-
	23	22°56'46.90"S	42°51'43.35"O	Lama – fundo	1,8
	24	22°56'7.84"S	42°51'43.38"O	Água – superfície	-
	25	22°56'7.84"S	42°51'43.38"O	Lama – fundo	1,6
	26	22°57'19.47"S	42°52'21.76"O	Água – superfície	-
	27	22°57'19.47"S	42°52'21.76"O	Lama – fundo	1,7
	28	22°56'38.98"S	42°52'51.84"O	Água – superfície	-
	29	22°56'38.98"S	42°52'51.84"O	Lama – fundo	0,8
GUARAPINA	30	22°57'03.9"S	42°42'02.4"O	Areia – margem	-
	31	22°57'05.8"S	42°42'04.6"O	Areia – margem	-
	32	22°57'06.0"S	42°42'38.4"O	Areia – margem	-
	33	22°57'05.8"S	42°43'24.4"O	Areia – margem	-
	34	22°57'1.24"S	42°42'11.29"O	Água – superfície	-
	35	22°57'1.24"S	42°42'11.29"O	Lama – fundo	1,4
	36	22°56'54.04"S	42°43'10.50"O	Água – superfície	-
	37	22°56'54.04"S	42°43'10.50"O	Lama – fundo	1,7
	38	22°56'29.32"S	42°43'2.32"O	Água – superfície	-
	39	22°56'29.32"S	42°43'2.32"O	Lama – fundo	1,8
	40	22°56'8.52"S	42°43'36.46"O	Água – superfície	-
	41	22°56'8.52"S	42°43'36.46"O	Lama – fundo	1,2
	42	22°56'52.24"S	42°44'14.87"O	Água – superfície	-
	43	22°56'52.24"S	42°44'14.87"O	Lama – fundo	1,2
	44	22°56'24.89"S	42°44'14.34"O	Água – superfície	-
	45	22°56'24.89"S	42°44'14.34"O	Lama – fundo	1,1

Figura 18 - Localização geográfica dos pontos de amostragem nas lagunas estudadas

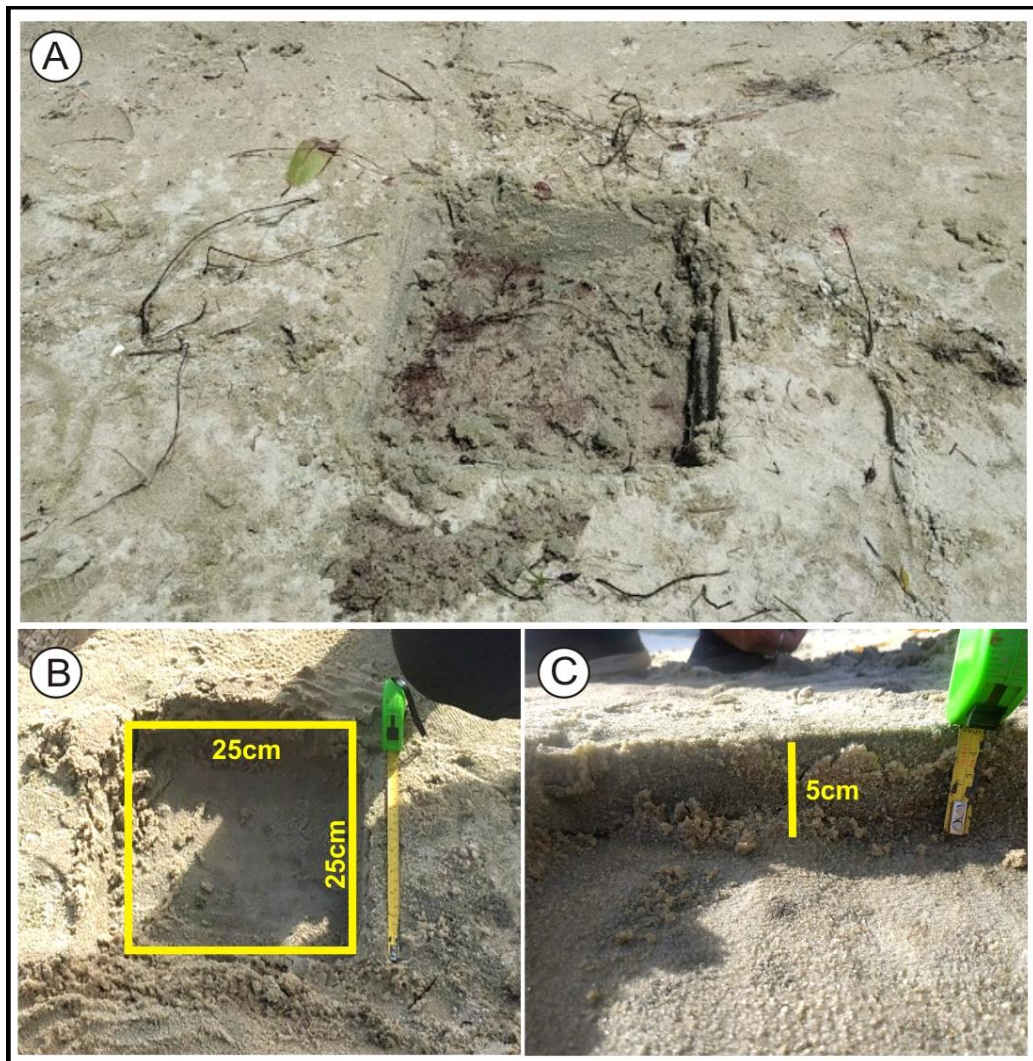


Fonte: Autor, 2020.

### 3.1.1 Amostragem de sedimentos na margem lagunar

Para analisar a presença de microplásticos nos sedimentos da margem lagunar foi adotada a metodologia proposta por Heo et al. (2013), Ross et al. (2016), Besley et al. (2017) e Dowarah e Devipriya (2019), que consiste na coleta de materiais num perímetro com 25x25cm e 5cm de profundidade (Figura 19A, B e C). Os locais selecionados foram demarcados com uma trena e o material coletado com uma espátula de alumínio; sendo posteriormente armazenados e devidamente identificados.

Figura 19 - Amostragem na margem lagunar: delimitação do perímetro de 25x25cm (A, B), com profundidade de 5cm (D)



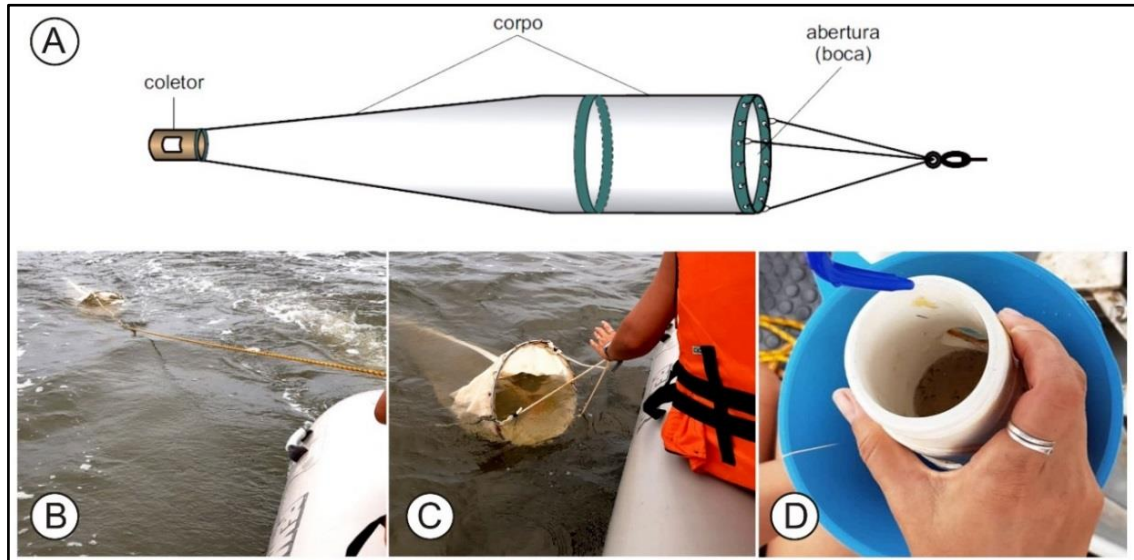
Fonte: Autor, 2020.

### 3.1.2 Amostragem de água de superfície lagunar por arrasto

As amostras de água das lagoas foram coletadas com o auxílio de uma rede cônica de plâncton, da marca Liminotec, que possui uma malha de 120  $\mu\text{m}$ ; com 30 cm de diâmetro e 1 m de comprimento. O arrasto da rede ocorreu por um período de 5 minutos, a uma velocidade média de 3 nós, que corresponde a 5,556 km/h (GESAMP, 2019); seguindo uma trajetória circular, para evitar a interferência do turbilhonamento causado pelo motor do barco (Figura 20A; B; C e; D). A velocidade varia sensivelmente de acordo com a hidrodinâmica e condições de navegação encontradas no ambiente.

Para adquirir uma distância segura entre a rede de plâncton e a hélice do motor do bote, foi utilizada uma corda de aproximadamente 10 metros de extensão, tornando seguro o arrasto realizado na superfície da água das lagoas. Essa metodologia possibilita a filtragem de um grande volume d'água dentro de um curto período de tempo. Os materiais presentes na superfície da água ficam retidos no copo coletor acoplado ao final da rede, com capacidade de retenção de até 500 ml de água. Após o término do arrasto, as amostras foram colocadas em um recipiente e levadas ao laboratório para posterior análise. O volume de água filtrado através do procedimento de arrasto da rede foi mensurado através da seguinte equação:  $\text{Vol (m}^3\text{)} = \pi \times r^2 \times h$ . Onde  $\pi$  representa 3,1416;  $r^2$  representa o raio (metade) do diâmetro da entrada da rede coletora; e  $h$  corresponde a distância percorrida em metros.

Figura 20 - Modelo esquemático de uma rede coletora de plâncton no formato cilíndrico (A), arrasto por 5 minutos à 3 nós (B), retirada da rede de plâncton da superfície lagunar (C), remoção do material contido no copo coletor (D)



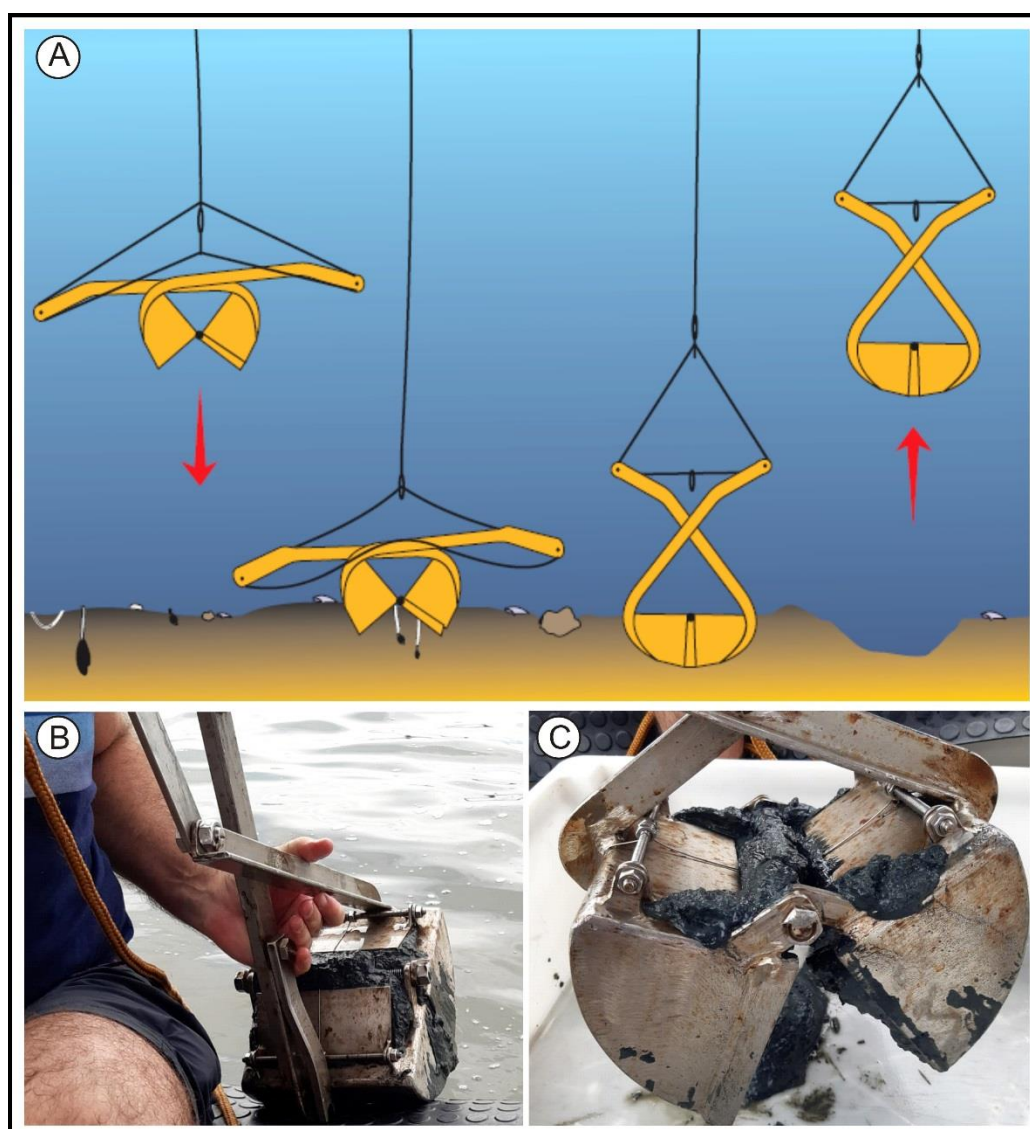
Fonte: A, Calazans et al. (2011); B, C e D, Autor, 2022.

### 3.1.3 Coleta dos sedimentos de fundo

Os sedimentos de fundo foram coletados com o amostrador de van Veen, que possui uma área de  $0,05 \text{ m}^2$  e capacidade de coleta de até 2 litros de sedimentos aproximadamente (Figura 21A; B e C). As amostras contidas no amostrador foram removidas e posteriormente transportadas para o laboratório em recipientes devidamente catalogados. Entre uma coleta e outra, a draga foi devidamente lavada para evitar a contaminação do material durante o procedimento de amostragem.



Figura 21 - Esquema de funcionamento de um amostrador de van Veen (A), coleta de amostra de fundo (B e C)



Fonte: Colling & Carlos Bemvenuti, 2011 – A; Autor, 2020 – B e C.

### 3.2 Análises laboratoriais

As 45 amostras foram analisadas no Laboratório de Dinâmicas da Natureza (LABDIN) da Faculdade de Formação de Professores, para a extração, identificação e classificação dos microplásticos, seguindo a classificação do *Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas*(2015).

As amostras de água foram analisadas através das seguintes etapas (Figura 22): (1) adição de uma solução hipersalina, contendo 358,9g de NaCl para cada litro de água, para extrair o máximo de microplásticos e possuir o mínimo da presença de matéria orgânica, separando o conteúdo orgânico dos microplásticos (HIDALGO-RUZ et al., 2012; GALLAGHER et al., 2016; BESLEY et al., 2017); (2) filtragem com o auxílio de uma bomba à vácuo do modelo *Vix* (5,5CFM, 1 estágio), utilizando um *kitasato* com filtro de papel de porosidade 14  $\mu\text{m}$  em funil de *Büchner*; (3) secagem dos filtros na estufa por aproximadamente 72 horas, conforme o método proposto por Thompson et al., 2004 e secas em estufa à 40° C por, no mínimo, 24h para posterior análise.

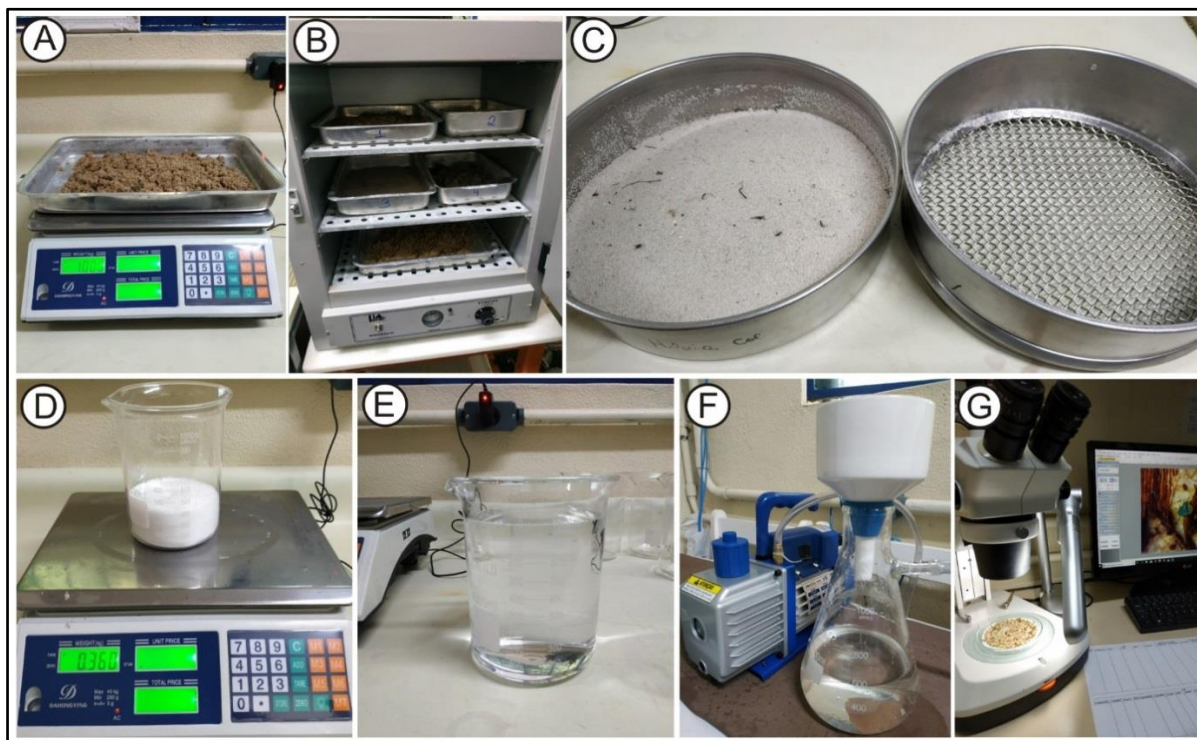
Figura 22 - (A e B) - Preparação e adição de solução salina; (C) –decantação das amostras de água (D) –filtragem; (E) - análise na lupa binocular



Fonte: Autor, 2021.

Os procedimentos para a extração de microplásticos nos sedimentos de margem e fundo lagunar consistem nas seguintes etapas (Figura 23): (1) preparação das amostras, por meio da pesagem inicial; secagem na estufa à 40°C, por um período de aproximadamente 48 horas (podendo variar devido ao tamanho dos grãos e a umidade contida em cada amostra); (2) pesagem das amostras secas; (3) peneiramento para a remoção de materiais com diâmetro superior à 5mm; (4) preparação da solução hipersalina, contendo 358,9g de NaCl para cada litro de água; (5) agitação manual da solução por 2 minutos, com posterior adição da amostra e agitação da mesma por 5 minutos; (6) decantação dos sedimentos por aproximadamente 5 horas; (7) remoção do material sobrenadante com o auxílio de um *becker*; (8) filtragem com o auxílio de uma bomba à vácuo modelo *Vix* (5,5CFM, 1 estágio), utilizando um *kitasato* com filtro de papel de porosidade 14  $\mu\text{m}$  em funil de *Büchner*; (9) secagem dos filtros na estufa por aproximadamente 72 horas; conforme o método proposto por Thompson et al. (2004) e Besley et al. (2017).

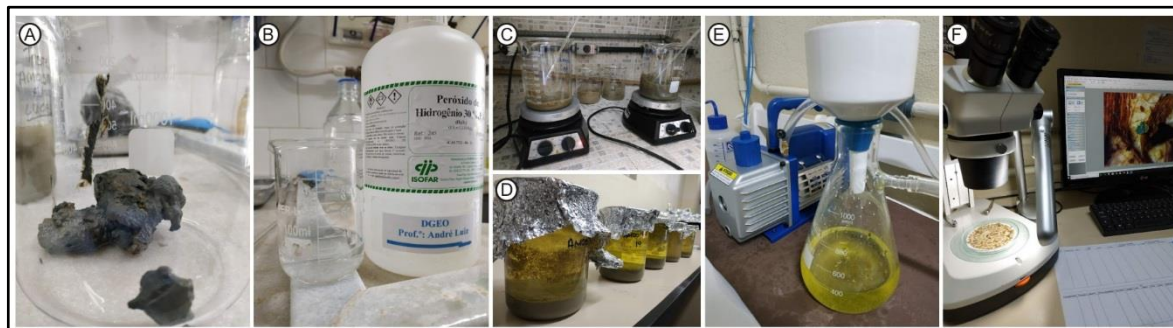
Figura 23 - (A) - pesagem inicial da amostra; (B) - secagem na amostra; (C) - peneiramento; (D) e (E) - preparação da solução hipersalina; (F) - filtragem; (J)- análise na lupa binocular



Fonte: Autor, 2021.

Antes de iniciarem os procedimentos laboratoriais com as amostras de sedimentos do fundo lagunar, foi necessária a realização da queima de matéria orgânica (M.O) para melhor extração de microplásticos do fundo lamoso, como apontado por Çullu et al. (2021). O procedimento contou inicialmente com a pesagem de 10 gramas de sedimentos da amostra (PI), seguido da adição de uma solução contendo 30% de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) diluído. Essa etapa foi realizada em *beckers* de vidro colocados sobre uma placa aquecedora (Figura 24) para facilitar a queima da matéria orgânica. A temperatura da placa não ultrapassou  $75^{\circ}C$ , para evitar a perda das amostras de microplásticos, além de evitar o transbordamento do material durante a fervura. Esse procedimento foi realizado sucessivas vezes até a completa oxidação da matéria orgânica, que no caso de sedimentos de fundo pode ser observada através do clareamento da sua cor e da ausência de queima após a adição do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ).

Figura 24 - (A) – Pesagem das amostras; (B) –adição de peróxido 30%; (C) –queima de matéria orgânica com auxílio de chapa aquecedora; (D) – decantação; (E) – filtragem; (F) -análise na Lupa Binocular



Fonte: Autor, 2021.

A contagem e a classificação dos microplásticos foram realizadas na lupa binocular, com o auxílio do software *ToupView* para a análise digital dos mesmos. Os microplásticos identificados foram organizados em tabelas e gráficos contendo a quantidade de material, o tipo, a cor, o tamanho e a morfologia (tabela 5), com base no *Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas* (2013). A identificação foi realizada de forma visual, seguindo os procedimentos adotados em outros trabalhos, como: Mathalon e Hill (2014), Bonello et al. (2018) e Renzi et al. (2018), Li et al. (2019), Athawuda et al. (2020).

Tabela 5 - Categorias usadas para descrever a aparência dos microplásticos

Tamanho	0,1-1,9mm / 2,0-3,9mm / 4,0-5,0mm.
Tipo	Fragmentos, pellets, filamentos, filmes, espuma de plástico e isopor.
Forma	Para pellets: cilíndrico, discos, planos, ovóides, esferóides; Para fragmentos: arredondado, subarredondado, subangular, angular; Para geral: bordas irregulares, alongadas, degradadas, ásperas e quebradas.
Cor	Transparente, cristalino, branco, branco claro, vermelho, laranja, azul, opaco, preto, cinza, marrom, verde, rosa, bege, amarelo.

Fonte: Adaptada de *Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas, 2013*; e Castro et al., 2020

Para evitar qualquer contaminação procedimental e aerotransportada durante a análise das amostras, todos os procedimentos laboratoriais foram realizados com as demais amostras continuamente lacradas em frascos ou placas de Petri, exceto durante a análise das mesmas. Durante as etapas da análise foram utilizados jalecos 100% algodão e as luvas foram lavadas com detergente e enxaguadas com água deionizada antes e após cada procedimento. Além disso, todos os materiais e áreas de trabalho utilizados foram cuidadosamente limpos com álcool 70% e água deionizada. Para garantir a não contaminação das amostras com fibras

sintéticas transportadas pelo ar, um branco de procedimento consistindo de uma placa de Petri com água deionizada limpa (como controle) foi usado em paralelo à análise das amostras. Os números de polímeros encontrados no branco, ao longo do tempo de investigação laboratorial, não ultrapassaram 17 (todas fibras). Esta contaminação do procedimento não afetou os resultados do presente trabalho.

### **3.3 Processamento dos dados**

Os dados obtidos foram organizados com o auxílio do software Microsoft Excel para gráficos e tabelas. Em seguida foram confeccionados mapas no ArcGIS para a apresentação dos resultados por quantidade e tipo de microplásticos. A elaboração dos mapas contou com as seguintes etapas: (1) inicialmente foram confeccionadas tabelas no software Excel 2013 para auxiliar no processamento dos dados; (2) os dados foram tratados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) e passaram pelo processo de georreferenciamento no software ArcGIS 9.3, realizado em coordenadas geográficas, no sistema geodésico WGS 84; (3) após os itens terem sido tabulados e sobrepostos, calculou-se a escala de concentração dos materiais; (4) por fim, foram gerados os mapas das concentrações totais e tipos por monitoramento.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os capítulos contendo os resultados e a discussão são inicialmente apresentados com base nas principais características e distribuição espacial dos materiais analisados; por setores (superfície da água, fundo e margem lagunar); seguido de uma análise comparativa entre os ambientes; sendo apresentados e discutidos nas diferenças de uso e ocupação do litoral estudado, da influência dos processos costeiros, e indicação das possíveis fontes de microplásticos.

### 4.1 Microplásticos identificados nas lagunas de Maricá e Guarapina

No total foram identificados 5339 microplásticos nas lagunas de Maricá e Guarapina, sendo 4008 itens em Maricá e 1331 itens em Guarapina (Tabela 6). Os microplásticos encontrados em ambas as lagunas estão distribuídos entre a margem lagunar (40,40%), superfície da água (39,00%) e fundo lagunar (20,60%) (Figura 25A). Esses valores representam uma média de 165,92 MPs/kg<sup>-1</sup> para sedimentos de margem, 68,75 MPs/kg<sup>-1</sup> para sedimentos de fundo e 11,93 MPs/m<sup>-3</sup> para a água na superfície lagunar.

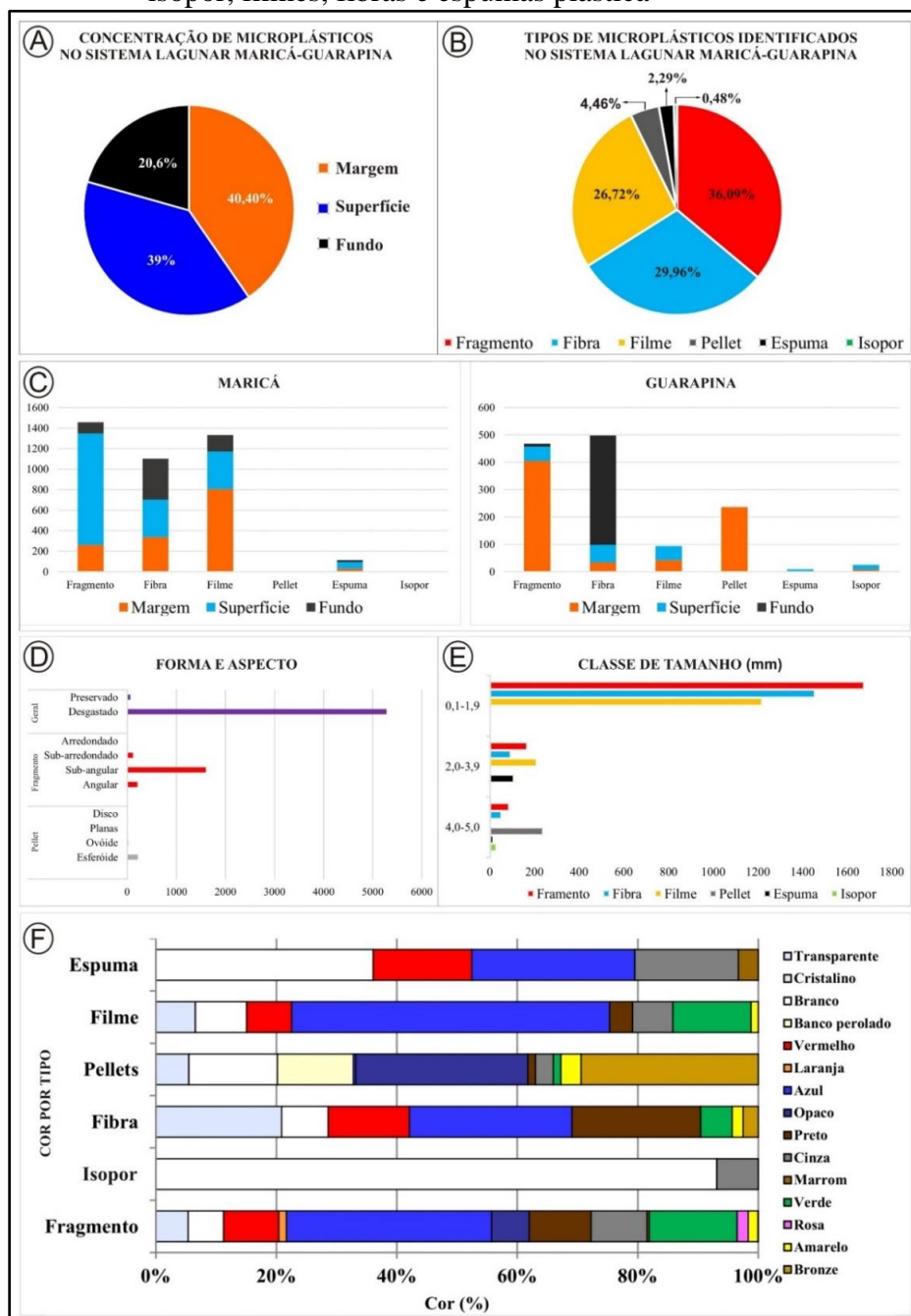
Tabela 6 - Microplásticos identificados nas lagunas de Maricá e Guarapina

Tipo	Maricá			Guarapina		
	Margem lagunar	Superfície da água	Fundo lagunar	Margem lagunar	Superfície da água	Fundo lagunar
Fragmento	261	1086	110	405	53	10
Isopor	1	3	0	8	17	0
Fibra	337	364	400	34	64	400
Pellet	0	1	0	236	1	0
Filme	804	368	160	42	52	0
Espuma	29	64	20	0	9	0
<b>Total</b>	<b>1432</b>	<b>1886</b>	<b>690</b>	<b>725</b>	<b>196</b>	<b>410</b>

Todas as categorias de microplásticos foram observadas no sistema lagunar de Maricá, sendo elas: fragmentos (36,09%), fibras (29,96%), filmes (26,72%), pellets (4,46%), espumas (2,29%) e isopores (0,48%) (Figura 25B e C, Figura 26). Dos materiais encontrados nas duas lagoas, 98,89% dos microplásticos analisados aparentavam uma superfície desgastada, indicando atrito ou deterioração pela ação dos processos intempéricos; enquanto 1,11%

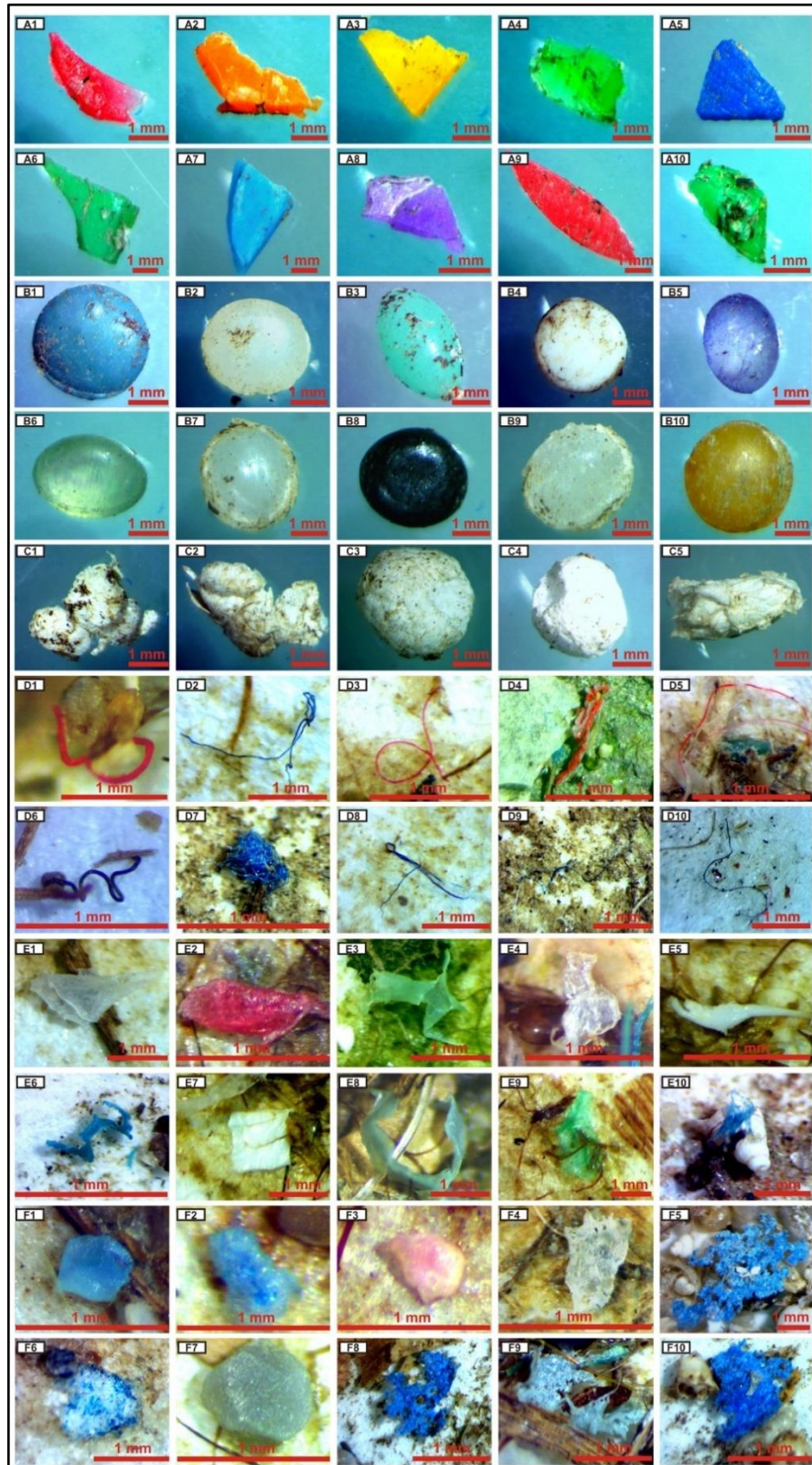
possuíam características indicativas de preservação como brilho e pouco desgaste em sua superfície (Figura 25D). Quanto ao tamanho das partículas encontradas, 81,74% dos materiais possuíam entre 0,1 e 1,9mm, 10,71% apresentaram tamanhos entre 2,0 e 3,9mm e 7,55% entre 4,0 e 5,0mm (Figura 25E). Entre as cores mais encontradas predominaram azul para fragmentos (34,22%), fibras (26,83%) e filmes (52,52%), bronze para pellets (29,41%), e branca para espumas (36,07%) e isopores (96,43%) (Figura 25F).

Figura 25 - Porcentagem (A), tipos (B e C), morfologia, aspecto (D) tamanho (F) e cores dos microplásticos analisados. Em D, a categoria geral contempla isopor, filmes, fibras e espumas plástica



Fonte: Autor, 2022.

Figura 26 - Tipos de microplásticos encontrados nas lagunas de Maricá e Guarapina (A – Fragmento; B – Pellets; C – isopor; D – Fibra; E – Filme; e F – Espuma)



Fonte: Autor, 2022.

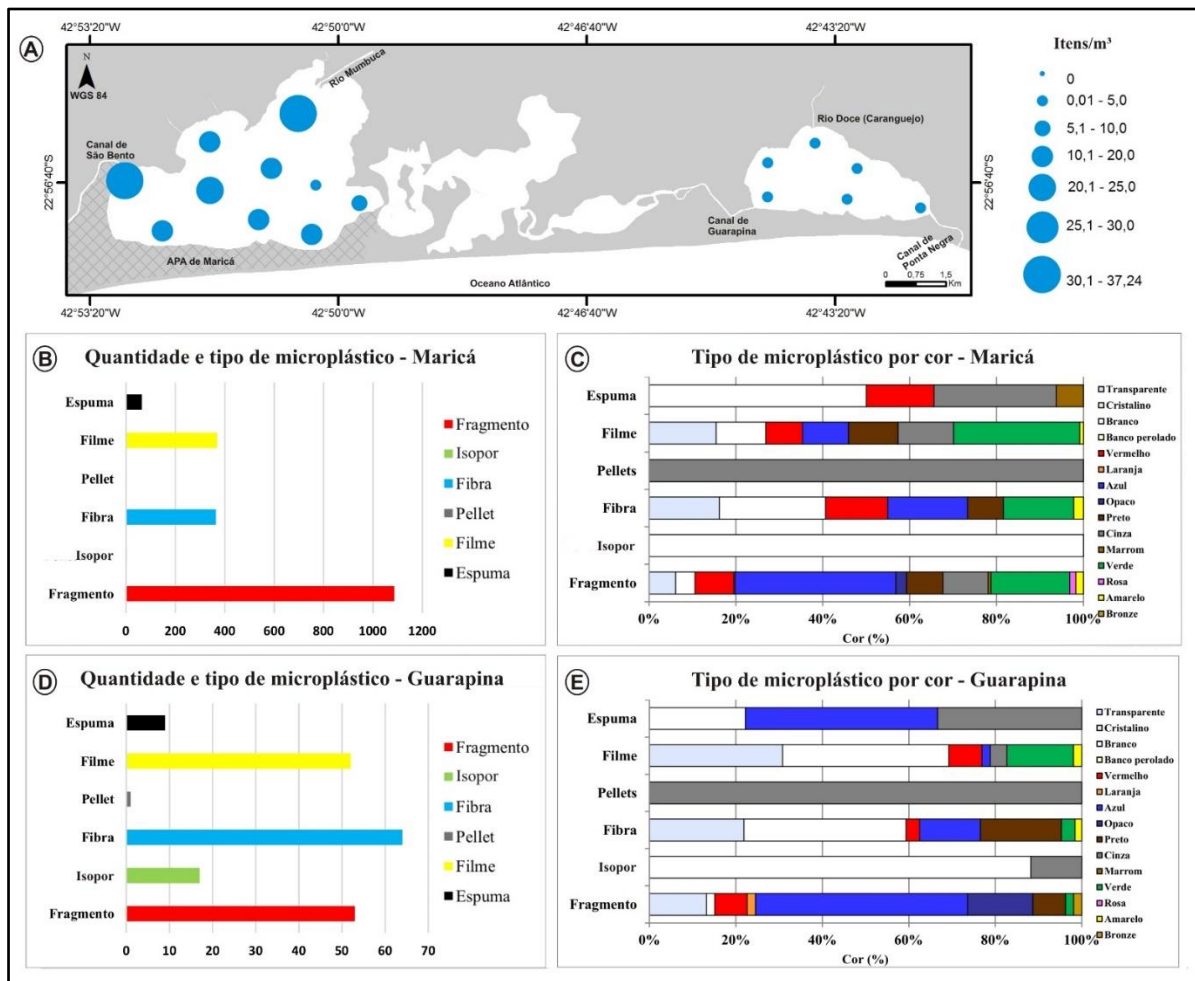


### *Microplásticos identificados na superfície lagunar*

No total foram encontrados 2082 microplásticos (MPs) na superfície da água das lagoas estudadas, sendo 1886 partículas na Lagoa de Maricá e 196 na Lagoa de Guarapina, o que representa um total de 17,30 MPs/ m<sup>3</sup> e 2,99 MPs/ m<sup>3</sup>. Na Lagoa de Maricá, estes materiais foram encontrados em todos os locais de amostragem, com as maiores concentrações nas áreas próximas à desembocadura do Rio Mumbuca (com 371 partículas de microplástico) e do canal de São Bento (com 406 partículas), respectivamente (Figura 27A). Os tipos de materiais encontrados na superfície lagunar em Maricá foram: 1086 fragmentos (57,58%), 368 filmes (19,51%), 364 fibras (19,30%), 64 espumas (3,39%), 3 isopores (0,17%) e 1 pellets (0,05%) (Figura 27B). A quase totalidade dos microplásticos analisados, cerca de 98%, aparentavam alterações na superfície (desgastada), indicando atrito ou deterioração pela ação dos processos intempéricos, enquanto 2% possuíam superfície lisa e sem sinais de abrasão. A maioria das partículas analisadas apresentaram tamanho predominante entre 0,1 e 1,9mm (89%), com cores predominando entre azul (para fragmentos), verde (para filmes), branco (para fibras, esponjas e isopores) e cinza (para pellets) (Figura 27C).

Na Lagoa de Guarapina, a concentração de microplásticos é menor que à verificada na Lagoa de Maricá (Figura 27A). As maiores concentrações de microplásticos em Guarapina foram observadas na porção centro-sul da laguna (com 54 itens) e próximo a desembocadura do rio Doce (43 partículas), também conhecido como rio Caranguejo (Figura 27A). Os materiais encontrados na superfície lagunar foram identificados como: 64 fibras (32,65%), 53 fragmentos (27,05%), 52 filmes (26,53%), 16 isopores (8,67%), 9 espumas (4,59%) e 1 pellets (0,51%) (Figura 27D). Todos os microplásticos analisados aparentavam alterações na superfície, indicando atrito ou deterioração pela ação dos processos intempéricos. Os tamanhos das partículas encontradas predominaram entre 0,1 e 1,9 mm (87%), com cores predominando entre azul (para fragmentos), branco (para fibras, filmes e isopores) e cinza (para esponjas e pellets) (Figura 27E).

Figura 27 - Distribuição (A), quantidade e tipo (B e D), e cores (C e E) dos microplásticos analisados



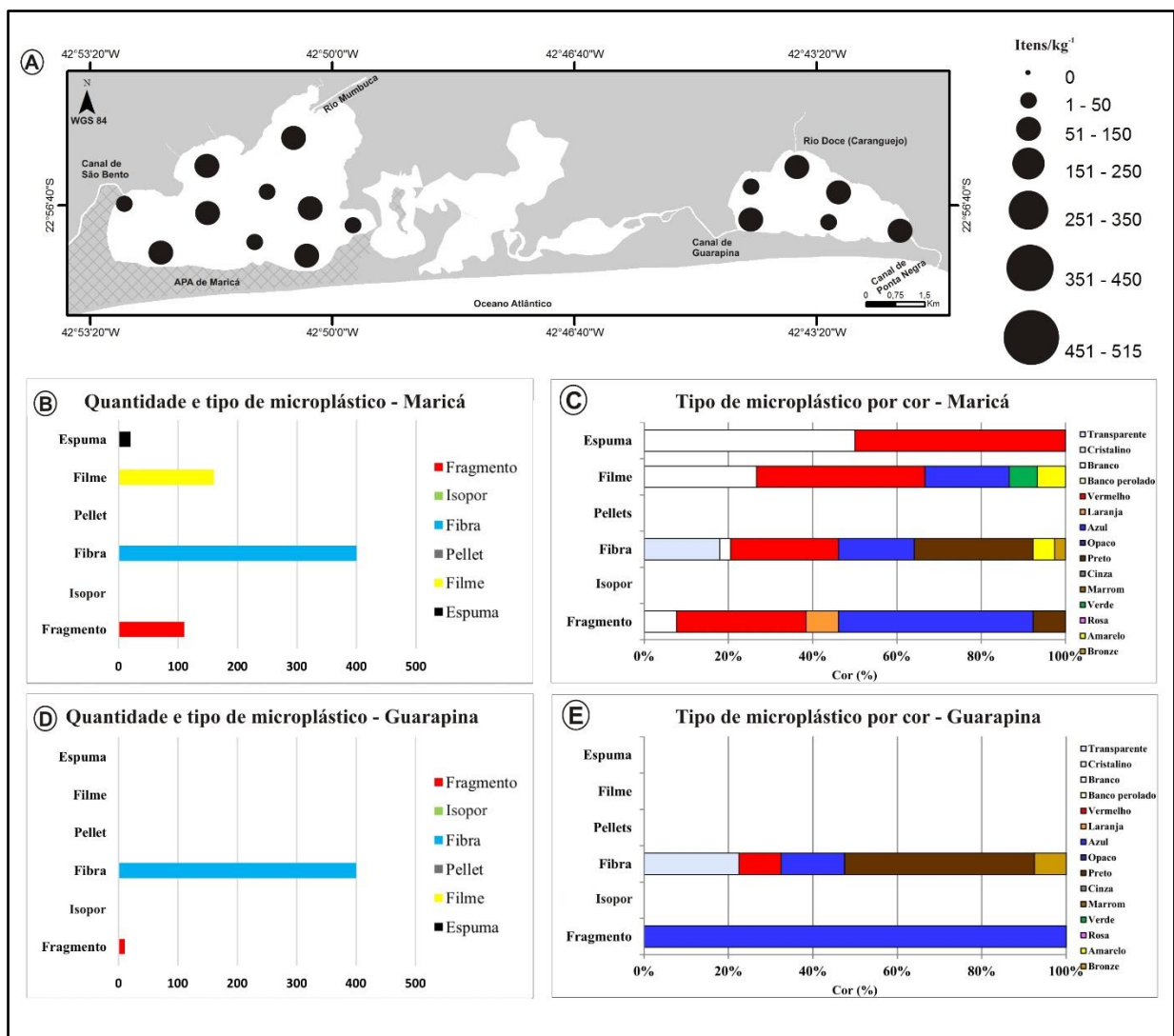
Fonte: Autor, 2022.

### *Microplásticos identificados no fundo lagunar*

Foram encontrados um total de 1100 microplásticos nos sedimentos de fundo das lagoas de Maricá e Guarapina, representando uma média de 68,75 itens por ponto, quase a metade da média observada na superfície lagunar (130,125 itens). Ao todo foram identificadas 690 partículas nos sedimentos do fundo lagunar em Maricá e 410 em Guarapina, o que representa um total de 115 MPs/ kg<sup>-1</sup> e 68,33 MPs/ kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Na Lagoa de Maricá, as maiores concentrações de microplásticos foram encontradas nos setores sudeste e nordeste da laguna, com 200 e 110 partículas de microplástico, respectivamente (Figura 28A). Os tipos de materiais encontrados nos sedimentos de fundo da Lagoa de Maricá apresentaram tipologias variadas, sendo: 400 fibras (57,97%), 160 filmes (23,19%), 110 fragmentos (15,94%) e 20 espumas (2,9%) (Figura 28B). Não foram encontrados pellets e isopores no

fundo lagunar de Maricá. 100% dos microplásticos analisados aparentavam alterações na superfície, indicando desgaste por atrito ou deterioração pela ação dos processos intempéricos. A maioria dos microplásticos analisados apresentaram tamanho entre 0,1 e 1,9mm (94,20%), enquanto as demais partículas exibiram tamanhos entre 2,0 e 3,9mm (5,80%), com cores predominando entre preto (para fibras) e vermelho (para filmes, fragmentos e espumas) (Figura 28C).

Figura 28 - Distribuição (A), quantidades (B e D), e cores (C e E) dos microplásticos analisados



Fonte: Autor, 2022.

Nos sedimentos do fundo lagunar de Guarapina foram identificadas 410 partículas de microplásticos, localizados predominantemente no setor norte, próximos à desembocadura do Rio Caranguejo (com 110 e 80 detritos plásticos, respectivamente) (Figura 28A). Outro local

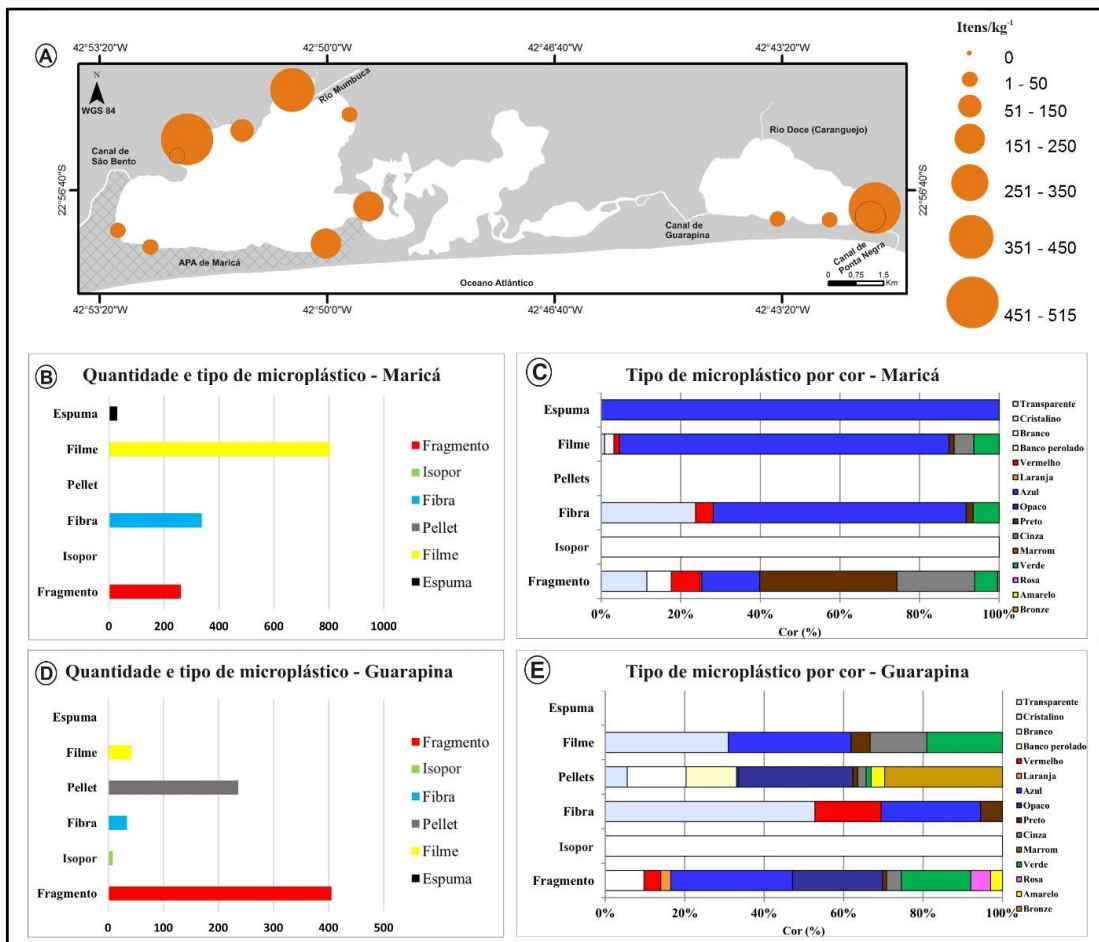
que apresentou uma concentração de microplásticos elevada na Lagoa de Guarapina foi a entrada do Canal de Ponta Negra (90 partículas), apontando para uma possível contribuição marinha através do canal. Entre os tipos de materiais encontrados nos sedimentos do fundo lagunar de Guarapina, a quase totalidade é representada pelas fibras (97,56%), seguida em menor quantidade por fragmentos (2,44%) (Figura 28C). Não foram encontrados pellets, isopores, espumas ou filmes no fundo lagunar. 100% dos microplásticos analisados aparentavam uma superfície desgastada, indicando atrito ou deterioração pela ação dos processos intempéricos. A maioria das partículas analisadas apresentaram tamanho predominante entre 0,1 e 1,9mm (75,61%), enquanto as demais partículas apresentaram tamanhos entre 2,0 e 3,9mm (24,39%), com cores predominando entre preto (para fibras) e azul (para fragmentos) (Figura 28E).

#### *Microplásticos identificados na margem lagunar*

No total, foram encontrados 2157 microplásticos (MPs) nos sedimentos depositados nas áreas marginais das lagoas de Maricá e Guarapina, sendo 1432 partículas em Maricá e 725 em Guarapina, o que representa um total de 159,1 MPs/ kg<sup>-1</sup> e 181,25 MPs/kg<sup>-1</sup>. Na Lagoa de Maricá, estes materiais foram encontrados predominantemente em áreas próximas a saída de pequenos canais no setor norte da laguna e próximo à desembocadura do Rio Mumbuca (com 451 e 413 partículas de microplástico respectivamente) (Figura 29A). No setor sudeste, as maiores concentrações de microplásticos foram observadas próximas à conexão entre a Lagoa de Maricá e a Lagoa da Barra (com 257 microplásticos), região utilizada para atividades de lazer, com presença de restaurantes e infraestrutura urbanística, como rodovia e ponte (Figura 29A). Os tipos de materiais encontrados na margem lagunar de Maricá foram: 804 filmes (56,15%), 337 fibras (23,53%), 261 fragmentos (18,23%), 29 espumas (2,03%) e isopor (0,06%) (Figura 29B). Não foram encontrados pellets na margem lagunar de Maricá. Aproximadamente 99,86% dos microplásticos analisados aparentavam uma superfície desgastada, indicando atrito ou deterioração pela ação dos processos intempéricos, enquanto 0,14% possuía superfície lisa e sem sinais de alteração. A maioria dos microplásticos apresentaram tamanho entre 0,1 e 1,9mm (94,62%), enquanto as demais partículas apresentaram tamanhos entre 2,0 e 3,9 mm (5,10%), seguido em menor quantidade de 4,0 e 5,0 mm (0,28%), com cores variando entre azul (para filmes, fibras e espumas), preto (para fragmentos) e branco (para isopor) (Figura 29C).

Na margem lagunar de Guarapina, a média da concentração de microplásticos foi maior, quando comparada com os materiais encontrados na Lagoa de Maricá. Foram encontradas 725 partículas de microplástico, com as maiores quantidades observadas nas duas margens adjacentes ao Canal de Ponta Negra (com 514 e 161 itens respectivamente) (Figura 29A). Os tipos de materiais encontrados na margem lagunar de Guarapina foram: 405 fragmentos (55,87%), 236 pellets (32,55%), 42 filmes (5,79%), 34 fibras (4,69%) e 7 isopores (1,10%) (Figura 29D). Não foram encontrados espumas na margem lagunar de Guarapina. Aproximadamente 98,76% dos microplásticos analisados aparentavam uma superfície alterada, indicando desgaste por atrito ou deterioração pela ação dos processos intempéricos, enquanto 1,24% possuía superfície lisa e sem sinais de abrasão. A maioria das partículas analisadas apresentaram tamanho predominante entre 4,0 e 5,0 mm (49,52%), além dos tamanhos entre 0,1 e 1,9 mm (26,21%) e 2,0 e 3,9 mm (24,27%), em menor quantidade, com cores predominando entre azul (para fragmentos e filmes), bronze (para pellets), transparente (para fibras) e branco (para isopores) (Figura 29E).

Figura 29 - Distribuição (A), quantidades (B e D), e cores (C e E) dos microplásticos analisados



Fonte: Autor, 2022.

## 4.2 Características dos microplásticos

As maiores quantidades de microplásticos observados no presente estudo foram de fonte secundária, representando 95,54% de todo o material analisado, com destaque para fragmentos e fibras (tabela 6). Esses materiais resultam da fragmentação de objetos maiores devido a ação dos processos intempéricos, como destacado por HATJE et al. (2013) e Horton et al. (2017). Microplásticos do tipo pellets, considerados como de origem primária (COLE et al., 2011), foram identificados principalmente na margem da Lagoa de Guarapina próximo ao canal de Ponta Negra.

### Fragmentos

Os fragmentos de microplásticos foram os mais encontrados na área de estudo, totalizando 1926 itens, o que representa 36,09% dos materiais analisados em todo o sistema lagunar (tabela 6). A maior concentração de fragmentos plásticos foi observada nas amostras de superfície (50,19%), seguida da margem lagunar (34,58%) e do fundo (6,23%) (Figura 30). O intervalo de tamanho das partículas predominou entre 0,1mm e 1,9mm (com 86,97%); as demais foram encontradas no tamanho entre 2,0mm a 3,9mm (8,57%) e entre 4,0mm e 5,0mm (4,46%). As cores mais representativas entre os fragmentos foram o azul (34,22%), seguido por verde (14,69%), preto (10,33%) (Figura 31); em menor quantidade aparecem o rosa (1,87%), amarelo (1,62%), laranja (1,30), marrom (0,36), e o bronze (0,05%) (Figura 31). As demais cores somaram 35,53% dos materiais analisados.

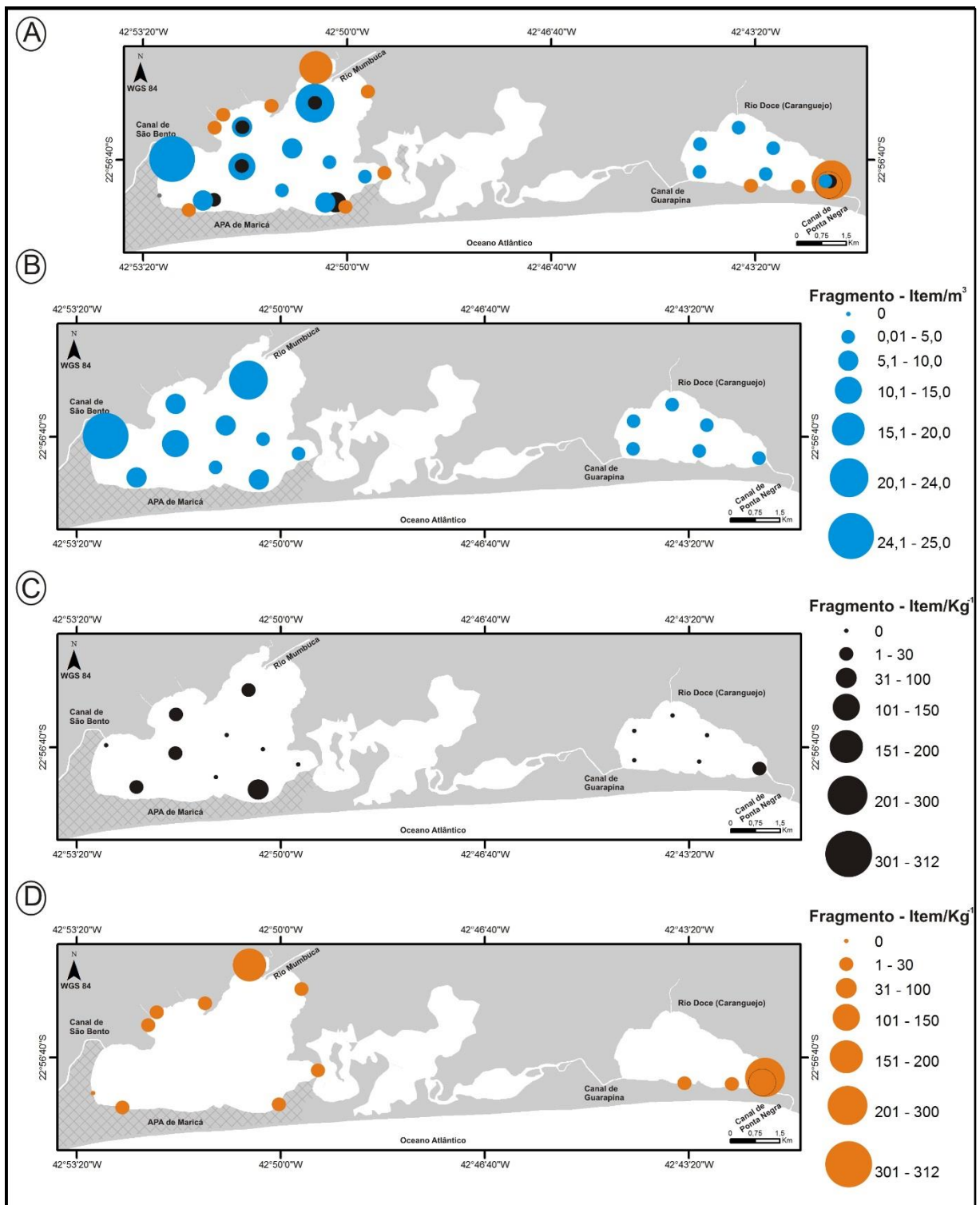
Por se tratar de lagunas com baixa energia hidrodinâmica (SILVESTRE et al., 2017; BATISTA, 2018; LAUT et al., 2019), a presença predominante de fragmentos de microplásticos na área de estudo sugere a disponibilidade destes através de contribuições por afluentes que desaguam neste ambiente. Acredita-se que, na Lagoa de Maricá, o processo de fragmentação mecânica possa sofrer influência da ação dos ventos e ondas, atuando no retrabalhamento da superfície dos microplásticos, assim como ocorre com sedimentos que são redistribuídos pela dinâmica lagunar, como constatado por Silvestre et al., (2017). Na Lagoa de Maricá a chegada de materiais pode ocorrer através da descarga fluvial, além do escoamento superficial que desagua na laguna, indicando que a maior presença deste tipo de microplástico seja de origem terrestre-continental e cheguem ao ambiente através de rios e córregos. Na Lagoa de Guarapina, por sua vez, a influência do Rio Doce, assim como a

chegada de materiais através do Canal de Ponta Negra podem sugerir a disponibilidade destes detritos para o ambiente.

Segundo Vianello et al. (2013), a presença deste tipo de material é, normalmente, associada à fragmentação de embalagem plásticas ou degradação de outros tipos de objetos (VIANELLO et al., 2013; WAGNER et al., 2014; BAYO et al., 2019) através de processos mecânicos, químicos e físicos (ANDRADY, 2011), e relacionado à proximidade de áreas urbanizadas. A presença predominante de fragmentos de microplásticos foi também observada na Lagoa Mar Menor (Espanha), localizada em áreas protegidas (BAYO et al., 2019), o que aponta para a presença destes materiais em zonas menos habitadas e com usos restritos. (Complementar a frase destacando a contribuição oriunda de áreas afastadas)

De maneira geral, os resultados referentes aos fragmentos microplásticos presentes neste estudo corroboram com observados por Çullu et al., (2021) na Lagoa Kuçukçekmece, que apontou grandes quantidades deste tipo de microplástico, com cores variadas (predominando diferentes tons de azul). Os bens de consumo de plástico são propositadamente coloridos para melhor atender as demandas do mercado consumidor (ANDRADY; NEAL, 2009). Os aditivos utilizados na coloração dos materiais plásticos representam um risco a biodiversidade por carregarem substâncias químicas, comprometendo os ecossistemas costeiros e marinhos quando ingeridos por organismos aquáticos (CADORE et al., 2009).

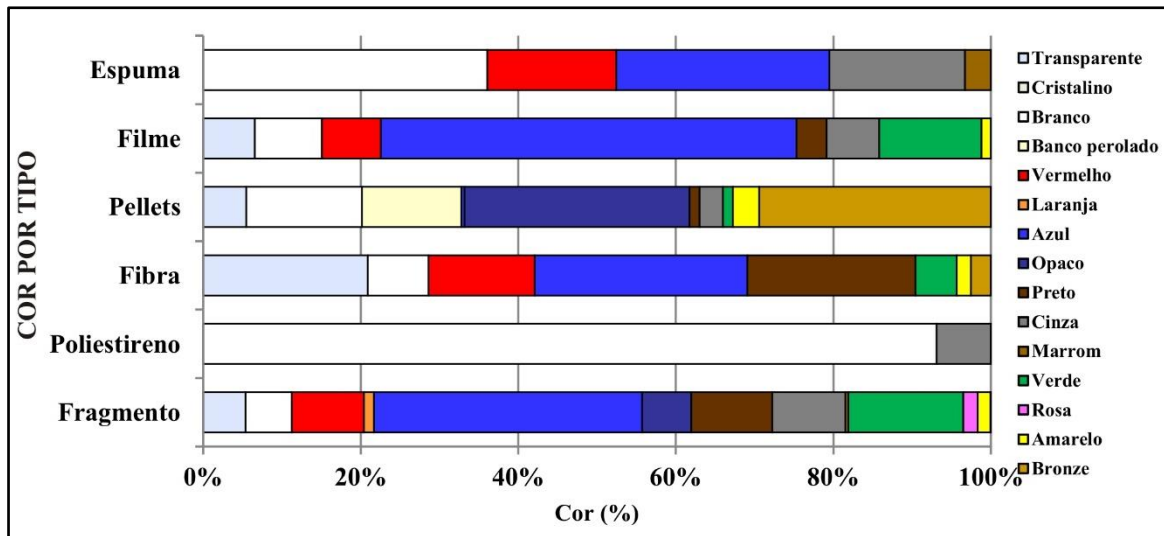
Figura 30 - (A) Distribuição espacial de fragmentos nas lagunas de Maricá e Guarapina. (B) concentração de fragmentos em superfície, (C) fundo; e (D) margem lagunar



Fonte: Autor, 2022.



Figura 31 - Predominância de cor por tipo de microplásticos



Fonte: Autor, 2022.

### Fibras

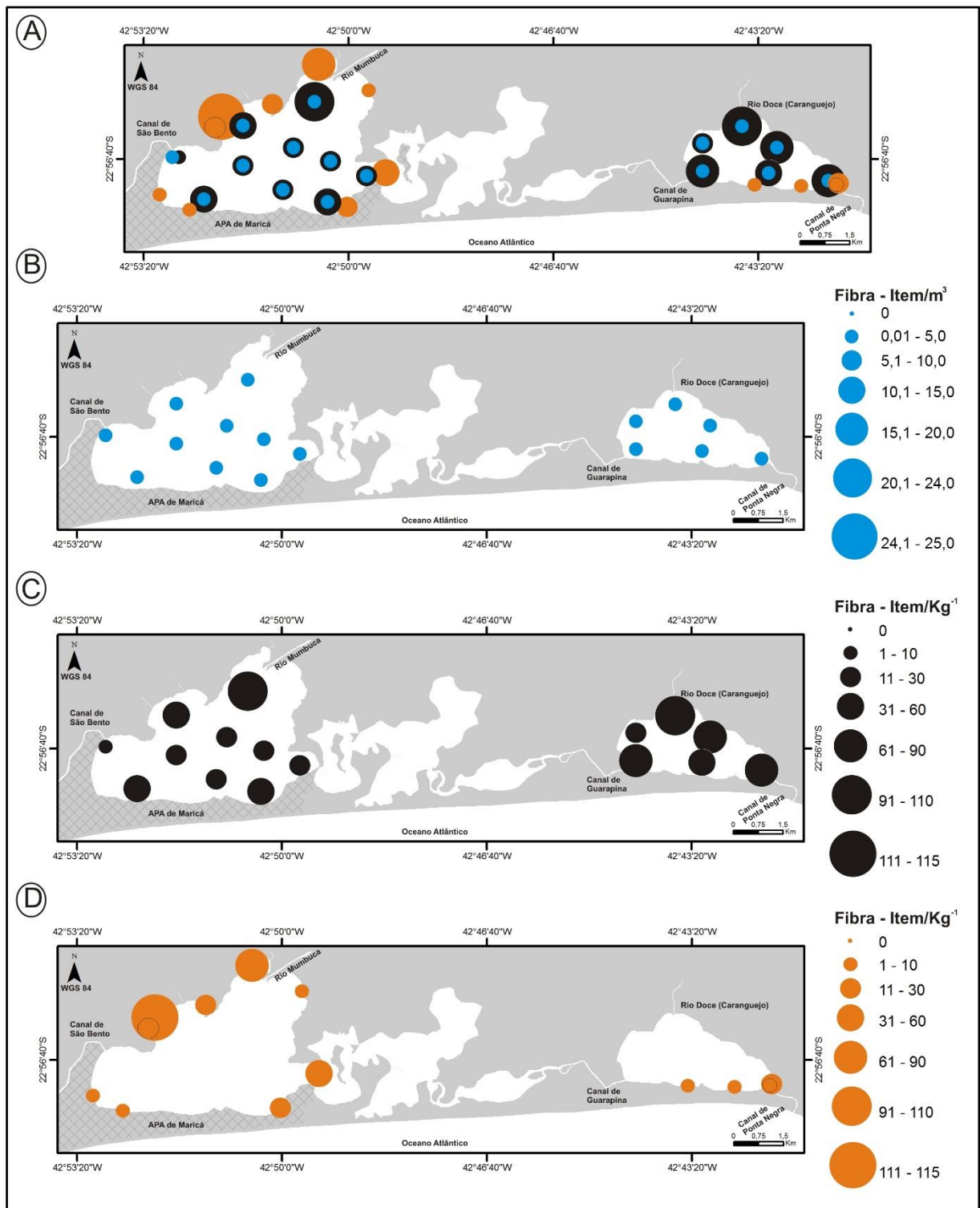
As fibras foram identificadas em todos os setores das lagoas de Maricá e Guarapina, totalizando 1599 itens (29,96% do total de microplásticos), com maior concentração nos sedimentos de fundo lagunar (50,03%), seguido por superfície de água (26,77%) e sedimentos de margem (23,20%) (Figura 32). Em alguns casos, as fibras são encontradas por vezes entrelaçadas, sendo inviável desembaraçá-las e contá-las, o que consequentemente representa uma quantidade estimada, procedimento também adotado por Bancin et al. (2019). No presente estudo, as fibras entrelaçadas foram contabilizadas como 1 unidade. O intervalo de tamanho das fibras predominou entre 0,1mm e 1,9mm (com 90,99%); as demais possuíam tamanho entre 2,0mm a 3,9mm (5,82%) e entre 4,0mm e 5,0mm (3,19%).

As cores predominantes foram azul (26,83%), seguido por preto (21,26%) e transparente (20,76%) (Figura 31); em menor quantidade aparecem o verde (5,19%), bronze (2,50%) e o amarelo (1,81%), entre outras (21,68%) (Figura 31). O padrão referente a predominância de cores das fibras nas lagoas de Maricá (Figura 31) corrobora com encontrado na Lagoa de Bizert (ABIDLI et al., 2017; WAKKAF et al., 2020a; WAKKAF et al., 2020b), onde as fibras microplásticas apresentam tons variados claros e escuros, predominando azul, branco, preto e transparente. A presença de fibras transparentes dentro das lagoas estudadas sugere a decomposição de cordas e redes de pesca, como também destacado por Ablidli et al., (2017). O município de Maricá é conhecido, também, pela tradicional pesca artesanal que é exercida na região e que pode contribuir para disponibilidade de fibras para o sistema lagunar, além do despejo por vias domésticas.

As fibras têm sido o tipo de microplástico mais encontrado em todo o planeta (ABIDLI et al., 2017). Olarinmoye et al. (2020) aponta que a existência deste tipo de microplástico em ambientes costeiros pode ser atribuída a correntes de águas residuais domésticas, transbordamento de esgoto, lavagem de tecidos sintéticos e inundações sazonais na estação chuvosa, além da ação da dinâmica fluvial realizando o transporte destes materiais. Estima-se que cerca de 21,5 mil toneladas de fibras sintéticas são liberadas anualmente nos esgotos domésticos ao redor do mundo, sendo o Brasil responsável por 860 toneladas/ano (SALVADOR, 2017). Segundo Martellini et al. (2018), os dados da literatura têm apontado para as estações de tratamento de águas residuais como fontes pontuais de fibras no ambiente costeiro, demonstrando a ineficiência dos processos convencionais de tratamento de águas residuais, incapazes de removeras fibras microplásticas.

A presença de fibras em todos os setores e compartimentos analisados (margem, superfície e fundo), pode estar relacionada com à influência dos usos exercidos nestas lagunas, tais como lazer e pesca, além do esgoto doméstico, como mencionado anteriormente. Alguns autores criam diferentes categorias de análises para os microplásticos do tipo fibra, diferenciando aqueles que foram considerados como linhas (materiais de pesca) e fibras (fibras têxteis) (GESAMP, 2019). No presente estudo, os tipos mencionados foram classificados de maneira conjunta (FRIAS et al., 2016). A predominância de fibras em sedimentos de fundo ocorreu de maneira mais expressiva quando comparada com outros setores deste ambiente, indicando menor propensão a flutuação destes materiais e sua possível acumulação no fundo lagunar. As fibras sintéticas representam um risco para a biodiversidade e se trata de uma das mais recorrentes formas de microplásticos ingeridos por diferentes organismos (ZHANG et al., 2017; MATHALON; HILL, 2014). A pesca e o turismo vêm sendo apontados desde a década de 70 como uma das atividades mais predatórias e mal administradas na América do Sul (GRUBER et al., 2003).

Figura 32 - (A) Distribuição espacial de fibras nas lagunas de Maricá e Guarapina. (B) concentração de fibras em superfície, (C) fundo; e (D) margem lagunar



Fonte: Autor, 2022.

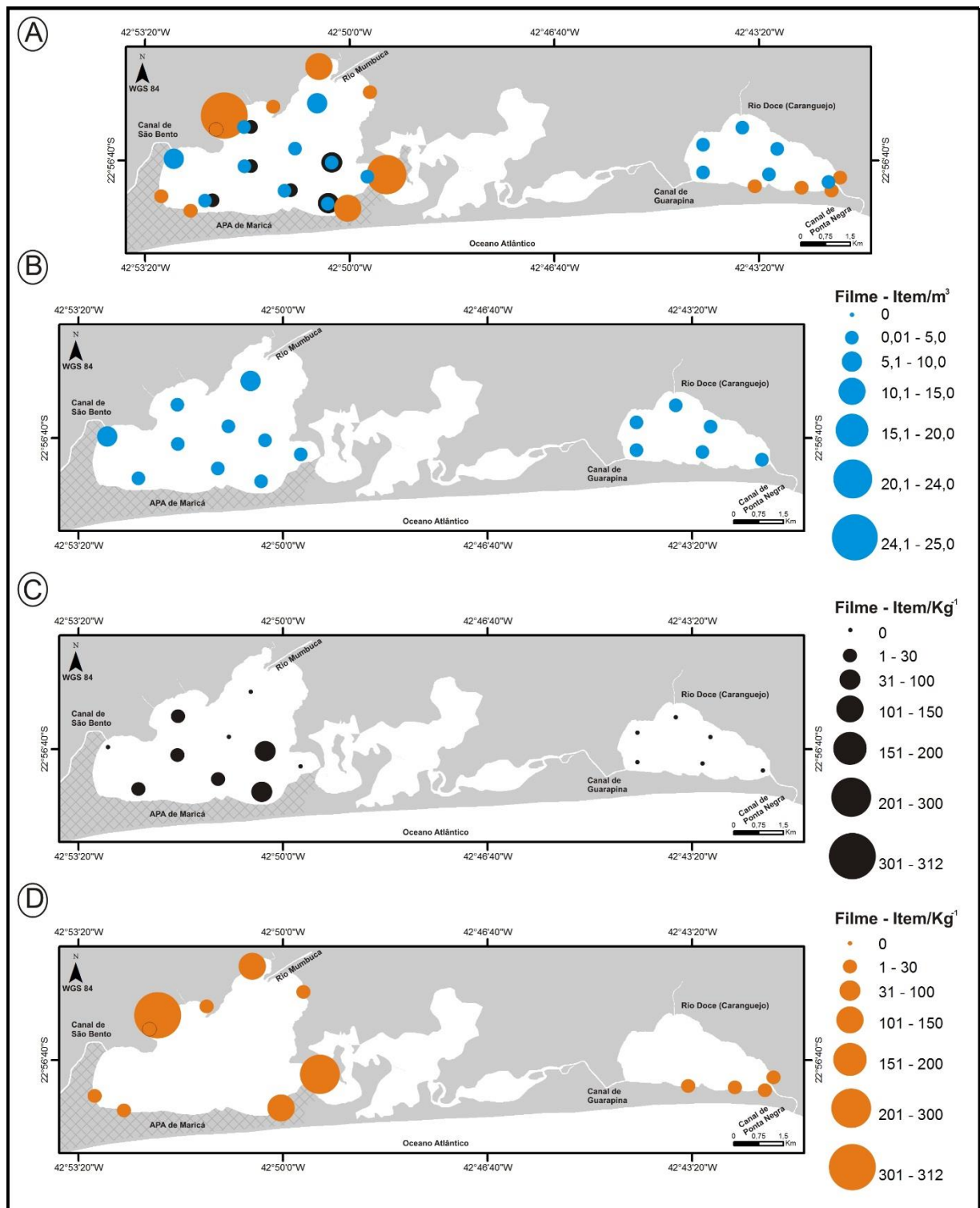
## Filme

Os microplásticos do tipo filme contidos nas amostras analisadas totalizaram 1426 itens, o que representa 26,72% dos resíduos identificados em todo o sistema lagunar. Os filmes foram observados, principalmente, nas margens lagunar (59,33%), seguidos de superfície d'água (29,45%) e sedimentos de fundo (11,22%) (Figura 33). Os filmes microplásticos predominaram entre 0,1mm e 1,9mm (85,48%) e 2,0mm a 3,9mm (14,52%). As cores mais representativas entre os filmes foram o azul (52,52%), seguido por verde (12,90%) e branco (8,49%) (Figura 31); em menor quantidade aparecem o transparente (6,52%), preto (3,79%) e o amarelo (1,19%), entre outras (14,59%) (Figura 31).

A presença de filmes plásticos também foi identificada em sedimentos de margem da Lagoa Mar Menor, na Espanha (BAYO et al., 2019). Em seu estudo, os autores apontam para a relação entre os filmes microplásticos com possíveis embalagens domésticas que degradam e acabam chegando no ambiente costeiro por diferentes fontes. Os filmes plásticos representam uma preocupação ao ecossistema costeiro, devido ao processo de dissorção de produtos químicos nos organismos, causando efeitos adversos (TANAKA et al., 2013; AVIO et al., 2015). A coloração dos materiais pode estar relacionada a três fatores principais: (1) a pigmentação utilizada para tingir objetos plásticos; (2) à perda de cor sob a influência de fatores ambientais; e (3) descoloração oriunda do tratamento com peróxido de hidrogênio durante a análise de laboratório (CADORE et al., 2008; YIN et al., 2020). A descoloração do filme microplástico não foi observada entre os materiais analisados no presente estudo, considerando características como ausência de sinais de abrasão e cores fortes.

Alguns plásticos brancos apresentam uma tendência a ficarem amarelados com o tempo, devido à exposição ambiental que podem sofrer (ZHANG et al., 2017). Os filmes observados nas lagunas de Maricá e Guarapina apresentaram-se desgastados e podem ser provenientes de sacolas plásticas, muito utilizadas para embalagens e transporte de alimentos.

Figura 33 - (A) Distribuição espacial de filmes nas lagunas de Maricá e Guarapina. (B) concentração de filmes em superfície, (C) fundo; e (D) margem lagunar



Fonte: Autor, 2022.

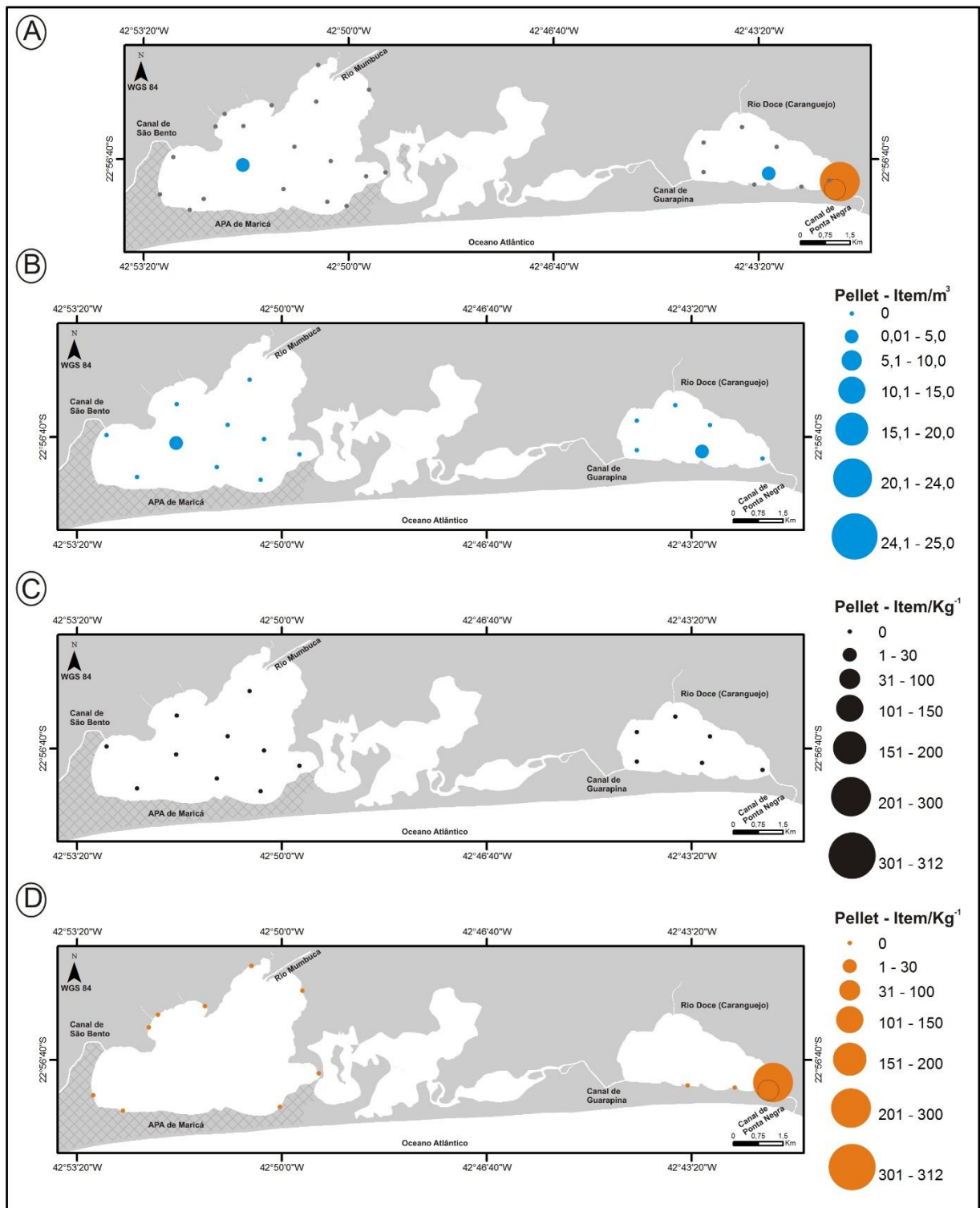
## Pellets

Os pellets totalizaram 238 itens, o que representa apenas 4,46% dos microplásticos identificados nas lagunas estudadas, sendo 99,16% encontrados nas margens do canal de Ponta Negra em Guarapina e 0,84% na superfície da Lagoa de Maricá (Figura 34). Os pellets apresentaram tamanho entre 4,0mm e 5,0mm (100%). As cores mais representativas foram o bronze (29,41%), seguido por cores opacas (28,57%), branco (14,71%) e peroladas (12,61%) (Figura 31); em menor quantidade aparecem os pellets amarelo (3,36%), cinza (2,94%), preto (1,26%), verde (1,26%) e azul (0,42%). As demais cores somaram aproximadamente 5,46% dos materiais analisados (Figura 31). De acordo com Fisner et al. (2017), a variabilidade entre o tipo e a cor da resina pode influenciar na deposição de poluentes orgânicos, podendo aqueles que apresentam tons mais escuros apresentar maior densidade em relação às de cores mais claras.

Com relação ao seu aspecto, a superfície dos pellets se apresentou de maneira não preservada em 84,87% dos casos, enquanto as características de preservação se mantiveram em 15,13% dos itens, o que pode indicar diferentes processos atuantes sobre eles. A presença de pellets nos ambientes costeiros representa um risco à biodiversidade local, possibilitando a morte de diferentes animais por inanição e a dispersão pela vida marinha através da cadeia alimentar nestes ambientes (FALCÃO, 2014).

Por ser um tipo de microplástico primário, a presença de pellets nesta região levanta alguns questionamentos enquanto sua origem, possibilitando pensar à contribuição marinha para a chegada deste tipo de material através de eventos de maior energia, que transportam água e detritos para dentro da laguna, sem descartar uma eventual contribuição oriunda do continente. A ausência de dados referentes a presença de pellets na Lagoa de Maricá corrobora com estudos realizados por Vianello et al. (2013) e Abidli et al. (2017), que ressaltaram a presença ocasional deste detrito na Lagoa de Veneza (Itália) e a ausência deste material na Lagoa de Bizerte (Tunísia), respectivamente.

Figura 34 - (A) Distribuição espacial de pellets nas lagunas de Maricá e Guarapina. (B) concentração de pellets em superfície, (C) fundo; e (D) margem lagunar



Legenda: Os pontos cinzas na figura A indicam onde a interpolação dos resultados são iguais a zero.

Fonte: Autor, 2022.

## Espuma

As espumas microplásticas totalizaram 122 itens, o que representa 2,29% dos materiais identificados em todo o sistema lagunar. As espumas foram encontradas em maior quantidade na superfície lagunar (52,46%), seguida por sedimentos de margem (23,77%) e fundo (16,39%) (Figura 35). O tamanho das partículas predominou entre 2,0mm e 3,9mm (87,70%), seguido de 0,1 e 1,9 (12,30%). As cores mais representativas entre as espumas foram branco (36,07%) e azul (27,05%) (Figura 31); em menor quantidade aparecem as espumas cinza (17,21%), vermelha (16,39%) e marrom (3,28%) (Figura 31).

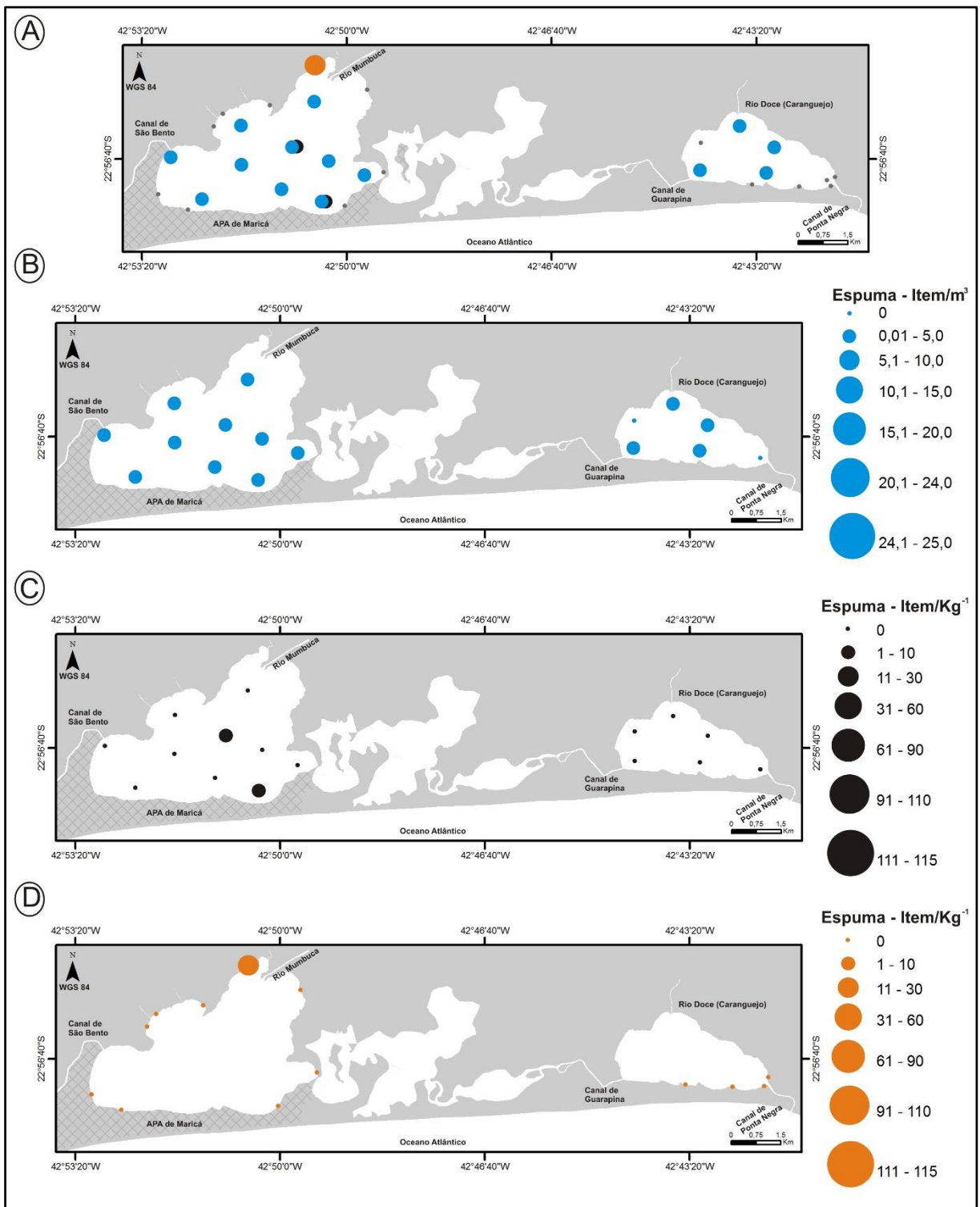
Espumas microplásticas também foram encontradas por Bayo et al. (2019) em sedimentos da Lagoa do Mar Menor, na Espanha, provenientes de materiais diversos utilizados em embalagem, recipientes de alimentos ou da fragmentação de objetos oriundos de atividades recreativas como natação e pesca (BAYO et al., 2019). Segundo De-La-Torre et al. (2020), a presença de espumas plásticas tende a ser observada em praias que são utilizadas para práticas recreativas e de lazer, além de áreas náuticas, restaurantes e bares, por exemplo, pois trata-se da fragmentação dos materiais e resíduos produzidos e descartados de maneira irregular, disponibilizando micropartículas de espuma plástica nos ambientes.

Estudos voltados para a problemática referente à presença de espumas plásticas no ambiente costeiro e marinho são escassos, representando uma lacuna no conhecimento científico com relação aos seus impactos diretos no ecossistema (TRESTRAIL et al., 2020). Ao analisar a disponibilidade de espuma floral para o ambiente, Trestrail et al. (2020) identificou que os usuários deste tipo de material podem liberar microplásticos de fenol-formaldeído no meio ambiente através de várias rotas de descarte, sendo as principais por meio de sistemas de esgoto doméstico, descarregado em rios, oceanos, e a partir da ineficiência nas redes de tratamento de águas residuais (LEBRETON et al., 2012; MASON et al., 2016; MURPHY et al., 2018). Uma vez no ambiente, estes detritos podem manter-se em suspensão e serem dispersos por grandes distâncias através da ação dos ventos (CHUBARENKO et al., 2016), correntes e marés.

Nas lagoas de Maricá e Guarapina, a concentração de espumas ocorreu, principalmente, próximo à saída de canais no setor norte da Lagoa de Maricá, região mais densamente ocupada, podendo indicar uma contribuição fluvial para a chegada destes materiais. As espumas identificadas apresentaram um elevado grau de degradação (deformação em sua superfície, arestas e formas irregulares), o que pode indicar um intenso retrabalhamento destes materiais devido ao tempo de exposição ao ambiente e aos processos atuantes sobre ele, incluindo também o transporte fluvial.



Figura 35 - (A) Distribuição espacial de espuma nas lagunas de Maricá e Guarapina. (B) concentração de espuma em superfície, (C) fundo; e (D) margem lagunar



Legenda: Os pontos cinzas na figura A indicam onde a interpolação dos resultados são iguais a zero.

Fonte: Autor, 2022.

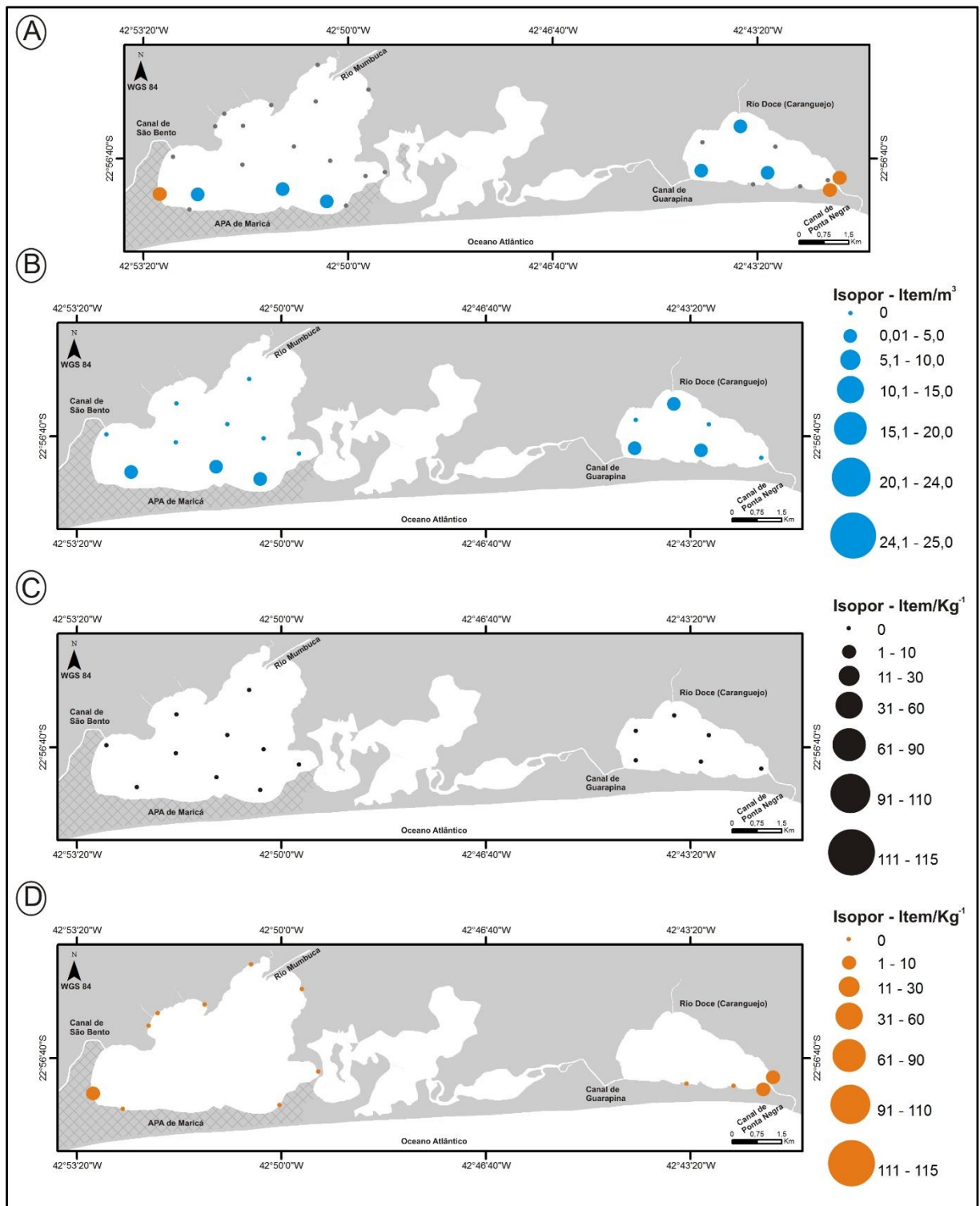
## Isopor

Os microplásticos do tipo isopor totalizaram somente 29 itens (0,48%), sendo o tipo menos frequente de material encontrado ao longo das lagoas de Maricá e Guarapina. A presença de isopor foi observada principalmente na Lagoa de Guarapina, (85,71%), comparado à Lagoa de Maricá (14,29%) (Figura 36). As partículas de isopor, entre 4,0mm e 5,0mm (100%), apresentaram cor branca na sua quase totalidade (96,43%), seguida por cinza (3,57%) (Figura 31).

O isopor é pouco relatado em estudos realizados em ambientes lagunares, o que dificulta a comparação com outros locais. Esse padrão, também observado nas lagoas de Maricá e Guarapina, difere de outros ambientes costeiros como praias e baías, onde o isopor aparece como um dos materiais mais comumente encontrado (HEO et al., 2013; CARVALHO; BAPTISTA NETO, 2016; DE-LA-TORRE et al., 2020).

A presença de isopor também não se mostrou muito representativa em águas superficiais da enseada de Jurujuba, em Niterói, conforme Castro et al. (2020). No entanto, eles foram encontrados em grandes quantidades em sedimentos de praia das praias de Niterói pelos mesmos autores. Essa diferença pode ser explicada devido à menor gravidade específica do isopor em relação a água, por conta de sua superfície porosa. Isso faz com que estes materiais sejam transportados por correntes de superfície e ventos, depositando-os na areia da praia (SAGAWA et al., 2018). Materiais compostos por isopor são comumente utilizado durante as atividades de lazer, pesca e nos serviços de restaurantes que trabalham com entrega, através de embalagens plásticas.

Figura 36 - (A) Distribuição espacial de isopor nas lagunas de Maricá e Guarapina. (B) concentração de isopor em superfície, (C) fundo; e (D) margem lagunar



Legenda: Os pontos cinzas na figura A indicam onde a interpolação dos resultados são iguais a zero.

Fonte: Autor, 2022.

### 4.3 Possíveis fontes para os microplásticos encontrados nas lagunas de Maricá e Guarapina

Os dados obtidos no presente estudo auxiliam na compreensão dos padrões de dispersão, acumulação e deposição de microplásticos e seu comportamento dentro de um sistema lagunar, podendo relacionar-se de acordo com os processos físicos-costeiros aos quais estão expostos, assim como com os diferentes usos no entorno. Neste sentido, buscou-se realizar uma comparação com outros estudos realizados em lagunas costeiras e seus compartimentos (margem, superfície e fundo lagunar). As comparações entre os resultados de diferentes estudos, no entanto, devem ser cuidadosamente interpretadas, levando em consideração as finalidades e técnicas de amostragem empregadas e que, eventualmente, podem ser adaptadas a depender dos objetivos e características de cada área e/ou ambiente estudado.

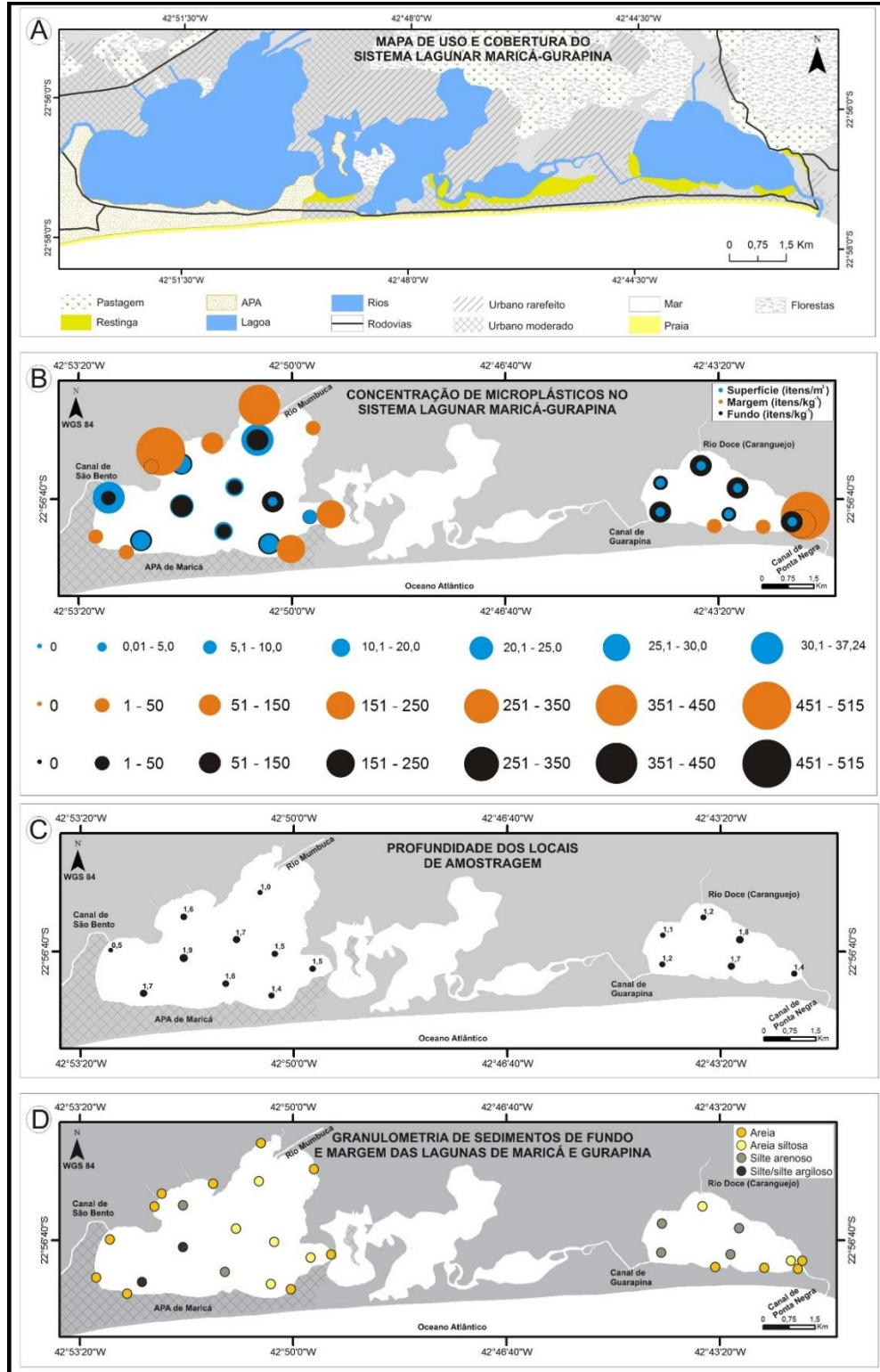
Os resultados apresentados permitem constatar que o valor médio de microplásticos encontrados nas amostras de águas superficiais nas lagunas estudadas em Maricá é de 11,93 MP/m<sup>-3</sup>, variando entre o mínimo de 1,19 MP/m<sup>-3</sup> e o máximo de 37,24 MP/m<sup>-3</sup>. Esses valores se apresentam próximos aos identificados por Strady et al. (2021) na Lagoa Thi Nai (Vietnã) (3,4 MP/m<sup>-3</sup> e 24,3 MP/m<sup>-3</sup>), que apontaram para o importante papel dos rios locais no transporte de detritos plásticos para o ambiente estudado. Segundo Strady et al. (2021), os rios são responsáveis por contribuir com grandes quantidades de detritos para os ambientes costeiros, pois recebem rejeitos domésticos e industriais que são lançados em seu trajeto. Nas lagunas de Maricá e Guarapina, as maiores concentrações de microplásticos foram observadas na superfície da água em locais de próximos à desembocadura dos canais, tanto em Maricá (Canal de São Bento e Rio Mumbuca – abastecido pela Bacia do Rio Ubatiba), quanto em Guarapina (Canal de Guarapina, Rio Doce e Canal de Ponta Negra) (Figura 27). Estes rios e canais representam importantes vias de água doce que abastecem o sistema lagunar, sendo responsáveis pelo transporte de materiais provenientes do continente e dispensados neste corpo costeiro. Segundo Batista (2018), os rios e canais que desaguam na Lagoa de Maricá contribuem para a degradação da laguna devido à grande quantidade de esgoto que transportam.

A ocupação e a influência humana nos arredores (Figura 37) desta laguna e em sua bacia hidrográfica intensificam o processo de degradação ambiental, através do uso crescente deste ambiente para atividades turísticas, casas de veraneios e outras construções sem

qualquer planejamento nas margens, colocando em risco o ecossistema costeiro (BATISTA, 2018). Nas lagunas de Maricá e Guarapina, algumas possíveis fontes sugerem o despejo direto de detritos plásticos para este ambiente costeiro, sendo através dos resíduos gerados com a ocupação da planície costeira e pela ação humana (Figura 37), assim como por meio de atividades recreativas nas margens, como lazer e pesca (utilizando de diferentes técnicas e auxílio de materiais plásticos como redes, tarrafas, pets, sacolas e objetos para armazenamento de pescados que, ao fragmentar-se, podem se tornar uma possível fonte de material disponível ao ambiente). A maior proximidade com áreas amplamente utilizadas para o lazer (píer, restaurante, ponte, embarcações de lazer) pode contribuir para a disponibilidade de microplásticos para o ambiente, possibilitando o descarte de materiais que são produzidos nas margens das lagunas e chegam no ambiente de alguma forma, seja através do abandono acidental ou intencional. Recentemente, a prefeitura de Maricá tem trabalhado com o processos e revitalização das margens lagunares do município, o que tem possibilitado a implantação de obras como praças, quiosques, áreas esportivas, entre outros.

Em seu estudo realizado na Lagoa de Bizert (Tunísia), Wakkaf et al. (2020) apontam que as fontes de poluição de microplásticos para este ambiente desempenham um papel importante, uma vez que a Lagoa de Bizerte se encontra dentro de uma região densamente antropizadas, com concentrações costeiras urbanas, industriais e agrícolas que podem gerar uma grande quantidade de resíduos plástico para a área de estudo. Çullu et al. (2021), por sua vez, identificou concentrações de microplásticos que variaram entre 33 partículas/L de microplásticos, o que representariam  $33000\text{MPs}/\text{m}^{-3}$ . A presença de microplásticos na Lagoa de Kuçukcekmece foi atribuída com pequenos estacionamentos de barcos, onde são realizadas as atividades de aluguel e manutenção dos mesmos, como reparos e pinturas, além do uso recreativo, sendo essas fontes conhecidas de resíduos de plásticos para o ambiente. Ao avaliar a poluição de microplásticos nesta laguna, foi necessário considerar a contribuição da descarga proveniente de atividades comerciais e de entretenimento e não apenas da população.

Figura 37 - Figura síntese das características da área de estudo. (A) Mapa de uso e cobertura do município de Maricá com base em Castro et al., 2021. (B) concentração de microplásticos nas lagunas estudadas (C) profundidade dos locais de amostragem medidas em campo; e (D) tamanho dos sedimentos de margem e fundo lagunar, com base em Silvestre et al. (2017) e Laut et al. (2019)



Fonte: Autor, 2022.

Outro fator que pode contribuir para a chegada de microplásticos para a superfície de água nas lagoas de Maricá e Guarapina é o escoamento superficial urbano. Estudo realizado por Wakkaf et al. (2020), na Lagoa de Bizert (Tunísia), aponta para a influência do escoamento superficial urbano na disponibilidade de detritos plásticos para o ambiente lagunar. Estudo realizado por Li (2020), identificou a concentração de microplásticos em diferentes escoamentos superficiais urbanos conectados ao *Yellow River*, na China, indicando esta como possível fonte de poluição para a chegada destes detritos no ambiente marinho. Os resultados mostraram maiores concentrações em regiões e estradas residenciais, devido ao uso frequente de plásticos nessas áreas, como sacolas, embalagens e garrafas plásticas, que podem fragmentar-se em microplásticos ao longo do tempo, além de pneus utilizados nos automóveis que também disponibilizam microplásticos para os sistemas de captação de águas urbanas (LI, 2020). Na Baía de Guanabara, o papel do escoamento superficial urbano também é apontado por Batista Neto e Fonseca (2011) como uma das fontes de resíduos sólidos para o ambiente, disponibilizando materiais para os rios que atravessam as cidades e não apresentam uma coleta de lixo eficiente, afetando diretamente este corpo hídrico. O mesmo sugere para a influência desta fonte na contribuição para chegada de materiais nas lagoas de Maricá e Guarapina, onde a atuação do escoamento superficial urbano promove a remoção de parte dos detritos da cidade, que são jogados diretamente nos sistemas fluviais até que cheguem nestas lagoas, o que pode agravar esta problemática

As concentrações de microplásticos ocorreram de maneira diferenciada entre as lagoas estudadas. Na superfície da água da Lagoa de Maricá foram encontrados microplásticos em quantidade 5,7 vezes maior em comparação com a Lagoa de Guarapina. Essa maior quantidade de materiais observados na Lagoa de Maricá pode estar relacionada à lenta taxa de renovação das águas, possibilitando maior tempo de permanência destes materiais nesta laguna. Na Lagoa de Guarapina, a presença do Canal de Ponta Negra, aberto permanentemente, permite a troca de água desta laguna com o mar de maneira constante, auxiliando na remobilização de detritos plásticos e a disponibilização dos mesmos para o ambiente marinho. O Canal de Ponta Negra pode proporcionar a troca quase completa das águas superficiais da Lagoa de Guarapina dentro de um período menor que 30 dias (SisBahia, 2018), retirando os materiais sobrenadantes que podem estar em suspensão na coluna d'água. O inverso tende a ocorrer na Lagoa de Maricá, por se tratar de um ambiente confinado, semi-fechado e sem troca constante de água com o mar. Na laguna de Maricá, as maiores concentrações de microplásticos na superfície da água foram observadas no setor sul, sendo

esse influenciado pela baixa circulação e baixo hidrodinamismo na região (SISBAHIA, 2018) e um ambiente propício para acumulação destes detritos.

Conforme observadas por Bayo et al. (2019) na Lagoa Mar Menor (Espanha), embora a poluição de microplásticos fosse esperada em maiores quantidades em áreas não protegidas do que em áreas protegidas, as maiores concentrações de microplásticos, em seu estudo, foram registradas em zonas protegidas, demonstrando a onipresença deste material na laguna estudada. Quando comparada a Lagoa de Maricá, embora situada em uma Área de Proteção Ambiental (APA) em seu setor sul e sudoeste, apresentou valores significativamente superiores aos observados na Lagoa de Guarapina. Esse padrão de acumulação em áreas protegidas pode ocorrer devido a fatores como (1) menor hidrodinâmica neste trecho da laguna (SILVESTRE et al., 2017); (2) baixa influência de ventos dentro do sistema lagunar, que são responsáveis pela realização do transporte de materiais; (3) maior proximidade de áreas amplamente utilizadas para estruturas urbanísticas e de lazer; e (4) despejo direto de microplásticos através dos usos exercidos no ambiente.

O vento representa um dos principais agentes de transporte de microplásticos no ambiente marinho e costeiro. Estudos como os de Browne et al. (2011); Kukulka et al. (2012); Thiel et al. (2013); Liubartseva et al. (2016); Castro et al. (2020) apontam para a influência dos ventos na dispersão de detritos flutuantes que, somados à ação das ondas junto ao litoral, pode contribuir para a acúmulo de itens plásticos encontrados em diferentes compartimentos de um mesmo ambiente. Segundo Genc et al. (2021), na Baía de Fethiye Inner (Turquia), o padrão de distribuição de detritos plásticos está diretamente relacionado com o padrão de direção de ventos e ondas que atuam sobre um ambiente, sendo estes os principais influenciadores da dinâmica interna deste corpo costeiro. A orientação dos ventos atuantes nas lagunas de Maricá e Guarapina é influenciado pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, sendo predominantemente de quadrante leste e nordeste, em condição de tempo bom, com menos intensidade (AMARANTE et al., 2002) e capazes de formar ondas neste ambiente; e de sul, sudoeste e sudeste, gerados pelas massas polares provenientes de sul, tornando-se mais intensos. Na Lagoa de Maricá esses ventos podem formar ondas de até 1 metro de altura (SILVESTRE et al., 2017). A dinâmica de ondas e ventos influencia diretamente na circulação interna das lagunas (SILVESTRE et al., 2017; LAUT et al., 2019) e, conseqüentemente, no transporte e distribuição de microplásticos e sua posterior decantação (Figura 37).

Nos sedimentos de fundo lagunar, a concentração de microplásticos ocorreu com uma média de 68,75 MPs/kg<sup>-1</sup>, variando entre 200 MPs/kg<sup>-1</sup> e 10 MPs/kg<sup>-1</sup> (tabela 6). As maiores



concentrações foram identificadas na Lagoa de Maricá (55,45%), com até 200 MPs/kg<sup>-1</sup>, enquanto os menores valores foram observados na Lagoa de Guarapina (44,55%), apresentando somente 10 MPs/kg<sup>-1</sup>. As concentrações de microplásticos nas lagunas estudadas são inferiores as quantidades observadas por Vianello et al., (2013) na Lagoa de Veneza (Itália) (2175 MPs/kg<sup>-1</sup> e 627 MPs/kg<sup>-1</sup>). Nas lagunas de Maricá e Guarapina, a presença de microplásticos em sedimentos de fundo foi amplamente observada, com destaque para as fibras, ao longo de toda área estudada. Fibras também foram identificadas em sedimentos do fundo lagunar do estado de Lagos (Nigéria), representando este quase 50% dos materiais encontrados no ambiente (OLARINMOYE et al., 2020). Para Olarinmoye et al., (2020), a presença de microplásticos em lagunas costeiras pode estar relacionada à eliminação de materiais oriundos de vias domésticas e industriais, devido à falta de saneamento básico e lançamento de esgoto sem tratamento neste corpo hídrico (SHIRU et al., 2019; OLARINMOYE et al., 2020). Segundo Olarinmoye et al. (2020), os sedimentos de fundo lagunar podem ser interpretados enquanto sumidouros para microplásticos, podendo os detritos depositarem-se no fundo sedimentar e permanecerem ali enquanto não houver um evento de maior energia, capaz de remobilizar os materiais depositados no fundo e disponibiliza-los para a coluna d'água (OLARINMOYE et al., 2020; SCHERER et al., 2020). A ação de ondas, ventos, correntes e marés podem realizar a mistura vertical na coluna d'água, suspendendo novamente materiais anteriormente depositados (LIMA et al., 2015; REISSER et al., 2015).

Devido à baixa densidade, as partículas microplásticas, inicialmente se encontram em suspensão ao entrarem em um corpo d'água (NEL et al., 2017; WALDSCHL EGER et al., 2020), e são transportadas pela coluna d'água, até que depositem no fundo do ambiente devido ao aumento de sua densidade causada por fatores adicionais, como bioacumulação ou interação com partículas de argila suspensas (KAISER et al., 2017, HE et al., 2021). A presença de microplásticos em sedimentos de fundo pode estar relacionada aos agregados (aglomerados) de sedimentos que se formam em sua superfície, fazendo com que os mesmos adquiram maior densidade e perdendo sua capacidade de flutuabilidade (BAGAEV et al., 2017). Nos sedimentos do fundo lagunar de Maricá, as maiores concentrações de microplásticos foram identificadas no setor sudeste, próximo à comunidade de pescadores de Zacarias (200 itens), e no setor nordeste, próximo à desembocadura do Rio Mumbuca (110 itens), áreas com profundidade de aproximadamente 1,4m e 0,9m respectivamente. O fundo lagunar nos pontos identificados é caracterizado por areias médias e grossas próximas ao setor sudoeste, e silte e argila no setor nordeste (Figura 37). Possivelmente, o padrão de

acumulação de materiais no fundo lagunar pode estar relacionado com a chegada dos mesmos através da descarga fluvial, que são transportados pela dinâmica interna da laguna, até que ocorra a deposição em áreas longínquas. Elevadas concentrações de fibras foram encontradas no fundo lagunar de Maricá, principalmente em regiões próximas à margem sul deste ambiente, região responsável por abrigar elevadas concentrações de matéria orgânica (25-30%), conforme Silvestre et al. (2017).

No fundo lagunar de Guarapina, as maiores concentrações de microplásticos foram observadas próximas à saída do Rio Doce (110 itens), do Canal de Ponta Negra (90 itens) e do Canal de Guarapina (70 itens), regiões com 1,2m, 1,4m e 1,2m de profundidade respectivamente. A presença de microplásticos em sedimentos de fundo faz perceber que, ainda que as partículas microplásticas tendem a se acumular em locais caracterizados por um hidrodinamismo menor (como em Maricá, quando comparada a Guarapina), o tamanho do grão pode não interferir diretamente neste padrão de acumulação, sendo microplásticos encontrados em todos os pontos coletados.

A quantidade de microplásticos observada na margem lagunar em Maricá e Guarapina ( $165,92 \text{ MPs/kg}^{-1}$ ), é maior quando comparada com o fundo lagunar ( $68,75 \text{ MPs/kg}^{-1}$ ). Os valores observados nas margens lagunares apresentaram uma média de  $156,92 \text{ MPs/kg}^{-1}$ , variando entre  $159,1 \text{ MPs/kg}^{-1}$  em Maricá e  $181,25 \text{ MPs/kg}^{-1}$  em Guarapina, respectivamente.

Na Lagoa de Maricá, as maiores concentrações de microplásticos foram observadas na margem norte, na região mais densamente ocupada, quando comparada com a margem sul (devido à presença de uma Área de Proteção Ambiental – APA) (Figura 37). Devido dificuldade de acesso à margem norte da laguna de Guarapina, não foi possível realizar a coletadas amostras neste setor do ambiente estudado. Na laguna de Guarapina, a presença de microplásticos foi observada na margem sul e leste, região que não possui a presença de uma área de proteção ambiental e com facilidade de construções e moradias mais próximas à costa (Figura 37).

A concentração de microplásticos nas areias da margem lagunar de Maricá e Guarapina foi inferior ao identificado por Abidli et al. (2017) nas margens da Lagoa de Bizert (Tunísia), onde foram encontradas quantidades variando entre 3 e 18  $\text{MPs/g}$  (o que representou  $3000 \text{ MPs/kg}^{-1}$  e  $18000 \text{ MPs/kg}^{-1}$ ). Porém, superiores às concentrações observadas por Bayo et al. (2019) na Lagoa Mar Menor (Espanha), onde os valores correspondem a  $105,4 \text{ MPs/kg}^{-1}$ , apresentando variações entre  $8,2 \text{ MPs/kg}^{-1}$  e  $166,3 \text{ MPs/kg}^{-1}$ . A grande concentração destes materiais na margem lagunar pode ser atribuída a maior concentração populacional, com concomitante expansão imobiliária, tráfego de pessoas e

atividades industriais, conforme também destacado por Abidli et al. (2017). Nas lagunas de Maricá e Guarapina, as elevadas concentrações de microplásticos na margem lagunar podem também ser o resultado do adensamento urbano promovido na margem norte e nordeste da laguna de Maricá e na margem sul da laguna de Guarapina, e que tem sido potencializado ao longo das últimas quatro décadas (MARTINS et al., 2021).

A presença de microplásticos em sedimentos de margem ocorreu em maior quantidade na laguna de Guarapina, com a maior concentração de itens encontrados num mesmo ponto (com destaque para pellets na saída do Canal de Ponta Negra). O contraste entre os padrões observados pode estar relacionado ao aporte de microplásticos através do Canal de Ponta Negra em eventos de maior energia, como os que antecederam à amostragem de campo (18 e 19 de janeiro de 2020 – DHN, 2020). Embora, os 1,4 km de extensão da entrada do Canal de Ponta Negra até a lagoa de Guarapina funcionem como um filtro dinâmico para minimizar as oscilações de água dentro do sistema lagunar (KJERFVE et al., 1990), esta característica pode ser alterada com a presença de ondas de tempestade dentro do canal, modificando significativamente a dinâmica de ondas e correntes. Dessa maneira, a chegada de materiais pode ocorrer em períodos de maior energia trazendo detritos do ambiente marinho para o ambiente lagunar e depositando-os em suas margens, como observado no presente estudo.

Os valores percebidos nas margens lagunares de Maricá e Guarapina se apresentaram menores aos percebidos na Lagoa de Ghanaian (Gana) ( $467 \text{ MPs}/10\text{cm}^{-3}$ ), conforme observado por Chico-Ortiz et al. (2020), em regiões mais profundas da área observadas para o desenvolvimento de seu estudo, apontando para o maior tempo de permanência de materiais nas camadas inferiores da área coletada, sofrendo menos impactos e remobilização quando comparados com as camadas superficiais, influenciando diretamente no seu remanejamento. Estudo realizado por Strady et al. (2021), na Lagoa Thi Nai (Vietnã) também apresentou concentrações elevadas de microplásticos em sedimentos arenosos de margem lagunar, com variação entre  $1542 \text{ MPs}/\text{m}^{-3}$  e  $2024 \text{ MPs}/\text{m}^{-3}$ , com predominância para materiais como fibras e fragmentos. Uma possível fonte para a chegada de materiais em sedimentos de margens lagunares pode estar atribuída ao papel do sistema de drenagem e hidrográfico no qual este ambiente está inserido. Estudo realizado por Toumi et al. (2019) em sedimentos de rios buscou identificar a influência de 7 afluentes que desaguam diretamente na Lagoa de Bizert para a contribuição da chegada de microplásticos na laguna estudada. Embora estes estudos sejam voltados para ambientes de água doce, a sua influência direta no corpo hídrico que abastece torna seu conhecimento necessário para a compreensão referente ao impacto sofrido em ambientes lagunares pela chegada destes materiais.

A contaminação por microplásticos foi observada em todas as amostras coletadas nas lagoas de Maricá e Guarapina, porém com distribuição espacial e tipologia diferenciada. As diferenças espaciais foram significativas e seguiram uma tendência de maior acúmulo de microplásticos na Lagoa de Maricá, quando comparada com a Lagoa de Guarapina. O entendimento sobre a dinâmica e as atividades desenvolvidas no local estudado e adjacências são importantes para a indicação das possíveis fontes de microplásticos para o ambiente, além de apontarem para o papel dos processos físicos costeiros no seu padrão de distribuição. O sistema lagunar de Maricá-Guarapina possui características específicas entre as lagoas estudadas, tais como o padrão de circulação interno, os diferentes usos exercidos na bacia hidrográfica e áreas da planície costeira (Figura 37).

A maior concentração de materiais nas lagoas de Maricá e Guarapina pode estar relacionada com a ocupação da planície costeira do litoral de Maricá, influenciando na disponibilidade de microplásticos para ambiente e contribuindo para sua acumulação. As lagoas costeiras localizadas no município de Maricá sofreram grandes alterações decorrentes da expansão urbana e das atividades econômicas no seu entorno, principalmente devida ausência de um programa de planejamento adequado frente a esse intenso processo de ocupação, no que diz respeito a falta de saneamento básico (RUTTENBERG, 2003). Tal problemática tem causado prejuízos irreparáveis aos sistemas aquáticos, devido a elevada disponibilização de poluentes para as lagoas localizadas no município. Estudo realizado por Abidli et al. (2017), na Tunísia, identificou que a presença de microplásticos se apresenta de maneira mais abundantes em áreas densamente povoadas, quando comparadas com regiões menos urbanizadas. Browne et al. (2011) demonstrou uma relação positiva entre a presença de detritos plásticos e densidade populacional humana em seu estudo analisando sedimentos de 18 locais variados nos seis continentes. A relação entre a densidade populacional e a acumulação de microplásticos pode ser analisada em diferentes regiões ao redor do mundo, apontando estas áreas como de elevado potencial para a geração e acumulação de microplásticos, sobretudo nos ambientes costeiros, como observado no Mar do Norte (THOMPSON et al., 2004; CLAESSENS et al., 2011; VAN CAUWENBERGHE et al., 2013) e o Mar Mediterrâneo (KABERI et al., 2013; VIANELLO et al., 2013), bem como na Ásia (REDDY et al., 2006; NG; OBBARD, 2006; ISMAIL et al., 2009) e a costa brasileira (CASTRO et al., 2018).

A ocupação e a influência humana nos arredores do sistema lagunar Maricá-Guarapina e em sua bacia hidrográfica podem intensificar o processo de degradação ambiental. O uso crescente deste ambiente para atividades turísticas, casas de veraneios e outras construções,

coloca em risco os ecossistemas existentes. Segundo Batista (2018), o fato de parte da laguna de Maricá estar inserida em uma Área de Proteção Ambiental, com restrição de uso e ocupação, tem colaborado diretamente para a manutenção de suas características naturais ao longo dos anos, mesmo com o intenso crescimento urbano observado nas últimas décadas na região. Nenhum lugar está totalmente seguro da poluição plástica, o que reforça a atenção que deve ser dada para a problemática e seus efeitos nos ecossistemas existentes.

O sistema fluvial que abastece as lagunas estudadas pode drenar materiais do continente para a área estudada, conforme modelagem realizada por Cruz (2010) e SisBahia (2018). Os rios são conhecidos por serem importantes vias de transporte de detritos de todos os tamanhos para os ambientes lagunares, como ressaltado por Toumi et al. (2019), Wakkaf et al. (2020) e He et al. (2021). Dessa maneira, conforme mencionado anteriormente, os rios e canais que desaguam neste ambiente, apesar de poucos, podem contribuir para a degradação destas lagunas devido à grande quantidade de materiais que transportam, sendo, também, uma potencial fonte de microplásticos para as lagunas estudadas.

Segundo Cruz (2010), a renovação de água na Lagoa de Maricá acontece parcialmente dentro do período de 30 Dias. Isso se dá devida a ausência de uma conexão direta desta laguna com o mar, possibilitando maior tempo de permanência de água neste ambiente e, conseqüentemente, maior acúmulo de material. O inverso ocorre na Lagoa de Guarapina, onde a presença do Canal de Ponta Negra proporciona maior renovação das águas nesta laguna, renovando-a quase que em sua totalidade no período de 7 à 30 dias (CRUZ, 2010), possibilitando a retirada de matérias pelo canal, assim como a contribuição marinha para a chegada de outros detritos. Segundo Cruz (2010), a lagoa mais interna do sistema lagunar Maricá-Guarapina (lagoa de Maricá), no mesmo período, não ultrapassa a taxa de renovação de 30%, sabendo-se que esta renovação se dá prioritariamente com águas advindas de rios que passam por regiões povoadas e só então chegam a este ambiente. A dragagem destes canais favorece a entrada de água nova no sistema, mas ainda não é o suficiente para renovar as águas deste corpo hídrico como um todo, pois não é capaz de atingir as regiões interioranas desta laguna. O maior tempo de permanência de água neste ambiente proporciona, então, maior tempo de disponibilidade destes detritos na coluna d'água, mantendo essas partículas em suspensão. O oposto sugere para a Lagoa de Guarapina, onde a mesma pode sofrer com uma taxa de renovação de águas quase que em sua totalidade, podendo atingir entre 80% e 100%, removendo os materiais sobrenadantes de dentro deste sistema.

Conforme observado por Abidli et al. (2017), em estudo realizado na Lagoa de Bizert (Itália), a ação das correntes observada no Canal de Bizerte pode influenciar diretamente nas

características e quantidade dos materiais encontrados no ambiente, pois o baixo conteúdo de microplásticos presentes nos sedimentos analisados pode estar relacionado à corrente de água marinha que entra pelo canal, removendo sedimentos superficiais e reduzindo o acúmulo de materiais suspensos na coluna d'água.

De maneira geral, a presença de microplásticos foi percebida de forma onipresente no ambiente estudando, corroborando com o identificado por He et al. (2021), na Austrália, onde o autor aponta para a existência deste micropoluinte em zonas não protegidas, assim como em zonas protegidas, indicando que possivelmente nenhum ambiente estaria isento deste tipo de contaminação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo se constitui no diagnóstico acerca da ocorrência e distribuição de microplásticos nos sedimentos de fundo, margem e nas águas superficiais das lagunas de Maricá e Guarapina (RJ). Os resultados aqui apresentados expressam a contaminação por microplásticos em 45 amostras analisadas ao longo de diversos setores das lagunas estudadas e submetidos a diferentes condições ambientais e relacionadas aos usos e a ocupação.

A concentração de microplásticos, com relação a quantidade de materiais encontrados, foi maior em sedimentos de margem lagunar, com um total de 2157 itens (40,40%), seguida pela água da superfície lagunar, com um total de 2082 itens (39,0%) e nos sedimentos de fundo, com 1100 itens (20,60%). Nas margens lagunares, a maior concentração de microplásticos ocorreu na Lagoa de Maricá (66,39%), podendo estar diretamente relacionada com atividades exercidas neste setor, como moradia e lazer. Dos microplásticos identificados na superfície da água, 90,59% foram encontrados na Lagoa de Maricá e 9,41% na Lagoa de Guarapina. Na superfície da água, a quantidade de materiais catalogados na Lagoa de Maricá foi 5,7 vezes maior em comparação com a Lagoa de Guarapina, com destaque para os locais de amostragem próximos às saídas dos principais rios e canais que desaguam neste ambiente, representando uma fonte potencial para a entrada de microplásticos nas lagunas, além da baixa taxa de renovação da água, favorecendo a acumulação desses detritos. A ocorrência de microplásticos no fundo lagunar foi observada em todas as amostras analisadas, apontando para uma ampla distribuição dentro das lagunas, divergindo do que sugere a literatura para predominância de microplásticos em área de menor hidrodinamismo no ambiente.

Os resultados demonstraram concentrações de microplásticos nas lagunas estudadas, com destaque para os tipos: fragmentos (36,09%), fibras (29,96%), filmes (26,72%), pellets (4,46%), espumas (2,29%) e isopores (0,48%). 98,89% dos microplásticos analisados aparentavam uma superfície desgastada, indicando atrito ou deterioração pela ação dos processos intempéricos; enquanto 1,11% possuíam características indicativas de preservação como brilho e pouco desgaste em sua superfície. O tamanho das partículas encontradas variou entre 0,1 e 1,9mm (81,74% dos materiais analisados), 2,0 e 3,9mm (10,71%) e 4,0 e 5,0mm (7,55%). Entre as cores mais encontradas predominaram azul para fragmentos (34,22%), fibras (26,83%) e filmes (52,52%), bronze para pellets (29,41%), e branca para espumas (36,07%) e isopores (96,43%).

Em termos gerais, dentre as possíveis fontes para os microplásticos encontrados no ambiente estão a descarga fluvial, que chega neste ambiente trazendo materiais diversos (através dos canais de São Bento, Mumbuca e Rio Doce), o escoamento superficial urbano, a lenta taxa de renovação da água nas lagoas, especialmente em Maricá, devido à ausência de conexão direta com o mar, a ocupação nas margens norte e nordeste da lagoa de Maricá e sul da lagoa de Guarapina, assim como os diferentes usos na planície costeira, tais como atividades turísticas, residenciais, de lazer e pesca, e a influência marinha, especialmente na Lagoa de Guarapina, mais eficaz durante a ocorrência de tempestades, quando ondas de maior energia entram no canal com grande competência para transportar sedimentos e materiais diversos de tamanhos variados.

A ocorrência de microplásticos em ambientes lagunares costeiros ainda representa uma lacuna científica, com poucos estudos voltados para esta problemática, mas que necessita ser investigada, representando um alerta frente ao crescimento das atividades ligadas aos usos que são exercidos neste ambiente, além da sua importância ecológica e ambiental. A influência humana nos arredores deste sistema lagunar e em sua bacia hidrográfica podem intensificar o processo de degradação deste ambiente e a disponibilidade de microplásticos para o mesmo. Na medida em que são influenciadas por processos naturais e antrópicos, as lagoas costeiras maricaenses não são apenas sítios preferenciais à acumulação de matéria orgânica e inorgânica proveniente de vastas áreas na bacia de drenagem, mas se apresentam de maneira importante na região, com a necessidade de adoção de medidas que visem à mitigação das ameaças e uma maior consciência pública deste local singular, formado por um mosaico de unidades de conservação de valor inestimável.



## REFERÊNCIAS

- ABIDLI, S. et al. The First Evaluation of Microplastics in Sediments from the Complex Lagoon-Channel of Bizerte (Northern Tunisia). *Water Air Soil Pollut*, v. 228, n.7, p. 1-10, July 2017.
- ABIDLI, S.; LAHBIB, Y.; TRIGUI EL MENIF, N. Microplastics in commercial molluscs from the lagoon of Bizerte (Northern Tunisia). *Mar Pollut Bull*, v.142, p. 243–252, May 2019.
- ALIPRANDO, D. C. et al. Análise tipomorfológica da paisagem e do sistema de espaços livres urbanos do município de Maricá (RJ): escala urbana - baía. *Paisagem E Ambiente*, v.30, n. 33, p. 83-96, junho de 2014.
- AMARANTE, O. A. C.; SILVA, F. J. L.; FILHO, L. G. R. *Estado do Rio de Janeiro: Atlas Eólico*. 1 ed. Rio de Janeiro: Camargo Schubert, 2002.
- ANDRADY, A. L.; NEAL, M. A. Applications and societal benefits of plastics. *Phil. Trans. Biol. Sci.* v. 364, n. 1526, p.1977-1984, July 2009.
- ANDRADY, A.L. Microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull*, v. 62, n.8, p. 1596–1605, July 2011.
- ARETOULAKI, E. et al. Marine plastic littering: A review of socio economic impacts. *J. Sustain. Sci. Manag.* v.16, n.3, p. 276–300, Apr. 2021.
- ATHAWUDA, A.M.G.A. D.; JAYASIRI, H. B.; THUSHARI, G.G.N. Quantification and morphological characterization of plastic litter (0.30–100 mm) in surface waters of off Colombo, west coast of Sri Lanka. *Environ Monit Assess*, v.192, n. 509, p. 1-17, July 2020.
- AVIO, C. G.; GORBI, S.; REGOLI, F. Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: First observations in commercial species from Adriatic Sea. *Mar Environ Res*, v.111, p. 18-26, Oct. 2015.
- BAGAEV, A. et al. Anthropogenic fibres in the Baltic Sea water column: Field data, laboratory and numerical testing of their motion. *Sci. Total. Environ*, v. 599–600, p. 560–571, Dec. 2017.
- BANCIN, L. J. et al. Two-dimensional distribution and abundance of micro- and mesoplastic pollution in the surface sediment of Xialiao Beach, New Taipei City, Taiwan. *Mar Pollut Bull*, v.140, p. 75-85, Mar. 2019.
- BARBIÈRE, E. B. Estudo preliminar da batimetria do Sistema lagunar Maricá-Guarapina comparativamente à Lagoa de Araruama e suas implicações no teor de salinidade. In: Seminário Interno de Geoquímica, 4, 1985, [S.l.]. *Anais....* [S.l.: s.n.], 1985, p. 4.
- BARNES, D. K. A. Invasions by marine life on plastic debris. *Nature*, v. 416, p. 808–809, Apr. 2002.

BARNES, D. K. A.; GALGANI, F.; THOMPSON, R. C.; BARLAZ, M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, v. 364, p.1526, p. 1985–1998, july 2009.

BATISTA, A. S. *Diagnóstico geoambiental da Lagoa de Maricá (RJ) como subsídio as formas de uso e ocupação do litoral*. 2018. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2018.

BAPTISTA NETO, J. A. B.; DA FONSECA, E. M. Seasonal, spatial and compositional variation of beach debris along of the eastern margin of Guanabara Bay (Rio de Janeiro) in the period of 1999–2008. *J. of Integ. Coastal Zone Management*, v. 11, n.1, p. 31–39, mar. 2011.

BAYO, J.; ROJO, D.; OLMOS, S. Abundance, morphology and chemical composition of microplastics in sand and sediments from a protected coastal area: The Mar Menor lagoon (SE Spain). *Environ Pollut*, v.252, p. 1357-1366, sept. 2019.

BELLASI, A. et al. Microplastic Contamination in Freshwater Environments: A Review, Focusing on Interactions with Sediments and Benthic Organisms. *Environments*, v.7, n.4, p.1-28, apr. 2020.

BERGMANN, M.; GUTOW, L.; KLAGES, M. *Marine Anthropogenic Litter*. 1 ed. Springer International Publishing, 2015.

BESLEY, A. et al. A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Mar Pollut Bull*, v.114, n.1, p.77-83, jan. 2017.

BLAIR, R. M. et al. Micro- and Nanoplastic Pollution of Freshwater and Wastewater Treatment Systems. *Springer Sci Rev*, v.5, p.19–30, june 2017.

BONELLO, G.; VARRELLA, P.; PANE, L. First Evaluation of Microplastic Content in Benthic Filter-feeders of the Gulf of La Spezia (Ligurian Sea). *J. Aquat. Food Prod. Technol.*, v.27, n.3, p.284–291, jan. 2018.

BROWNE, M. A. et al. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environ. Sci. Technol.* v.45, n.21, p.9175–9179, sept. 2011.

BUCHANAN, J. B. Pollution by synthetic fibres. *Mar Pollut Bull*, v. 2, n. 2, p. 23, 1971.

CADORE, S.; MATOSO, E.; SANTOS, M. C. A espectrometria atômica e a determinação de elementos metálicos em material polímero. *Química Nova*, v.3, n.6, p.1533-1542, 2008.

CALAZANS, D.; MUELBERT, J. H.; MUXAGATA, E. Organismos planctônicos. In: CALAZANS, D. (Org.) *Estudos Oceanográficos: Do instrumental ao prático*. 1 ed. Pelotas: Editora Textos, 2011, p. 200-275.

CARBERRY, M.; O'CONNOR, W.; PALANISAMI, T. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environ Int*, v.115, p.400–409, june 2018.

- CARMOUZE, J.P.; DOMINGOS, P Physical variables, carbon cycling and primary producer couplings in a shallow tropical lagoon (Barra Lagoon, Brazil). *Aquat Ecosyst Health Manag*, v.4, n.1, p. 19-31, apr. 2001.
- CARPENTER, E.J.; SMITH, K. Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science*, v. 175, n. 4027, p. 1240-1241, mar. 1972.
- CARVALHO, D. G.; BAPTISTA NETO, J. A. Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay Southeast Brazil. *Ocean Coast Manag*, v. 128, p. 10-17, apr. 2016.
- CASTRO, R. O.; SILVA, M. L; ARAÚJO, F. V. Review on microplastic studies in Brazilian aquatic ecosystems. *Ocean Coast Manag*, v.165, p.385–400, nov. 2018.
- CASTRO, R. O.; SILVA, M. L; ARAÚJO, F. V. Spatio-temporal evaluation of macro, meso and microplastics in surface waters, bottom and beach sediments of two embayments in Niterói, RJ, Brazil. *Mar Pollut Bull*, v.160, p. 1-21, nov. 2020.
- CASTRO, E. C. P.; SEABRA, V. S. Mapeamento de uso e cobertura da terra no município de Maricá. In: Instituto Municipal de Informação e Pesquisa Darcy Ribeiro. (Org.). *Estudos Maricaenses: O município de Maricá em debate*. 1ed. Maricá: IDR, v. 1, 2011, p. 155-169.
- CHESHIRE, A. C. et al. *UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter*. Nairobi: UNEP Regional Seas, 2009.
- CHICO-ORTIZ, N. et al. Microplastics in Ghanaian coastal lagoon sediments: Their occurrence and spatial distribution. *Reg Stud Mar Sci*, v.40, p.1-18, nov. 2020.
- CHUBARENKO, I. et al. On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment *Mar. Pollut. Bull.*, v.108, n.1-2, p.105– 112, july 2016.
- CLAESSENS, M. et al. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Mar. Pollut. Bull*, v.62, n.10, p. 2199–2204, oct. 2011.
- CLIMATE-DATA. Dados Climáticos 2017. Disponível em: <<https://pt.climatedata.org/location/3999/>>.
- COE, J. M.; ANDERSSON, S.; ROGERS, D. B. Marine debris in the Caribbean Region. In: COE, J.M., ROGERS, D.B. Eds., *Marine Debris: Sources, Impacts and Solutions*. New York: Springer, 1997, p. 25–34.
- COLABUONO, F.I. et al. Plastic ingestion by Procellariiformes in southern Brazil. *Mar. Pollut. Bull*, v.58, n.1, p. 93–96, jan. 2009.
- COLE, M. et al. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Pollut. Bull*, v. 62, n.12, p. 2588–2597, dec. 2011.
- COLE, M. et al. Isolation of microplastics in biota-rich seawater samples and marine organisms. *Sci. Rep.*, v.4, n.4528, p.1-8, mar. 2014.

COLLING, A.; BEMVENUTI, C. Organismos bentônicos. In: CALAZANS, D. (Org.) *Estudos Oceanográficos: Do instrumental ao prático*. 1 ed. Pelotas: Editora Textos, 2011, p.276-296.

COLTON, J. B.; BURNS, B. R.; KNAPP, F. D. Plastic Particles in Surface Waters of the Northwestern Atlantic. *Science*, v.185, n. 4150, p.491-497, aug. 1974.

CORRÊA, L. F. et al. Distribuição e fonte de resíduos sólidos ao longo do arco praial de Jaconé-Saquarema (RJ). *Rev. Tamoios*, v.15, n. 1, p. 57-79, jan./jun. 2019.

CORRÊA, L. F. et al. Poluição por resíduos sólidos e microplásticos em ambientes costeiros. In: SILVA, H.C. (Orgs). *Avaliação, Diagnóstico e Solução de Problemas Ambientais e Sanitários*. 1 ed. Ponta Grossa: Editora Atena, 2020, p.72-85.

CRUZ, C. B. M. et al. Impactos ambientais no Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina. In: Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 8, 1996, Salvador. *Anais...*São José dos Campos: INPE, 1996. p.137-141.

CRUZ, A. C. *Análise de intervenções no sistema lagunar de Maricá-RJ com auxílio de modelagem hidrodinâmica ambiental*. 2010. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

ÇULLU, F. A.; SONMEZ, V. Z.; SIVRI, N. Microplastic contamination in surface waters of the Küçükçekmece Lagoon, Marmara Sea (Turkey): Sources and areal distribution. *Environ Pollut*, v.268, p.1-12, January 2021.

DE-LA-TORRE, G. E. et al. Abundance and distribution of microplastics on sandy beaches of Lima, Peru. *Mar. Pollut. Bull*, v.151, p.1-6, feb. 2020.

DOWARAH, K.; DEVIPRIYA, S. P. Microplastic prevalence in the beaches of Puducherry, India and its correlation with fishing and tourism/recreational activities. *Mar. Pollut. Bull*, v.148, p.123-133, nov. 2019.

FALCÃO, P. M. Lixo marinho de origem industrial e as suas abordagens de risco. In: ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE RISCOS, PREVENÇÃO E SEGURANÇA. *Multidimensão e territórios de risco*. 1 ed. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2014, p. 579-582.

FARIA, C. R. S. M.; JARDIM, T. D. M. Rio+20: oceanos, mares e zonas costeiras. Boletim Legislativo, n. 17, p.1-6, maio 2012. Disponível em: <<http://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/outras-publicacoes/tema-se-agendas-para-o-desenvolvimento-sustentavel/rio-20-oceanos-mares-e-zonas-costeiras>>. Acesso em: 15 jul. 2020.

FAURE, G. et al. Pollution due to plastics and microplastics in Lake Geneva and in the Mediterranean Sea. *Archives des sciences*, v.65, n.1-2, p. 157-164, 2012.

FISNER, M. et al. Quantifying microplastic pollution on sandy beaches: the conundrum of large sample variability and spatial heterogeneity. *Environ Sci Pollut Res Int*, v. 24, n. 15, p. 13732-13740, apr. 2017.

FRIAS, J. P. G. L. et al. Microplastics in coastal sediments from Southern Portuguese shelf waters. *Mar Environ Res*, v.114, p.24–30, mar. 2016.

GALLAGHER, A.; REES, A.; ROWE, R.; STEVENS, J.; WRIGHT, P. Microplastics in the Solent estuarine complex, UK: An initial assessment. *Mar. Pollut. Bull*, v.102, n.2, p. 243–249, jan. 2016.

GALLO, F. et al. Marine litter plastics and microplastics and their toxic chemicals components: the need for urgent preventive measures. *Environ Sci Eur*, v. 30, n.1, p.1-14, apr. 2018.

GENC, A. N.; VURAL, N.; BALAS, L. Modeling transport of microplastics in enclosed coastal waters: A case study in the Fethiye Inner Bay. *Mar. Pollut. Bull*, v. 150, p.1-17, 2019

GROUP OF EXPERTS ON THE SCIENTIFIC ASPECTS OF MARINE ENVIRONMENTAL PROTECTION (GESAMP). *Guidelines or the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean*. 1 ed. [S.I]: UNEP, 2019. 130p.

GEYER, R.; JAMBECK, J.R.; LAW, K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.*, v.3, n.7, p.1-5, july 2017.

GREGORY M. R.; ANDRADY A. L. Plastics in the marine environment. In: ANDRADY, A.L. *Plastics and the environment*. 1 ed. New York: John Wiley and Sons, 2003. p. 379–402.

GUERRA, L. V. et al. Biochemical and microbiological tools for the evaluation of environmental quality of a coastal lagoon system in Southern Brazil. *Braz J Biol*, v.71, n.2, p. 461-468, may 2011.

HATJE, V.; COSTA, M. F. D.; CUNHA, L. C. D. Oceanografia e química: unindo conhecimentos em prol dos oceanos e da sociedade. *Quim. Nova*, v. 36, n.10, p.1497-1508, set. 2013.

HE, B. et al. Dispersal and Transport of Microplastics in River Sediments. *Environ. Pollut*, v.279, p.1-9, june 2021.

HEO, N. W. et al. Distribution of small plastic debris in cross-section and high strandline on Heungnam beach, South Korea. *Ocean Sci J*, v.48, n.2, p.225–233, july 2013.

HIDALGO-RUZ, V. et al. Microplastics in the marine environment: a review of methods used for identification and quantification. *Environ. Sci. Technol.*, v.46, n.6, p.3060-3075, feb. 2012.

HIDALGO-RUZ, V.; THIEL, M. Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science project. *Mar Environ Res*, v.87-88, p. 2–18, june/july 2013.

HINATA, H. et al. An estimation of the average residence times and onshore-offshore diffusivities of beached microplastics based on the population decay of tagged meso- and macro litter. *Mar Pollut Bull.*, v.122, n.1-2, p.17–26, sept. 2017.

HOLZER, W.; CRICHYNO J.; PIRES, A.C. Sustentabilidade da urbanização em áreas de restinga: uma proposta de avaliação pós-ocupação. *Paisagem Ambiente: ensaios*, n. 19, p. 49 – 66, dez. 2004.

HORTON, A. A. et al. Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK – Abundance, sources and methods for effective quantification. *Mar Pollut Bull.*, v.114, n.1, p. 218–226, jan. 2017.

IVAR DO SUL J. A. et al. Plastic pollution at a sea turtle conservation area in NE Brazil: contrasting developed and undeveloped beaches. *Estuaries and Coasts*, v.34, p.814- 823, mar. 2011.

JAMBECK, J.R. et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, v.347, n.6223, p.768–77, feb. 2015.

KABERI, H. et al. Microplastics along the shoreline of a Greek island (Kea isl., Aegean Sea): types and densities in relation to beach orientation, characteristics and proximity to sources. In: International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE) and SECOTOX Conference, 4, 2013, Mykonos Island. *Proceedings...* Mykonos Island: [s.n], 2013. p. 24-28.

KAISER, J. The dirt on ocean garbage patches. *Science*, v.328, n.5985, p.1506, jun. 2010.

KJERFVE, B.; MAGILL, K. E. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. *Mar Geol*, v. 88, n.3-4, p.187-199, aug. 1989.

KJERFVE, B. et al. Hydrological regimes in Lagoa de Guarapina, a shallow Brazilian coastal lagoon. *Acta Limnol Brasil*, v.3, p. 931-949, 1990.

KJERFVE, B. Coastal Lagoons. In: \_\_\_\_\_. *Coastal Lagoon Processes*. 1 ed. Amsterdam: Elsevier Oceanography Series, 1994. p. 1-8.

KUKULKA, T. et al. The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris. *Geophys. Res. Lett.*, v.39, n.7, p.1-6, Apr. 2012.

LACERDA, L. D.; GONÇALVES, G. O. Mercury distribution and speciation in waters of the coastal lagoons of Rio de Janeiro, SE Brazil. *Mar Chem*, v. 76, n.1-2, p. 47-58, oct. 2001.

LAUT, L. et al. Organic compounds as proxies of the sedimentary environmental quality of the Maricá-Guarapina lagoon system (SE, BRAZIL). *J. Sediment. Environ.*, v.4, n.2, p.159–173, apr.-june 2019.

LEBRETON, L.; GREER, S.; BORRERO, J. Numerical modeling of floating debris in the world's oceans. *Mar. Pollut. Bull.*, v.64, n.3, p.653–661, mar. 2012.

- LEANDRO, C. T.; SILVA, A. C.; SANTOS, E. M. Lixo em áreas de nidificação de tartarugas-marinhas no litoral de Ipojuca/PE: uma breve avaliação e ações educativas. *Revista CEPSUL*, v.10, p.1-16, maio 2021.
- LI, J. et al. Microplastics in mussels sampled from coastal waters and supermarkets in the United Kingdom. *Environ. Pollut.*, v.241, p.35–44, oct. 2019.
- LI, B. et al. Fish Ingest Microplastics Unintentionally. *Environ. Sci. Technol.*, v.55, n.15, p.10471–10479, july 2021.
- LI, W. Occurrence and characteristics of microplastics pollution in different types of urban runoff. In: Conference on Chemical, Biological & Environmental Science, 21, 2020, Barcelona. *Annals...Barcelona*: [s.n.], 2020. p.9-12.
- LIMA A. R. A.; BARLETTA M.; COSTA M. F. Seasonal distribution and interactions between plankton and microplastics in a tropical estuary. *Estuar Coast Shelf Sci*, v.165, p.213-225, nov. 2015.
- LIUBARTSEVA, S. et al. Regional approach to modeling the transport of floating plastic debris in the Adriatic Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, v.103, n1-2, p.115–127, feb. 2016.
- LOHR, A. et al. Solutions for global marine litter pollution. *Curr Opin Environ Sustain*, v.28, p.90–99, oct. 2017.
- LORENZI, L. et al. Plastic floating debris along a summer-winter estuarine environmental gradient in a coastal lagoon: how does plastic debris arrive in a conservation unit. *Environ Sci Pollut Res*, v.27, Não paginado, jan. 2020.
- MACEDO, A. V. et al. Poluição por resíduos sólidos em praias da baía de Ilha Grande: Angra dos Reis e Paraty (RJ). *Mares*, v.1, n.2, p. 53-66, abr. 2020.
- MANZANO, A.B. *Distribuição, taxa de entrada, composição química e identificação de fontes de grânulos plásticos na Enseada de Santos, SP-Brasil*. 2009. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Oceanografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- MARTELLINI, T. et al. A snapshot of microplastics in the coastal areas of the Mediterranean Sea. *Trends Analyt Chem.*, v.109, p.173–179, dec. 2018.
- MARTINS, K. C. et al. Cidades sustentáveis frente às mudanças globais: um resgate da expansão urbana de Maricá para pensar o futuro. In: Instituto Municipal de Informação e Pesquisa Darcy Ribeiro. (Org.). *Estudos Maricaenses: O município de Maricá em debate*. 1ed. Maricá: IDR, v. 1, 2011, p. 107-131.
- MATHALON, A.; HILL, P. Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Mar Pollut Bull*, v.81, n.1, p.69–79, apr. 2014.
- MASON, S. A. et al. Pelagic plastic pollution within the surface waters of Lake Michigan, USA. *J. Great Lake. Res.*, v.42, n.4, p753-759, aug. 2016.

- MCEACHERN, K. et al. Microplastics in Tampa Bay, Florida: Abundance and variability in estuarine waters and sediments. *Mar Pollut Bull*, v.148, p.97–106, nov. 2019.
- MOORE, C. J. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environ Res*, v.108, n.2, p.131–139, oct. 2008.
- MOTA, G. A.; BATISTA, L. M.; CUNHA, C. de O. Impactos dos microplásticos na saúde aquática e humana: Impacts of microplastics on aquatic and human health. *Archives of Health*, v. 2, n. 4, p. 1105–1108, jul. 2021.
- MUEHE, D. C. E. H. Sedimentology and Topography of a High Energy Coastal Environment Between Rio de Janeiro and Cabo Frio – Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.51, n.3, p. 473-481, 1979.
- MURPH, F.; QUINN, B. The effects of microplastic on freshwater *Hydra attenuata* feeding, morphology & reproduction. *Environ Pollut*, v. 234, p.487–494, mar. 2018.
- NEL, H. A.; DALU, T.; WASSERMAN, R. J. Sinks and sources: assessing microplastic abundance in river sediment and deposit feeders in an austral temperate urban river system. *Sci. Total Environ.*, v.612, p.950-956, jan. 2017.
- NG, K. L.; OBBARD, J. P. Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment. *Mar Pollut Bull*, v. 52, n.7, p. 761–767, july 2006.
- OLARINMOYE, O. M. et al. Microplastic Presence in Sediment and Water of a Lagoon Bordering the Urban Agglomeration of Lagos, Southwest Nigeria. *Geosciences*, v.10, n.12, p.1-14, dec. 2020.
- OLIVATTO, G. P. et al. Microplásticos: Contaminantes de Preocupação Global no Antropoceno. *Rev. Virtual Quim.*, v.10, n.6, p.1968-1989, nov./dez. 2018.
- OLIVEIRA, L. P. H. et al. Observações biogeográficas e hidrobiológicas sobre a Lagoa de Maricá. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, v. 53, n. 2-4, p. 171-227, dez. 1955.
- OZTEKIN, A.; BAT, L.; & GOKKURT BAKI, O. Beach Litter Pollution in Sinop Sarikum Lagoon Coast of the Southern Black Sea. *Turk. J. Fish. & Aquat. Sci*, v.20, n.3, p. 197-205, mar. 2020.
- PARDAL, M. T. DA C. *Mudanças morfológicas e suas implicações para a estabilidade da praia na Região do Recanto de Itaipuaçu, Maricá, RJ*. 2009. 148 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha) – Departamento de Geologia, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2009.
- PATCHINEELAM, S. R. C. M. et al. Atmospheric lead deposition into Guarapina Lagoon, Rio de Janeiro State, Brazil. In: SEELIGER, U.; LACERDA, L.D.; PATCHINEELAM, S.R. (Orgs.). *Heavy Metals in the Coastal Environment of Latin America*. Berlin: Springer Verlag, 1988. p. 6-76.



PINHEIRO, A. B. et al. Dinâmica e estabilidade da praia da APA de Maricá (RJ) entre 2008 e 2014. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 16, 2015, Teresina. *Anais...* Teresina: [s.n.], 2015. p.1477-1484.

PLASTICS EUROPE – ASSOCIATION OF PLASTICS MANUFACTURES. *Plastics – the Facts 2017*. Disponível em: <[http://www.plasticseurope.org/application/files/2415/1689/2630/2017plastics\\_the\\_facts.pdf](http://www.plasticseurope.org/application/files/2415/1689/2630/2017plastics_the_facts.pdf)>. Acesso em: 15 de julho de 2020.

POLLERY, R.C.G. *Comportamento e Distribuição dos Nutrientes na Água Intersticial de Sedimentos no Estuário do Rio Mombuca - Maricá – RJ*. 1995.103 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) - Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 1995.

REES, G.; POND, K Marine litter monitoring programmes—A review of methods with special reference to national surveys. *Mar Pollut Bull*, v.30, n.2, p.103–108, feb. 1995.

REISSER, J. et al. The vertical distribution of buoyant plastics at sea: an observational study in the North Atlantic Gyre. *Biogeosciences*, v.12, n.4, p.1249–1256, feb. 2015.

RENZI, M.; GUERRANTI, C.; BLAŠKOVIĆ, A. Microplastic contents from maricultured and natural mussels. *Mar Pollut Bull*, v.131, p.248–251, june 2018.

REDDY, S. M. et al. Description of the small plastics fragments in marine sediments along the Alang-Sosiya ship-breaking yard, India. *Estuar Coast Shelf Sci*, v. 68, n.3-4, p. 656-660, july 2006.

RIST, S. et al. A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. *Sci Total Environ*, v.626, p.720–726, june 2018.

RODRIGUES, B.C.B. et al. Identificação dos principais problemas ambientais no sistema lagunar de Maricá no estado do Rio de Janeiro. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 16, 2015, Teresina. *Anais...* Teresina: [s.n.], 2015. p. 1910-1916.

ROMEO, T. et al. First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, v.95, n.1, p.358–36, june 2015.

ROSA, C.; WIDMER, W. M. Diagnóstico do lixo marinho na Praia de Navegantes/SC em períodos de baixa e alta vazão do Rio Itajaí-Açu. *Desenvolv. Meio Ambiente*, v. 58, p. 126-146, jul./dez. 2021.

ROSS, C. P. et al. Synthetic shorelines in New Zealand? Quantification and characterisation of microplastic pollution on Canterbury’s coastlines. *N Z J Mar Freshwater Res*, v.50, n.2, p. 317–325, mar. 2016.

RUTTENBERG, K. C. The global phosphorus cycle. In: HOLLAND, H. D.; TUREKIAN, K. K. (Eds.) *Treatise on geochemistry*. Amsterdam: Elsevier. v. 8, 2003. p. 585-643.

RYAN, P. G. et al. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, v. 364, n.1526, p. 1999-2012, july 2009.

SAGAWA, N.; KAWAAI, K.; HINATA, H. Abundance and size of microplastics in a coastal sea: comparison among bottom sediment, beach sediment, and surface water. *Mar Pollut Bull*, v.133, p.532 – 542, aug. 2018.

SANTANA NETO, S. P.; SILVA, I. R.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Distribuição do lixo marinho e sua interação com a dinâmica de ondas e deriva litorânea no litoral norte do estado da Bahia. *Geociências*, v. 35, n. 2, p.231-246, 2016.

SANTIAGO, N. L. A Vulnerabilidade de Assoreamento do Canal da Costa de Itaipuaçu na Porção Oeste do Sistema Lagunar de Maricá (RJ). In: Simpósio Nacional de Geomorfologia e Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 7, 2008, Belo Horizonte. *Anais...* São Paulo: Editora Tecart, 2008.

SANTOS, I. R.; BAPTISTA NETO, J. A., WALLNER-KERSANACH, M. Resíduos Sólidos. In: BAPTISTA NETO J. A.; WALLNER-KERSANACH, M.; PATCHINEELAM, S. M. (Orgs.). *Poluição marinha*. 1 ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2008. p. 309-330.

SCHERER, C. et al. Comparative assessment of microplastics in water and sediment of a large European river. *Sci. Total Environ.*, v. 738, p. 1-11, oct. 2020.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (RJ). *Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental*. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001, p.73.

SHIRU, M.S. et al. Challenges in water resources of Lagos mega city of Nigeria in the context of climate change. *J. Water Clim. Chang.*, v.11, n.4, p.1067-1083, sept. 2019.

SIEBER, R.; KAWECKI, D.; NOWACK, B. Dynamic probabilistic material flow analysis of rubber release from tires into the environment, *Environmental Pollution*, v. 258, p.1-22, mar. 2019.

SILVA, A. L. C. et al. Retrogradação da Barreira Arenosa e Formação de Leques de Arrombamento na Praia de Itaipuaçu (Oeste de Maricá, RJ). *Rev. Bras. Geomorfol.*, v.9, n. 2, p. 75-82, jul./dez. 2008.

SILVA, A. L. C.; SILVA, M. A. M.; SANTOS, C. L. Comportamento Morfológico e Sedimentar da Praia de Itaipuaçu (Maricá, RJ) nas Últimas Três Décadas. *Rev. Bras. Geociênc.*, v. 38, n.1, p. 89-99, mar. 2008.

SILVA, A. L. C. et al. Caracterização geomorfológica e sedimentar da planície costeira de Maricá (Rio de Janeiro). *Rev. Bras. Geomorfol*, v. 15, n.2, p. 231- 249, abr./jun. 2014.

SILVA, A. L. C. et al. Geomorphology and Sedimentary Facies of the Maricá Lagoon (State of Rio de Janeiro, Brazil). In: BOUZA, P.; RABASSA, J.; BILMES, A. (Orgs.). *Advances in Geomorphology and Quaternary Studies in Argentina*. 1 ed. [S.l.]: Springer. 2021.

SILVESTRE, C. P. et al. Investigation of the internal structure and evolution of the holocene barrier of Maricá (Rio de Janeiro). *Rev. Bras. de Geofis.*, v.33, n.3, p. 461–475, 2015.

SILVESTRE, C.P. et al. Geomorfologia, sedimentação e processos atuantes na Lagoa de Maricá, Rio de Janeiro. *Rev. Bras. Geomorfol.*, v. 18, n. 2, p. 237- 256, maio 2017.

SMITH, M. et al. Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Curr Environ Health Rep.*, v.5, p.375-386, aug. 2018.

SISBAHIA. ed. Rio de Janeiro: Fundação COPPETEC - COPPE/UFRJ, 2018. Disponível em: <<http://www.baiasdobrasil.coppe.ufrj.br>>.

SOMERVILLE, S.; MILLER, K.; MAIR, J. Assessment of the aesthetic quality of a selection of beaches in the Firth of Forth, Scotland. *Mar Pollut Bull*, v.46, n.9, p.1184–1190, sep. 2003.

SOUSA, L. G. R.; MIRANDA, A. C.; MEDEIROS, H. B. O sistema lagunar de Maricá: um estudo de impacto ambiental. *ANAP.*, v. 9, n. 2. p. 153-165, nov. 2013.

SOUZA, J. S.; NETO, H, C, O.; DETERLING, L. C. O impacto da poluição: pesquisa feita a partir da Lagoa de Maricá, cidade com foco turístico no Rio de Janeiro. In: SEIXAS FILHO, J.T.; SILVA, C.A.F. (Orgs.). *Lagoas do Rio – II Seminário das águas*. 1 ed. Rio de Janeiro: H.P. Comunicação, 2016, p. 91-102.

STRADY, E. et al. Baseline assessment of microplastic concentrations in marine and freshwater environments of a developing Southeast Asian country, Viet Nam. *Mar Pollut Bull*, v.162, p.1-10, nov. 2020.

SCIENTIFIC AND TECHNICAL ADVISORY PANEL (STAP). *Marine debris as a global environmental problem: introducing a solutions based framework focused on plastic*. Washington: STAP, 2011.

SYBERG, K. et al. Microplastics: addressing ecological risk through lessons learned. *Environ Toxicol Chem*, v.34, n.5, p.945–953, feb. 2015.

TANAKA, K. et al. Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Mar. Pollut. Bull.*, v.69, n. 1-2, p. 219-222, apr. 2013.

THIEL, M. et al. Anthropogenic marine debris in the coastal environment: a multi-year comparison between coastal waters and local shores. *Mar. Pollut. Bull.*, v.71, n.1-2, p.307–316, june 2013.

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

TOUMI, H.; ABIDLI, S.; BEJAOU, M. Microplastics in freshwater environment: the first evaluation in sediments from seven water streams surrounding the lagoon of Bizerte (Northern Tunisia). *Environ Sci Pollut Res Int.*, v.26, p. 14673-14682, mar. 2019.

TRESTRAIL, C. et al. Foaming at the mouth: ingestion of floral foam microplastics by aquatic animals. *Sci. Total Environ.*, v.705, p. 1-45, feb. 2020.

TURRA, A. et al. *Lixo nos mares: do entendimento à solução*. 1 ed. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2020.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Plastic pellets in the aquatic environment sources and recommendations. Duxbury: Battelle Ocean Sciences, 1992. 108 p. Relatório Técnico.

VAN CAUWENBERGHE, L. et al. Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats. *Environ. Pollut.*, v.199, p.10–17, apr. 2015.

VENDEL, A.L. et al. Widespread microplastic ingestion by fish assemblages in tropical estuaries subjected to anthropogenic pressures. *Mar. Pollut. Bull.*, v.117, n.1-2, p. 448–455, apr. 2017.

VERMA, R. et al. Toxic Pollutants from Plastic Waste- A Review. *Procedia Environ Sci*, v.35, p.701–708, 2016.

VIANELLO, A. et al. Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuar Coast Shelf Sci*, v.130, p.54–61, sept. 2013.

VISNE, A.; BAT, L. Plastic Pollution in Sinop Sarikum Lagoon Coast in the Southern Black Sea. CIESM Congress, 41, 2016, Kiel. Annals... Kiel: [s.n.], 2016, p.235.

WAGNER, M. et al. Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environ Sci Eur*, v. 26, n.12, p.1-9, july 2014.

WAITE, H. R.; DONNELLY, M. J.; WALTERS, L. J. Quantity and types of microplastics in the organic tissues of the eastern oyster *Crassostrea virginica* and Atlantic mud crab *Panopeus herbstii* from a Florida estuary. *Mar Pollut Bull*, v.129, n.1, p.179–185, apr. 2018.

WAKKAF T. et al. Characterization of microplastics in the surface waters of an urban lagoon (Bizerte lagoon, Southern Mediterranean Sea): Composition, density, distribution, and influence of environmental factors. *Mar Pollut Bull.*, v. 160, p.1-12, nov. 2020.

WAKKAF, T. et al. Microplastics in edible mussels from a southern Mediterranean lagoon: Preliminary results on seawater-mussel transfer and implications for environmental protection and seafood safety. *Mar Pollut Bull*, v.158, p.1-7, sept. 2020.

WALDSCHLAGER, K. et al. The way of microplastic through the environment – Application of the source-pathway-receptor model (review). *Sci. Total Environ.*, v.713, p.1-20, apr. 2020.

WAYMAN, C.; NIEMANN, H. The fate of plastic in the ocean environment – a minireview. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, v.23, n.2, p.198–212, feb. 2021.

WOOTTON, N.; REIS-SANTOS, P.; GILLANDERS, B.M. Microplastic in fish – A global synthesis. *Rev Fish Biol Fisheries.*, v.31, p.753–771, sept. 2021.

WRIGHT, S. L.; KELLY, F. J. Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environ Sci Technol*, v.51, n.12, p.6634–6647, may 2017.

WU, H. H. A study on transnational regulatory governance for marine plastic debris: Trends, challenges, and prospect. *Mar Policy*, v.136, p.1-10, feb. 2022.

YIN, L. et al. Comparison of the abundance of microplastics between rural and urban areas: A case study from East Dongting Lake. *Chemosphere*, v. 244, p.1-26, apr. 2020.

ZANELLA, V. T. Poluição marinha por plásticos e o direito internacional do ambiente. *RIDB*, Ano 2, n.12, p.14473-14500, 2013.

ZBYSZEWSKI, M.; CORCORAN, P. L. Distribution and Degradation of Fresh Water Plastic Particles Along the Beaches of Lake Huron, Canada. *Water Air Soil Pollut*, v. 220, n.1-4, p.365–372, feb. 2011.

ZEPP, R. G. et al. Effects of solar UV radiation and climate change on biogeochemical cycling: interactions and feedbacks. *Photochem Photobiol Sci*, v.10, n.2, p.261-279, feb. 2011.

ZHANG, H. Transport of microplastics in coastal seas. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, v.199, p.74–86, dec. 2017.