



DEPARTAMENTO DE
CIÊNCIAS E ENGENHARIA DO AMBIENTE

ANA BEATRIZ LARES REBOCHO

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

DISTRIBUIÇÃO E ABUNDÂNCIA DE MICROPLÁSTICOS NAS ÁGUAS DO ATLÂNTICO NORDESTE

MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE – Perfil Sistemas Ambientais

Universidade NOVA de Lisboa
abril, 2025



Distribuição e abundância de microplásticos nas águas do Atlântico Nordeste

Copyright © Ana Beatriz Lares Rebocho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Paula Sobral e à Doutora Carla Palma, agradeço toda a orientação, incentivo, apoio, disponibilidade e paciência na elaboração deste trabalho.

À bolseira do Instituto Hidrográfico Vanessa Morgado por toda a disponibilidade, orientação, apoio e ajuda prestados ao longo deste trabalho.

À bolseira Andreia Guilherme por toda a disponibilidade, orientação e apoio prestado ao longo deste trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais, aos meus irmãos e à minha avó, por todo o carinho, apoio, motivação e paciência em todos os momentos da minha vida e neste trabalho.

À minha amiga Catarina, pela compreensão, apoio e incentivo ao longo desta dissertação.

À minha colega e amiga Rita por todo o apoio, incentivo e compreensão ao longo desta dissertação, desde a escolha do tema até à versão final.

Aos meus amigos, pela força e apoio transmitido, não só ao longo deste processo, mas também ao longo de todo o meu percurso.

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito do projeto i-Plastic (MICROPLAST/0003/2018), (MICROPLAST/0004/2018) financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia FCT-MCTES, Portugal).

*"No water, no life.
No blue, no green."
(Dr. Sylvia Earle)*

RESUMO

A poluição marinha por plásticos é um tema de preocupação crescente, tendo em consideração os danos ambientais que vêm ocorrendo em vários ecossistemas marinhos. Embora os plásticos apresentem um vasto número de benefícios para a sociedade, representam também uma preocupação crescente para o meio marinho. O aumento da produção de plásticos associado ao uso abundante de plástico descartável e a uma má gestão deste tipo de materiais, tem originado um aumento destes resíduos.

Esta dissertação tem como objetivos a identificação, caracterização e quantificação de microplásticos em amostras de água, recolhidas ao largo da costa oeste de Portugal Continental, entre Praia de Mira e Vieira de Leiria. Os dados utilizados nesta dissertação foram obtidos no âmbito do projeto i-plastic: *Dispersion and impacts of micro and nanoplastics in the tropical and temperate oceans: from regional land-ocean interface to the open ocean*. Foram efetuadas duas campanhas oceânicas a bordo do N.R.P. Andrómeda tendo sido selecionados 19 pontos de amostragem para colheita de amostras de águas por arrasto vertical e por arrasto horizontal.

A colheita de microplásticos à superfície foi efetuada através de arrasto horizontal de uma rede tipo manta de 150 μm de malha enquanto a colheita da coluna de água foi efetuada através de arrasto vertical de uma rede de plâncton de formato cónico de 150 μm de malha.

A deteção, quantificação e caracterização química dos microplásticos consistiu na análise visual para caracterizar física e morfológicamente as partículas (tipologia, cor e dimensão) e na sua caracterização química (análise do polímero), sendo que as formas encontradas foram fragmentos, fibras, filamentos e filmes.

A concentração de microplásticos nas amostras colhidas por arrasto horizontal varia até 0,4 MP m^{-3} e 0,45 MP m^{-3} , no outono e na primavera, respetivamente. Nas amostras de colheita vertical, no outono, a abundância variou até 6 MP m^{-3} e, na primavera a abundância varia entre até 1,6 MP m^{-3} .

No outono a média de dimensões dos microplásticos encontrados nas amostras de colheita horizontal foi de $(1496,5 \pm 975,1)$ μm enquanto na primavera foi de $(1251,7 \pm 1005)$ μm , enquanto nas amostras de colheita vertical, no outono a média de dimensões de microplásticos foi de $(1551,8 \pm 1236,6)$ μm e na primavera de $(1120,6 \pm 1149,3)$ μm .

O estudo permitiu confirmar que na coluna de água encontram-se mais microplásticos que à superfície sendo possível sugerir que as fontes principais de microplásticos, nesta localização poderão ser as descargas de águas residuais e as atividades de pesca.

Palavas chave: microplásticos; oceano Atlântico; água; Portugal; μFTIR

ABSTRACT

Marine plastic pollution is a growing concern, given the environmental damage that is occurring in various marine ecosystems. Although plastics have a vast number of benefits for society, they also represent a growing concern for the marine environment. The increase in plastic production, coupled with the abundant use of single-use plastics and poor management of this type of material, has led to an increase in this waste.

This dissertation aims to identify, characterize and quantify microplastics in water samples collected off the west coast of mainland Portugal, between Ovar and Vieira de Leiria, and the data used for this dissertation were obtained as part of the i-plastic project: Dispersion and impacts of micro and nanoplastics in the tropical and temperate oceans: from regional land-ocean interface to the open ocean. Two oceanic campaigns were carried out on board the N.R.P. Andrómeda, selecting 19 sampling points to take water samples by vertical trawl and horizontal trawl.

Microplastics were collected at the surface by horizontal trawling using a 150 μm mesh blanket net, while they were collected from the water column by vertical trawling using a 150 μm mesh conical plankton net.

The detection, quantification and chemical characterization of microplastics consisted of visual analysis to physically and morphologically characterize the particles (type, color and size) and their chemical characterization (polymer analysis). The forms of microplastics found were fragments, fibers, filaments and films.

The concentration of microplastics in the samples collected by horizontal trawling ranged up to 0.4 MP m^{-3} and 0.45 MP m^{-3} in the autumn and spring, respectively. In the vertical collection samples, the abundance varied up to 6 MP m^{-3} in the autumn and up to 1.6 MP m^{-3} in the spring.

In the autumn, the average size of the microplastics found in the horizontal collection samples was $(1496.5 \pm 975.1) \mu\text{m}$, while in the spring it was $(1251.7 \pm 1005) \mu\text{m}$, while in the vertical collection samples, in the autumn the average size of the microplastics was $(1551.8 \pm 1236.6) \mu\text{m}$ and in the spring $(1120.6 \pm 1149.3) \mu\text{m}$.

The study confirmed that more microplastics are found in the water column than on the surface, suggesting that the main sources of microplastics in this location could be wastewater discharges and fishing activities.

Keywords: microplastics; Atlantic Ocean; water; Portugal; μFTIR

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Plásticos e microplásticos.....	3
1.4	O plástico no ambiente.....	10
1.5	Organização do documento	13
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1	O oceano e os microplásticos.....	15
2.1.1	A sociedade e o plástico.....	15
2.1.2	Plásticos e microplásticos em ambiente marinho.....	20
2.1.3	Microplásticos em águas	22
2.2	Metodologia.....	24
2.2.1	Recolha.....	24
2.2.2	Processamento Laboratorial.....	26
2.2.3	Caracterização Física e morfológica	27
2.2.4	Caracterização Química.....	28
3	METODOLOGIA.....	29
3.1	Caracterização da área de estudo.....	29
3.2	Amostragem.....	30
3.2.1	Estações de amostragem.....	30

3.3	Procedimento Laboratorial	31
3.3.1	Crivagem.....	32
3.3.2	Digestão	33
3.3.3	Filtração.....	33
3.4	Deteção, quantificação e caracterização dos microplásticos.....	34
3.4.1	Caracterização física e morfológica	34
3.4.2	Caracterização química	35
3.5	Controlo de contaminação	36
3.6	Tratamento estatístico	38
4	RESULTADOS.....	39
4.1	Amostragem por colheita horizontal.....	39
4.1.1	Abundância.....	39
4.1.2	Tipologia	42
4.1.3	Dimensões.....	46
4.1.4	Cores.....	53
4.1.5	Caracterização química	57
4.2	Amostragem por colheita vertical.....	62
4.2.1	Abundância.....	62
4.2.2	Tipologia	65
4.2.3	Dimensões.....	69
4.2.4	Cores.....	75
4.2.5	Caracterização química	79
5	DISCUSSÃO	85
5.1	Abundância.....	85
5.2	Tipologia	89
5.3	Dimensões.....	90
5.4	Cores.....	91

5.5	Caracterização química	92
6	CONCLUSÕES	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
A	APÊNDICES.....	111
A.1	Dados relativos à amostragem por arrasto horizontal, nomeadamente a localização e o volume amostrado.....	112
A.2	Dados relativos à amostragem por arrasto vertical, nomeadamente a localização e o volume amostrado	113
A.3	Estatística das tipologias encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto horizontal, no outono e na primavera	114
A.4	Estatística das classes de dimensão encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto horizontal, no outono e na primavera.....	115
A.5	Estatística das cores encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto horizontal, no outono e na primavera	116
A.6	Estatística dos polímeros encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto horizontal, no outono e na primavera	117
A.7	Estatística das cores encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto vertical, no outono e na primavera.....	118
A.8	Estatística das classes de dimensões encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto vertical, no outono e na primavera.....	119
A.9	Estatística dos polímeros encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto vertical, no outono e na primavera	120
A.10	Estatística das tipologias encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto vertical, no outono e na primavera	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Produção de plásticos, por setores, em 2021 (Fonte: Plastics Europe, 2022)	5
Figura 1.2 - Produção Global de Polímeros (Fonte: Plastics Europe, 2022)	8
Figura 2.1 - Produção de plástico, por continente (Fonte: Plastics Europe, 2022)	15
Figura 2.2 - Rede tipo manta (a) e (b).....	25
Figura 2.3 - Rede cônica de plâncton	26
Figura 3.1 - Localização das estações de amostragem, entre a Praia de Mira e Vieira de Leiria	30
Figura 3.2 - Exemplo de amostras de água colhidas	31
Figura 3.3 - Esquematização do procedimento laboratorial.....	32
Figura 3.4 - Fases da crivagem: (a) crivo metálico de 63 µm e (b) fração depositada no copo de precipitação	32
Figura 3.5 - Amostra, após a adição de KOH.....	33
Figura 3.6 - (a) Kit de filtração utilizado, (b) caixas de Petri com filtros de polycarbonato após o processamento da amostra	34
Figura 3.7 - Estereomicroscópio Leica MZ16F.....	35
Figura 3.8 - Sistema Spotlight 200i acoplado a um Spectrum Two	36
Figura 4.1 - Distribuição geográfica da abundância de microplásticos colhidos por arrasto horizontal entre a Praia da Mira e Vieira de Leiria, no outono	39
Figura 4.2 - Distribuição geográfica da abundância de microplásticos colhidos por arrasto horizontal entre a Praia da Mira e Vieira de Leiria, na primavera	41
Figura 4.3 - Distribuição, por estações de amostragem, das tipologias de microplásticos encontrados na colheita por arrasto horizontal na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria), no outono	43

Figura 4.4 - Distribuição, por estações de amostragem, das tipologias de microplásticos encontrados na colheita por arrasto horizontal na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria), na primavera	45
Figura 4.5 - Densidade de microplásticos (MP m ⁻³) nas várias classes de tamanho registadas no outono nos arrastos horizontais, na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria).....	47
Figura 4.6 - Densidade de microplásticos (MP m ⁻³) nas várias classes de tamanho registadas na primavera nos arrastos horizontais, na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)	50
Figura 4.7 - Distribuição por cores dos microplásticos encontrados nas amostras colhidas por arrasto horizontal, no outono, na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)	53
Figura 4.8 - Distribuição por cores dos microplásticos encontrados nas amostras colhidas por arrasto horizontal, na primavera na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)	55
Figura 4.9 - Distribuição por polímeros dos microplásticos encontrados nas amostras colhidas por arrasto horizontal, no outono na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)	58
Figura 4.10 - Distribuição por polímeros dos microplásticos encontrados nas amostras colhidas por arrasto horizontal, na primavera na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria).....	60
Figura 4.11 - Distribuição geográfica da abundância de microplásticos colhidos por arrasto vertical, no outono, entre a Praia de Mira e Vieira de Leiria	62
Figura 4.12 - Distribuição geográfica da abundância de microplásticos colhidos por arrasto vertical, na primavera, entre a Praia de Mira e Vieira de Leiria	64
Figura 4.13 - Distribuição por tipologia dos microplásticos encontrados nas amostras colhidas por arrasto vertical, na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria) no outono.....	66
Figura 4.14 - Distribuição por tipologia dos microplásticos encontrados nas amostras colhidas por arrasto vertical, na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria) na primavera.....	68
Figura 4.15 - Densidade de microplásticos (MP m ⁻³) nas várias classes de tamanho registadas no outono nos arrastos verticais, na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)	70

Figura 4.16 - Densidade de microplásticos (MP m ⁻³) nas várias classes de tamanho encontrados na colheita por arrasto vertical na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria) na primavera.....	72
Figura 4.17 - Distribuição por cores de microplásticos encontrados na colheita por arrasto vertical, no outono na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)	75
Figura 4.18 - Distribuição por cores de microplásticos encontrados na colheita por arrasto vertical, na primavera na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)	77
Figura 4.19 - Distribuição por polímeros de microplásticos encontrados na colheita por arrasto vertical, no outono na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)	80
Figura 4.20 - Distribuição por polímeros de microplásticos encontrados na colheita por arrasto vertical, na primavera na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria).....	82

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Classificação dos plásticos, por dimensão (Fonte: GESAMP (2019))	9
Tabela 2.1 - Instrumentos de monitorização ambiental.....	17
Tabela 2.2 - Instrumentos de política ambiental.....	19
Tabela 2.3 - Tipologia de digestões para águas (Fonte: GESAMP, 2019)	26
Tabela 3.1 - Variáveis em estudo no tratamento estatístico.....	38

SIGLAS

AC	Copolímero de acrilato (<i>Acrylate Copolymer</i>)
APA	Organização do Tratado do Atlântico Norte.
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
EVA	Acetato-Vinilo de Etileno (<i>Ethylenevinylacetate</i>)
FCT-NOVA	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
FTIR	Espetroscopia de Infravermelhos com Transformada de Fourier (<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>)
HDPE	Polietileno de alta densidade (<i>High Density Polyethylene</i>)
IH	Instituto Hidrográfico
LDPE	polietileno de baixa densidade (<i>Low Density Polyethylene</i>)
LLDPE	Polietileno de baixa densidade linear (<i>Linear Low Density Polyethylene</i>)
MP	Microplásticos
NP	Nanoplásticos
ONU	Organização das Nações Unidas
PA	Poliamida (<i>Polyamide</i>)
PANc	Copolímero de Poliácrlonitrila (<i>Polyacrylonitrile copolymer</i>)
PBT	Polibutileno Tereftalato (<i>Polybutylene terephthalate</i>)
PE	Polietileno (<i>Polyethylene</i>)
PET	Politereftalato de etileno (<i>Polyethyleneterephthalate</i>)

PP	Polipropileno (<i>polypropylene</i>)
PS	Poliestireno (<i>Polystirene</i>)
PUR	Poliuretano (<i>Polyurethane</i>)
PVC	Policloreto de vinilo (<i>Polyvinylchloride</i>)
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Ambiente (<i>United Nations Environment Programme</i>)
UV	Ultravioleta

INTRODUÇÃO

O enfoque desta dissertação é a identificação, caracterização e quantificação de microplásticos em amostras de água, recolhidas ao largo da costa oeste de Portugal Continental, entre Praia de Mira e Vieira de Leiria.

Os dados utilizados para esta dissertação foram obtidos no âmbito do projeto i-plastic: *Dispersion and impacts of micro and nanoplastics in the tropical and temperate oceans: from regional land-ocean interface to the open ocean*.

1.1 Enquadramento

De acordo com a Diretiva 2008/56/CE que estabelece a Diretiva-Quadro Estratégia Marinha (Parlamento Europeu e do Conselho, 2008), a poluição da água define-se como, “a introdução direta ou indireta, pelo Homem, de substâncias que possam provocar danos na saúde humana ou nos ecossistemas aquáticos, nomeadamente os marinhos, através da redução da biodiversidade ou da diminuição da qualidade da água”.

O lixo marinho é uma forma de poluição aquática, definindo-se como qualquer material sólido persistente descartado no ambiente costeiro e marinho, englobando diferentes tipologias, como plástico, metal, madeira ou vidro e, por não serem biodegradáveis persistem, no ambiente, causando impactes negativos nos ecossistemas marinhos (Li *et al.*, 2021; Lincoln *et al.*, 2022).

Na União Europeia, estima-se que mais de 85% do lixo marinho existente, seja plástico, dos quais 50% representam artigos de plástico de uso único e 27% correspondem a artigos relacionados com as artes da pesca (Agência Portuguesa do Ambiente, 2021a).

A acumulação de plástico nos oceanos é um problema global e crescente, estimando-se que 85% do lixo marinho seja plástico e que existam entre 75 e 199 milhões de toneladas de lixo marinho nos oceanos, oriundo, predominantemente, de dez rios, sendo oito asiáticos e dois africanos (United Nations Environment Programme, 2021a).

Os plásticos à deriva no mar podem ser transportados e redistribuídos para outros compartimentos do planeta. Os animais migratórios como aves, cetáceos, tartarugas, entre outros, podem ficar presos nos plásticos ou confundir os mesmos com alimento causando a morte dos animais que fiquem presos (Van Seville *et al.*, 2020; Barboza *et al.*, 2018; Teuten *et al.*, 2009; UNEP, 2016).

Os plásticos, ao longo do tempo, vão sendo expostos a radiação ultravioleta que os leva, gradualmente, a diminuir a sua integridade física (Andrady, 2011; GESAMP, 2015, 2021), fazendo com que sofram fragmentação. Esta pode ocorrer através de degradação física (abrasão, erosão), química (temperatura, foto-oxidação) e biológica (por microrganismos) (Andrady, 2011, 2017; Van Seville *et al.*, 2020; Vikas & Dwarkish, 2015) adquirindo novas formas e tamanhos, nomeadamente nanoplásticos, microplásticos ou mesoplásticos.

Nos oceanos já foram encontrados microplásticos em todos os seus compartimentos - na superfície, na coluna de água, nos sedimentos e biota, em zonas costeiras e no mar alto (GESAMP, 2016). Do mesmo modo, também já foram encontrados microplásticos na interface atmosfera/oceano e em todos os compartimentos terrestres, desde praias até ao Monte Everest, assim como nos seres vivos (Napper *et al.*, 2020; Talukdar *et al.*, 2023).

Assim, o projeto i-plastic *Dispersion and impacts of micro and nanoplastics in the tropical and temperate oceans: from regional land-ocean interface to the open ocean* teve cinco objetivos principais, nomeadamente determinar o destino dos microplásticos e dos nanoplásticos na interface terra-oceano em diferentes áreas geográficas e com diferentes tipos de marés, bem como a sua dispersão para o oceano aberto.

O consórcio do projeto i-plastic é constituído por instituições de Portugal, Espanha, Itália e Brasil, sendo que em Portugal, os parceiros são a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-NOVA) e o Instituto Hidrográfico (IH).

Foram selecionados três estuários de cada um dos países: Portugal, Espanha e Brasil. Em cada um dos estuários selecionados foram efetuadas colheitas sazonais *in situ* nas matrizes ambientais água, sedimento e biota, de modo a avaliar a abundância destas partículas, sendo que este foi o objetivo atribuído a Portugal.

Em Portugal o estuário selecionado foi o do rio Mondego e a costa oeste entre Ovar e Vieira de Leiria.

1.2 Objetivos

O objetivo desta dissertação é a identificação, caracterização e quantificação de microplásticos em amostras de água, recolhidas ao largo da costa oeste de Portugal Continental entre Praia de Mira e Vieira de Leiria.

Os objetivos específicos são:

- 1) identificar a presença de microplásticos nas amostras de água;
- 2) quantificar e caracterizar física e quimicamente os microplásticos encontrados com recurso à técnica de Espectroscopia de Infravermelhos com Transformada de Fourier (FTIR).

1.3 Plásticos e microplásticos

O termo “plástico” deriva da palavra grega “plastikos” que significa maleável ou moldável (Vered & Shenkar, 2021) e o seu desenvolvimento surge da necessidade da sociedade em obter materiais em larga escala, a baixo custo e versáteis. Apesar da história do plástico começar há mais de 100 anos, com a descoberta da Baquelite, por Baekeland, só a partir de finais dos anos 30 do século XX o plástico começou a ser produzido industrialmente. Contudo, o crescimento da produção e consumo deste material ocorreu após a Segunda Guerra Mundial terminar, com o desenvolvimento de técnicas e processos económicos para a produção de plástico, permitindo assim a sua produção em massa (Plastics Europe, 2023a).

O desenvolvimento do plástico, de acordo com Plastics Europe (2023b), iniciou-se através da utilização de materiais naturais com propriedades plásticas intrínsecas, tais como celulose, carvão, gás natural, sal e crude. O crude caracteriza-se como uma mistura complexa de compostos orgânicos com diferentes pontos de ebulição. Através de um processo de destilação fracionada, o crude é separado em diferentes compostos, nomeadamente a nafta, que tem um papel fundamental na produção de plásticos.

A produção de plásticos tem vindo a aumentar desde 1950 e mais de metade, ocorreu desde o início do século XXI, sendo que no ano de 2021, cerca de 391 milhões de toneladas foram produzidas em todo o mundo, das quais mais de 90% são originárias de combustíveis fósseis (Plastics Europe, 2022). Características tais como a elevada durabilidade, a resistência à corrosão, a baixa condutividade térmica e elétrica, a versatilidade, a leveza e o baixo custo de produção (Shrivastava, 2018) tornam o plástico como uma matéria-prima cada vez mais utilizada em diversos setores, tais como no fabrico de embalagens (44% do total produzido), na

construção civil (18%), na agricultura, nos transportes, mobilidade, na energia, na eletrónica ou nos materiais de desporto, lazer e saúde (Plastics Europe, 2022).

O plástico trouxe inúmeros contributos à sociedade, tais como mais segurança alimentar ou inovações na saúde embora atualmente seja visto como um problema para o ambiente e para a sociedade, por ser amplamente utilizado (Plastics Europe, 2023c). A sua utilização aliada a uma gestão deficiente causa danos em todos os ecossistemas do planeta, onde permanecem durante décadas causando poluição (GESAMP, 2021; UNEP, 2016). De acordo com Chiba *et al.* (2018), 89% dos macroplásticos encontrados são plásticos de uso único, isto é, aqueles que são utilizados apenas uma vez e depois são descartados e ficam durante longos períodos no ambiente (GESAMP, 2021).

De acordo com a Plastics Europe (2022), o plástico é essencial para o funcionamento de vários setores, por apresentar diversas vantagens, porém também apresenta algumas desvantagens devido aos problemas que causam no meio marinho.

Assim, os setores que contribuem para a produção dos plásticos são a produção de embalagens, a construção civil, os transportes e a mobilidade, a eletrónica, os produtos de desporto, lazer e casa ou a agricultura, entre outros (Plastics Europe, 2022).

Na Figura 1.1 estão representados os vários setores que consomem plástico (dados de 2021). Verifica-se que o setor das embalagens consumiu cerca de 44% do plástico produzido, ocupando a posição cimeira do mercado de produção e distribuição dos plásticos, seguindo-se o da construção civil que ocupa a segunda posição, com cerca de 18% (Plastics Europe, 2022). A componente "Outros" inclui material médico, móveis ou equipamentos mecânicos e maquinaria.

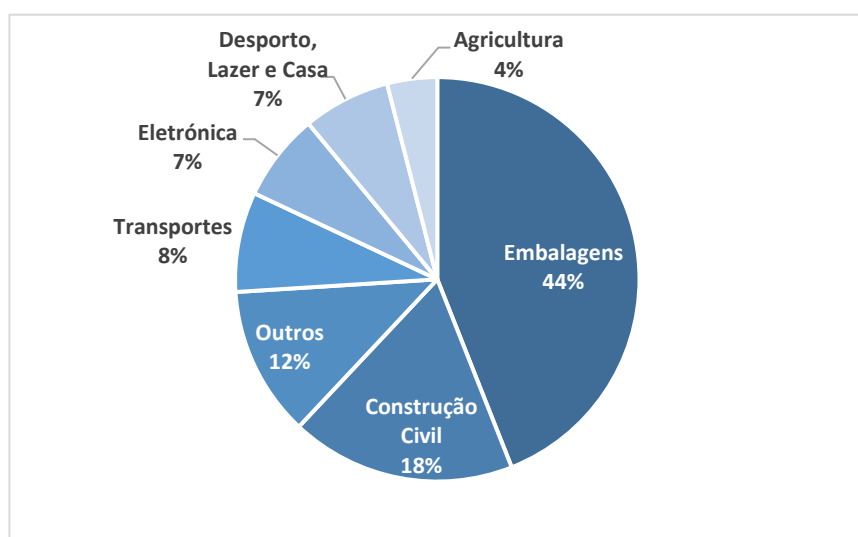


Figura 1.1 - Produção de plásticos, por setores, em 2021 (Fonte: Plastics Europe, 2022)

O setor das embalagens representa a maior percentagem da produção de plástico, uma vez que este material apresenta vantagens, tais como ser leve, durável e resistente e de ser de fácil transporte. Porém, com estas características também advêm desvantagens, tais como o aumento da utilização de plástico de uso único e de resíduos de plástico, tal como a libertação de pellets durante o seu transporte até às indústrias plásticas.

As indústrias transformadoras do plástico contribuem para a libertação de microplásticos primários para o meio marinho, pois a sua matéria-prima são as pastilhas de resina virgem ou pellets que têm dimensões que variam entre 1 e 5 mm de diâmetro (Frias *et al.*, 2010; GE-SAMP, 2016; Gallo *et al.*, 2018). Estas pastilhas são transportadas por via marítima, podendo ser libertadas para o meio marinho, na transferência entre o navio para o comboio ou camião e, destes para as unidades fabris de conversão e moldagem. Adicionalmente, os pellets podem ser ensacados e colocados em contentores ou podem ser transportados a granel nos navios, podendo ficar em quantidades menores nos tanques. As lavagens dos tanques podem originar uma fonte dos mesmos para o ambiente marinho (Andrady, 2017; Pozo *et al.*, 2020; Sobral *et al.*, 2011).

Os pellets têm uma elevada capacidade de adsorção dos poluentes orgânicos, que chegam ao oceano, a partir de rios e de escoamento superficial (Pozo *et al.*, 2020).

Durante as atividades recreativas, nas praias e na costa, são frequentemente deixados plásticos, nomeadamente embalagens, que, por ação da radiação ultravioleta (UV), se degradam e dão origem a fragmentos de menores dimensões. Estes podem ficar retidos no

sedimento através da sedimentação natural ou conduzidos para o oceano por ação do vento e do mar (Andrady, 2017; GESAMP, 2016).

Os setores da construção e da eletrônica representam 18% e 7%, respetivamente. A utilização de plásticos nestes setores implica a melhoria dos processos de construção, tais como nos isolamentos acústico e térmico, nas canalizações e nas tubagens, entre outros. A formação de detritos plásticos nas etapas de construção, limpeza e de demolição, nomeadamente na abrasão e na retificação para aumentar o tempo de vida são algumas das desvantagens (GESAMP, 2016).

O setor da construção civil contribui para a entrada de microplásticos no ambiente marinho, nomeadamente com as tintas e revestimento que com o envelhecimento, abrasão e erosão das infraestruturas, vão-se deteriorando (Ahmad *et al.*, 2020; Anderson *et al.*, 2016; Järnskog *et al.*, 2021). Também as tintas utilizadas no revestimento dos navios e embarcações são transportadas diretamente para o oceano, uma vez que durante a manutenção em alto-mar ou em estaleiros são removidas as camadas das tintas anteriores (Jaini & Namboothri, 2023; Turner *et al.*, 2022).

O setor dos transportes e mobilidade produzem cerca de 8% de plásticos. Estes são utilizados para a melhoria da segurança dos passageiros, nomeadamente no design de modo a permitir a redução do peso, dos custos de produção e no aumento da resistência. A formação de detritos plásticos a partir do desgaste dos pneus e das pinturas dos navios são as desvantagens deste tipo de utilização (GESAMP, 2016).

O setor dos transportes e mobilidade contribui para a entrada de microplásticos no ambiente marinho, pois estes surgem a partir do desgaste, por atrito, da borracha dos pneus com os polímeros incluídos no betume utilizado na pavimentação de estradas e, também com as tintas utilizadas na sua marcação (Järnskog *et al.*, 2020; Österlund *et al.*, 2023). Estes microplásticos acumulam-se no pó das estradas com outros poluentes que são transportados pelo vento ou por escoamento da chuva para o mar (Roychand & Pramanik, 2020; Österlund *et al.*, 2023).

Para os produtos de lar, desporto e lazer, o plástico é crucial para o seu desenvolvimento representando 7% da produção global. Porém, a produção deste setor liberta uma grande quantidade de fibras e de microesferas (GESAMP, 2016). Ao longo de todo o ciclo de vida dos têxteis, isto é, produção, utilização (lavagem, secagem, manutenção, entre outros) e deposição final, estes libertam microfibras para o ambiente aquático, que são libertadas maioritariamente durante as lavagens e secagens, mas também podem entrar no ambiente através de deposição aérea nas águas superficiais (Henry *et al.*, 2019; Mahbub & Shams, 2022, Zhang *et al.*, 2022).

Também os produtos de cuidado pessoal, como as pastas dentífricas ou os esfoliantes, podem conter micropartículas de plástico, denominadas microesferas, utilizadas pela sua ação abrasiva (Xanthos & Walker, 2017). Estas microesferas têm dimensões inferiores a 1 mm de diâmetro e não são biodegradáveis (So *et al.*, 2018). Por estas razões, não são filtradas pelas estações de tratamento de águas residuais, uma vez que estas não estão projetadas para filtrar partículas com dimensões tão ínfimas (Petroody *et al.*, 2021; Magalhães *et al.*, 2022; Prata *et al.*, 2021; Xanthos & Walker, 2017). Deste modo, as microesferas fluem diretamente para o ambiente marinho (Xanthos & Walker, 2017) contribuindo para a poluição dos oceanos e gerando impactes na vida marinha. Contudo, em vários países já não se podem vender estes produtos, sendo que em Portugal a sua colocação no mercado é proibida desde 1 de julho de 2022.

Os plásticos, para a agricultura, são úteis para melhorar e aumentar os processos de produção agrícola e da qualidade dos produtos, representando 4% da produção. No entanto os plásticos utilizados na irrigação e cobertura morta do solo, devido à exposição aos fatores abióticos, fragmentam-se (GESAMP, 2016).

Os plásticos são polímeros orgânicos sintéticos produzidos a partir de reações de polimerização de monómeros extraídos da nafta, uma das frações extraídas, por destilação fracionada, de compostos orgânicos como o crude, gás natural ou carvão (Ahmad *et al.*, 2020; Cutroneo *et al.*, 2020).

Os polímeros designam-se como termoplásticos, se têm um baixo ponto de fusão, tornando-se maleável quando são aquecidos e sólidos ao arrefecer e como termofixos se não são moldáveis, depois de serem arrefecidos. Os polímeros estão divididos em mais de 20 famílias, porém apenas seis representam cerca de 80% da produção anual, sendo que cinco são termoplásticos e um é termofixo (Plastics Europe, 2023b).

Na Figura 1.2. apresenta-se a distribuição da produção global de polímeros, em que se verifica que o polipropileno (PP), o poliestireno de baixa densidade (LDPE), o poliestireno de alta densidade (HDPE), o policloreto de vinilo (PVC), o poliestireno (PS) e o Politereftalato de etileno (PET) são os termoplásticos mais utilizados e o poliuretano (PUR) é o termofixo mais utilizado (Plastics Europe, 2021).

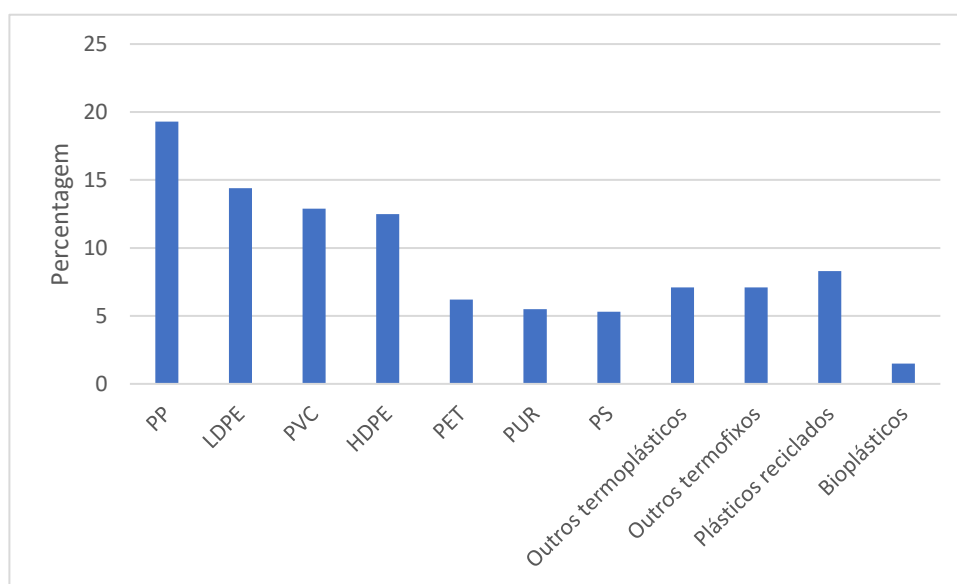


Figura 1.2 - Produção Global de Polímeros (Fonte: Plastics Europe, 2022)

O PP é utilizado em todos os setores, porém tem maior expressão nas embalagens e nos recipientes de armazenamento de alimentos, por ser maleável e resistente ao calor (Plastics Europe, 2021).

O LDPE é utilizado em todos os setores, porém é utilizado majoritariamente em sacos, películas para alimentos e em utensílios domésticos por ser um material flexível, leve, transparente e impermeável (Plastics Europe, 2021).

O HDPE é utilizado em todos os setores, à exceção da agricultura, uma vez que é um material rígido, resistente a produtos químicos e impermeável. As suas utilizações mais comuns são as embalagens de produtos de limpeza e higiene, materiais de construção e caixas de armazenamento de alimentos (Plastics Europe, 2021).

O PVC utilizado como material hospitalar, material informático ou material de construção, nomeadamente nas tubagens, por ser um material rígido, impermeável e resistente. Também é utilizado no fabrico de brinquedos e nas embalagens de bebidas (Plastics Europe, 2021).

O PS é utilizado em todos os setores, porém os setores com maior utilização são as embalagens para transporte de alimentos, como frutas e vegetais e para embalar sementes ou plantas de viveiros e a construção civil, uma vez que tem como características ser rígido e ter capacidade de isolamento térmico (Plastics Europe, 2021).

Porém, em alguns polímeros são adicionados aditivos que quando libertados são prejudiciais para a saúde humana e para o ambiente (Gallo et al., 2018).

O PET, por ser um material resistente ao impacto, transparente, impermeável e leve apenas é utilizado nas embalagens para alimentos, bebidas e de cosméticos (Plastics Europe, 2021)

O PUR, que é uma espuma, é utilizado em colchões, almofadas ou em isolamento de edifícios e em setores como a construção civil, a indústria automóvel, a eletrónica e em outros setores (Plastics Europe, 2021).

Os restantes termoplásticos e plásticos são utilizados em todos os setores, sendo termoplásticos são mais utilizados na indústria automóvel (Plastics Europe, 2021).

O PP e o PS são difíceis de reciclar, enquanto o HDPE e o PET são facilmente recicláveis. O PVC e o LDPE tecnicamente são recicláveis, mas o processo não é viável (Plastics Europe, 2021).

Os termoplásticos, por ser possível serem fundidos, podem ser transformados em novos produtos sendo por isso recicláveis enquanto os termofixos não são recicláveis.

Na Europa, os resíduos plásticos são enviados para valorização e tratamento, por duas vias: recolha seletiva ou recolha indiferenciada (Plastics Europe, 2022).

Porém devido a uma má gestão dos resíduos, estes podem terminar no ambiente marinho (Barboza & Gimenez, 2015; Canopoli *et al.*, 2018), tornando-se assim lixo marinho.

Os detritos plásticos, ao longo do tempo e através de ação mecânica, química ou biológica, sofrem degradação e fragmentam-se, dando origem a novos detritos com diferentes tamanhos e formas (Frias & Nash, 2019). Na Tabela 1.1. apresentam-se as várias designações e o intervalo de dimensões mais frequentes utilizados na classificação destes detritos.

Tabela 1.1 - Classificação dos plásticos, por dimensão (Fonte: GESAMP (2019))

Designação	Dimensão
Megaplástico	> 1 m
Macroplástico	2,5 cm – 1 m
Mesoplástico	5 mm – 2,5 cm
Microplástico	1 µm – 5 mm
Nanoplástico	1 nm – 1 µm

Os microplásticos são "qualquer partícula sólida sintética ou matriz polimérica, com forma regular ou irregular e com tamanho variável entre 1 µm e 5 mm, de origem primária ou secundária, insolúveis em água" (Frias & Nash, 2019).

Os microplásticos primários são fabricados com o propósito de já terem dimensões inferiores a 5 mm, servindo como matéria-prima para vários setores enquanto os secundários resultam da decomposição e fragmentação de detritos maiores (Andrady, 2017; Bronzo *et al.*, 2021; GESAMP, 2016).

De acordo com GESAMP (2016), os megaplásticos surgem após grandes eventos meteorológicos, como tempestades enquanto os macroplásticos são libertados no mar através de rios ou de atividades marítimas.

Os macroplásticos, os microplásticos e os nanoplásticos têm características diferentes, nomeadamente a sua composição química. Assim, são constituídos por diferentes polímeros com diferentes densidades, que permitem que estes flutuem ou afundem. Aqueles que afundam têm densidade superior à da água do mar ($1,025 \text{ g cm}^{-3}$) acumulam-se no sedimento, tais como PA, PVC ou PET (Gago *et al.*, 2018; GESAMP, 2016) enquanto os que flutuam à superfície têm a densidade menor que a densidade da água do mar, como os HDPE, LDPE ou EVA (Gago *et al.*, 2018; GESAMP, 2016). De acordo com Wright *et al.* (2013) a densidade dos detritos pode aumentar através de bioincrustação, isto é, a acumulação de microrganismos, algas e/ou animais na superfície dos plásticos. Este fenómeno altera as características físicas e químicas dos detritos, nomeadamente a flutuabilidade, pois aumenta a densidade do detrito que leva ao seu afundamento e sedimentação (Anderson *et al.*, 2016).

1.4 O plástico no ambiente

O oceano cobre mais de 70% da superfície da Terra, desempenhando um papel fundamental na regulação dos sistemas terrestres e na regulação climática, absorvendo cerca de 20% do dióxido de carbono emitido pelas atividades humanas (GESAMP, 2022). Fornece inúmeros recursos naturais como alimento, energia (energia eólica ou plataformas petrolíferas offshore) ou materiais (Recuero Virto, 2018; United Nations Environment Programme, 2021d).

O oceano também é essencial para o fornecimento de serviços e atividades com elevado interesse económico como a pesca, aquacultura, o transporte de mercadorias ou atividades recreativas (Recuero Virto, 2018).

O lixo marinho é um problema crescente, especialmente a poluição marinha por plásticos, estando documentado desde a década de 70 do século XX e está intimamente ligado à produção exponencial de plástico desde essa altura (GESAMP, 2016). De entre os detritos encontrados no oceano, estima-se que os detritos plásticos representem entre 60% e 80%

(Barboza *et al.*, 2018). O plástico, para além dos oceanos, encontra-se também nos restantes ecossistemas aquáticos de água doce e nos ecossistemas terrestres (Ahmad *et al.*, 2020; Barboza *et al.*, 2018; Frias & Nash, 2019; Silva *et al.*, 2018).

O plástico, ao degradar-se, sofre fragmentação e dá origem a plásticos com dimensões mais reduzidas, nanoplásticos e microplásticos, que causam impactes negativos no ambiente, inclusivamente na saúde humana e, também na economia (Amobonye *et al.*, 2021). Os microplásticos, de acordo com vários estudos, estão presentes nos sedimentos (Frias *et al.*, 2016; Morgado *et al.*, 2022; Rocha-Santos & Duarte, 2015; Rodrigues *et al.*, 2022), em água doce (Rodrigues *et al.*, 2018a), em água salgada (Lechthaler *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2020), no ar interior e exterior (Xumiao *et al.*, 2021), sendo que também já foram encontrados no leite materno (Kutralam-Muniasamy *et al.*, 2023), nos pulmões (Jenner *et al.*, 2022), no sangue humano (Leslie *et al.*, 2022), no coração (Yang *et al.*, 2023), na placenta e no líquido amniótico (Halfar *et al.*, 2023), nos intestinos (Zhu *et al.*, 2024), no leite infantil em pó (Zhang *et al.*, 2023), na água da torneira (Kirstein *et al.*, 2021) ou no sal marinho (Mamun *et al.*, 2023).

Estes novos detritos, quando são do tamanho dos organismos planctónicos, estão disponíveis para os filtradores e predadores de plâncton (Frias *et al.*, 2014; Teuten *et al.*, 2009), que os podem confundir com o seu alimento. O plâncton, por ser a base da cadeia alimentar marinha, relaciona-se com a contaminação de toda a cadeia trófica, implicando a biomagnificação destes contaminantes (Chagnon *et al.*, 2018a; Saley *et al.*, 2019), uma vez que a ingestão é uma das vias prioritárias para a entrada de microplásticos na cadeia alimentar (Hasan Anik *et al.*, 2021; Van Sebille *et al.*, 2020).

A alimentação humana e, consequentemente, a saúde humana também são afetadas pela contaminação por microplásticos, uma vez que estes encontram-se em diversos alimentos, como peixe, marisco ou crustáceos (Mamun *et al.*, 2023). Na saúde humana, os microplásticos são potencialmente causadores de efeitos negativos, que caso se verifiquem, é muito provável que esses efeitos aumentem com a sua abundância nos alimentos (Mamun *et al.*, 2023; Prata *et al.*, 2021; Prata *et al.*, 2020). De acordo com Prata *et al.* (2020), a ingestão (tal como dito anteriormente, é uma das vias principais de entrada de microplásticos nos organismos) de microplásticos, através de alimentos contaminados, permite que estes atinjam o sistema gastrointestinal que desenvolve respostas inflamatórias, podendo mesmo desenvolver doenças crónicas ou doenças neurodegenerativas (Antunes *et al.*, 2023; Mamun *et al.*, 2023; Prata *et al.*, 2020b, 2021).

Para além dos impactes que os microplásticos causam na saúde humana, também atuam negativamente na pesca e na aquacultura, uma vez os organismos aquáticos sofrem alterações

fisiológicas e metabólicas, que afetam o seu desenvolvimento e a sua reprodução (Ma *et al.*, 2020; Vázquez-Rowe *et al.*, 2021), levando à redução da biodiversidade.

No mesmo sentido, a redução da biodiversidade também se pode verificar quando os microplásticos são utilizados como meio de transporte de várias espécies, sendo considerados como um vetor de contaminantes ou de introdução de espécies exóticas, potencialmente invasoras noutros ecossistemas (Amelia *et al.*, 2021; GESAMP, 2016), que podem alterar a composição e a estrutura dos ecossistemas, pois competem com espécies cruciais para o ecossistema, levando ao seu potencial desaparecimento (Cunningham *et al.*, 2021).

De acordo com Shen *et al.* (2020), a existência de microplásticos à superfície do oceano, pode interferir com a fotossíntese e com o crescimento do fitoplâncton, uma vez que a entrada da luz solar é interrompida pela quantidade de microplásticos à superfície, influenciando a eficiência do processo. O fitoplâncton, por ser o mais importante produtor marinho, desempenha um papel fundamental na produtividade primária, porém com a redução da quantidade de luz também a produtividade é afetada negativamente, uma vez que existe uma redução na captura de carbono.

No mesmo sentido, também influencia o desenvolvimento e crescimento do zooplâncton, os maiores consumidores de fitoplâncton do oceano, pois também consomem menos carbono, tanto através da diminuição da captura por parte do fitoplâncton como através da ingestão de microplásticos, que lhes fornece uma sensação de saciedade (Amin *et al.*, 2020; Shen *et al.*, 2020; Zebrowski *et al.*, 2022).

Igualmente, também em níveis tróficos superiores, como os peixes, foram encontrados microplásticos, nomeadamente no sistema gastrointestinal, uma vez que estes podem ser confundidos com zooplâncton por terem dimensões semelhantes ou então serem ingeridos aquando da predação de peixes de menores dimensões (Barboza *et al.*, 2020; Chagnon *et al.*, 2018b; Lopes *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2023).

Assim, a presença de microplásticos no oceano influencia a captura de carbono inorgânico, afetando o ciclo global do carbono que, por sua vez, ameaça as condições básicas de sobrevivência humana, pois o oceano é o depósito principal de carbono do planeta e desempenha um papel fundamental na mitigação do aquecimento global (GESAMP, 2022; Shen *et al.*, 2020).

1.5 Organização do documento

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos:

- 1 - Introdução

No capítulo 1 apresenta-se um texto introdutório, em que se contextualiza a problemática da poluição por plásticos e microplásticos e estabelecem-se os objetivos da dissertação.

- 2 - Revisão da Literatura

No capítulo 2 apresenta-se uma revisão da literatura sobre o conhecimento atual dos microplásticos.

- 3 - Metodologia

O terceiro capítulo apresenta a descrição do procedimento de amostragem e laboratorial realizado, necessário para análise, identificação e quantificação dos microplásticos das amostras de água.

- 4 - Resultados

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos durante o estudo.

- 5 - Discussão

No capítulo 5 discutem-se os resultados obtidos e comparam-se com os estudos já realizados.

- 6- Conclusões

No último capítulo, apresenta-se uma avaliação do trabalho realizado, as respetivas conclusões, bem como possíveis propostas para o futuro.

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O oceano e os microplásticos

2.1.1 A sociedade e o plástico

De acordo com dados da Plastics Europe (2022), a produção de plástico tem vindo a aumentar, ano após ano, estimando-se que em 2021 tenham sido produzidas 390,7 Mt, das quais apenas 8,3% sejam provenientes de plástico reciclado.

Conforme exposto na Figura 2.1, a maioria dos plásticos é produzida no continente asiático (52%), seguido do continente americano (22%) e da Europa (18%). A China é o maior país produtor de plástico, produzindo 32% do plástico total.

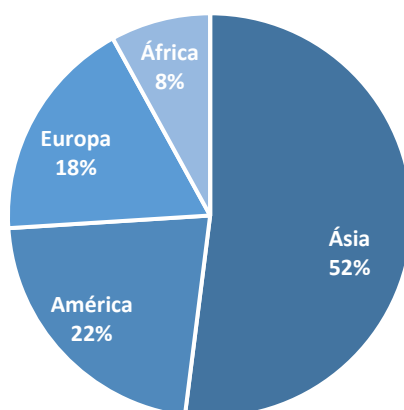


Figura 2.1 - Produção de plástico, por continente (Fonte: Plastics Europe, 2022)

A produção de plástico pode ser feita recorrendo a plásticos de origem fóssil, a partir de plástico reciclado ou de bioplástico, porém a maioria dos plásticos continua a ser de origem fóssil (Plastics Europe, 2022).

Durante o período pandémico da COVID-19, a produção de plástico diminuiu devido aos confinamentos em vários países e durante longos períodos. Na Europa, em 2021, foram produzidas 57,2 Mt de plástico, das quais 50,1 Mt são de origem fóssil, 5,8 Mt a partir de plástico reciclado e 1,3 Mt são bioplásticos, tendo sido os maiores consumidores de plásticos foram Alemanha, Itália, França, Espanha, Polónia e Reino Unido, sendo que Portugal utilizou 1 Mt de plástico (Plastics Europe, 2022).

Os resíduos plásticos podem ser descartados por duas vias: recolha seletiva ou recolha indiferenciada, sendo que o primeiro processo é muito mais eficiente que o segundo.

Dos resíduos recolhidos por via de recolha indiferenciada, apenas 5% é possível que sejam reciclados, devido à mistura de resíduos, 57% seguem para valorização energética e 38% vão para aterro (Plastics Europe, 2022).

Dos resíduos recolhidos por via da recolha seletiva, como a separação é feita de forma mais eficaz já é possível reciclar 65% dos resíduos, 8% segue para aterro e 27% são utilizados para valorização energética (Plastics Europe, 2022).

Contudo, relativamente ao setor das embalagens, verifica-se que com a recolha seletiva, 80% das embalagens é reciclada, 18% segue para valorização energética e apenas 2% para aterro, enquanto se for por via da recolha indiferenciada, apenas 1% das embalagens de plástico são recicladas, 62% são enviadas para valorização energética e 37% para aterro (Plastics Europe, 2022).

Relativamente a Portugal, 32% dos resíduos plásticos seguem para reciclagem, 33% são enviados para aterro e 35% são valorizados energeticamente (Plastics Europe, 2022). Os valores de reciclagem ficam aquém das metas preconizadas no PERSU 2030 (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019).

Contudo, ainda existe uma grande quantidade de resíduos que são descartados incorretamente e que acabam no oceano, a UNEP (2021c) estima que entre 5 e 13 milhões de toneladas sejam descartadas para o oceano, anualmente. Para além do descarte incorreto, um ineficiente sistema de drenagem de águas residuais ou o transporte pelo vento ou por animais (Rossatto et al., 2023).

De modo contribuir para a preservação do meio marinho há instrumentos de monitorização ambiental como planos de ação, estratégias e acordos regulamentares que são desenvolvidos por organizações para reduzir o consumo de plástico, quer de fontes marítimas ou

terrestres que entram ao meio marinho. Na Tabela 2.1 apresentam-se os instrumentos considerados mais relevantes, no âmbito desta temática, quais os seus objetivos e as áreas de intervenção.

Tabela 2.1 - Instrumentos de monitorização ambiental

	Objetivo	Áreas de Atuação
Convenção OSPAR	Proteger o ambiente marinho do Atlântico Nordeste, através da adoção de medidas preventivas, mitigação e eliminação da poluição marinha, da proteção do ambiente marinho dos efeitos impactantes das atividades humanas, da preservação e recuperação dos ecossistemas marinhos e da salvaguarda da saúde humana (OSPAR, 2023).	Em Portugal, as áreas de atuação desta Convenção incluem o Lixo Marinho, Áreas Marinhas Protegidas e os Resíduos Radioativos (Direção-Geral dos Recursos Naturais, 2018) e contribuiu para a implementação da Diretiva Quadro da Estratégia Marinha nos países desta região do Atlântico.
Plano de Ação para a Economia Circular	Contribuir para a aceleração da transição para a circularidade do Ciclo de Vida de Produtos de vários setores, nomeadamente o dos Plásticos.	Estabeleceu uma Diretiva para prevenir e reduzir o impacto dos produtos de plástico de uso único, para restringir a utilização de microplásticos nos produtos (Diretiva (UE) 2019/904).
Estratégia para os Plásticos	Proteger o ambiente e reduzir o lixo marinho	

Igualmente, os *stakeholders* são importantes nas estratégias de conservação do ambiente marinho, contudo ainda não existe muito envolvimento da sua parte (McNicholas & Cotton, 2019). Ações como limpezas de praias e mudanças comportamentais são exemplos de como se podem envolver os *stakeholders*, de forma a consciencializar os cidadãos para esta problemática.

As limpezas nas praias envolvem a participação de voluntários e têm como objetivo reduzir a acumulação de resíduos nas praias, em particular resíduos não biodegradáveis como os plásticos, de forma a impedir que estes sejam arrastados para o oceano (Kataoka & Hinata, 2015). De acordo com Kataoka & Hinata (2015), estas ações devem ser efetuadas de dois em dois anos e de forma a serem eficazes devem envolver muita mão-de-obra durante o outono

e a primavera. Estas ações não podem ser vistas como uma forma de mitigar este problema, mas sim como uma forma para alertar os *stakeholders* para o problema do lixo marinho.

As mudanças comportamentais dos *stakeholders* também são importantes, mas devem ser vistas como uma medida de melhoria a longo prazo, uma vez que têm como objetivo sensibilizar a população para a adoção de mudanças sustentáveis no seu comportamento (Bettencourt *et al.*, 2023). Do mesmo modo, também é necessário envolver os vários setores de atividade económica, para identificar as fontes terrestres e marítimas de plásticos e microplásticos e implementar medidas de mitigação deste tipo de poluição (Bettencourt *et al.*, 2023; Landon-Lane, 2018).

A Organização das Nações Unidas (ONU) lançou em 2015 a Agenda 2030 que aborda as três dimensões do desenvolvimento sustentável (ambiente, sociedade e economia) com 17 objetivos, sendo que o 14º corresponde à proteção da vida marinha (Organização das Nações Unidas, 2018). Este objetivo tem a ver com a prevenção e redução da poluição marítima de todos os tipos, nomeadamente a que resulta de atividades terrestres.

Caso não sejam tomadas medidas, estima-se que até 2040, o descarte de plástico, por ano, triplicou, passando de 9 a 14 milhões de toneladas, em 2016 para 23 a 37 milhões de toneladas em 2040 (United Nations Environment Programme, 2021b).

De modo a evitar a entrada de plásticos e microplásticos no ambiente marinho é necessário implementar e desenvolver instrumentos de política ambiental, nomeadamente a legislação comunitária e nacional.

Estes instrumentos podem ser regulatórios (comando e controlo), económicos ou fiscais e de informação ou atuação voluntária e têm um carácter preventivo e regulador (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Instrumentos de política ambiental

Instrumentos	
Regulatórios	Diretiva Quadro da Estratégia Marinha
	Diretiva (UE) 2019/904
	Regulamento REACH
	Estratégia Europeia para os Plásticos na Economia Circular
	Decreto-Lei nº 69/2021
	Decreto-Lei nº 78/2021
	Lei n.º 82-D/2014
	Lei nº 75-B/2020
Económicos ou Fiscais	Contribuição sobre os sacos de plásticos
	Contribuição sobre as embalagens de utilização única
Atuação voluntária	Reciclagem
	Circular Plastics Alliance
	Textile Exchange's Recycled Polyester Challenge

Em termos de legislação comunitária implementada com o objetivo de proteger o ambiente marinho são de destacar a Diretiva-quadro da Estratégia Marinha (Diretiva 2008/56/CE), a Diretiva (UE) 2019/904, o Regulamento REACH, a Estratégia Europeia para os plásticos na economia circular.

A Diretiva-quadro da Estratégia Marinha tem como objetivo prevenir, proteger e conservar o ambiente marinho através da definição de medidas a adotar pelos Estados-Membros para obter um bom estado ambiental do ambiente marinho (Direção-Geral dos Recursos Naturais, 2018b), a Diretiva (UE) 2017/845 procede à alteração da diretiva-quadro da estratégia marinha, sendo uma das estratégias a redução da introdução de resíduos, incluindo os plásticos, em ambientes marinhos, tal como a redução da introdução de micropartículas.

A Diretiva 2019/904 visa instigar os Estados-membros a estabelecer medidas de prevenção e redução da utilização e dos impactes ambientais dos dez artigos de plásticos de utilização única mais encontrados nas praias europeias.

O Regulamento (UE) 2023/2055 altera o Regulamento REACH (Regulamento 1907/2006) relativamente à restrição da utilização de micropartículas de polímeros sintéticos em diversos

produtos, como produtos para o lar, produtos fitofarmacêuticos ou produtos de beleza de modo a proteger o ambiente marinho.

A Estratégia Europeia para os Plásticos na Economia Circular visa promover o investimento em soluções inovadoras de forma a reduzir a utilização de plásticos através de medidas de reciclagem, reutilização e reparação de produtos e embalagens.

Relativamente à legislação nacional, o Decreto-Lei nº 69/2021 proíbe a colocação no mercado de produtos cosméticos e de detergentes que contenham microesferas de plástico a partir de 1 de julho de 2022 e o Decreto-Lei nº 78/2021 que proíbe a colocação no mercado de produtos de plástico de utilização única.

Neste sentido, a aplicação de taxas como a contribuição sobre os sacos de plástico leves ou sobre as embalagens de utilização única para adquirir refeições prontas a consumir têm como objetivo promover e motivar os consumidores, produtores e comerciantes para um comportamento mais sustentável (Agência Portuguesa do Ambiente, 2021b; GESAMP, 2016) de forma a reduzir a acumulação de plásticos no ambiente.

A nível de comportamentos individuais e sociais, a reciclagem também tem um papel fundamental na redução da produção de plástico e na mitigação da libertação destes para o ambiente marinho (GESAMP, 2016; UNEP, 2016), contudo a taxa de reciclagem de plástico em Portugal ainda está muito próxima da taxa de deposição em aterro (Plastics Europe, 2022), sendo necessário desenvolver mais medidas para aumentar a taxa de reciclagem, tais como a implementação do sistema PAYT em que cada cidadão paga pelo volume de resíduos produzido.

A nível de comportamentos industriais, existem dois instrumentos voluntários que têm como objetivo a redução de resíduos plásticos através da promoção da redução da produção de plásticos e da promoção da economia circular dos produtos plásticos - Circular Plastics Alliance e Textile Exchange's Recycled Polyester Challenge (Bauer et al., 2023).

2.1.2 Plásticos e microplásticos em ambiente marinho

Em ambiente marinho, os plásticos podem entrar de diferentes fontes, nomeadamente terrestres, ribeirinhas ou marítimas (Mira Veiga et al., 2016).

As fontes de origem terrestre estão associadas ao tratamento e à gestão inadequada de resíduos, nomeadamente a deposição direta de detritos, tanto longe como perto da linha de costa, as atividades industriais ou perdas no processo de tratamento dos resíduos sólidos (GESAMP, 2016; Mira Veiga *et al.*, 2016).

As fontes de origem ribeirinha estão associadas a descargas de águas pluviais ocorridas durante tempestades ou a descargas de efluentes não tratados, devido à baixa eficiência do processo de tratamento de águas residuais (Holzhauer *et al.*, 2016).

As fontes marítimas estão associadas à pesca comercial, pois frequentemente são perdidas redes (produzidas, maioritariamente, a partir de nylon), à aquacultura, a plataformas offshore de petróleo ou gás natural (GESAMP, 2016; Li *et al.*, 2021; Mira Veiga *et al.*, 2016) e à marinha mercante, militar ou de investigação, que por serem embarcações ou instalações de grandes dimensões, com tripulações numerosas, geram diariamente quantidades significativas de resíduos, que se não forem bem acondicionados e armazenados, podem terminar como lixo marinho (GESAMP, 2021).

Independentemente da origem, todas as fontes contribuem para a entrada no ambiente marinho de quantidades significativas de plásticos, sendo que se estima que cerca de 80% provenha de fontes terrestres e os restantes 20% provenham de fontes marítimas (Barboza *et al.*, 2018; García Rellán *et al.*, 2023; Holzhauer *et al.*, 2016), com o oceano a ser o recetor final de todos os detritos gerados em terra.

Nos ambientes marinhos e ribeirinhos, a abundância e a distribuição dos plásticos são fortemente influenciados pela sua hidrodinâmica (Li *et al.*, 2023; Van Sebille *et al.*, 2020). As correntes oceânicas permitem a dispersão dos detritos de diferentes dimensões (desde micrómetros a metros), tendo sido encontrados tanto nos polos (Huserbråten *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2023), como na Fossa das Marianas (Peng *et al.*, 2018).

No meio marinho, à medida que a profundidade aumenta, a disponibilidade de luz e radiação, a temperatura e o nível de oxigénio diminuem, o que implica que no fundo do oceano os plásticos que afundam permaneçam intactos por muito mais tempo comparativamente com os que permanecem à superfície (Hale *et al.*, 2020; UNEP, 2016)

Os plásticos, em ambiente marinho, sofrem degradação física, como erosão, abrasão ou correntes marítimas. Também podem sofrer degradação química, como a foto oxidação ou as alterações de temperatura ou degradação biológica através da incrustação de microrganismos (GESAMP, 2019), sendo que se vão fragmentando e dão origem a novos detritos com diferentes tamanhos e formas (Frias & Nash, 2019). Estes novos detritos plásticos, quando têm dimensões inferiores a 5 mm designam-se por microplásticos.

Os microplásticos podem ser designados como microplásticos primários ou secundários. Os microplásticos primários são aqueles que originalmente são produzidos com dimensões muito reduzidas ou que entram no ambiente com dimensões inferiores a 5 mm e são usados em diversos setores, tais como na produção de embalagens, nos produtos de lar, tais como

detergentes ou produtos abrasivos, enquanto os secundários são aqueles que são originados pela fragmentação de macrolásticos e surgem pela degradação de plásticos utilizados em setores como o das embalagens, na construção civil e mobiliário, transporte e mobilidade e na agricultura (Agência Portuguesa do Ambiente, 2021a; GESAMP, 2015).

Em suma, nos oceanos encontram-se microplásticos primários oriundos de produtos de cuidado pessoal, de microfibras têxteis ou de pellets da indústria transformadora do plástico e microplásticos secundários provenientes da degradação de pneus de veículos, das tintas utilizadas na construção civil e no transporte marítimo e dos fragmentos provenientes de embalagens e de outros resíduos (GESAMP, 2016).

2.1.3 Microplásticos em águas

A presença de microplásticos em águas, tanto oceânicas como de rio ou estuário tem sido, ao longo dos anos, estudada em várias partes do Mundo.

Os plásticos, ao atingirem o oceano, e através das correntes oceânicas, tendem a concentrar-se em áreas específicas, os giros. Os giros são formados por sistemas de correntes superficiais formadas pelo vento em que se criam áreas de vórtice para onde se dirigem todos os materiais leves (Barboza *et al.*, 2018; Segar & Segar, 2018), sendo que existem cinco giros identificados: dois no oceano Atlântico (Norte e Sul), dois no Pacífico (Norte e Sul) e um no Índico (Filho *et al.*, 2021). Os giros do Pacífico e o do Atlântico Norte são aqueles que acumulam mais plásticos e microplásticos (Bergmann *et al.*, 2015).

No oceano Atlântico, a abundância de microplásticos tem sido referida em diversos artigos elencados de seguida.

Na área localizada junto à ilha de plástico do Atlântico Norte, na convergência entre as correntes portuguesa, dos Açores e do Mar Mediterrâneo, as micropartículas colhidas por arrasto horizontal foram divididas em dimensões superior a 300 μm e inferior a 300 μm . As partículas de dimensões superiores a 300 μm apresentam abundância de $(0,8 \pm 1,0) \text{ MP m}^{-3}$ enquanto as partículas com dimensões inferiores a 300 μm apresentam uma concentração de $(500 \pm 700) \text{ MP m}^{-3}$ (Hansen *et al.*, 2023).

Na área localizada no giro subtropical anticiclónico do Atlântico Norte foram amostradas águas colhidas por arrasto horizontal e por arrasto vertical, nos primeiros 25 metros da coluna de água. A abundância das amostras colhidas no giro foi de $(0,62 \pm 0,52) \text{ MP m}^{-3}$, a abundância das amostras costeiras (até 370 km da costa) foi de $(0,40 \pm 0,37) \text{ MP m}^{-3}$ e a de oceano aberto foi de $(0,19 \pm 0,19) \text{ MP m}^{-3}$ (Courtene-Jones *et al.*, 2022).

No Atlântico, durante a viagem do NRP Sagres, que passou por Cabo Verde, pela costa este da América do Sul e costa oeste de África, foram amostradas águas subsuperficiais, sendo que a maioria dos microplásticos encontrados tem dimensões inferiores a 1000 μm . Na maioria das estações de amostragem a abundância de microplásticos é inferior a 1 $\text{MP m}^{-3} \text{ km}^{-1}$, enquanto em duas estações da ilha de Santiago (Cabo Verde) foram registadas abundâncias de $(5,9 \pm 5,2) \text{ MP m}^{-3} \text{ km}^{-1}$ e $(0,98 \pm 0,86) \text{ MP m}^{-3} \text{ km}^{-1}$, na baía de Guanabara (Rio de Janeiro, Brasil) a abundância foi registada em $(41 \pm 27) \text{ MP m}^{-3} \text{ km}^{-1}$ e na Cidade do Cabo (África do Sul) a abundância foi de $(4,9 \pm 2,4) \text{ MP m}^{-3} \text{ km}^{-1}$ (Almeida *et al.*, 2023).

Também em Kingston Harbour a abundância de microplásticos nas águas superficiais varia entre 0 e 5,73 MP m^{-3} , sendo que a média de abundância é de 0,76 MP m^{-3} (Rose & Webber, 2019)

No arquipélago das Canárias, a abundância de microplásticos com dimensão superior a 200 μm nas suas águas superficiais foi de $(10 \pm 31) \text{ MP m}^{-3}$ (García-Regalado *et al.*, 2024).

Em Portugal, no rio Antuã, a abundância de microplásticos varia entre 58 e 1265 MP m^{-3} (Rodrigues *et al.*, 2018a).

Também no Oceano Ártico, junto ao arquipélago ártico canadiano, a abundância de microplásticos é de $(31 \pm 17) \text{ MP m}^{-3}$, tendo origem nas águas superficiais do Atlântico (Zhang *et al.*, 2023), enquanto no Oceano Pacífico a abundância varia entre 8 e 9180 MP m^{-3} (Desforges *et al.*, 2014). No mar do Sul da China a abundância de microplásticos foi de $(797 \pm 512) \text{ MP m}^{-3}$, para o norte do mar e de $(744 \pm 330) \text{ MP m}^{-3}$ para a região sul do mar, e no Oceano Pacífico foi de $(201 \pm 134) \text{ MP m}^{-3}$ (Cui *et al.*, 2022). Também no Oceano Pacífico, em Vanuatu, a abundância média é de 0,28 MP m^{-3} (Bakir *et al.*, 2020).

Na costa da Sardenha, em 2012, foram amostrados quatro locais (Mal di Ventre, Caletta, Marceddi e Tirso), em que as abundâncias para as amostras de água superficiais foram $(0,021 \pm 0,00) \text{ MP m}^{-3}$ para Mal di Ventre, $(0,01 \pm 0,00) \text{ MP m}^{-3}$ para Caletta e $(0,20 \pm 0,03) \text{ MP m}^{-3}$ para Marceddi e $(0,09 \pm 0,08) \text{ MP m}^{-3}$ para Tirso e em 2013 para além dos quatro locais mencionados anteriormente, também foi amostrado um ponto afastado 20 milhas náuticas da costa, em que as abundâncias para as amostras de água superficiais foram $(0,19 \pm 0,04) \text{ MP m}^{-3}$ para Mal di Ventre, $(0,02 \pm 0,01) \text{ MP m}^{-3}$ para Caletta e $(0,17 \pm 0,06) \text{ MP m}^{-3}$ para Marceddi e $(0,19 \pm 0,15) \text{ MP m}^{-3}$ para Tirso, enquanto no ponto mais afastado foram efetuadas duas recolhas no mesmo dia (uma durante o dia e outra durante a noite), sendo que durante o dia a abundância registada foi de $(0,25 \pm 0,15) \text{ MP m}^{-3}$ e de noite foi de $(0,35 \pm 0,11) \text{ MP m}^{-3}$ (de Lucia *et al.*, 2014).

Os microplásticos, conforme a sua constituição química têm comportamentos diferentes, isto é, de acordo com a densidade dos polímeros que os constituem, podem flutuar ou afundar (Barboza *et al.*, 2018). Polímeros como PA, PVC e PET têm densidade superior à da água do mar, logo afundam, enquanto PS, HDPE, LDPE, PE, PP e PUR têm densidade inferior à da água do mar e flutuam (Yang *et al.*, 2021).

De acordo com Courteney-Jones *et al.* (2022), os polímeros encontrados no giro do Atlântico Norte foram PE, PP, PA e acrílico enquanto aqueles que foram encontrados no oceano aberto foram PS, PVC, PE e EVA. Também, no oceano Atlântico foram encontrados PA, PP, PET, PS, PE, PVC, EVA e acrílico (Almeida *et al.*, 2023; Hansen *et al.*, 2023; Pabortsava & Lampitt, 2020). Enquanto García-Regalado *et al.* (2024) referem que os polímeros encontrados foram HDPE e PP.

2.2 Metodologia

2.2.1 Recolha

2.2.1.1 Colheita por arrasto horizontal

A recolha de água por arrasto horizontal realiza-se a partir de uma embarcação e pode ser efetuada utilizando uma rede manta ou uma rede de neuston (Gago *et al.*, 2018; GESAMP, 2019). Estas redes podem ser utilizadas em qualquer tipo de embarcação, desde que a sua velocidade durante a colheita não ultrapasse 3 nós (GESAMP, 2019; Tokai *et al.*, 2021), as colheitas devem durar entre 15 e 30 minutos, sendo que esta duração é variável e depende da quantidade de fitoplâncton e de zooplâncton (GESAMP, 2019; Montoto-Martínez *et al.*, 2022).

Estes equipamentos são constituídos por uma estrutura de alumínio com flutuadores e por uma rede e um copo coletor, sendo que a rede manta é a mais utilizada na amostragem de microplásticos da superfície da água (Pasquier *et al.*, 2022).

A rede manta (Figura 2.2.) tem uma abertura de 30 x 15 cm (Hydro-Bios, 2020) e, de acordo com Gago *et al.* (2018) recolhe os primeiros 15 a 25 cm da superfície da água, enquanto a rede de neuston apresenta uma abertura maior, sendo possível recolher os primeiros 50 cm de água superficial (Pasquier *et al.*, 2022). De forma a permitir que se mantenham à superfície são adicionados flutuadores (Brown & Cheng, 1981).

(a)



(b)



Figura 2.2 - Rede tipo manta (a) e (b)

Tanto para a rede manta como para a rede de neuston é possível incluir um fluxômetro mecânico de forma a permitir estimar o volume de água amostrada durante a colheita (GESAMP, 2019), o diâmetro de poro da rede, pode variar entre 50 μm e 500 μm , sendo o mais comum de 300 μm (Gago *et al.*, 2018; GESAMP, 2019).

2.2.1.2 Colheita por arrasto vertical

A recolha de água por arrasto vertical realiza-se a partir de uma embarcação e pode ser efetuada utilizando uma rede de plâncton ou rede bongo.

As redes bongo e de plâncton (Figura 2.3) são estruturas cónicas, que podem ser utilizadas a diferentes profundidades e com elas é possível amostrar volumes razoáveis de água (Campanale *et al.*, 2020; Prata *et al.*, 2019).

De acordo com Campanale *et al.* (2020), o arrasto vertical tem como limitação o risco de contaminação cruzada que pode levar a uma sobrestimação, mas, também, à subestimação da quantidade total de microplásticos à superfície.



Figura 2.3 - Rede cônica de plâncton

2.2.2 Processamento Laboratorial

A crivagem, antes do processo de digestão, tem como propósito fazer a pré-filtração para reduzir a quantidade de matéria orgânica existente na amostra, isto é, separa a fração superior da água marinha de modo a reter o material no crivo (Gago *et al.*, 2018).

O processo de digestão tem como objetivo remover a matéria orgânica presente na matriz da amostra, facilitando a posterior caracterização física e química dos microplásticos. A digestão pode ser biológica (enzimática) ou química (oxidativa, ácida ou alcalina) (Li *et al.*, 2018). Na Tabela 2.3. apresentam-se os quatro tipos de digestão, as suas vantagens e desvantagens.

Tabela 2.3 - Tipologia de digestões para águas (Fonte: GESAMP, 2019)

	Biológica	Oxidativa	Ácida	Alcalina
Reagentes (exemplos)	Enzimas	Peróxido de hidrogénio (H ₂ O ₂)	Ácido nítrico (HNO ₃)	Hidróxido de potássio (KOH)
Vantagens	Eficaz	Baixo custo Curta duração	Muito curta duração	Eficaz
Desvantagens	Longa duração Custo elevado	Necessidade de controlar a temperatura	Danifica alguns polímeros	Longa duração

No caso das amostras de água, o processo digestivo mais comum é o alcalino, nomeadamente com hidróxido de potássio (KOH), uma vez que para além de permitir a destruição da matéria orgânica presente na amostra, também é mais eficiente e não danifica polímeros (Pfeiffer & Fischer, 2020). De acordo com Gago *et al.* (2018), a solução de KOH deve ter uma concentração de 10% e adicionada num rácio de 3:1 (volume de solução: volume de amostra).

Segundo estes autores, a mistura deve ser mantida numa estufa a 40°C, até a um máximo de 72 horas (Gago *et al.*, 2018), contudo outros autores defendem que a mistura pode ser mantida à temperatura ambiente durante dois dias (Campanale *et al.*, 2020).

Após esta etapa, se a matéria orgânica ainda não estiver totalmente digerida deve ser utilizada uma mistura de peróxido de hidrogénio (H₂O₂), com concentração de 15%, adicionada num rácio de 1:1 (volume de solução: volume de amostra) e colocada na estufa a 40°C (Gago *et al.*, 2018).

A filtração consiste em transferir a amostra para filtros, através de um sistema de filtração a vácuo com um copo de filtração.

Nesta etapa, podem ser utilizados diferentes tipos de filtros, nomeadamente de fibra de vidro, de policarbonato ou de silicone (Carter *et al.*, 2023; Frias *et al.*, 2018), entre outros.

2.2.3 Caracterização Física e morfológica

A caracterização física e morfológica baseia-se na análise visual direta das micropartículas quanto à sua forma, cor e tamanho recorrendo a uma lupa estereoscópica ou microscópio (Prata *et al.*, 2019) e, normalmente, é seguida da análise química da micropartícula para a classificar como microplástico.

Nesta etapa, faz-se também a separação entre os microplásticos e os não-microplásticos, ou seja, através de características como brilho, textura, dureza e consistência elástica, verificadas com o auxílio de uma agulha (Rocha-Santos & Duarte, 2015; Tirkey & Upadhyay, 2021).

Relativamente à forma dos microplásticos, existem oito tipos mais comuns: pellet, fragmento, fibra, filme, filamento, microesfera, esponja e borracha, enquanto as cores mais comuns são preto, azul, branco, transparente, vermelho, verde, multicolor e outros, tais como cinzento, amarelo, roxo, castanho ou rosa (Frias *et al.*, 2018).

2.2.4 Caracterização Química

A caracterização química baseia-se na análise dos microplásticos, consoante a sua estrutura e constituição polimérica.

As técnicas mais comuns são a espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier em Reflexão Total Atenuada (ATR-FTIR), acoplada ou não a microscopia μ -FTIR, ou micro-Raman (μ -RAMAN) e a Pirólise acoplada à cromatografia gasosa e espetrometria de massa (Py-GC-MS), sendo as técnicas mais recomendadas, a ATR-FTIR e a μ -FTIR (Frias *et al.*, 2018).

A espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier permite obter espectros através da quantificação da radiação infravermelha emitida ou absorvida pelos átomos dos polímeros (Xu *et al.*, 2019).

De acordo com Xu *et al.* (2019), as técnicas ATR-FTIR e μ -FTIR permitem analisar a micropartícula colocando-a em contacto com um material de alto índice refrativo, que irá irradiar a superfície da partícula com uma onda evanescente. No caso do ATR-FTIR, a maior desvantagem está associada ao tamanho da micropartícula, uma vez que o cristal necessita de estar coberto para produzir um espectro bem definido, o que não permite que partículas de dimensões muito reduzidas possam ser analisadas, enquanto com a técnica μ -FTIR a maior desvantagem é conseguir alinhar o cristal com a micropartícula de forma a definir corretamente o espectro.

Com estas técnicas deve-se ter em atenção o envelhecimento dos polímeros, uma vez que estes são identificados individualmente e comparados com os espectros de referência (Yan *et al.*, 2022).

Com a técnica ATR-FTIR, as dimensões aconselháveis enquadram-se entre 500 μm e 5000 μm e com a de μ -FTIR devem ser valores entre 10 μm e 500 μm (Roscher *et al.*, 2022).

METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo situa-se no oceano Atlântico na área adjacente entre a Praia de Mira e Vieira de Leiria.

Foram efetuadas duas campanhas oceânicas para colheita de amostras de águas por arrasto vertical e por arrasto horizontal, a bordo do N.R.P. Andrómeda, sendo os pontos de amostragem os mesmos nas duas campanhas. A primeira campanha decorreu entre 10 e 13 de novembro e nos dias 30 de novembro e 1 de dezembro de 2021, que corresponde ao outono enquanto a segunda campanha correspondente à primavera decorreu entre 26 e 29 de abril de 2022.

Para esta área contribui a bacia hidrográfica do rio Mondego que está totalmente inserida em território português e ocupa 6 645 km², sendo o maior rio nacional. Este rio percorre 258 km, a sua nascente situa-se na Serra da Estrela e desagua no Oceano Atlântico, na Figueira da Foz.

A área entre Ovar e Vieira de Leiria situa-se nos distritos de Coimbra e Leiria, sendo que existem zonas industriais de fabrico de plástico, de transformação de pasta de papel. Ao longo do rio Mondego, entre estas duas localidades, existem campos agrícolas, maioritariamente arrozais (Itecons, 2022) e uma central termoelétrica (Central Termoelétrica de Lares).

3.2 Amostragem

3.2.1 Estações de amostragem

Foram efetuadas colheitas em dezanove pontos de amostragem (n=19 amostras) localizados entre Praia de Mira e Vieira de Leiria.

Na Figura 3.1 apresentam-se as localizações das estações de amostragem e nas Tabelas 3.1 e 3.2 (Apêndices 1 e 2) encontram-se as respetivas coordenadas geográficas obtidas através de um sistema de posicionamento global (GPS), referenciadas ao sistema de coordenadas World Geodetic System 1984 (*datum* WGS 84) e os respetivos volumes amostrados.

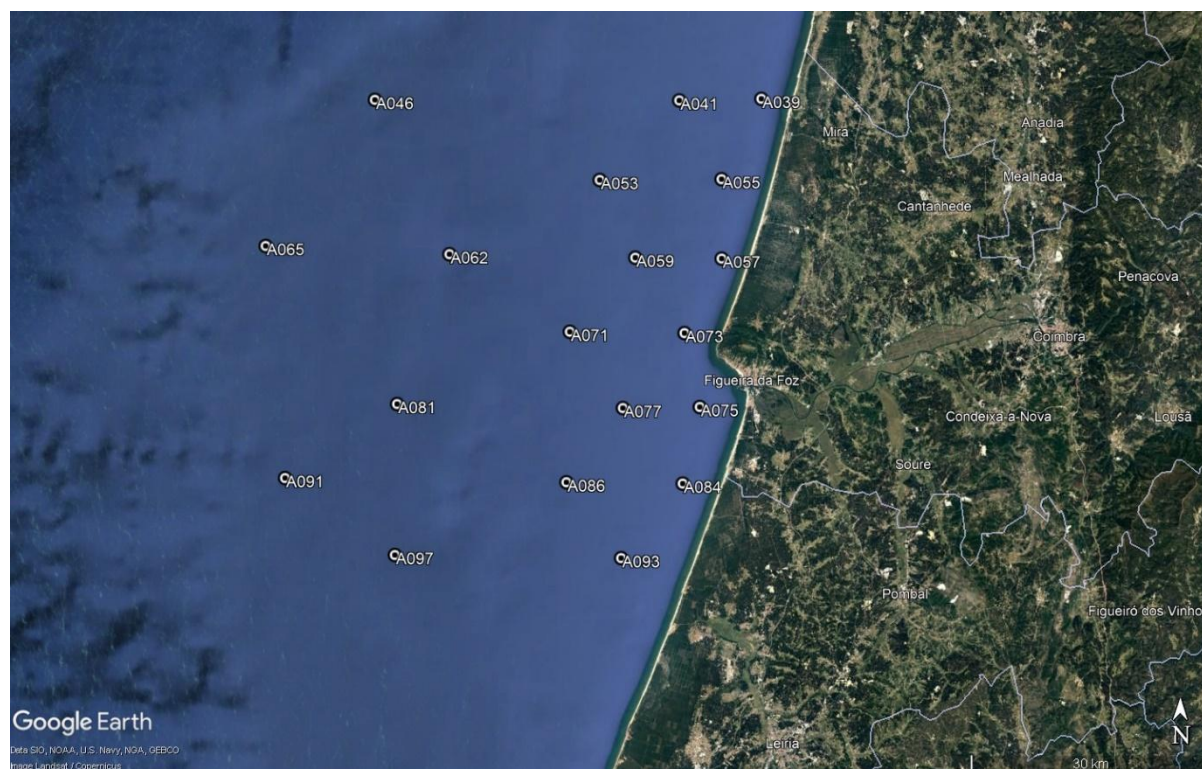


Figura 3.1 - Localização das estações de amostragem, entre a Praia de Mira e Vieira de Leiria

A colheita de microplásticos à superfície foi efetuada através de arrasto horizontal de uma rede tipo manta de 150 μ m de malha, durante 15 a 20 minutos, à velocidade de dois a três nós, enquanto a colheita da coluna de água foi efetuada através de arrasto vertical de uma rede de plâncton de formato cónico de 150 μ m de malha, nos primeiros 20 m de profundidade na coluna de água.

A água retida no copo coletor da rede foi cuidadosamente transferida para um frasco de vidro de 1 L, com o auxílio de um funil de aço inoxidável, no caso das águas superficiais, enquanto no caso das amostras da coluna de água, a água retida foi transferida para um frasco de vidro de 250 mL.

De seguida, a rede e o copo foram lavados, a partir do seu exterior, usando a água do mar colhida com balde de zinco e armazenada num esguicho, sendo que a água da lavagem foi transferida para dentro do frasco contendo a amostra.

Os frascos contendo as amostras de água, Figura 3.2., foram identificados previamente com o nome do projeto, da estação, a data e hora da colheita e o tipo de amostra, e estas preservadas adicionando entre 5 e 10 mL de etanol, logo após a sua recolha de modo a evitar a decomposição do plâncton passível de dificultar a análise de microplásticos.

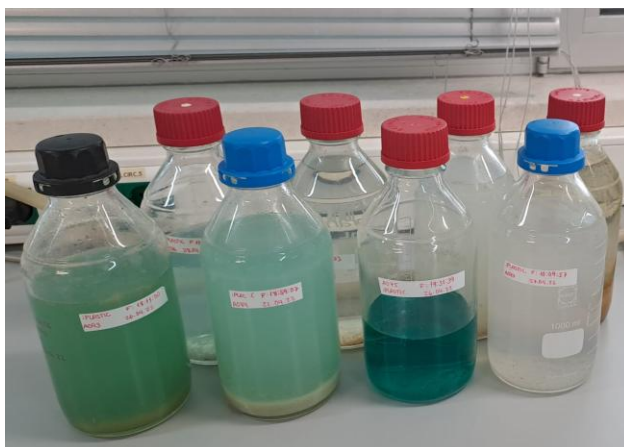


Figura 3.2 - Exemplo de amostras de água colhidas

A bordo do navio, as amostras permaneceram à temperatura ambiente refrigerada por ar condicionado e o transporte das amostras até ao IH foi efetuado sem refrigeração, no menor espaço de tempo possível. As amostras foram mantidas em arcas refrigeradoras, ao abrigo da luz solar, até ao seu processamento.

3.3 Procedimento Laboratorial

O processamento das amostras de água foi efetuado de acordo com Gago *et al.* (2018).

As amostras foram retiradas da arca frigorífica e deixadas à temperatura ambiente, durante algumas horas.

O procedimento laboratorial para a separação dos microplásticos das amostras de água encontra-se esquematizado na Figura 3.3.

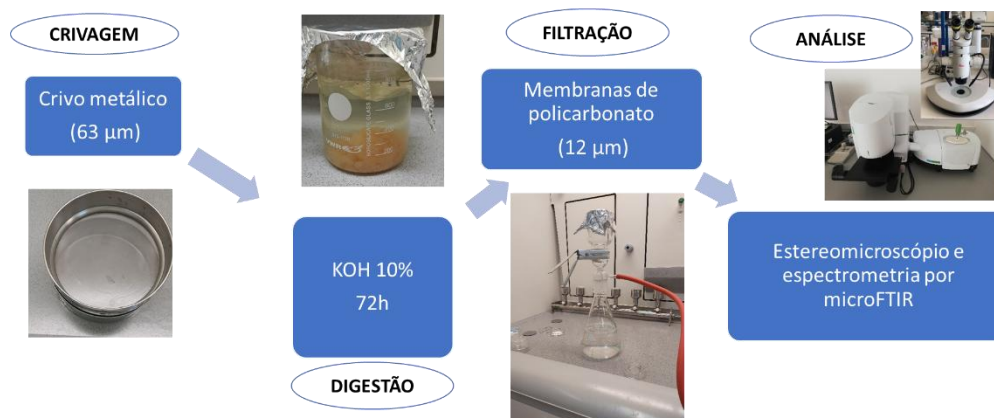


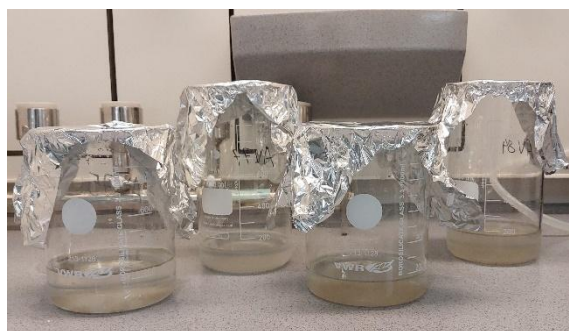
Figura 3.3 - Esquematização do procedimento laboratorial

3.3.1 Crivagem

Após a amostra estar à temperatura ambiente, esta foi crivada com um crivo de 63 µm (Figura 3.4 (a)) e lavada com água ultrapura. A fração menor foi depositada num copo de precipitação de 1 L (Figura 3.4 (b)), com o auxílio de um esguicho com água ultrapura (a água ultrapura utilizada possui resistividade de $18,2 \text{ M}\Omega \text{ cm}^{-1}$) para remover as micropartículas potencialmente retidas na superfície interna e nas paredes internas do crivo. O copo de precipitação foi coberto com uma folha de papel de alumínio para evitar a contaminação cruzada.



(a)



(b)

Figura 3.4 - Fases da crivagem: (a) crivo metálico de 63 µm e (b) fração depositada no copo de precipitação

3.3.2 Digestão

Preparou-se uma solução de hidróxido de potássio (KOH) a 10% que posteriormente foi filtrada com filtros de fibra de vidro GF/C VWR com dimensão de poro de 1,2 μm e 47 μm de diâmetro.

A solução de KOH a 10% foi preparada pesando 100 g de KOH, em pastilhas, e dissolvendo em 1000 mL de água ultrapura. A adição de KOH à água tem como objetivo a digestão da matéria orgânica existente.

Adicionou-se a solução de KOH na proporção de 3:1 (KOH: amostra) à amostra crivada (Figura 3.5) anteriormente, à temperatura ambiente, agitando com uma vareta de vidro durante aproximadamente um minuto e, deixando a repousar 72h, com agitação periódica.

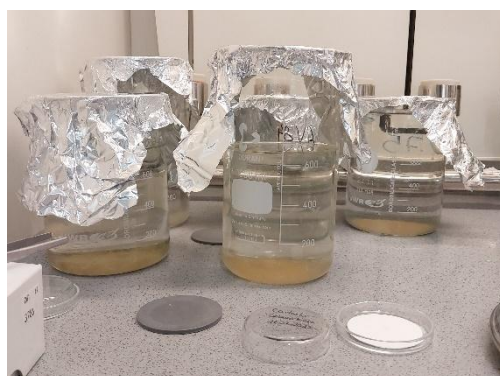


Figura 3.5 - Amostra, após a adição de KOH

3.3.3 Filtração

A filtração consiste na separação dos microplásticos da solução de KOH.

Para isso, preparou-se um sistema de filtração a vácuo (Figura 3.6a) constituído por um Kitasato de 1 L, um copo de filtração, um funil de base porosa para suporte dos filtros, um copo de filtração de 250 mL, uma mola que fixa o copo ao funil, uma mangueira que liga o Kitasato à bomba de vácuo.

Foram utilizados filtros de membrana de polycarbonato Whatman® com dimensão de poro de 12 μm e 47 μm de diâmetro e ainda uma pinça para o seu manuseamento.

Na hotte, ligou-se a bomba e verteu-se, cuidadosamente, a solução existente no copo de precipitação para o copo de filtração, dando assim início à filtração, ficando retida no filtro a matéria em suspensão. O copo de precipitação foi limpo, com recurso a um esguicho de água ultrapura, de forma a recolher as partículas virtualmente retidas nas paredes internas do copo.



(a)



(b)

Figura 3.6 - (a) Kit de filtração utilizado, (b) caixas de Petri com filtros de polycarbonato após o processamento da amostra

O filtro foi transferido para uma caixa de Petri (Figura 3.6b), previamente limpa e identificada, onde permaneceu à temperatura ambiente até à etapa seguinte.

3.4 Detecção, quantificação e caracterização dos microplásticos

A deteção, quantificação e caracterização química dos microplásticos consistiu em duas etapas: na primeira etapa foi efetuada uma análise visual para caracterizar física e morfologicamente as partículas (tipologia, cor e dimensão) e a segunda etapa consistiu na sua caracterização química (análise do polímero).

3.4.1 Caracterização física e morfológica

A análise visual consistiu na observação de potenciais microplásticos presentes nos filtros, através de uma lupa estereoscópica Leica® MZ16F (Figura 3.7), com ampliação 10x nas oculares e entre 0,71x e 11,5x nas objetivas.

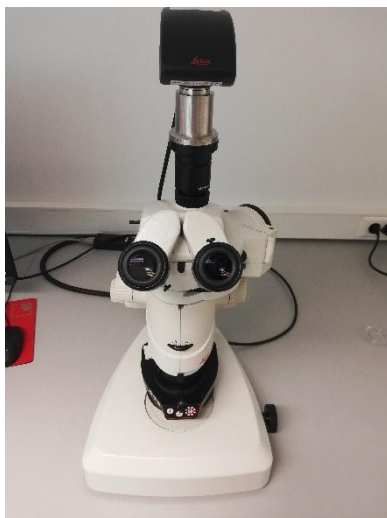


Figura 3.7 - Estereomicroscópio
Leica MZ16F

Os critérios utilizados para reconhecer microplásticos foram: a apresentação de cores homogêneas e definidas, a espessura homogênea das fibras ao longo do seu comprimento, o brilho, a inexistência de estruturas orgânicas e a dureza e reação ao toque determinada pelo emprego de agulhas e pinças.

Os potenciais microplásticos encontrados foram categorizados em fibras, filamentos, fragmentos, pellets e filmes.

À medida que se processava a observação à lupa, também se procedeu à captura de imagens utilizando uma câmara Leica® com o auxílio do software LAS X. Estas imagens capturadas foram utilizadas para determinar o tamanho dos potenciais microplásticos. Algumas fibras, por estarem muito enroladas, não foi possível determinar com exatidão o seu comprimento.

Os potenciais microplásticos foram divididos em seis classes: [1, 500] μm ,]500,1000] μm ,]1000, 2000] μm ,]2000,3000] μm ,]3000,4000] μm e]4000, 5000] μm .

Os filtros resultantes do processo de filtração foram todos analisados, tal como os filtros de controlos de contaminação por via aérea, utilizados durante todas as fases do processamento das amostras.

3.4.2 Caracterização química

Durante a observação à lupa, foram isoladas partículas suspeitas de serem microplásticos para posteriormente ser efetuada a análise por ATR-FTIR e μ -FTIR. Recorreu-se a uma pinça e

agulha, para transferir as partículas da caixa de Petri para lâminas de microscopia côncavas, estas foram cobertas com lâminas normais, fixadas nos topos com fita-cola e identificadas, para posterior análise química.

Para a análise dos potenciais polímeros, foi utilizado um sistema Spotlight 200i da PerkinElmer (Figura 3.8), que consiste num espectrómetro FTIR e microscópio equipado com ATR e detetor MCT, tendo sido utilizado para o varrimento de espectros, com abertura de feixe de 100 μm x 100 μm .



Figura 3.8 - Sistema Spotlight 200i acoplado a um Spectrum Two

O intervalo de energia está definido entre 4000 cm^{-1} e 500 cm^{-1} . O registo dos espectros foi feito no modo Refletância Total Atenuada (ATR). O varrimento de fundo foi feito de 10 em 10 amostras. Para a correspondência entre os espectros recorreu-se à biblioteca de espectros disponibilizadas pelo software PerkinElmer Spectrum, nomeadamente a *PerkinElmer Homopolymer and Plasticizer Library Sample List*, *Polymers FT-IR Spectral Library* e *ATR Polymer Introductory Library*. Para atribuir a classificação de microplástico ou não microplástico, se a percentagem de correspondência entre a micropartícula e o polímero for superior a 90%, se a percentagem estiver entre 70% e 90% a correspondência fez-se comparando com os espectros de referência de polímeros virgens apresentados por Jung *et al.* (2018).

3.5 Controlo de contaminação

As medidas de controlo de contaminação adotadas foram baseadas no protocolo padronizado para a monitorização de microplásticos em águas marinhas elaborado por Gago *et al.*, (2018).

Durante a colheita das amostras, por ser difícil eliminar totalmente a utilização de materiais de plástico, foram efetuados brancos de campo de forma a avaliar possíveis contaminações. Os brancos de campo, para amostras de arrasto vertical e de arrasto horizontal, foram efetuados através da lavagem, a partir do seu exterior, com água bombeada por uma mangueira e transferidos para um frasco de vidro de 250 mL e de 1 L, respetivamente, adicionando cerca de 5 a 10 mL de etanol utilizado para a preservação das amostras.

Durante todo o procedimento laboratorial, foram tomados diversos cuidados para minimizar a contaminação por via aérea. Durante o manuseamento de todas as amostras foram utilizadas luvas de latex ou de nitrilo e o vestuário utilizado foi de algodão e sem polímeros sintéticos.

Antes de cada utilização, todas as superfícies foram limpas com etanol a 70% e cobertas com folhas de papel.

Foram preparados controlos, de modo a detetar potenciais contaminações nas diversas etapas do processamento e análise das amostras. Deste modo, por cada dia de preparação e análise foram preparados controlos. Para isso, lavou-se todo o material de vidro e de metal com detergente da loiça manual e água e, de seguida, passaram-se por água ultrapura e levaram-se à estufa a 60°C e foram mantidos em condições aéreas limpas e cobertos até serem utilizados.

Os filtros foram colocados em caixas de Petri, com o auxílio de uma pinça, tendo sido imediatamente fechadas e identificadas. As soluções preparadas foram filtradas utilizando filtros de fibra de vidro VWR® GF/C com dimensão de poro de 1 µm.

O material de laboratório utilizado foi maioritariamente de vidro, metal ou plástico, nomeadamente caixas de Petri de diversos tamanhos, copos de precipitação, crivo, sistema de filtração, garrafa, funis, esguichos, entre outros. Estes materiais após cada utilização foram lavados, inicialmente, com água da torneira e detergente da loiça manual e, de seguida, passados com água ultrapura e colocados na estufa a 60° cobertos e guardados.

Se ocorrer contaminação verificada através da presença de microplásticos nos filtros de controlo ou nas amostras de controlo, as concentrações de microplásticos nas amostras são corrigidas.

3.6 Tratamento estatístico

A análise estatística foi feita recorrendo ao software PAST® e baseou-se na pesquisa quantitativa através de nove variáveis descritas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Variáveis em estudo no tratamento estatístico

Variável	Tipo
Localização	Discreta
Proximidade à costa	Discreta
Tipo de colheita	Discreta
Estação do ano	Discreta
Dimensão	Contínua
Cor	Discreta
Tipo	Discreta
Polímero	Discreta
Abundância	Contínua

No caso das variáveis discretas - cor, tipo e polímero - não é possível aplicar testes estatísticos pois são variáveis qualitativas. Assim, as variáveis em que foram aplicados testes estatísticos foram a dimensão e a abundância.

Devido à heterogeneidade das variâncias, para cada tipo de colheita (arrasto horizontal e arrasto vertical) e para cada estação do ano tentou-se correlacionar as variáveis Dimensão e Abundância – as duas variáveis contínuas – tendo concluído que a correlação entre as variáveis não é estatisticamente significativa (para as amostras colhidas por arrasto horizontal, o coeficiente de correlação linear de Pearson = -0,135 e para as amostras colhidas por arrasto vertical, o coeficiente de correlação linear de Pearson = 0,140).

De seguida, aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis para as variáveis abundância e dimensões, para as amostras colhidas por arrasto horizontal e para as amostras colhidas por arrasto vertical, tanto para o outono como para a primavera.

RESULTADOS

4.1 Amostragem por colheita horizontal

4.1.1 Abundância

Nas Figuras 4.1 e 4.2 estão representadas geograficamente a abundância de microplásticos colhidos à superfície da água, no outono e na primavera, respetivamente.

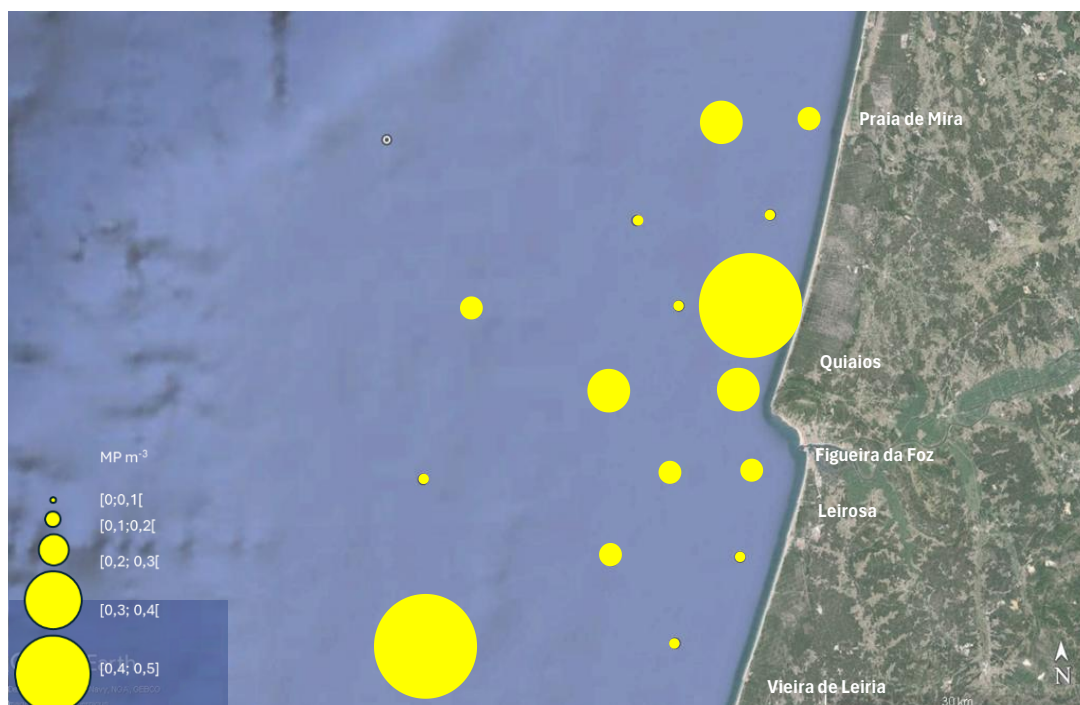


Figura 4.1 - Distribuição geográfica da abundância de microplásticos colhidos por arrasto horizontal entre a Praia da Mira e Vieira de Leiria, no outono

No outono, a concentração de microplásticos nas amostras colhidas por arrasto horizontal variam entre 0 e 0,4 MP m⁻³.

No outono, os pontos de amostragem mais afastados da costa não foram amostrados (devido a condições meteorológicas adversas) e no ponto mais afastado a norte não foram encontrados microplásticos.

Na região a norte, entre a Praia de Mira e Quiaios, os pontos de amostragem apresentam uma média de abundância de 0,14 MP m⁻³. sendo que os pontos que apresentam abundâncias menores, ou seja, 0,01 MP m⁻³, 0,09 MP m⁻³ e 0,07 MP m⁻³, estão localizados na zona central da região norte.

No ponto junto à costa da Praia de Mira verificou-se abundância de 0,14 MP m⁻³, no ponto intermédio desta faixa registou-se como abundância de microplásticos 0,29 MP m⁻³ e, no ponto mais afastado de Quiaios foi de 0,12 MP m⁻³. O ponto com maior abundância (0,4 MP m⁻³) situa-se junto a Quiaios.

Os pontos junto à foz do rio Mondego apresentam uma média de abundância de 0,16 MP m⁻³, sendo que os pontos a norte da foz apresentam as abundâncias superiores nesta região, isto é, 0,23 MP m⁻³ e 0,28 MP m⁻³. O ponto mais afastado da costa apresenta um valor de abundância de 0,05 MP m⁻³, o valor mais baixo desta região.

Os pontos a sul da foz apresentam como valores de abundância de 0,1 MP m⁻³ e 0,15 MP m⁻³.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria, a média de abundância dos pontos é de 0,16 MP m⁻³, sendo que nos pontos mais próximos da costa apresentam uma abundância de 0,01 MP m⁻³ e 0,09 MP m⁻³. No ponto intermédio à frente de Leirosa registou-se 0,14 MP m⁻³ e no ponto mais afastado de Vieira de Leiria registou-se a maior abundância, desta região, que foi de 0,40 MP m⁻³.

Aplicando, o teste de Kruskal-Wallis, relativamente às abundâncias registadas a norte, isto é, entre a Praia da Mira e Quiaios e na foz do rio Mondego, verifica-se que são significativamente diferentes ($p=0,002$ para um grau de confiança de 95%).

No mesmo sentido, as abundâncias registadas a norte - entre a Praia da Mira e Quiaios - e a sul, isto é, entre Leirosa e Vieira de Leiria também são significativamente diferentes ($p=9,2 \times 10^{-5}$ para um grau de confiança de 95%).

As abundâncias, entre a foz do Mondego e a sul (entre Leirosa e Vieira de Leiria), também são significativamente diferentes ($p=0,002$ para um grau de confiança de 95%).

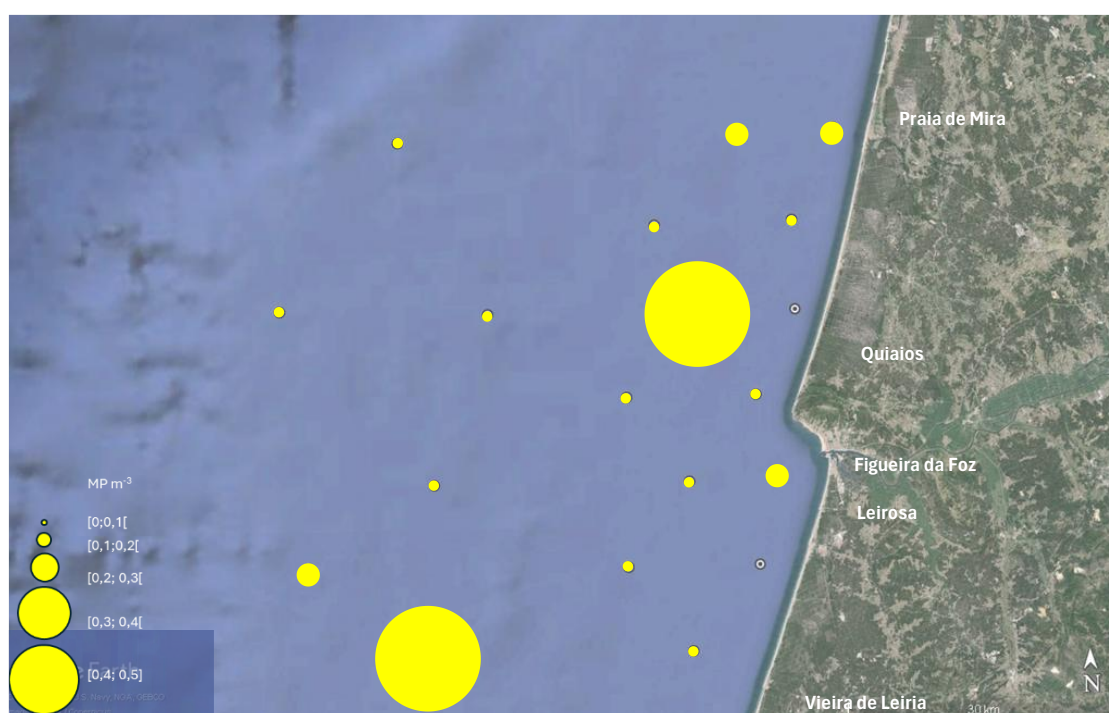


Figura 4.2 - Distribuição geográfica da abundância de microplásticos colhidos por arrasto horizontal entre a Praia da Mira e Vieira de Leiria, na primavera

Na primavera, a concentração de microplásticos encontrados nas amostras colhidas por arrasto horizontal variou entre 0 e $0,45 \text{ MP m}^{-3}$ e em dois pontos junto à costa, um na costa a norte e outro na costa a sul não foram encontradas microplásticos.

Na região a norte, entre a Praia da Mira e Quiaios, a média da abundância foi de $0,11 \text{ MP m}^{-3}$. Nos pontos mais afastados da costa registaram abundâncias de $0,02 \text{ MP m}^{-3}$, $0,04 \text{ MP m}^{-3}$ e $0,06 \text{ MP m}^{-3}$, nos pontos intermédios as abundâncias registadas foram $0,03 \text{ MP m}^{-3}$ e $0,08 \text{ MP m}^{-3}$. Já os pontos mais a norte apresentam abundâncias de $0,18 \text{ MP m}^{-3}$ e $0,19 \text{ MP m}^{-3}$ e o ponto com maior abundância nesta região registou $0,45 \text{ MP m}^{-3}$.

Os pontos de amostragem junto à foz do rio Mondego apresentam uma média de abundância de $0,06 \text{ MP m}^{-3}$. No ponto, a sul da foz, com maior abundância, registou $0,15 \text{ MP m}^{-3}$ e nos restantes pontos registaram-se abundâncias de $0,02 \text{ MP m}^{-3}$, $0,03 \text{ MP m}^{-3}$ e $0,05 \text{ MP m}^{-3}$.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria, na região a sul, a média da abundância foi de $0,15 \text{ MP m}^{-3}$, sendo que no ponto junto à costa mais próximo a Vieira de Leiria registou-se uma concentração de microplásticos de $0,03 \text{ MP m}^{-3}$ e no ponto intermédio na região adjacente a Leirosa $0,06 \text{ MP m}^{-3}$, estes são os pontos com menor abundância nesta região.

Os pontos mais afastados da costa registaram-se concentrações de $0,1 \text{ MP m}^{-3}$ e $0,44 \text{ MP m}^{-3}$, o ponto com maior abundância desta região.

Aplicando o teste de Kruskal-Wallis, relativamente às abundâncias registadas a norte (entre a Praia da Mira e Quiaios) e na foz, na primavera, verifica-se que são significativamente diferentes ($p=4,66 \times 10^{-6}$ para um grau de confiança de 95%) enquanto as abundâncias a foz e sul (Leirosa e Vieira de Leiria), também são significativamente diferentes ($p=9,23 \times 10^{-7}$ para um grau de confiança de 95%).

Comparando as abundâncias registadas no outono e na primavera para as amostras colhidas por arrasto horizontal, verifica-se que estas são significativamente diferentes ($p=0,01$ para um grau de confiança de 95%).

Ao aplicar o teste de Kruskal-Wallis, comparando as abundâncias registados no outono e na primavera, verifica-se que na foz as abundâncias são significativamente diferentes ($p=0,0002$ para um grau de confiança de 95%). enquanto a sul, as abundâncias também são significativamente diferentes ($p=4,88 \times 10^{-6}$ para um grau de confiança de 95%). A norte, as abundâncias não são significativamente diferentes.

4.1.2 Tipologia

As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam os pontos de amostragem com a distribuição das formas de microplásticos colhidos por arrasto horizontal, no outono e na primavera.

No outono, as formas de microplásticos encontradas foram fragmentos, fibras, filamentos e filmes, enquanto na primavera apenas foram encontrados fibras e fragmentos.

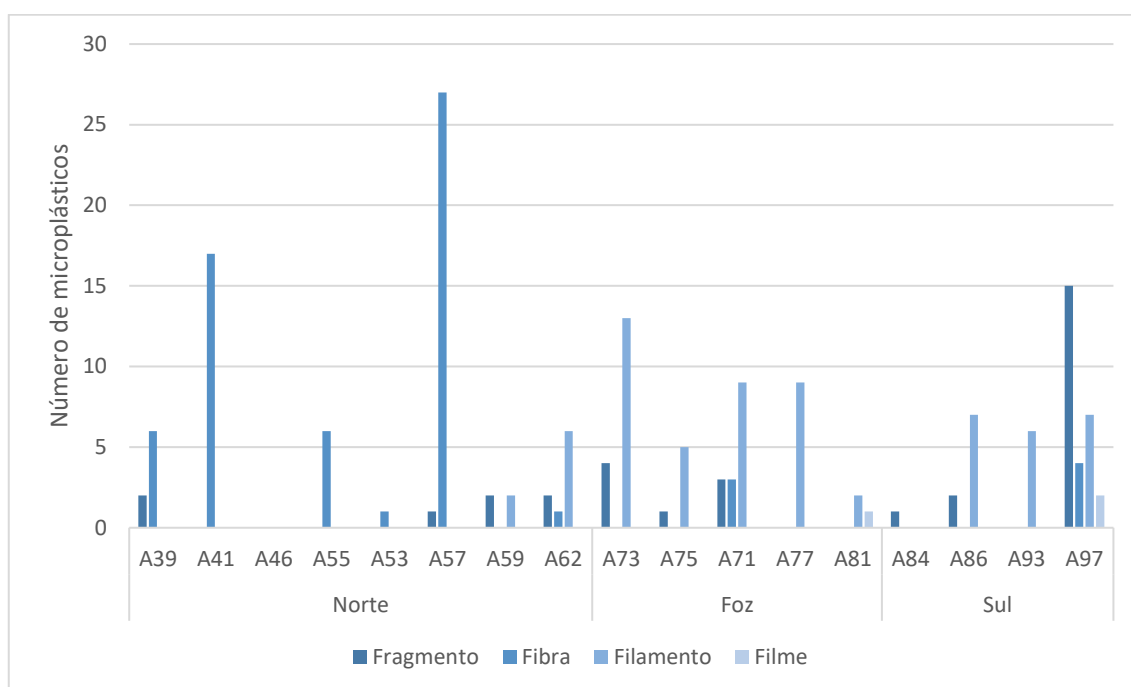


Figura 4.3 - Distribuição, por estações de amostragem, das tipologias de microplásticos encontrados na colheita por arrasto horizontal na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria), no outono

No outono, nos pontos na região a norte, entre a Praia da Mira e Quiaios, foram encontrados fibras, fragmentos e filamentos. Nos pontos de amostragem a norte foram encontrados fibras, fragmentos e filamentos.

No ponto mais próximo junto à costa de Praia de Mira foram encontrados dois fragmentos e seis fibras, no ponto intermédio junto à costa foram encontradas seis fibras e naquele mais próximo à costa de Quiaios foram encontrados um fragmento e 27 fibras.

No ponto intermédio mais a norte foram encontradas 17 fibras, no ponto intermédio central foi encontrada uma fibra, no ponto intermédio mais próximo a Quiaios foram encontrados dois fragmentos e dois filamentos e no ponto mais afastado de Quiaios foram encontrados dois fragmentos, uma fibra e seis filamentos. No ponto A46 não foram encontrados microplásticos.

Entre a Praia da Mira e Quiaios, os fragmentos, em média, apresentam uma concentração de $(0,014 \pm 0,016) \text{ MP m}^{-3}$, sendo o ponto A39 aquele com maior distribuição de microplásticos. As fibras, em média, apresentam uma concentração de $(0,113 \pm 0,147) \text{ MP m}^{-3}$, sendo o ponto A57 aquele com maior distribuição, os filamentos apresentam uma média de $(0,014 \pm 0,029) \text{ MP m}^{-3}$ e, o ponto A62 apresenta maior concentração.

Nos pontos junto à foz do rio Mondego foram encontrados fragmentos, fibras, filamentos e filmes.

No outono, os dois pontos na desembocadura do rio apresentam maior quantidade de filamentos (13 no ponto a norte e cinco no ponto a sul) do que de fragmentos (quatro no ponto a norte e um no ponto a sul), enquanto no ponto mais afastado foram encontrados dois filamentos e um filme. No ponto intermédio a norte da foz foram encontrados três fragmentos, três fibras e nove filamentos e no ponto intermédio a sul da foz foram encontrados nove filamentos.

Na foz do rio Mondego, os fragmentos apresentam uma média de $(0,026 \pm 0,029) \text{ MP m}^{-3}$ e os filamentos apresentam $(0,124 \pm 0,07) \text{ MP m}^{-3}$, sendo que o ponto a norte da foz é aquele que apresenta um máximo de concentração de microplásticos, em ambas as tipologias e a concentração mínima de filamentos encontra-se no ponto mais afastado da foz. A concentração média de fibras foi de $(0,009 \pm 0,021) \text{ MP m}^{-3}$ e atinge a concentração máxima no ponto intermédio a norte da foz e a concentração média de filmes foi de $(0,003 \pm 0,007) \text{ MP m}^{-3}$ e atinge a concentração máxima no ponto mais afastado da foz.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria, na região sul da área de estudo, o ponto com maior diversidade de formas foi no mais afastado da costa, com 15 fragmentos, quatro fibras, sete filamentos e dois filmes. No ponto mais próximo à costa de Leirosa apenas foi encontrado um fragmento e no mais próximo a Vieira de Leiria foram encontrados seis filamentos e no ponto intermédio junto a Leirosa foram encontrados dois fragmentos e sete filamentos.

Nesta região, no outono, a concentração média de fragmentos foi $(0,026 \pm 0,029) \text{ MP m}^{-3}$, a de fibras foi de $(0,009 \pm 0,021) \text{ MP m}^{-3}$ e a de filamentos foi de $(0,003 \pm 0,007) \text{ MP m}^{-3}$, sendo que as concentrações máximas se registaram no ponto a sul mais afastado da costa de Vieira de Leiria. A concentração média de filamentos foi de $(0,124 \pm 0,07) \text{ MP m}^{-3}$ e a concentração máxima registou-se no ponto intermédio junto a Leirosa.

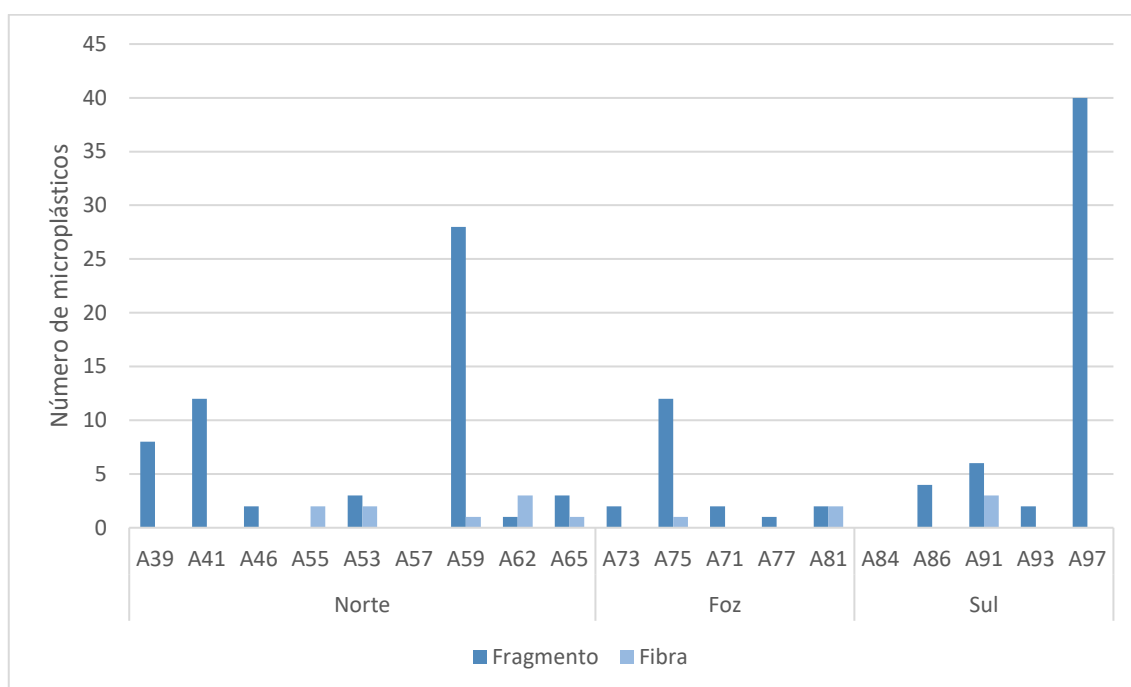


Figura 4.4 - Distribuição, por estações de amostragem, das tipologias de microplásticos encontrados na colheita por arrasto horizontal na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria), na primavera

Na primavera, nos pontos na região a norte, entre a Praia da Mira e Quiaios, junto à costa foram encontrados oito fragmentos, no ponto junto à costa de Praia de Mira, duas fibras no ponto intermédio junto à costa, enquanto no ponto mais próximo à costa de Quiaios não foram encontrados microplásticos.

No ponto intermédio junto à Praia de Mira foram encontrados 12 fragmentos e no ponto mais afastado à Praia de Mira foram encontrados dois fragmentos.

No ponto intermédio da região norte foram encontrados três fragmentos e duas fibras, no ponto intermédio junto a Quiaios foram encontrados 28 fragmentos e uma fibra, nos pontos mais afastados da costa de Quiaios foram encontrados quatro fragmentos e quatro fibras.

Na região a norte da área de estudo, a concentração média de fragmentos foi de $(0,101 \pm 0,143)$ MP m⁻³ e a concentração máxima registou-se no ponto intermédio junto a Quiaios. Relativamente às fibras, a concentração média foi de $(0,015 \pm 0,017)$ MP m⁻³ e a concentração máxima foi num dos pontos mais afastados da costa de Quiaios.

Na primavera, os pontos a norte da foz do rio Mondego foram apenas encontrados fragmentos (dois em cada um), enquanto o ponto a sul mais próximo da desembocadura apresentou uma maior quantidade de fragmentos (12) e uma fibra. No ponto a sul afastado da

desembocadura apenas foi encontrado um fragmento. No ponto mais afastado da foz foram encontrados dois fragmentos e duas fibras.

Os fragmentos registaram uma concentração máxima no ponto a sul da foz com concentração média foi de $(0,049 \pm 0,052)$ MP m⁻³. A concentração média de fibras foi de $(0,007 \pm 0,011)$ MP m⁻³ e a concentração máxima foi no ponto mais afastado da foz.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria, na região sul da área de estudo, no ponto junto à costa de Leirosa não foram encontrados microplásticos. No outro ponto junto à costa foram encontrados dois fragmentos. No ponto intermédio junto à costa de Leirosa foram encontrados quatro fragmentos e no ponto mais afastado da costa de Vieira de Leiria foram encontrados 40 fragmentos. No ponto afastado da costa de Leirosa foram encontrados seis fragmentos e três fibras.

A concentração média de fragmentos na região foi de $(0,121 \pm 0,180)$ MP m⁻³ e o ponto mais afastado da costa de Vieira de Leiria registou a concentração máxima, enquanto as fibras registaram a concentração média de $(0,007 \pm 0,016)$ MP m⁻³ e o ponto mais afastado da costa de Leirosa registou a concentração máxima de fibras.

4.1.3 Dimensões

As Figuras 4.5 e 4.6 apresentam os pontos de amostragem com a distribuição das classes de dimensões de microplásticos colhidos por arrasto horizontal, no outono e na primavera.

No outono a média de dimensões dos microplásticos encontrados foi de $(1496,5 \pm 975,1)$ µm enquanto na primavera foi de $(1251,7 \pm 1005)$ µm.

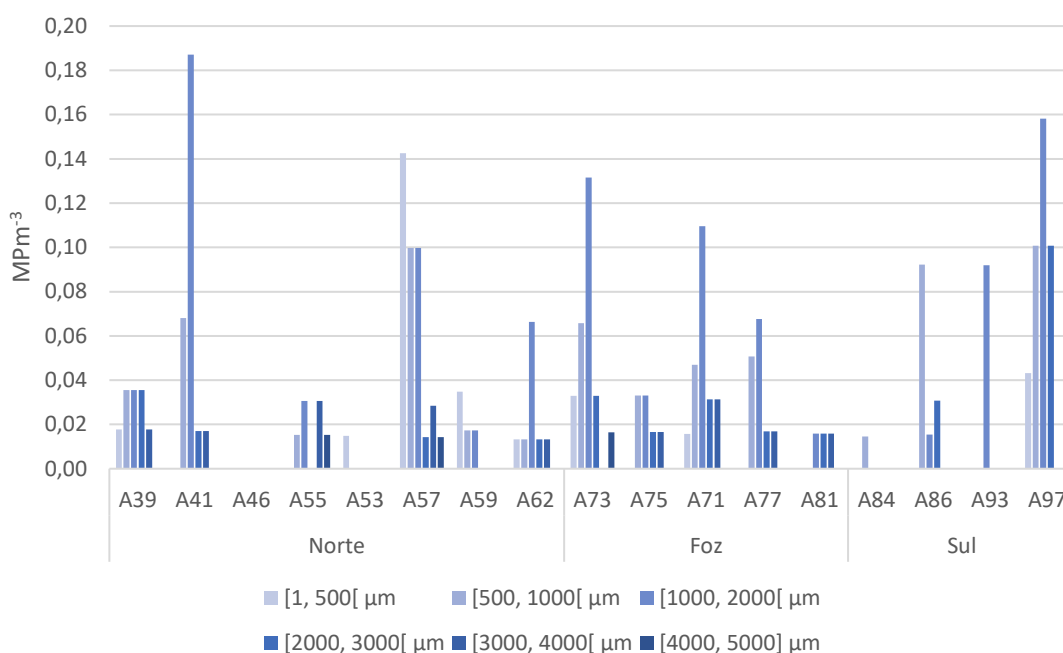


Figura 4.5 - Densidade de microplásticos (MP m⁻³) nas várias classes de tamanho registadas no outono nos arrastos horizontais, na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)

Por observação da Figura 4.5, no outono, entre a Praia da Mira e Quiaios, o ponto onde existe maior diversidade de classes é o ponto junto à costa de Quiaios, pois foram encontradas micropartículas das seis classes, com predominância da classe [1, 500[μm, com dez microplásticos encontrados. Nas classes [500, 1000[μm e [1000, 2000[μm, foram encontrados sete microplásticos em cada uma. Foram encontrados dois microplásticos com dimensões na classe [3000, 4000[μm, um microplástico na classe [2000, 3000[μm e um na classe [4000, 5000] μm.

Nos outros pontos junto à costa, também se verifica uma grande diversidade de classes, sendo que no ponto junto à costa de Praia de Mira foram encontrados microplásticos das classes [1, 500[μm (um), [500, 1000[μm (dois), [1000, 2000[μm (dois), [2000, 3000[μm (dois) e um na classe [3000, 4000[μm. No ponto intermédio foram encontrados um microplástico na classe [500, 1000[μm, dois na classe [1000, 2000[μm, dois na [3000, 4000[μm e um na classe [4000, 5000] μm.

No ponto intermédio junto à costa de Praia de Mira, a classe predominante de micropartículas é [1000, 2000[μm onde surgiram 11, quatro têm dimensões entre [500, 1000[μm, na classe [2000, 3000[μm aparece um e na classe [3000, 4000[μm também um. A classe [1, 500[μm é dominante no ponto intermédio. No ponto intermédio junto a Quiaios a classe predominante [1, 500[μm, com dois microplásticos, para a classe [500, 1000[μm surgiu um

microplástico e outro na classe [1000, 2000[μm . O ponto mais afastado da costa de Quiaios também tem uma grande diversidade de classes de microplásticos, sendo que a classe [1000, 2000[μm surgiram cinco, foram encontradas partículas das classes [1, 500[μm (uma), [500, 1000[μm (uma), [1000, 2000[μm (uma), [2000, 3000[μm (uma) e um em [3000, 4000[μm .

No outono, a região norte da área de estudo, a classe [1, 500[μm apresenta uma média de $(0,028 \pm 0,048) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,143 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais próximo à costa de Quiaios e mínimo de $0,013 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado da costa de Quiaios. A classe [500, 1000[μm apresenta uma média $(0,031 \pm 0,035) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,100 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais próximo à costa de Quiaios e mínimo de $0,013 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado da costa de Quiaios e a classe [1000, 2000[μm apresenta uma média de $(0,055 \pm 0,063) \text{ MP m}^{-3}$, máximo de $0,187 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio junto à costa de Praia de Mira e mínimo de $0,017 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio junto a Quiaios. A classe [2000, 3000[μm apresenta uma média de $(0,010 \pm 0,013) \text{ MP m}^{-3}$, máximo de $0,036 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais próximo à costa de Praia de Mira e mínimo de $0,013 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado de Quiaios, a classe [3000, 4000[μm apresenta uma média de $(0,013 \pm 0,013) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,031 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio e mínimo de $0,013 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado de Quiaios e a classe [4000, 5000] μm apresenta uma média de $(0,004 \pm 0,007) \text{ MP m}^{-3}$, com máximo de $0,015 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio e mínimo de $0,014 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais próximo de Quiaios.

No outono, na foz do rio Mondego, os pontos apresentam uma grande diversidade de classes de microplásticos. Nos pontos a sul da foz, as classes predominantes de micropartículas são [500, 1000[μm e [1000, 2000[μm , sendo que na classe [500, 1000[μm foram contabilizados dois, no ponto junto à desembocadura sul do rio, e três no ponto mais afastado a sul da foz, enquanto na classe [1000, 2000[μm foram contabilizados dois microplásticos no ponto sul junto à foz e quatro no ponto mais afastado. Nas classes [2000, 3000[μm e [3000, 4000[μm fo contabilizado um microplástico em cada um dos pontos.

Os pontos a norte da desembocadura do rio também têm uma grande diversidade de classes de microplásticos, sendo que no ponto intermédio a norte da região da foz foram encontradas partículas das classes [1, 500[μm (um), [500, 1000[μm (três), [1000, 2000[μm (sete), [2000, 3000[μm (dois), [3000, 4000[μm (dois), enquanto no ponto norte junto à foz as partículas encontradas estão distribuídas entre as classes [1, 500[μm (dois), [500, 1000[μm (quatro), [1000, 2000[μm (oito), [2000, 3000[μm (dois) e [4000, 5000] μm (um).

No ponto mais afastado da costa na região junto à foz do Mondego, foram contabilizados um microplástico na classe [1000, 2000[μm , um na classe [2000, 3000[μm e um na [3000, 4000[μm .

Na região junto à foz do rio Mondego, a classe $[1, 500[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,010 \pm 0,015) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,033 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto norte junto à foz e mínimo de $0,016 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio a norte da foz. A classe $[500, 1000[\mu\text{m}$ apresenta uma média $(0,039 \pm 0,025) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,066 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto norte junto à foz e mínimo de $0,033 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto sul junto à foz e a classe $[1000, 2000[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,072 \pm 0,049) \text{ MP m}^{-3}$, máximo de $0,132 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto norte junto à foz e mínimo de $0,016 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado desta região. A classe $[2000, 3000[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,023 \pm 0,009) \text{ MP m}^{-3}$, máximo de $0,033 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto norte junto à foz e mínimo de $0,016 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado e a classe $[3000, 4000[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,016 \pm 0,011) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,031 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio a norte da foz e mínimo de $0,016 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado.

No outono, entre Leirosa e Vieira de Leiria, o ponto com maior diversidade de classes de microplásticos foi o ponto a sul mais afastado, sendo que a classe predominante é $[1000, 2000[\mu\text{m}$, com onze microplásticos, seguida das classes $[500, 1000[\mu\text{m}$ e $[2000, 3000[\mu\text{m}$ com sete microplásticos em cada uma e a classe $[1, 500[\mu\text{m}$ com três microplásticos encontrados.

No ponto junto à costa de Leirosa apenas foi encontrado um microplástico na classe $[500, 1000[\mu\text{m}$, enquanto no ponto junto à costa de Vieira de Leiria foram encontrados seis microplásticos na classe $[1000, 2000[\mu\text{m}$. No ponto intermédio junto a Leirosa foram encontrados seis microplásticos na classe $[500, 1000[\mu\text{m}$, dois na classe $[2000, 3000[\mu\text{m}$ e um na classe $[1000, 2000[\mu\text{m}$.

Na região sul da área de estudo, a classe $[500, 1000[\mu\text{m}$ apresenta uma média $(0,052 \pm 0,052) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,101 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto sul mais afastado da costa e mínimo de $0,015 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais próximo à costa de Leirosa e a classe $[1000, 2000[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,066 \pm 0,073) \text{ MP m}^{-3}$, máximo de $0,158 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto sul mais afastado da costa de Vieira de Leiria e mínimo de $0,015 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio junto a Leirosa. A classe $[2000, 3000[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,033 \pm 0,047) \text{ MP m}^{-3}$, máximo de $0,101 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto sul mais afastado da costa de Vieira de Leiria e mínimo de $0,031 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio junto a Leirosa.

Aplicando o teste de Kruskal-Wallis, verifica-se que no outono as dimensões não são significativamente diferentes.

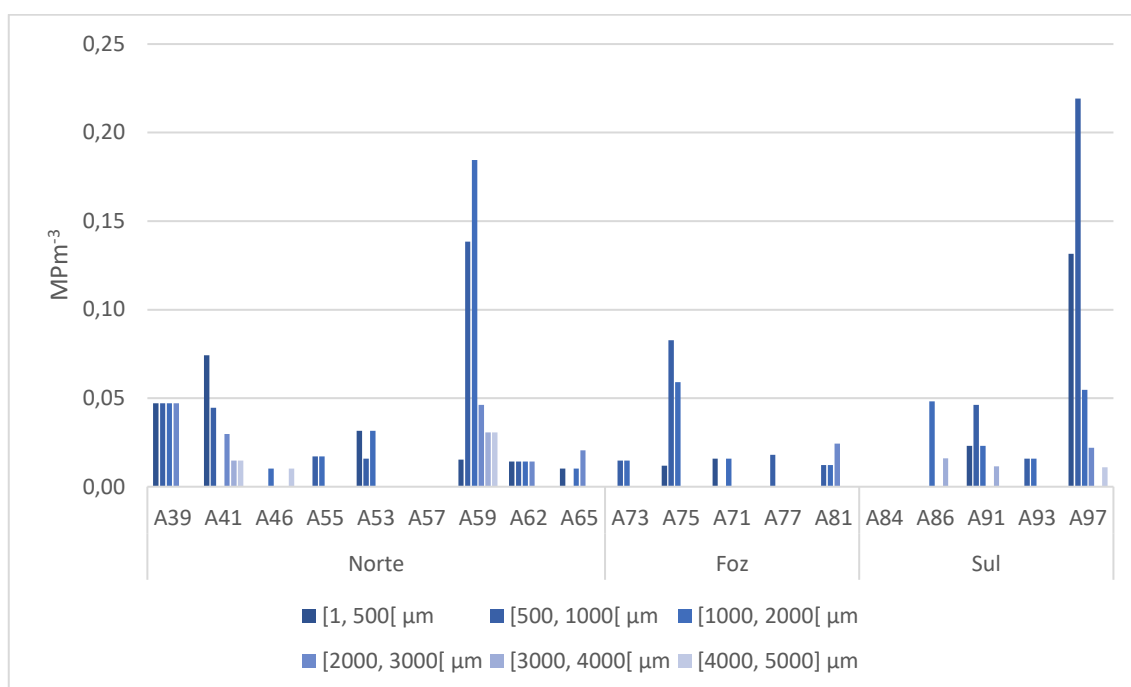


Figura 4.6 - Densidade de microplásticos (MP m⁻³) nas várias classes de tamanho registadas na primavera nos arrastos horizontais, na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)

Por observação da Figura 4.6, na primavera, entre a Praia da Mira e Quiaios (região norte), o ponto intermédio junto a Quiaios apresenta uma grande diversidade de classes. A classe predominante é [1000, 2000[μm (doze), seguida da [500, 1000[μm (nove). As classes [1, 500[μm (um), [2000, 3000[μm (três), [3000, 4000[μm (dois) e [4000, 5000] μm (dois) também estão representadas em menor quantidade.

No ponto intermédio junto à Praia de Mira a maioria das partículas (cinco) encontra-se entre [1, 500[μm, seguida de partículas cujas dimensões variam entre [500, 1000[μm (três) e [2000, 3000[μm (dois). As classes menos representadas são [3000, 4000[μm (um) e [4000, 5000] μm (um).

O ponto junto à costa de Praia de Mira e o ponto costeiro intermédio têm distribuições de dimensões diferentes. O ponto junto à costa de Praia de Mira as partículas existentes encontram-se distribuídas entre as classes [1, 500[μm (duas), [500, 1000[μm (duas), [1000, 2000[μm (duas) e [2000, 3000[μm (duas) enquanto no ponto costeiro intermédio foram encontrados um microplástico na classe [500, 1000[μm e outro na classe [1000, 2000[μm. No ponto norte mais afastado da costa as partículas estão distribuídas entre [1000, 2000[μm (um) e [4000, 5000] μm (um).

No ponto intermédio à frente de Quiaios, as partículas existentes encontram-se distribuídas entre as classes [1, 500[μm (um), [500, 1000[μm (um), [1000, 2000[μm (um) e um na classe [2000, 3000[μm . No ponto mais afastado da região norte, as partículas estão distribuídas entre as classes [1, 500[μm (um), uma na classe [1000, 2000[μm e duas na classe [2000, 3000[μm .

O ponto intermédio da região norte apresenta partículas que variam entre as classes [1, 500[μm (dois), [500, 1000[μm (um) e [1000, 2000[μm (dois).

Na primavera, a região norte da área de estudo, a classe [1, 500[μm apresenta uma média de $(0,021 \pm 0,025) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,074 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio à frente de Praia de Mira e mínimo de $0,010 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado da região norte à frente de Quiaios. A classe [500, 1000[μm apresenta uma média $(0,031 \pm 0,044) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,138 \text{ MP m}^{-3}$ no primeiro ponto intermédio à frente de Quiaios e mínimo de $0,014 \text{ MP m}^{-3}$ no segundo ponto intermédio à frente de Quiaios e a classe [1000, 2000[μm apresenta uma média de $(0,035 \pm 0,058) \text{ MP m}^{-3}$, máximo de $0,185 \text{ MP m}^{-3}$ no primeiro ponto intermédio à frente de Quiaios e mínimo de $0,010 \text{ MP m}^{-3}$ nos pontos mais afastados da costa da região norte. A classe [2000, 3000[μm apresenta uma média de $(0,018 \pm 0,020) \text{ MP m}^{-3}$, máximo de $0,047 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais próximo da costa de Praia de Mira e mínimo de $0,014 \text{ MP m}^{-3}$ no segundo ponto intermédio à frente de Quiaios, a classe [3000, 4000[μm apresenta uma média de $(0,005 \pm 0,011) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,031 \text{ MP m}^{-3}$ no primeiro ponto intermédio à frente de Quiaios e mínimo de $0,015 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio à frente de Praia de Mira e a classe [4000, 5000] μm apresenta uma média de $(0,006 \pm 0,011) \text{ MP m}^{-3}$, com máximo de $0,031 \text{ MP m}^{-3}$ no primeiro ponto intermédio à frente de Quiaios e mínimo de $0,015 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado à frente de Praia de Mira.

Na primavera, na foz do rio Mondego, o ponto a norte da foz os microplásticos encontrados estão distribuídos entre [500, 1000[μm (um) e [1000, 2000[μm (um), o ponto A75 apresenta partículas que variam entre as classes [1, 500[μm (um), [500, 1000[μm (sete) e [1000, 2000[μm (cinco). O ponto intermédio a sul da foz apenas apresenta uma partícula da classe [500, 1000[μm enquanto no ponto intermédio a norte da foz foram encontrados um microplástico na classe [1, 500[μm e outro na classe [1000, 2000[μm . No ponto mais afastado na região da foz do Mondego as partículas estão distribuídas entre [500, 1000[μm (um), uma na classe [1000, 2000[μm e duas na classe [2000, 3000[μm .

Na região junto à foz do rio Mondego, a classe [1, 500[μm apresenta uma média de $(0,006 \pm 0,008) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,016 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio a norte da foz e mínimo de $0,012 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto sul mais próximo da foz. A classe [500, 1000[μm apresenta

uma média ($0,026 \pm 0,033$) MP m^{-3} , com o máximo de $0,083 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto sul mais próximo à foz e mínimo de $0,012 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado na região da foz do Mondego e a classe $[1000, 2000[\mu\text{m}$ apresenta uma média de ($0,020 \pm 0,023$) MP m^{-3} , máximo de $0,059 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto sul mais próximo da foz A75 e mínimo de $0,012 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado na região da foz.

Na primavera, entre Leirosa e Vieira de Leiria (região sul), o ponto intermédio junto a Leirosa os microplásticos estão distribuídos entre $[1000, 2000[\mu\text{m}$ (três) e um na classe $[3000, 4000[\mu\text{m}$, enquanto no ponto mais próximo a Vieira de Leiria entre $[500, 1000[\mu\text{m}$ (um) e $[1000, 2000[\mu\text{m}$ (um). No ponto mais afastado à frente de Leirosa, a classe $[500, 1000[\mu\text{m}$ é dominante, com quatro microplásticos, sendo que também foram encontradas duas partículas das classes $[1, 500[\mu\text{m}$, duas na classe $[1000, 2000[\mu\text{m}$ e um na classe $[3000, 4000[\mu\text{m}$.

No ponto mais afastado à frente de Vieira de Leiria, as classes dominantes são $[1, 500[\mu\text{m}$, com 12 microplásticos e $[500, 1000[\mu\text{m}$, em que foram encontrados 20 microplásticos, sendo que as classes $[1000, 2000[\mu\text{m}$ (cinco), $[2000, 3000[\mu\text{m}$ (dois) e um na classe $[4000, 5000] \mu\text{m}$.

Na região sul da área de estudo, a classe $[1, 500[\mu\text{m}$ apresenta uma média de ($0,031 \pm 0,057$) MP m^{-3} , com o máximo de $0,132 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado à frente de Vieira de Leiria e mínimo de $0,023 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado à frente de Leirosa, a classe $[500, 1000[\mu\text{m}$ apresenta uma média ($0,056 \pm 0,093$) MP m^{-3} , com o máximo de $0,219 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado à frente de Vieira de Leiria e mínimo de $0,016 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto próximo à costa de Vieira de Leiria, a classe $[1000, 2000[\mu\text{m}$ apresenta uma média de ($0,028 \pm 0,023$) MP m^{-3} , máximo de $0,055 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado à frente de Vieira de Leiria e mínimo de $0,016 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto próximo à costa de Vieira de Leiria.

A classe $[3000, 4000[\mu\text{m}$ apresenta uma média de ($0,006 \pm 0,008$) MP m^{-3} , máximo de $0,016 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio à frente de Leirosa e mínimo de $0,012 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado à frente de Leirosa.

Para a primavera, aplicando o teste de Kruskal-Wallis, relativamente às dimensões registadas a norte (entre a Praia da Mira e Quiaios) e a sul (entre Leirosa e Vieira de Leiria) verifica-se que são significativamente diferentes ($p = 0,003$ para um grau de confiança de 95%).

Comparando as dimensões registadas no outono e na primavera para as amostras recolhidas por arrasto horizontal, verifica-se que estas são significativamente diferentes ($p = 0,002$ para um grau de confiança de 95%).

Ao aplicar o teste de Kruskal-Wallis, comparando as dimensões registadas no outono e na primavera, verifica-se que a sul (entre Leirosa e Vieira de Leiria) as dimensões são

significativamente diferentes ($p=8,27 \times 10^{-5}$ para um grau de confiança de 95%). A norte e na foz as dimensões não são significativamente diferentes.

4.1.4 Cores

Nas Figuras 4.7 e 4.8 estão representados a distribuição por cores das amostras colhidas por arrasto horizontal, no outono e na primavera, respetivamente.

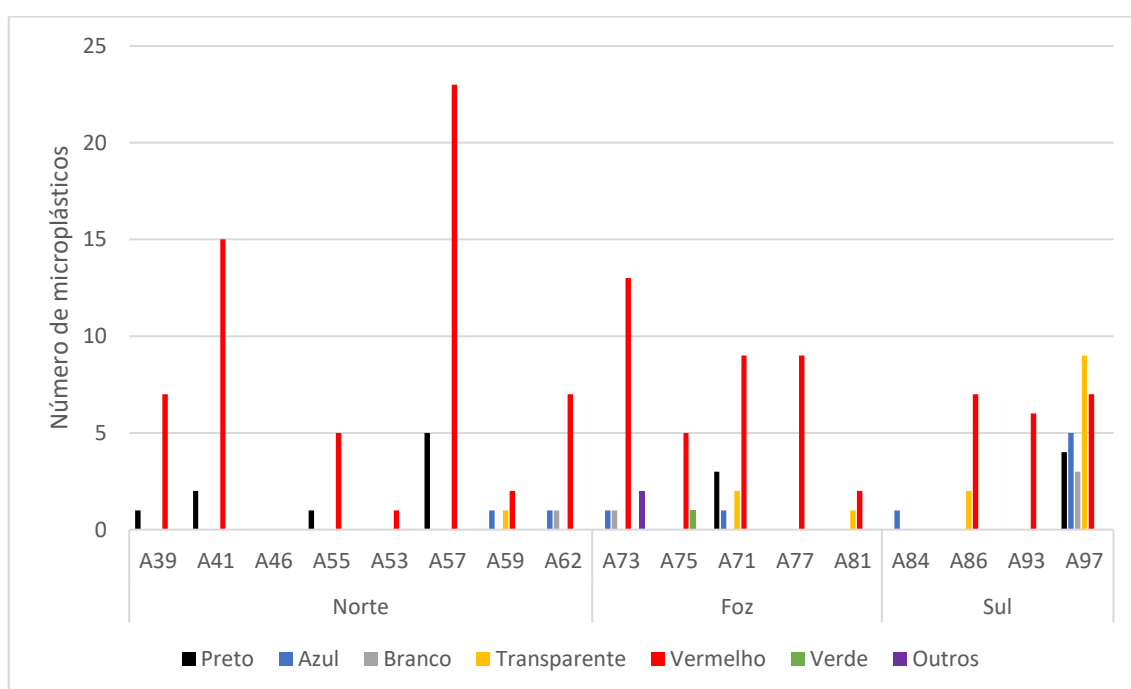


Figura 4.7 - Distribuição por cores dos microplásticos encontrados nas amostras colhidas por arrasto horizontal, no outono, na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)

No outono, entre a Praia da Mira e Quiaios (região norte), no ponto mais afastado de Praia de Mira não foram encontrados microplásticos.

Nos pontos junto à costa entre a Praia de Mira e Quiaios, as cores dos microplásticos encontrados eram vermelho e preto, sendo que no ponto próximo à costa de Praia de Mira foram encontrados sete vermelhos e um preto, no ponto intermédio da região a norte cinco vermelhos e um preto e no ponto próximo à costa de Quiaios 23 vermelhos e cinco pretos.

No ponto intermédio à frente de Praia de Mira, também, os microplásticos encontrados foram 15 vermelhos e dois pretos, enquanto no ponto intermédio da região a norte foi encontrado um microplástico vermelho.

No primeiro ponto intermédio à frente de Quiaios foram encontrados um microplástico azul, um transparente e dois vermelhos, enquanto no segundo ponto intermédio à frente de Quiaios foram encontrados sete vermelhos, um azul e um branco.

Na região junto à foz do rio Mondego, no ponto a norte da foz foram encontrados 13 microplásticos vermelhos, um azul, um branco e dois com outras cores, no ponto a sul da foz contabilizaram-se cinco vermelhos e um verde, no ponto intermédio a norte da foz nove vermelhos, dois transparentes, três pretos e um azul e no ponto intermédio a sul da foz foram encontrados nove vermelhos. Enquanto no ponto mais afastado da costa na região da foz do Mondego foram encontrados dois vermelhos e um transparente.

No outono, entre Leirosa e Vieira de Leiria, nos pontos junto à costa foram encontrados um microplástico azul no ponto próximo a Leirosa e seis vermelhos no ponto próximo a Vieira de Leiria. Enquanto no ponto intermédio à frente de Leirosa foram encontrados sete vermelhos e dois transparentes e no ponto mais afastado de Vieira de Leiria nove transparentes, sete vermelhos, cinco azuis, quatro pretos e três brancos.

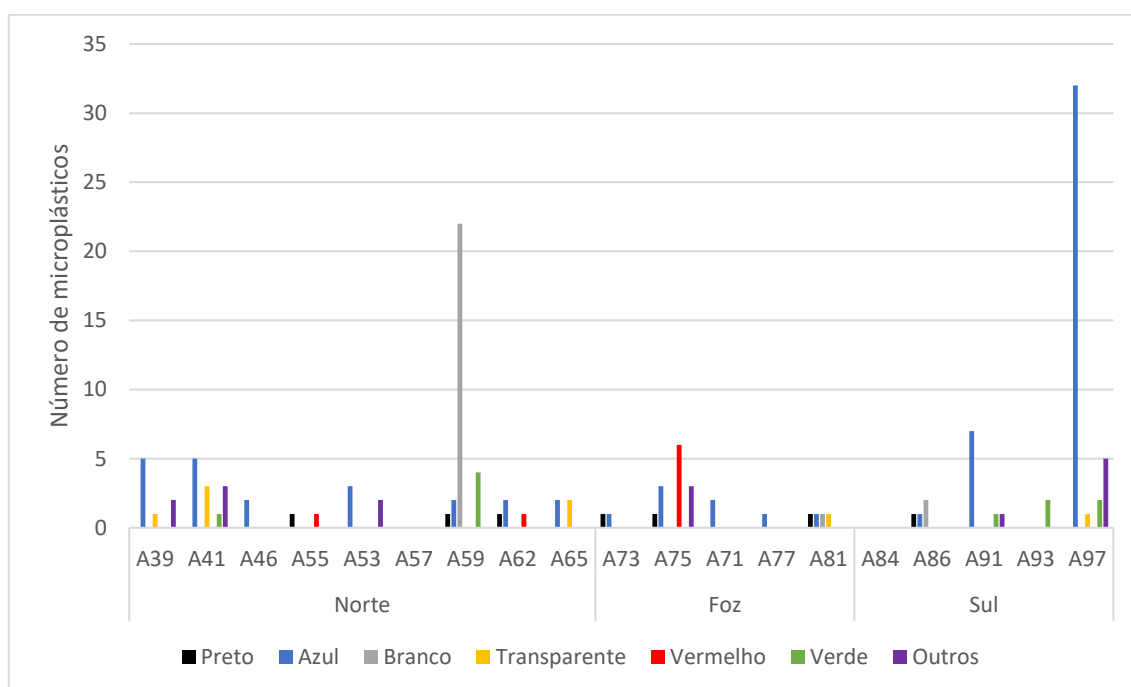


Figura 4.8 - Distribuição por cores dos microplásticos encontrados nas amostras colhidas por arrasto horizontal, na primavera na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)

Na primavera, entre a Praia da Mira e Quiaios, não foram encontrados microplásticos no ponto próximo à costa de Quiaios. Nos outros pontos junto à costa da região norte foram encontrados cinco microplásticos azuis, um transparente e duas outras cores, no ponto próximo à costa de Praia de Mira enquanto no ponto intermédio junto à costa da região norte foram contabilizados um microplástico preto e um vermelho.

No ponto intermédio junto à Praia de Mira foram encontrados cinco microplásticos, três transparentes, um verde e três outras cores, enquanto no ponto mais afastado à frente de Praia de Mira foram encontrados dois microplásticos azuis. No ponto intermédio da região norte foram encontrados três microplásticos azuis e dois com outras cores, no primeiro ponto intermédio à frente de Quiaios foram encontrados 22 brancos, quatro verdes, dois azuis e um preto, no segundo ponto intermédio em frente a Quiaios foram encontrados dois azuis, um vermelho e um preto e no ponto mais afastado da região norte foram encontrados dois azuis e dois transparentes.

Na região junto à foz do rio Mondego, no ponto a norte da foz foram encontrados um microplástico preto e um azul, no ponto a sul da foz seis vermelhos, três azuis, um preto e três de outras cores, no ponto intermédio a sul da foz foi encontrado um azul, no ponto intermédio

a norte da foz dois azuis. No ponto mais afastado da região da foz do Mondego foram encontrados quatro microplásticos: um azul, um preto, um branco e um transparente.

Na primavera, entre Leirosa e Vieira de Leiria (região sul), não foram encontrados microplásticos no ponto próximo a Leirosa. No outro ponto junto à costa de Vieira de Leiria foram encontrados dois microplásticos verdes. No ponto intermédio junto a Leirosa foram encontrados dois microplásticos brancos, um azul e um preto, no ponto mais afastado de Leirosa foram encontrados sete azuis, um verde e um de outras cores. No ponto mais afastado à frente de Vieira de Leiria foram encontrados 32 microplásticos azuis, dois verdes, um transparente e cinco de outras cores.

No outono, entre a Praia da Mira e Quiaios, o preto foi encontrado em média $(0,017 \pm 0,025)$ MP m⁻³, sendo que atingiu o máximo de $0,071$ MP m⁻³ no ponto junto à costa de Quiaios e mínimo de $0,015$ MP m⁻³ no ponto costeiro intermédio da região norte, o azul tem uma média de $(0,004 \pm 0,007)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de $0,017$ MP m⁻³ no ponto intermédio à frente de Quiaios e mínimo de $0,013$ MP m⁻³ no primeiro ponto intermédio à frente de Quiaios e o vermelho tem uma média de $(0,116 \pm 0,118)$ MP m⁻³, o máximo da cor vermelha registou-se no ponto próximo à costa de Quiaios com $0,328$ MP m⁻³ e o mínimo de $0,015$ MP m⁻³ no ponto intermédio da região norte.

Na primavera, entre a Praia da Mira e Quiaios, o preto foi encontrado em média $(0,005 \pm 0,008)$ MP m⁻³, sendo que atingiu o máximo de $0,017$ MP m⁻³ no ponto intermédio da região norte e mínimo de $0,014$ MP m⁻³ no primeiro ponto intermédio à frente de Quiaios, o azul tem uma média de $(0,038 \pm 0,038)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de $0,118$ MP m⁻³ no ponto próximo à costa de Praia de Mira e mínimo de $0,021$ MP m⁻³ nos pontos mais afastados da região norte, o transparente tem uma média de $(0,010 \pm 0,016)$ MP m⁻³, o máximo do transparente registou-se no ponto intermédio de Praia de Mira com $0,045$ MP m⁻³ e o mínimo de $0,021$ MP m⁻³ no ponto mais afastado da região norte, o vermelho tem uma média de $(0,003 \pm 0,007)$ MP m⁻³, o máximo da cor vermelha registou-se no ponto intermédio próximo à costa com $0,017$ MP m⁻³ e o mínimo de $0,014$ MP m⁻³ no ponto intermédio à frente de Quiaios, o verde tem uma média de $(0,008 \pm 0,020)$ MP m⁻³, o máximo registou-se no primeiro ponto intermédio à frente de Quiaios com $0,062$ MP m⁻³ e o mínimo de $0,015$ MP m⁻³ no ponto intermédio de Praia de Mira e outras cores tiveram uma média de $(0,014 \pm 0,021)$ MP m⁻³, o máximo registou-se no ponto mais próximo à costa de Praia de Mira com $0,047$ MP m⁻³ e o mínimo de $0,032$ MP m⁻³ no ponto intermédio da região norte.

Junto à foz do rio Mondego, no outono, a cor azul tem uma média de $(0,006 \pm 0,009)$ MP m⁻³, o máximo e mínimo de $0,016$ MP m⁻³ nos pontos a norte da foz do Mondego, o

transparente tem uma média de $(0,009 \pm 0,014)$ MP m⁻³, o máximo de 0,031 MP m⁻³ no ponto intermédio a norte da foz e o mínimo de 0,016 MP m⁻³ no ponto mais afastado da região da foz do Mondego e o vermelho tem média de $(0,124 \pm 0,070)$ MP m⁻³, máximo de 0,214 MP m⁻³ no ponto a norte da foz do Mondego e mínimo de 0,032 MP m⁻³ no ponto mais afastado da região da foz do Mondego.

Na primavera, a cor preta tem uma média de $(0,008 \pm 0,007)$ MP m⁻³, o máximo de 0,015 MP m⁻³ no ponto a norte da foz e mínimo de 0,012 MP m⁻³ nos pontos a sul da foz e no ponto mais afastado da região da foz, a cor azul tem uma média de $(0,022 \pm 0,010)$ MP m⁻³, o máximo de 0,035 MP m⁻³ no ponto a sul da foz A75 e mínimo de 0,012 MP m⁻³ no ponto mais afastado da região da foz do Mondego.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria (região sul), no outono, o azul tem uma média de $(0,022 \pm 0,034)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 0,072 MP m⁻³ no ponto mais afastado à frente de Vieira de Leiria e mínimo de 0,015 MP m⁻³ no ponto mais próximo a Leirosa, o transparente tem uma média de $(0,040 \pm 0,061)$ MP m⁻³, o máximo de 0,129 MP m⁻³ no ponto mais afastado à frente de Vieira de Leiria e o mínimo de 0,031 MP m⁻³ no ponto intermédio à frente de Leirosa e o vermelho tem uma média de $(0,075 \pm 0,050)$ MP m⁻³, o máximo da cor vermelha registou-se no ponto intermédio à frente de Leirosa com 0,108 MP m⁻³ e o mínimo de 0,092 MP m⁻³ no ponto próximo à costa de Vieira de Leiria.

Na primavera, o azul tem uma média de $(0,090 \pm 0,150)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 0,351 MP m⁻³ no ponto mais afastado à frente de Vieira de Leiria e mínimo de 0,016 MP m⁻³ no ponto intermédio à frente de Leirosa, o verde tem uma média de $(0,013 \pm 0,014)$ MP m⁻³, o máximo registou-se no ponto próximo à costa de Vieira de Leiria com 0,032 MP m⁻³ e o mínimo de 0,012 MP m⁻³ no ponto afastado da costa de Leirosa e outras cores tiveram uma média de $(0,013 \pm 0,024)$ MP m⁻³, o máximo registou-se no ponto mais afastado à frente de Vieira de Leiria com 0,055 MP m⁻³ e o mínimo de 0,012 MP m⁻³ no ponto mais afastado à frente de Leirosa.

4.1.5 Caracterização química

Nas Figuras 4.9 e 4.10 estão representados os pontos de amostragem de colheita superficial, no outono e na primavera, respetivamente.

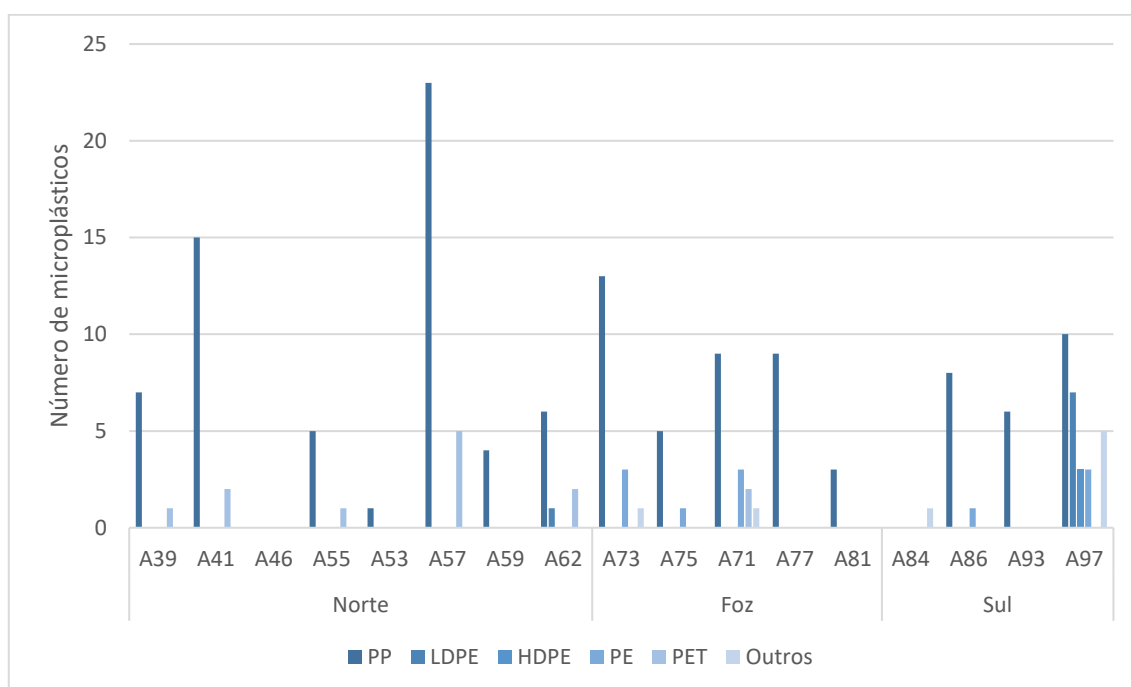


Figura 4.9 - Distribuição por polímeros dos microplásticos encontrados nas amostras colhidas por arrasto horizontal, no outono na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)

No outono, entre a Praia da Mira e Quiaios, os microplásticos encontrados são maioritariamente polipropileno (PP), sendo que nos pontos junto à costa foram encontrados PP e Politereftalato de etileno (PET). No ponto mais próximo de Praia de Mira contabilizaram-se sete PP e um PET, no ponto intermédio cinco PP e um PET, no ponto próximo de Quiaios 23 PP e cinco PET, no ponto mais afastado da região norte não foram encontrados microplásticos.

No ponto intermédio à frente de Praia de Mira foram encontrados dois PET e 15 PP, no ponto intermédio da região norte foi encontrado um PP, no primeiro ponto intermédio à frente de Quiaios quatro PP e no segundo ponto intermédio à frente de Quiaios foram encontrados seis PP, dois PET e um Polietileno de baixa densidade (LDPE).

Na região norte da área de estudo, no outono, o PP encontra-se com uma concentração de $(0,118 \pm 0,115) \text{ MP m}^{-3}$, sendo que atingiu o máximo de $0,328 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto próximo à costa de Quiaios e mínimo de $0,015 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio da região norte e o PET encontra-se com uma concentração de $(0,021 \pm 0,024) \text{ MP m}^{-3}$, sendo que atingiu o máximo de $0,071 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto próximo à costa de Quiaios e mínimo de $0,015 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio junto à costa.

Junto à foz do rio Mondego, no outono, no ponto a norte da foz foram encontrados 13 PP, três Polietileno (PE) e um PANc, no ponto a sul da foz foram contabilizados cinco PP e um

PE enquanto no ponto intermédio a sul da foz foram encontrados nove PP e no ponto intermédio a norte da foz foram encontrados nove PP, três PE, dois PET e um PA. No ponto mais afastado da costa da região da foz do Mondego foram encontrados três PP.

Na região junto à foz do Mondego, no outono, o PP encontra-se com uma concentração de $(0,128 \pm 0,064)$ MP m⁻³, sendo que atingiu o máximo de 0,214 MP m⁻³ no ponto a norte da foz do Mondego e mínimo de 0,048 MP m⁻³ no ponto mais afastado da região da foz do Mondego e o PE encontra-se com uma concentração de $(0,023 \pm 0,024)$ MP m⁻³, sendo que atingiu o máximo de 0,049 MP m⁻³ no ponto a norte da foz do Mondego e mínimo de 0,017 MP m⁻³ no ponto a sul da foz do Mondego.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria, no outono, nos pontos junto à costa foram encontrados microplásticos de diferentes polímeros. No ponto próximo à costa de Leirosa foi encontrado um PS, no ponto próximo à costa de Vieira de Leiria seis PP. No ponto intermédio à frente de Leirosa foram encontrados oito PP e um PE e no ponto mais afastado à frente de Vieira de Leiria foram encontrados dez PP, sete LDPE, um PANc, um AC, dois de uma mistura de AC e PS e um de outro tipo, três PE e três HDPE.

Na região sul da área de estudo, no outono, o PP encontra-se com uma concentração de $(0,090 \pm 0,063)$ MP m⁻³, sendo que atingiu o máximo de 0,144 MP m⁻³ no ponto mais afastado à frente de Vieira de Leiria e mínimo de 0,092 MP m⁻³ no ponto próximo à costa de Vieira de Leiria e o PE encontra-se com uma concentração de $(0,015 \pm 0,020)$ MP m⁻³, sendo que atingiu o máximo de 0,043 MP m⁻³ no ponto mais afastado à frente de Vieira de Leiria e mínimo de 0,015 MP m⁻³ no ponto intermédio à frente de Leirosa.

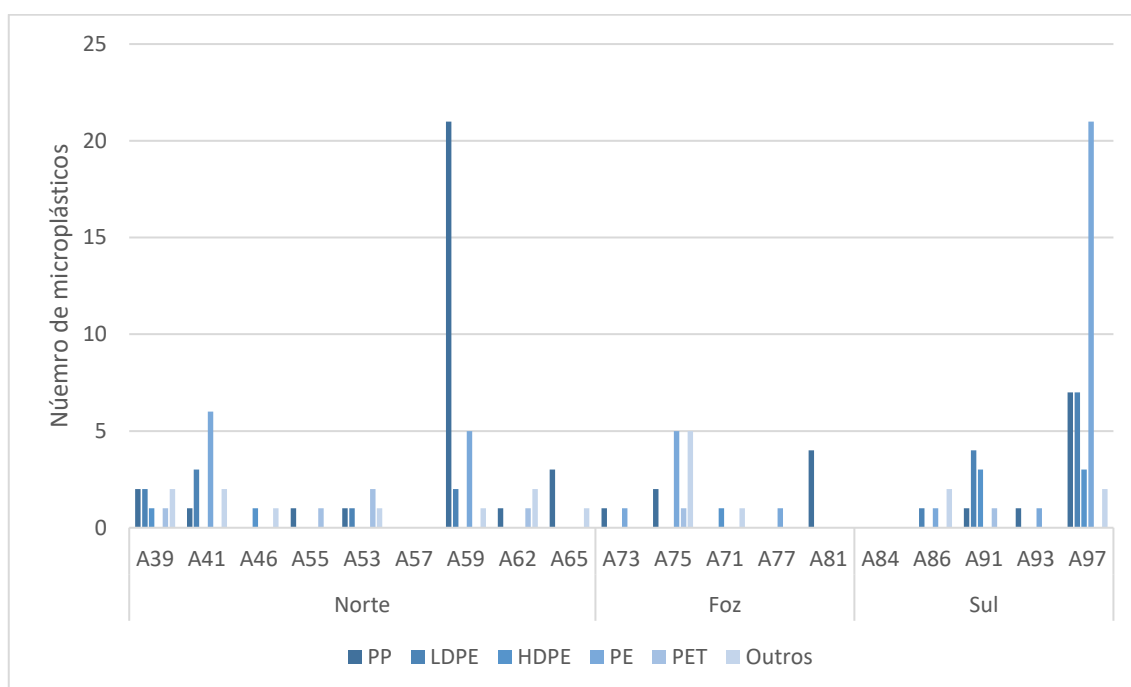


Figura 4.10 - Distribuição por polímeros dos microplásticos encontrados nas amostras colhidas por arrasto horizontal, na primavera na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)

Na primavera, entre a Praia da Mira e Quiaios, no ponto mais próximo da costa de Quiaios não foram encontrados microplásticos e os outros pontos junto à costa apresentam uma grande variedade de polímeros. No ponto próximo à costa de Praia de Mira foram encontrados dois PP, dois LDPE, dois de uma mistura de AC e PS, um PET e um HDPE e no ponto intermédio junto à costa da região norte foi encontrado um PET e um PP.

No ponto intermédio à frente de Praia de Mira foram encontrados seis PE, três LDPE, um de uma mistura de AC com PS, um de uma mistura de PE com PDMS e um PP, no ponto mais afastado à frente de Praia de Mira foram encontrados um HDPE e um PA, no ponto intermédio da região norte da área de estudo dois PET, um PP, um LDPE e um de mistura de AC e PS, no primeiro ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios 21 PP, cinco PE, dois LDPE e um de uma mistura PP e PET, no segundo ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios foram encontrados dois PA, um PET e um PP e no ponto mais afastado desta faixa três PP e um EVA.

Na região norte da área de estudo, na primavera, o PP encontra-se com uma concentração de $(0,051 \pm 0,103) \text{ MP m}^{-3}$, sendo que atingiu o máximo de $0,323 \text{ MP m}^{-3}$ no primeiro ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios e mínimo de $0,014 \text{ MP m}^{-3}$ no segundo ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios, o LDPE encontra-se com uma concentração de $(0,015 \pm 0,02) \text{ MP m}^{-3}$, sendo que atingiu o máximo de $0,047 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto próximo à costa de Praia de

Mira e mínimo de $0,016 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio da região norte, o HDPE encontra-se com uma concentração de $(0,004 \pm 0,008) \text{ MP m}^{-3}$, sendo que atingiu o máximo de $0,024 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto próximo à costa de Praia de Mira e mínimo de $0,010 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto afastado da costa de Praia de Mira, o PE encontra-se com uma concentração de $(0,018 \pm 0,037) \text{ MP m}^{-3}$, sendo que atingiu o máximo de $0,089 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira e mínimo de $0,077 \text{ MP m}^{-3}$ no primeiro ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios e o PET encontra-se com uma concentração de $(0,010 \pm 0,012) \text{ MP m}^{-3}$, sendo que atingiu o máximo de $0,032 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio da região norte e mínimo de $0,014 \text{ MP m}^{-3}$ no segundo ponto intermédio da faixa frente a Quiaios.

Junto à foz do rio Mondego, na primavera, no ponto a norte próximo da foz foram encontrados um PP e um PE, no ponto a sul próximo da foz foram encontrados dois PP, cinco PE, um PET e cinco PBT, no ponto intermédio a norte da foz foram encontrados um HDPE e um EVA, no ponto intermédio a sul da foz um PE e no ponto mais afastado da foz do Mondego, o mais afastado da costa nesta região, quatro PP.

Na região junto à foz do Mondego, na primavera, o PP encontra-se com uma concentração de $(0,017 \pm 0,020) \text{ MP m}^{-3}$, sendo que atingiu o máximo de $0,049 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado da foz do Mondego e mínimo de $0,015 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto a norte próximo da foz e o PE encontra-se com uma concentração de $(0,018 \pm 0,037) \text{ MP m}^{-3}$, sendo que atingiu o máximo de $0,059 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto a sul próximo da foz e mínimo de $0,015 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto a norte próximo da foz.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria, na primavera, no ponto próximo à costa de Leirosa não foram encontrados microplásticos e no outro ponto junto à costa de Vieira de Leiria foram encontrados um PP e um PE. No ponto intermédio da faixa à frente de Leirosa foram encontrados um LDPE, um PE e dois PE e PP, no ponto mais afastado da faixa à frente de Leirosa quatro LDPE, três HDPE, um PET e um PP. No ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria foram encontrados 21 PE, sete LDPE, sete PP, três HDPE e um EVA e um PE & PP.

Na região sul da área de estudo, na primavera, o PP encontra-se com uma concentração de $(0,021 \pm 0,036) \text{ MP m}^{-3}$, sendo que atingiu o máximo de $0,077 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria e mínimo de $0,012 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado da faixa à frente de Leirosa, o LDPE encontra-se com uma concentração de $(0,028 \pm 0,033) \text{ MP m}^{-3}$, sendo que atingiu o máximo de $0,077 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria e mínimo de $0,016 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio da faixa à frente de Leirosa, o HDPE encontra-se com uma concentração de $(0,014 \pm 0,019) \text{ MP m}^{-3}$, sendo que atingiu o máximo de $0,035 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado da faixa à frente de Leirosa e mínimo de $0,033$

MP m⁻³ no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria e o PE encontra-se com uma concentração de $(0,052 \pm 0,100)$ MP m⁻³, sendo que atingiu o máximo de 0,230 MP m⁻³ no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria e mínimo de 0,016 MP m⁻³ no ponto próximo à costa de Vieira de Leiria e no ponto intermédio da faixa à frente de Leirosa.

4.2 Amostragem por colheita vertical

4.2.1 Abundância

Nas Figuras 4.11 a 4.12 representam a abundância de microplásticos existentes na coluna de água nos vários pontos de amostragem, no outono e na primavera.

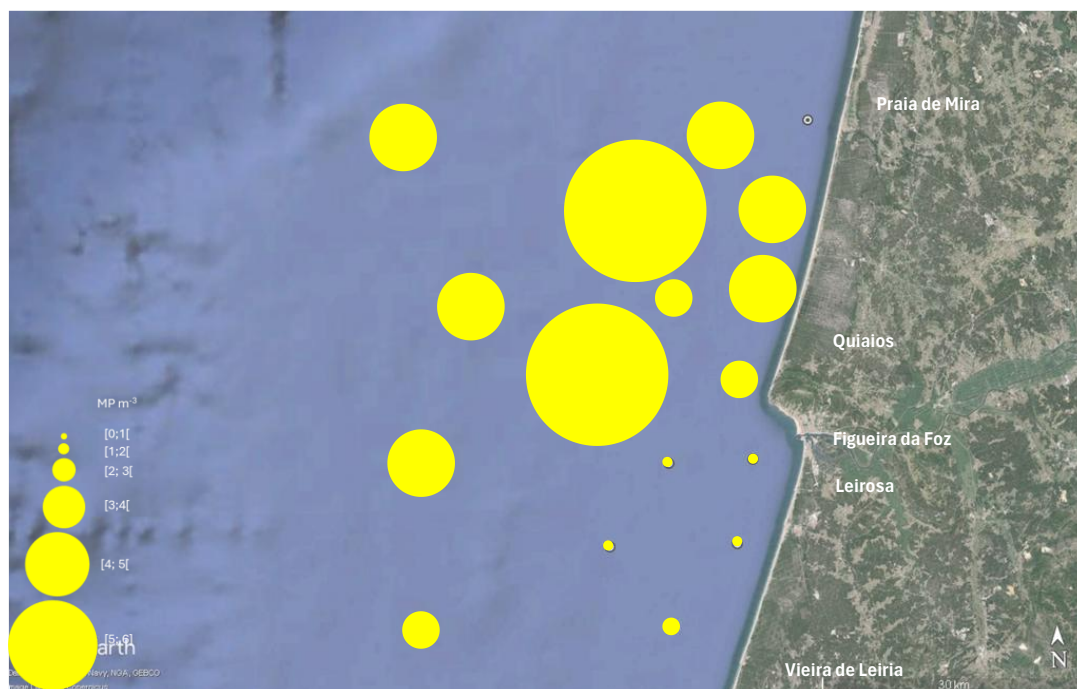


Figura 4.11 - Distribuição geográfica da abundância de microplásticos colhidos por arrasto vertical, no outono, entre a Praia de Mira e Vieira de Leiria

No outono, a abundância variou entre 0 e 6 MP m⁻³.

Na região a norte, entre a Praia da Mira e Quiaios, a média de concentração de microplásticos foi de 3,15 MP m⁻³ e num ponto mais a norte próximo de Praia de Mira não foram encontrados microplásticos. O primeiro ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios registou

a abundância de $2,4 \text{ MP m}^{-3}$ e o segundo ponto intermédio da mesma faixa registou $3,2 \text{ MP m}^{-3}$. O ponto intermédio à frente de Praia de Mira, o ponto mais afastado à frente de Praia de Mira e os restantes pontos costeiros da região a norte registaram a mesma concentração de microplásticos, ou seja, $3,6 \text{ MP m}^{-3}$. O ponto intermédio da região norte da área de estudo registou a maior abundância de microplásticos, isto é, $5,2 \text{ MP m}^{-3}$.

Nos pontos junto à foz do rio Mondego, a média de abundância de microplásticos foi de $2,56 \text{ MP m}^{-3}$. Os pontos a sul da foz do Mondego têm como concentração de microplásticos $0,8 \text{ MP m}^{-3}$ cada um, o ponto costeiro a norte da foz registou 2 MP m^{-3} e o ponto mais afastado da região da foz do Mondego registou $3,2 \text{ MP m}^{-3}$. Já o ponto intermédio a norte da foz registou 6 MP m^{-3} , isto é, a maior abundância de microplásticos, nesta região.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria (a região sul da área de estudo), a média da concentração de microplásticos foi de $1,3 \text{ MP m}^{-3}$, sendo que o ponto intermédio da faixa à frente de Leirosa registou $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ de abundância de microplásticos, o ponto costeiro da mesma faixa $0,8 \text{ MP m}^{-3}$ e o ponto costeiro próximo a Vieira de Leiria foi de $1,2 \text{ MP m}^{-3}$. O ponto com maior abundância foi o ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria tendo-se registado $2,8 \text{ MP m}^{-3}$.

Aplicando o teste de Kruskal-Wallis, no outono, as abundâncias entre o norte (entre a Praia da Mira e Quiaios) e o sul (entre Leirosa e Vieira de Leiria) são significativamente diferentes ($p=7,26 \times 10^{-8}$ para um grau de confiança de 95%) e entre a foz do rio Mondego e o sul também são significativamente diferentes ($p=0,0009$ para um grau de confiança de 95%).

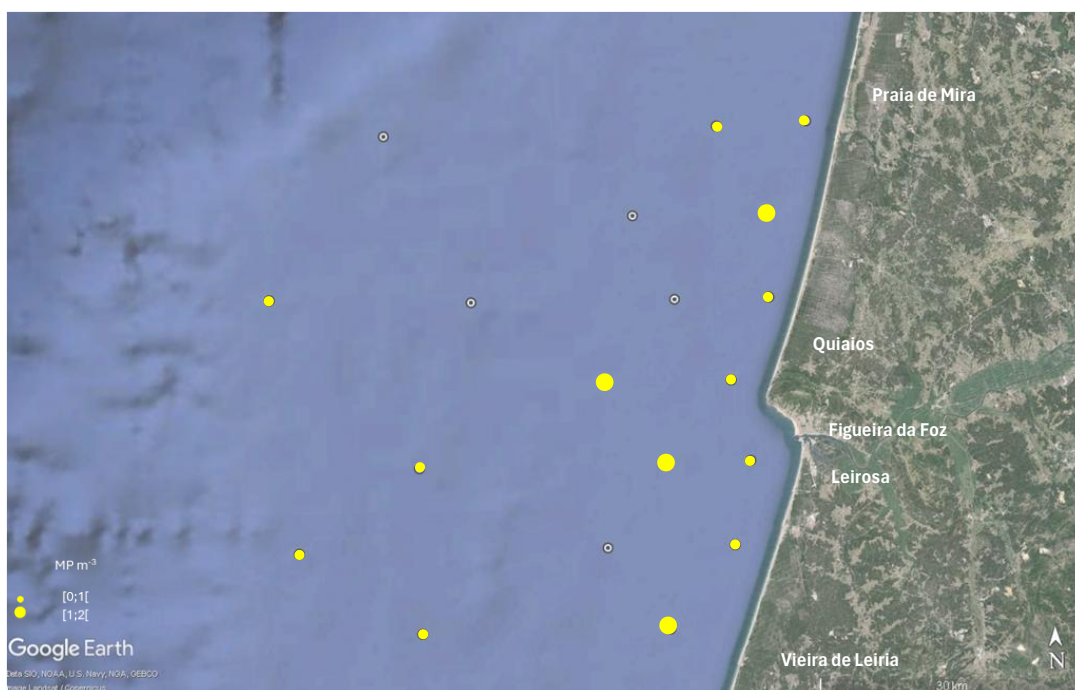


Figura 4.12 - Distribuição geográfica da abundância de microplásticos colhidos por arrasto vertical, na primavera, entre a Praia de Mira e Vieira de Leiria

Na primavera a abundância varia entre 0 e $1,6 \text{ MP m}^{-3}$ e não foram encontrados microplásticos em cinco pontos.

Na região a norte, entre a Praia de Mira e Quiaios, a média de abundância de microplásticos foi de $0,44 \text{ MP m}^{-3}$, sendo que nos pontos da faixa à frente de Praia de Mira registaram-se $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ em ambos, enquanto no ponto próximo à costa de Quiaios e no ponto mais afastado da mesma faixa as abundâncias registadas foram de $0,8 \text{ MP m}^{-3}$. O ponto costeiro intermédio da região norte da área de estudo registou $1,6 \text{ MP m}^{-3}$ sendo que é a maior abundância desta zona.

Nos pontos junto à foz do rio Mondego, a média de abundância de microplásticos foi de $0,96 \text{ MP m}^{-3}$. O ponto intermédio a norte da foz do Mondego registou a maior abundância, sendo esta de $1,6 \text{ MP m}^{-3}$, no ponto intermédio a sul da foz a abundância de microplásticos foi de $1,2 \text{ MP m}^{-3}$. O ponto costeiro a sul da foz e o ponto mais afastado desta região registaram a mesma abundância de microplásticos, isto é, $0,8 \text{ MP m}^{-3}$ e o ponto costeiro a norte da foz registou $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ como concentração de microplásticos.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria, a média de abundância de microplásticos foi de $0,72 \text{ MP m}^{-3}$, sendo que no ponto costeiro junto a Leirosa, no ponto mais afastado desta faixa e no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria a concentração de microplásticos foi

de $0,8 \text{ MP m}^{-3}$ para os três pontos, enquanto no ponto costeiro à frente de Vieira de Leiria a abundância foi de $1,2 \text{ MP m}^{-3}$.

Aplicando o teste de Kruskal-Wallis, na primavera, as abundâncias não são significativamente diferentes.

Considerando, as amostras colhidas por arrasto vertical e aplicando o teste de Kruskal-Wallis, verifica-se que as abundâncias registadas no outono e na primavera são significativamente diferentes (valor p é $2,73 \times 10^{-14}$ ($<0,05$) para um grau de confiança de 95%).

Comparando as abundâncias, para o outono e para a primavera, verifica-se que a norte (entre a Praia da Mira e Quiaios), as abundâncias são significativamente diferentes ($p=6,27 \times 10^{-8}$ para um grau de confiança de 95%) enquanto na foz as abundâncias também são significativamente diferentes ($p=2,38 \times 10^{-5}$ para grau de confiança de 95%) e a sul (entre Leirosa e Vieira de Leiria) também o são ($p=0,02$ para grau de confiança de 95%).

4.2.2 Tipologia

Nas Figuras 4.13 e 4.14 estão representadas as distribuições por tipologia de microplásticos encontrados na coluna de água no outono e na primavera.

Tanto no outono como na primavera, as tipologias encontradas foram fragmentos, fibras e filamentos.

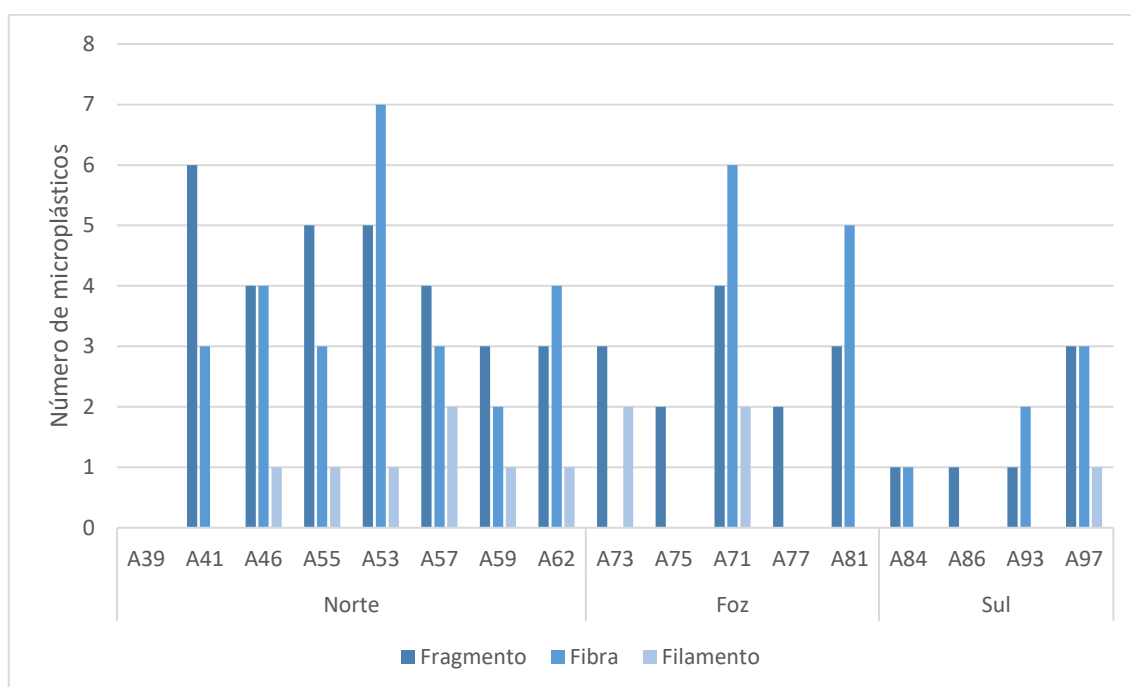


Figura 4.13 - Distribuição por tipologia dos microplásticos encontrados nas amostras colhidas por arrasto vertical, na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria) no outono

No outono, entre a Praia da Mira e Quiaios, isto é, na região a norte da área de estudo, a maioria dos pontos apresentou as três formas encontradas (fragmentos, fibras e filamentos).

No ponto costeiro junto à Praia de Mira não foram encontrados microplásticos, no ponto costeiro intermédio da região norte foram encontrados cinco fragmentos, três fibras e um filamento e no ponto costeiro próximo a Quiaios foram encontrados quatro fragmentos, três fibras e dois filamentos.

No ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira foram encontrados seis fragmentos e três fibras, no ponto mais afastado desta faixa foram encontrados quatro fragmentos, quatro fibras e um filamento, no ponto intermédio da região norte foram encontrados cinco fragmentos, sete fibras e um filamento, no primeiro ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios três fragmentos, duas fibras e um filamento e no segundo ponto intermédio da mesma faixa três fragmentos, quatro fibras e um filamento.

No ponto costeiro a norte da foz do Mondego foram encontrados três fragmentos e dois filamentos enquanto no ponto costeiro a sul da foz do Mondego apenas foram encontrados dois fragmentos. No ponto intermédio a norte da foz foram encontrados quatro fragmentos, seis fibras e dois filamentos e no ponto intermédio a sul da foz do Mondego apenas dois

fragmentos. No ponto mais afastado da costa na região junto à foz do rio Mondego, foram encontrados três fragmentos e cinco fibras.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria (região sul da área de estudo) nos pontos mais próximos da costa foram encontrados fragmentos e fibras. No ponto costeiro próximo a Leirosa foi encontrado um fragmento e uma fibra, enquanto no ponto costeiro próximo a Vieira de Leiria foram encontrados um fragmento e duas fibras. No ponto intermédio da faixa à frente de Leirosa apenas foi encontrado um fragmento.

No ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria foram encontrados três fragmentos, três fibras e um filamento.

No outono, a concentração média de fragmentos, na região a norte, foi de $(1,5 \pm 0,733)$ MP m⁻³, sendo registado a concentração máxima no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira. A concentração média de fibras, a norte, foi de $(1,3 \pm 0,793)$ MP m⁻³, sendo registado a concentração máxima no ponto intermédio desta região, enquanto a concentração média dos filamentos foi de $(0,35 \pm 0,256)$ MP m⁻³, sendo no ponto costeiro próximo a Quiaios a concentração máxima.

Junto à foz do rio Mondego, a concentração média de fragmentos foi de $(1,12 \pm 0,335)$ MP m⁻³, as fibras registaram uma concentração média de $(0,88 \pm 1,213)$ MP m⁻³ e as concentrações máximas registaram-se no ponto intermédio a norte da foz do Mondego. A concentração máxima de filamentos registou-se nos pontos a norte da foz, sendo que a concentração média foi de $(0,32 \pm 0,438)$ MP m⁻³.

Na região a sul da área de estudo, entre Leirosa e Vieira de Leiria, a concentração máxima de fragmentos, fibras e filamentos registou-se no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria. A concentração média de fragmentos foi de $(0,6 \pm 0,4)$ MP m⁻³, a de fibras $(0,6 \pm 0,516)$ MP m⁻³ e de filamentos $(0,1 \pm 0,2)$ MP m⁻³.

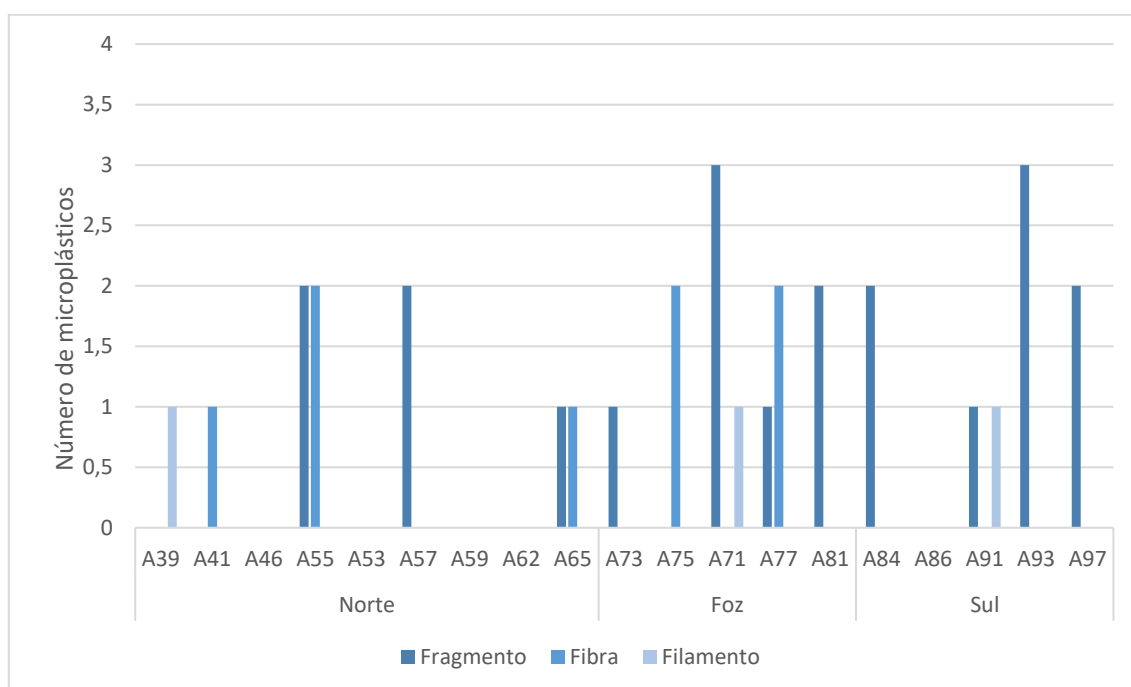


Figura 4.14 - Distribuição por tipologia dos microplásticos encontrados nas amostras colhidas por arrasto vertical, na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria) na primavera

Na primavera, entre a Praia de Mira e Quiaios, nos pontos mais afastados da costa bem como em alguns pontos intermédios desta região não foram encontrados microplásticos. No ponto costeiro próximo a Praia de Mira apenas foi encontrado um filamento, no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira uma fibra, no ponto costeiro próximo a Quiaios dois fragmentos. No ponto costeiro intermédio da região norte foram encontrados dois fragmentos e duas fibras, enquanto no ponto mais afastado da faixa à frente de Quiaios um fragmento e uma fibra.

Nos pontos junto à foz do rio Mondego, os fragmentos foram encontrados em maior quantidade, sendo que no ponto a norte da foz apenas um fragmento, no ponto a sul da foz duas fibras, no ponto intermédio a norte da foz três fragmentos e um filamento, no ponto intermédio a sul da foz um fragmento e duas fibras. No ponto mais afastado dois fragmentos.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria, na região sul da área de estudo, no ponto intermédio da faixa à frente de Leirosa não foram encontrados microplásticos. No ponto costeiro próximo a Leirosa e no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria foram encontrados dois fragmentos em ambos. No ponto mais afastado da faixa à frente de Leirosa foram encontrados um fragmento e um filamento e no ponto costeiro próximo a Vieira de Leiria três fragmentos.

Na primavera, a concentração média de fragmentos, na região a norte (entre a Praia de Mira e Quiaios), foi de $(0,222 \pm 0,353)$ MP m⁻³, sendo registado a concentração máxima no ponto costeiro próximo a Quiaios e no ponto costeiro intermédio. A concentração média de fibras, a norte, foi de $(0,178 \pm 0,291)$ MP m⁻³, sendo registado a concentração máxima no ponto costeiro intermédio, enquanto a concentração média dos filamentos foi de $(0,044 \pm 0,133)$ MP m⁻³, sendo no ponto costeiro próximo à Praia de Mira a concentração máxima.

Junto à foz do rio Mondego, a concentração média de fragmentos foi de $(0,56 \pm 0,456)$ MP m⁻³, a concentração máxima registou-se no ponto intermédio a norte da foz, as fibras registaram uma concentração média de $(0,32 \pm 0,438)$ MP m⁻³ e a concentração máxima registou-se nos pontos a sul da foz. A concentração máxima de filamentos registou-se no ponto intermédio a norte da foz, sendo que a concentração média foi de $(0,08 \pm 0,179)$ MP m⁻³.

Na região a sul da área de estudo, entre Leirosa e Vieira de Leiria, a concentração máxima de fragmentos registou-se no ponto costeiro próximo a Vieira de Leiria e a de filamentos registou-se no ponto afastado da faixa à frente de Leirosa. A concentração média de fragmentos foi de $(0,64 \pm 0,456)$ MP m⁻³ e de filamentos $(0,08 \pm 0,179)$ MP m⁻³.

4.2.3 Dimensões

Nas Figuras 4.15 e 4.16 estão representadas as distribuições por classes de dimensões de microplásticos encontrados na coluna de água no outono e na primavera.

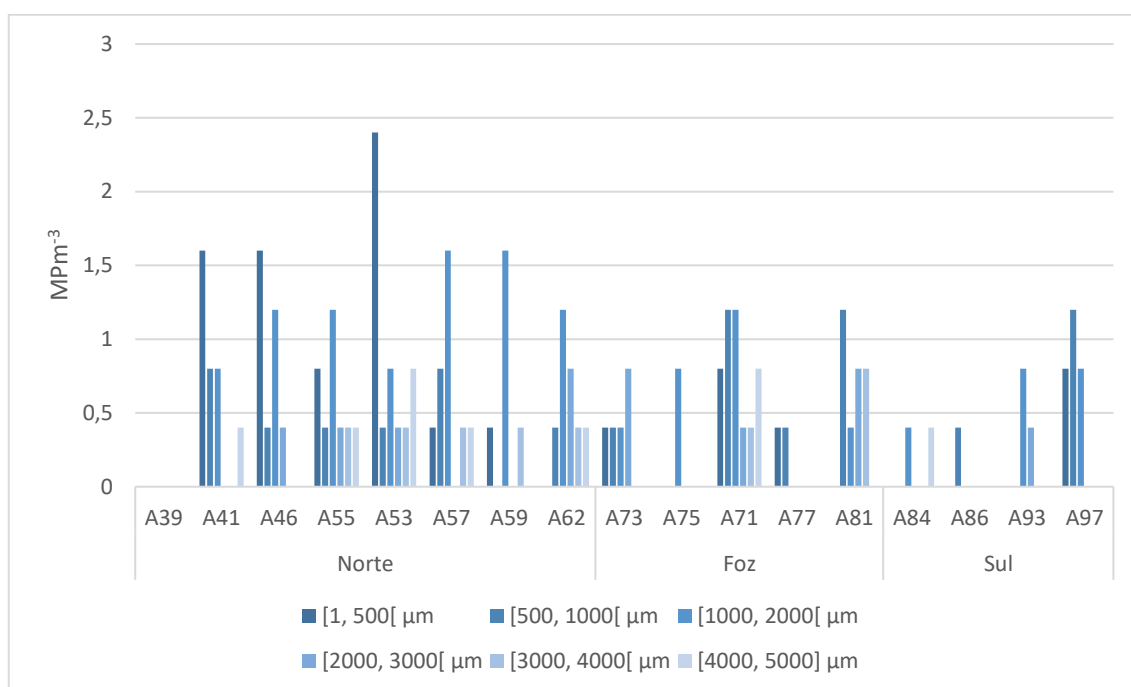


Figura 4.15 - Densidade de microplásticos (MP m⁻³) nas várias classes de tamanho registadas no outono nos arrastos verticais, na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)

No outono, entre a Praia de Mira e Quiaios, os pontos junto à costa apresentam uma grande variedade de classes. No ponto costeiro intermédio desta região, a classe [1000, 2000[μm é dominante, com três microplásticos, seguida da classe [1, 500[μm, com dois microplásticos, enquanto nas classes [500, 1000[μm, [2000, 3000[μm, [3000, 4000[μm e [4000, 5000[μm surgem com um microplástico em cada uma. No ponto costeiro próximo a Quiaios, a classe dominante é [1000, 2000[μm com quatro microplásticos encontrados enquanto na classe [500, 1000[μm foram encontrados dois microplásticos. Nas classes [1, 500[μm, [3000, 4000[μm e [4000, 5000[μm estão representadas com um microplástico em cada uma.

No ponto intermédio da região norte foram encontrados microplásticos de todas as classes de dimensões, sendo que a classe [1, 500[μm foi a mais representativa, com seis microplásticos encontrados, nas classes [1000, 2000[μm e [4000, 5000[μm também surgem dois microplásticos em cada uma. Nas classes [500, 1000[μm, [2000, 3000[μm e [3000, 4000[μm foi encontrado um microplástico em cada uma. Também no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira a classe dominante de dimensões foi [1, 500[μm, com quatro microplásticos, enquanto nas classes [500, 1000[μm e [1000, 2000[μm apenas foram encontrados dois microplásticos em cada uma. Na classe [4000, 5000[μm apenas foi contabilizado um microplástico com estas dimensões.

No ponto afastado da faixa à frente de Praia de Mira foram contabilizados microplásticos com dimensões nas classes [1, 500[μm , [500, 1000[μm , [1000, 2000[μm e [2000, 3000[μm , sendo que na classe [1, 500[μm foram encontrados quatro, na classe [500, 1000[μm um microplástico, na classe [1000, 2000[μm três microplásticos e na classe [2000, 3000[μm um microplástico.

No primeiro ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios, os microplásticos encontrados estão incluídos nas classes [1, 500[μm , [1000, 2000[μm e [3000, 4000[μm , sendo que na classe [1000, 2000[μm foram encontrados quatro, nas classes [1, 500[μm e [3000, 4000[μm foi encontrado um microplástico em cada uma, enquanto no segundo ponto intermédio desta faixa foram encontrados microplásticos nas classes [500, 1000[μm (um), [1000, 2000[μm (três), [2000, 3000[μm (dois), [3000, 4000[μm (um) e [4000, 5000[μm (um).

Junto à foz do rio Mondego, no outono, o ponto costeiro a norte da foz apresenta uma maior diversidade de classes, pois foram encontrados microplásticos com dimensões nas classes [1, 500[μm (um), [500, 1000[μm (um), [1000, 2000[μm (um) e [2000, 3000[μm (dois) enquanto o ponto costeiro a sul da foz apenas apresenta dois microplásticos da classe [1000, 2000[μm . No outro ponto a norte da foz foram encontrados microplásticos de dimensões incluídos em todas as classes, ou seja, foram encontrados dois microplásticos na classe [1, 500[μm , três na classe [500, 1000[μm , três na classe [1000, 2000[μm , um na classe [2000, 3000[μm , um na classe [3000, 4000[μm e dois na classe [4000, 5000[μm . No outro a sul da foz apenas foram encontrados microplásticos até 1000 μm , isto é, um na classe [1, 500[μm e um na classe [500, 1000[μm .

No ponto mais afastado da foz foram encontrados microplásticos das classes [500, 1000[μm (três), [1000, 2000[μm (um), [2000, 3000[μm (dois) e [3000, 4000[μm (dois).

Entre Leirosa e Vieira de Leiria, no outono, no ponto costeiro próximo a Leirosa foram encontrados microplásticos nas classes de [1000, 2000[μm (um) e um microplástico na classe [4000, 5000[μm , no ponto costeiro próximo a Vieira de Leiria foram contabilizados dois microplásticos na classe [1000, 2000[μm e um na classe [2000, 3000[μm .

No outono, no ponto intermédio da faixa à frente de Leirosa foi contabilizado um microplástico na classe [500, 1000[μm e no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria foram contabilizados dois microplásticos na classe [1, 500[μm , três na classe [500, 1000[μm e dois na classe [1000, 2000[μm .

Aplicando o teste de Kruskal-Wallis, verifica-se que as dimensões no outono não são significativamente diferentes.

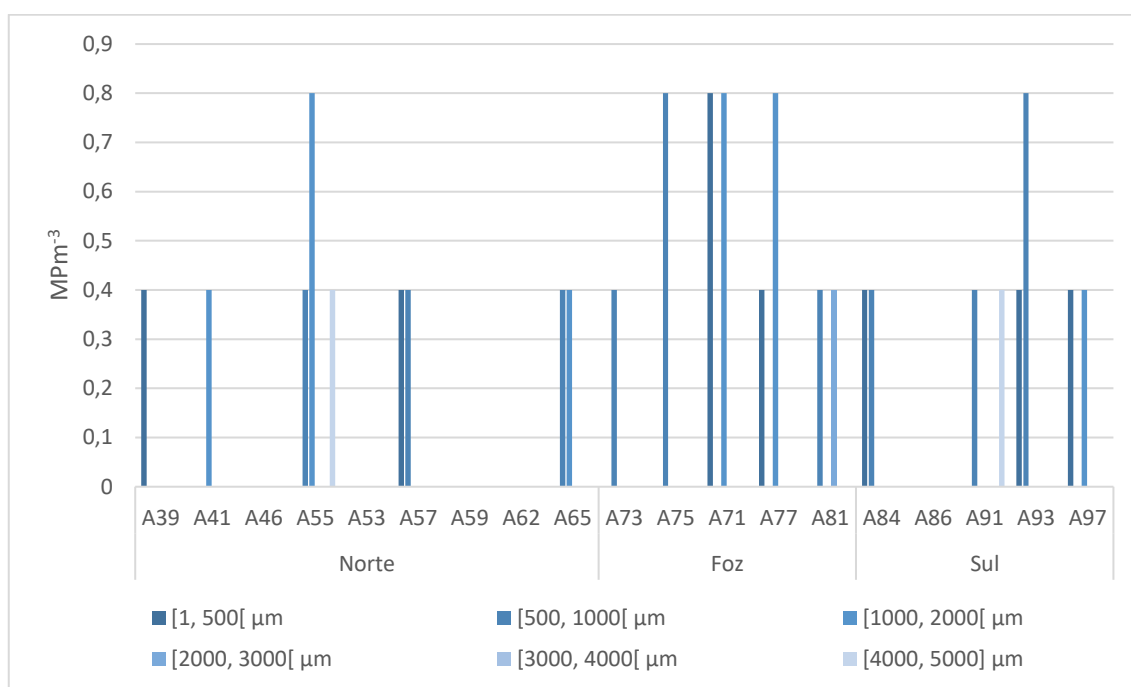


Figura 4.16 - Densidade de microplásticos (MP m⁻³) nas várias classes de tamanho encontrados na colheita por arrasto vertical na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria) na primavera

Na primavera não foram encontrados microplásticos em cinco pontos de amostragem.

Entre a Praia de Mira e Quiaios, a norte da área de estudo, no ponto costeiro junto à Praia de Mira foi contabilizado um microplástico na classe [1, 500[μm, no ponto costeiro intermédio foram encontrados um microplástico na classe [500, 1000[μm, dois na classe [1000, 2000[μm e um na classe [4000, 5000[μm e no ponto costeiro próximo a Quiaios foram encontrados um microplástico no ponto [1, 500[μm e um na classe [500, 1000[μm.

Na primavera, no ponto intermédio na faixa à frente de Praia de Mira foi encontrado um microplástico na classe [1000, 2000[μm e no ponto mais afastado da faixa à frente de Quiaios foi encontrado um microplástico na classe [500, 1000[μm e um na classe [1000, 2000[μm.

Nos pontos junto à foz do rio Mondego, na primavera, os microplásticos encontrados têm dimensões entre as classes [1, 500[μm e [1000, 2000[μm, sendo que no ponto costeiro a norte foi encontrado um microplástico com dimensões entre [500, 1000[μm e no ponto costeiro a sul foram encontrados dois microplásticos com dimensões entre [500, 1000[μm. No ponto intermédio a norte da foz foram encontrados dois microplásticos na classe [1, 500[μm e dois na classe [1000, 2000[μm, enquanto no ponto intermédio a sul da foz foi encontrado um microplástico na classe [1, 500[μm e dois microplásticos na classe [1000, 2000[μm. No

ponto mais afastado da região da foz do Mondego, foi encontrado um microplástico na classe [500, 1000[μm e um microplástico na classe [2000, 3000[μm .

Na primavera, entre Leirosa e Vieira de Leiria, nos pontos de amostragem foram encontrados microplásticos com dimensões até 2000 μm , sendo que no ponto costeiro próximo a Leirosa foi encontrado um microplástico na classe [1, 500[μm e outro na classe [500, 1000[μm , enquanto no ponto costeiro próximo a Vieira de Leiria foram encontrados um microplástico na classe [1, 500[μm e dois na classe [500, 1000[μm . No ponto mais afastado da faixa à frente de Leirosa foi encontrado um microplástico com dimensão incluída na classe [500, 1000[μm e no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria foi encontrado um microplástico na classe [1, 500[μm e outro na classe [1000, 2000[μm .

Aplicando o teste de Kruskal-Wallis, para a primavera, verifica-se que as dimensões não são significativamente diferentes.

No outono a média de dimensões de microplásticos foi de $(1551,8 \pm 1236,6)$ μm e na primavera de $(1120,6 \pm 1149,3)$ μm .

No outono, a norte da região de área de estudo, a classe [1, 500[μm apresenta uma média de $(0,900 \pm 0,875)$ MP m^{-3} , com o máximo de $2,4$ MP m^{-3} no ponto intermédio da região e mínimo de $0,4$ MP m^{-3} no ponto costeiro próximo a Quiaios e no primeiro ponto intermédio desta faixa, a classe [500, 1000[μm apresenta uma média $(0,400 \pm 0,302)$ MP m^{-3} , com o máximo de $0,8$ MP m^{-3} no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira e no ponto costeiro próximo a Quiaios e mínimo de $0,4$ MP m^{-3} no ponto mais afastado da faixa à frente de Praia de Mira, no ponto costeiro intermédio da região, no ponto intermédio da mesma região e no segundo ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios, a classe [1000, 2000[μm apresenta uma média de $(1,05 \pm 0,521)$ MP m^{-3} , máximo de $1,6$ MP m^{-3} no ponto costeiro da faixa à frente de Quiaios e no primeiro ponto intermédio da mesma da faixa e mínimo de $0,8$ MP m^{-3} no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira e no ponto intermédio da região norte. A classe [2000, 3000[μm apresenta uma média de $(0,250 \pm 0,298)$ MP m^{-3} , com o máximo de $0,8$ MP m^{-3} no segundo ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios e mínimo de $0,4$ MP m^{-3} no ponto afastado da faixa à frente de Praia de Mira, no ponto costeiro intermédio e no ponto intermédio da região norte. A classe [3000, 4000[μm apresenta uma média de $(0,250 \pm 0,207)$ MP m^{-3} , com o máximo e mínimo de $0,4$ MP m^{-3} nos pontos costeiros e intermédios da região norte. A classe [4000, 5000[μm apresenta uma média de $(0,300 \pm 0,283)$ MP m^{-3} , com o máximo de $0,8$ MP m^{-3} no ponto intermédio da região norte e mínimo de $0,4$ MP m^{-3} nos pontos costeiros e intermédios da região norte.

Na região junto à foz do Mondego, a classe $[1, 500[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,320 \pm 0,335) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,8 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio a norte da foz e mínimo de $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto costeiro a norte da foz e no ponto intermédio a sul da foz, a classe $[500, 1000[\mu\text{m}$ apresenta uma média $(0,640 \pm 0,537) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $1,2 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio a norte da foz e no ponto afastado da região da foz do Mondego e mínimo de $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto costeiro a norte da foz e no ponto intermédio a sul da foz, a classe $[1000, 2000[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,560 \pm 0,456) \text{ MP m}^{-3}$, máximo de $1,2 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio a norte da foz e mínimo de $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto costeiro a norte da foz e no ponto mais afastado da foz. A classe $[2000, 3000[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,400 \pm 0,400) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,8 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto a norte da foz e no ponto mais afastado da foz e mínimo de $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio a norte. A classe $[3000, 4000[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,240 \pm 0,358) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,8 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado da foz e mínimo de $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio a norte da foz.

Na região sul da área de estudo, a classe $[500, 1000[\mu\text{m}$ apresenta uma média $(0,400 \pm 0,566) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $1,2 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria e mínimo de $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio da região sul, a classe $[1000, 2000[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,500 \pm 0,383) \text{ MP m}^{-3}$, máximo de $0,8 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto costeiro próximo de Vieira de Leiria e no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria e mínimo de $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto costeiro próximo a Leirosa.

Na primavera, na região a norte da área de estudo, a classe $[1, 500[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,089 \pm 0,176) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo e mínimo de $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ no pontos costeiros, a classe $[500, 1000[\mu\text{m}$ apresenta uma média $(0,133 \pm 0,200) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo e mínimo de $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ em dois pontos costeiros e num ponto afastado da costa, a classe $[1000, 2000[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,178 \pm 0,291) \text{ MP m}^{-3}$, máximo de $0,8 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto costeiro intermédio e mínimo de $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira e no ponto mais afastado de Quiaios.

Na região junto à foz do Mondego, a classe $[1, 500[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,240 \pm 0,358) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,8 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio a norte desta região e mínimo de $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto intermédio a sul desta região, a classe $[500, 1000[\mu\text{m}$ apresenta uma média $(0,320 \pm 0,335) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,8 \text{ MP m}^{-3}$ nos pontos costeiro a sul da foz e mínimo de $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto costeiro a norte da foz e no ponto mais afastado da foz, a classe $[1000, 2000[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,320 \pm 0,438) \text{ MP m}^{-3}$, máximo e mínimo de $0,8 \text{ MP m}^{-3}$ nos pontos intermédios a norte e a sul da foz.

Na região sul da área de estudo, a classe $[1, 500[\mu\text{m}$ apresenta uma média de $(0,240 \pm 0,219) \text{ MP m}^{-3}$, com máximo e mínimo de $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ nos pontos costeiros e no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria, a classe $[500, 1000[\mu\text{m}$ apresenta uma média $(0,320 \pm 0,335) \text{ MP m}^{-3}$, com o máximo de $0,8 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto costeiro da faixa à frente de Vieira de Leiria e mínimo de $0,4 \text{ MP m}^{-3}$ no ponto costeiro próximo a Leirosa e no ponto mais afastado desta faixa.

Considerando, as amostras colhidas por arrasto vertical e aplicando o teste de Kruskal-Wallis, verifica-se que as dimensões registadas no outono e na primavera são significativamente diferentes ($p=0,049$ ($<0,05$) para um grau de confiança de 95%).

4.2.4 Cores

Nas Figuras 4.17 a 4.18 apresentam-se as distribuições por cores, no outono e na primavera.

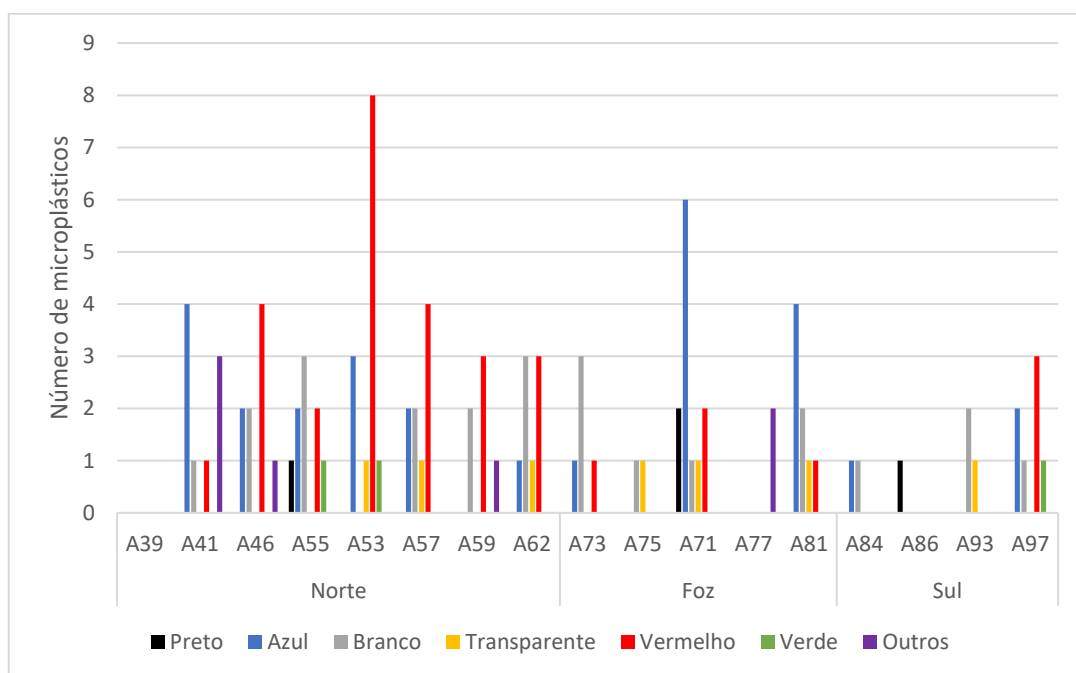


Figura 4.17 - Distribuição por cores de microplásticos encontrados na colheita por arrasto vertical, no outono na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)

No outono, entre a Praia de Mira e Quiaios, não foram encontrados microplásticos no ponto costeiro próximo de Praia de Mira, enquanto nos outros pontos junto à costa foram encontrados microplásticos de várias cores, sendo que no ponto costeiro intermédio desta

região foram encontrados três brancos, dois azuis, dois vermelhos, um preto e um verde e no ponto costeiro próximo a Quiaios foram encontrados quatro microplásticos vermelhos, dois brancos, dois azuis e um transparente.

No ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira foram encontrados quatro microplásticos azuis, um branco, um vermelho e três de outras cores, no ponto mais afastado desta região quatro vermelhos, dois brancos, dois azuis e um de outras cores, no ponto intermédio da região norte oito vermelhos, três azuis, um transparente e um verde e no segundo ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios três vermelhos, três brancos, um transparente e um azul. No primeiro ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios foram encontrados três vermelhos, dois brancos e um de outra cor.

Nos pontos junto à foz do rio Mondego, foram encontrados maioritariamente microplásticos brancos, sendo que no ponto costeiro a norte da foz foram encontrados três brancos, um azul e um vermelho e no ponto costeiro a sul da foz foram encontrados um microplástico branco e um transparente. No ponto intermédio a norte da foz foram encontrados seis azuis, dois pretos, dois vermelhos, um transparente e um branco, enquanto no ponto intermédio a sul da foz foram encontrados dois microplásticos de outras cores. No ponto mais afastado da foz foram encontrados quatro azuis, dois brancos, um vermelho e um transparente.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria, no outono, nos pontos junto à costa a cor branca representa a cor maioritária dos microplásticos encontrados, sendo que no ponto costeiro próximo a Leirosa foram encontrados um microplástico azul e um branco, enquanto no ponto costeiro próximo a Vieira de Leiria foram encontrados dois brancos e um transparente. No ponto intermédio da faixa à frente de Leirosa foi encontrado um microplástico preto e no ponto mais afastado da costa de Vieira de Leiria foram encontrados três vermelhos, dois azuis, um branco e um verde.

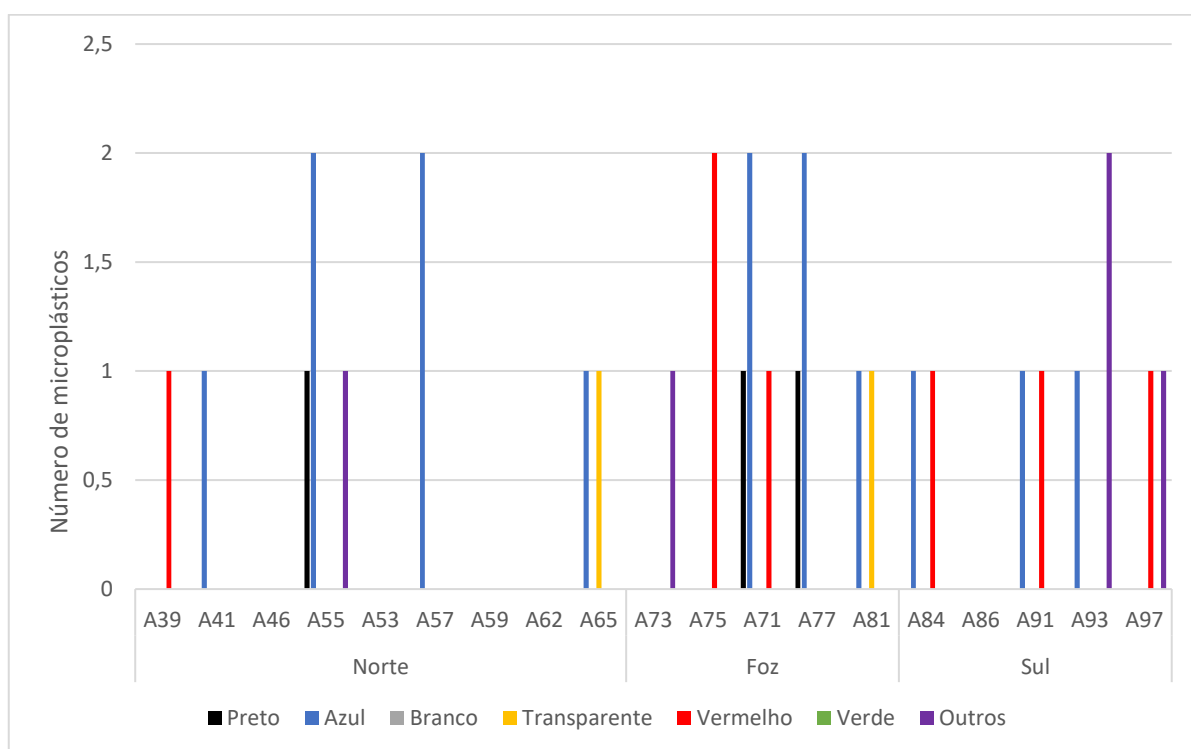


Figura 4.18 - Distribuição por cores de microplásticos encontrados na colheita por arrasto vertical, na primavera na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)

Na primavera, entre a Praia de Mira e Quiaios, não foram encontrados microplásticos em quatro pontos de amostragem: ponto mais afastado da faixa à frente de Praia de Mira, no ponto intermédio da região norte e nos dois pontos intermédios da faixa à frente de Quiaios. Nos pontos junto à costa da região norte foram encontrados microplásticos, maioritariamente, preto e azul, sendo que no ponto costeiro próximo a Praia de Mira foi encontrado um microplástico vermelho, no ponto costeiro intermédio foram encontrados dois azuis, um preto e um de outra cor e no ponto costeiro próximo a Quiaios dois azuis.

No ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira foi encontrado um microplástico azul e no ponto mais afastado da faixa à frente de Quiaios foram encontrados um microplástico azul e um transparente.

Nos pontos junto à foz, no ponto costeiro a norte foi encontrado um microplástico de outras cores, no ponto costeiro a sul dois vermelhos, no ponto intermédio a norte da foz dois azuis, um preto e um vermelho, no ponto intermédio a sul da foz dois azuis e um preto e no ponto mais afastado da foz um azul e um transparente.

Na primavera, entre Leirosa e Vieira de Leiria, não foram encontrados microplásticos no ponto intermédio da faixa à frente de Leirosa. No ponto costeiro próximo a Leirosa, foram

encontrados um azul e um vermelho, no ponto costeiro próximo a Vieira de Leiria um azul e dois de outras cores. No ponto afastado da faixa à frente de Leirosa foram encontrados um microplástico azul e um vermelho e no ponto mais afastado da faixa à de Vieira de Leiria um vermelho e um de outra cor.

No outono, entre a Praia da Mira e Quiaios, o azul tem uma média de $(0,700 \pm 0,555)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 1,6 MP m⁻³ no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no segundo ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios, o branco foi encontrado em média $(0,650 \pm 0,475)$ MP m⁻³, sendo que atingiu o máximo de 1,2 MP m⁻³ no ponto costeiro intermédio e no segundo ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira, o transparente foi encontrado em média $(0,150 \pm 0,207)$ MP m⁻³, sendo que atingiu o máximo e o mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto costeiro da faixa à frente de Quiaios e nos pontos intermédios da região norte, o vermelho tem uma média de $(1,250 \pm 0,967)$ MP m⁻³, o máximo da cor vermelha registou-se no ponto intermédio da região norte com 3,2 MP m⁻³ e o mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira, o verde tem uma média de $(0,100 \pm 0,185)$ MP m⁻³, o máximo e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto costeiro intermédio e no ponto intermédio da região norte e as outras cores têm uma média de $(0,250 \pm 0,424)$ MP m⁻³, o máximo de 1,2 MP m⁻³ no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto mais afastado da faixa à frente de Praia de Mira e no primeiro ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios.

Na primavera, entre a Praia da Mira e Quiaios, o azul tem uma média de $(0,267 \pm 0,346)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 0,8 MP m⁻³ nos pontos costeiros da região norte e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira e no ponto mais afastado da faixa à frente de Quiaios.

Junto à foz do rio Mondego, no outono, a cor azul tem uma média de $(0,880 \pm 1,073)$ MP m⁻³, o máximo de 2,4 MP m⁻³ no ponto intermédio a norte da foz e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto costeiro a norte da foz, o branco tem uma média de $(0,560 \pm 0,456)$ MP m⁻³, o máximo de 1,2 MP m⁻³ no ponto costeiro a norte da foz e o mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto intermédio a norte da foz e no ponto costeiro a sul da foz, o transparente tem uma média de $(0,240 \pm 0,219)$ MP m⁻³, o máximo e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto intermédio a norte da foz, no ponto intermédio a sul da foz e no ponto mais afastado da foz e o vermelho tem média de $(0,320 \pm 0,335)$ MP m⁻³, máximo de 0,8 MP m⁻³ no ponto intermédio a norte da foz e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto costeiro a norte da foz e no ponto mais afastado da foz.

Na primavera, a cor preta tem uma média de $(0,160 \pm 0,219)$ MP m⁻³, o máximo e mínimo de 0,4 MP m⁻³ nos pontos intermédios a norte e a sul da foz, a cor azul tem uma média de $(0,400 \pm 0,400)$ MP m⁻³, o máximo de 0,8 MP m⁻³ nos pontos intermédios a norte e a sul da foz e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto mais afastado da foz, a cor vermelha tem uma média de $(0,240 \pm 0,358)$ MP m⁻³, o máximo de 0,8 MP m⁻³ no ponto costeiro a sul da foz e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto intermédio a norte da foz.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria, no outono, o azul tem uma média de $(0,300 \pm 0,383)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 0,8 MP m⁻³ no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto costeiro próximo de Leirosa, o branco tem uma média de $(0,400 \pm 0,327)$ MP m⁻³, o máximo de 0,8 MP m⁻³ no ponto costeiro próximo de Vieira de Leiria e o mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria e no ponto costeiro próximo a Leirosa.

Na primavera, o azul tem uma média de $(0,240 \pm 0,219)$ MP m⁻³, atingindo o máximo e mínimo de 0,4 MP m⁻³ nos pontos costeiros da região sul e no ponto mais afastado da faixa à frente de Leirosa, o vermelho tem uma média de $(0,240 \pm 0,219)$ MP m⁻³, o máximo e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto costeiro próximo a Leirosa, no ponto mais afastado da faixa à frente de Leirosa e no ponto mais afastado de Vieira de Leiria e outras cores tiveram uma média de $(0,240 \pm 0,358)$ MP m⁻³, o máximo registou-se no ponto costeiro próximo a Vieira de Leiria com 0,8 MP m⁻³ e o mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto mais afastado da costa de Vieira de Leiria.

4.2.5 Caracterização química

Nas Figuras 4.19 e 4.20 representa-se o número de microplásticos de cada polímero encontrados no outono e na primavera, respetivamente.

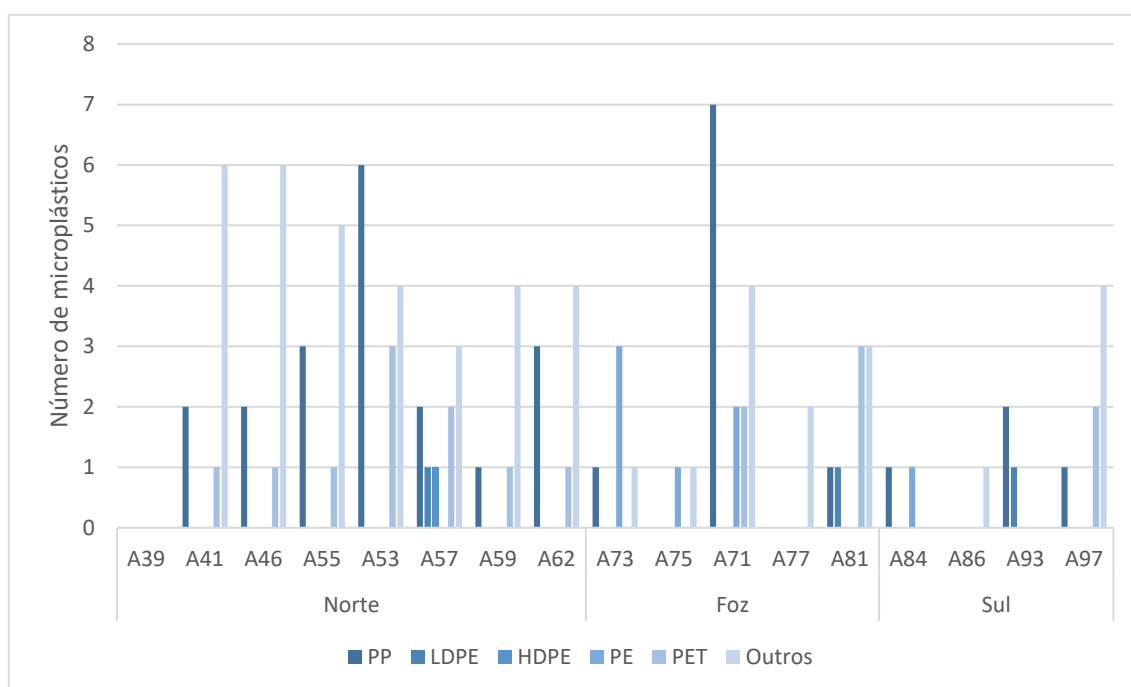


Figura 4.19 - Distribuição por polímeros de microplásticos encontrados na colheita por arrasto vertical, no outono na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)

No outono, entre a Praia da Mira e Quiaios, no ponto costeiro próximo a Praia de Mira não foram encontrados microplásticos e nos restantes pontos junto à costa foram encontrados maioritariamente PP, PET e outros polímeros, sendo que no ponto costeiro intermédio da região norte foram encontrados três PP, um PET e cinco incluídos em Outros, isto é, um PS, um PVC e três de uma mistura de PE e PP e no ponto costeiro próximo a Quiaios dois PP, um LDPE, um HDPE, dois PET e três incluídos em Outros, ou seja, dois de uma mistura de PE e PP e um PVC.

Nos restantes pontos foram encontrados PP, PET e outros polímeros, sendo que no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira foram encontrados dois PP, um PET e seis outros polímeros, isto é, três SBC, dois de uma mistura de PP e PE, no ponto mais afastado desta faixa dois PP, um PET e seis outros, isto é, dois SBC, dois PVC e dois de uma mistura de PP e PE.

No ponto intermédio da região norte foram encontrados seis PP, três PET e quatro incluídos em outros, isto é, dois PVC e dois epoxy, no primeiro ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios um PP, um PET e quatro outros polímeros - dois PVC e dois de uma mistura de PP e PE e no segundo ponto intermédio desta faixa três PP, um PET e quatro outros - três de uma mistura de PP e PE e um PVC.

No outono, entre a Praia da Mira e Quiaios, o PP tem uma média de $(0,950 \pm 0,707)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 2,4 MP m⁻³ no ponto intermédio da região norte e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no primeiro ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios e o PET tem uma média de $(0,500 \pm 0,355)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 1,2 MP m⁻³ no ponto intermédio da região norte e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira, no ponto mais afastado desta região, no ponto costeiro intermédio, no ponto costeiro intermédio, nos pontos intermédios da faixa à frente de Quiaios.

Junto à foz do rio Mondego, no ponto costeiro a norte foram encontrados três PE, um PP e um PVC (incluído em Outros), no ponto costeiro a sul um PE e um PVC, no ponto intermédio a sul da foz dois incluídos em Outros - um AC e um PVC, no intermédio a norte da foz sete PP, dois PE, dois PET e quatro PA e no ponto mais afastado desta região um PP, um LDPE, três PET e três outros polímeros - um PA e dois de uma mistura de PE e PP.

No outono, o PP tem uma média de $(0,720 \pm 1,18)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 2,8 MP m⁻³ no ponto intermédio a norte da foz e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto costeiro a norte da foz e no ponto mais afastado desta região, o PE tem uma média de $(0,480 \pm 0,522)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 1,2 MP m⁻³ no ponto costeiro a norte da foz e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto costeiro a sul da foz, o PET tem uma média de $(0,400 \pm 0,566)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 1,2 MP m⁻³ no ponto mais afastado da foz e mínimo de 0,8 MP m⁻³ no ponto intermédio a norte da foz e o PA tem uma média de $(0,400 \pm 0,693)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 1,6 MP m⁻³ no ponto intermédio a norte da foz e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto mais afastado da foz.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria, no outono, verificou-se uma maior diversidade de polímeros encontrados nas amostras de coluna de água, sendo que no ponto costeiro próximo a Leirosa um PP e um PE, no ponto intermédio da faixa à frente de Leirosa um EPDM, no ponto costeiro próximo de Vieira de Leiria dois PP e um LDPE e no ponto mais afastado desta faixa um PP, dois PET e quatro outros polímeros - dois PA, um de uma mistura de PP com PE e um epoxy.

No outono, o PP tem uma média de $(0,400 \pm 0,327)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 0,8 MP m⁻³ no ponto costeiro próximo a Vieira de Leiria e mínimo de 0,4 MP m⁻³ no ponto costeiro próximo a Leirosa e no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria.

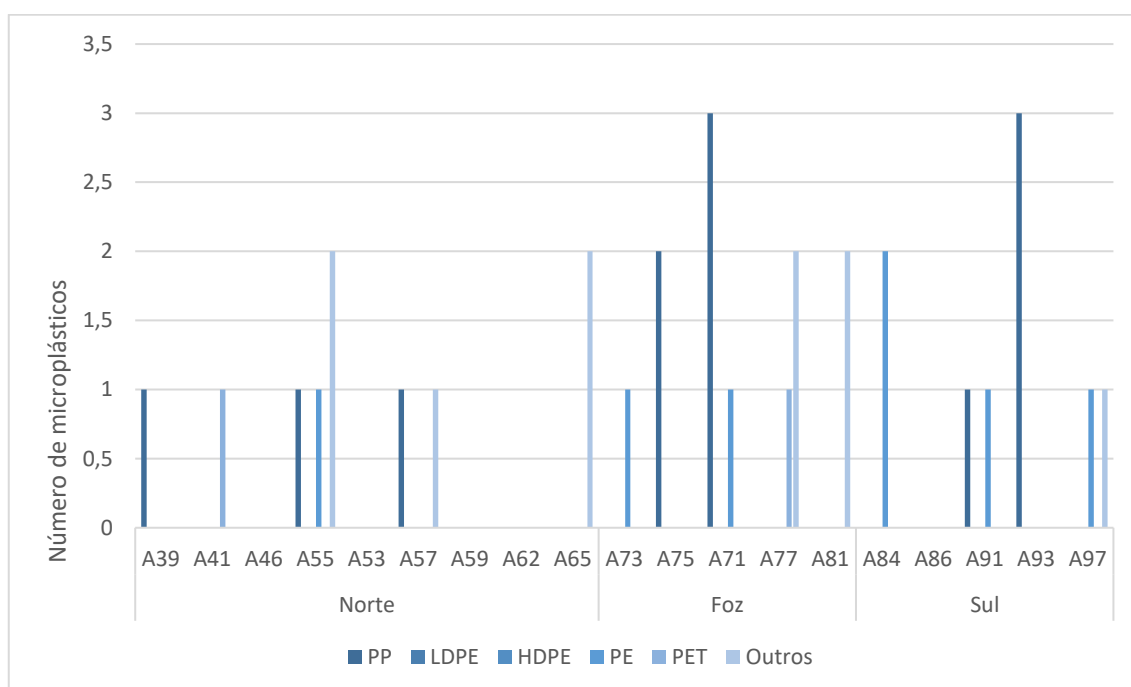


Figura 4.20 - Distribuição por polímeros de microplásticos encontrados na colheita por arrasto vertical, na primavera na região norte (entre Praia de Mira e Quiaios), na foz do rio Mondego e na região sul (Leirosa e Vieira de Leiria)

Na primavera, entre a Praia da Mira e Quiaios (região a norte), não foram encontrados microplásticos em quatro pontos de amostragem - no ponto mais afastado da faixa à frente de Praia de Mira, no ponto intermédio da região norte e nos pontos intermédios da faixa à frente de Quiaios.

Nos pontos junto à costa da região norte foram encontrados microplásticos, sendo que no ponto costeiro próximo a Praia de Mira foram encontrados um PP, no ponto costeiro intermédio da região norte um PP, um PE e dois PA e no ponto costeiro próximo a Quiaios um PP e um PVC.

Na primavera, entre a Praia da Mira e Quiaios, o PP tem uma média de $(0,133 \pm 0,200)$ MP m⁻³, atingindo o máximo e o mínimo de 0,4 MP m⁻³ nos pontos costeiros e PA tem uma média de $(0,178 \pm 0,353)$ MP m⁻³, atingindo o máximo e o mínimo de 0,8 MP m⁻³ no ponto costeiro intermédio e no ponto mais afastado da costa da faixa à frente de Quiaios.

Junto à foz do rio Mondego, no ponto costeiro a norte da foz foi encontrado um PE, no ponto costeiro a sul da foz dois PP, A77 um PET e dois PA, no ponto intermédio a norte da foz três PP e um PE e no ponto mais afastado da foz dois EVA.

Na primavera, o PP tem uma média de $(0,400 \pm 0,566)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 1,2 MP m⁻³ no ponto intermédio a norte da foz e mínimo de 0,8 MP m⁻³ no ponto costeiro a

sul da foz e o PE tem uma média de $(0,160 \pm 0,220)$ MP m⁻³, atingindo o máximo e mínimo de 0,4 MP m⁻³ nos pontos a norte da foz.

Na primavera, entre Leirosa e Vieira de Leiria, não foram encontrados microplásticos no ponto intermédio da faixa à frente de Leirosa. No ponto costeiro próximo a Leirosa foram encontrados dois PE, no ponto mais afastado da faixa à frente de Leirosa um PP e um PE, no ponto costeiro próximo a Vieira de Leiria três PP e no ponto mais afastado desta faixa um PE e um PA.

O PP tem uma média de $(0,320 \pm 0,522)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 1,2 MP m⁻³ no ponto costeiro próximo a Vieira de Leiria e mínimo de 0,4 MP m⁻³ nos pontos mais afastados da faixa à frente de Leirosa e o PE tem uma média de $(0,320 \pm 0,335)$ MP m⁻³, atingindo o máximo de 0,8 MP m⁻³ no ponto costeiro próximo a Leirosa e mínimo de 0,4 MP m⁻³ nos pontos mais afastados da região sul da área de estudo.

DISCUSSÃO

5.1 Abundância

Para ser possível comparar dados entre estudos é necessário que as unidades para medir a abundância de MP sejam uniformizadas. Neste estudo, as unidades a utilizar foram MP m⁻³, tanto para as amostras de água colhidas por arrasto vertical como pelas colhidas por arrasto horizontal.

Para determinar a presença de microplásticos nos oceanos têm sido conduzidos diversos estudos.

No oceano Atlântico, o NRP Sagres colheu 123 amostras de água subsuperficial, passando por Cabo Verde até à costa este da América do Sul e voltando pela costa oeste de África. Apenas foram encontrados microplásticos num terço dessas amostras, sendo que no porto da ilha de Santiago registou-se a concentração máxima de $(5,9 \pm 5,2)$ MP m⁻³km⁻¹ e na maioria dos pontos a concentração registada foi menor que 1 MP m⁻³ km⁻¹ (Almeida *et al.*, 2023). Também neste oceano, numa viagem entre Gibraltar e o arquipélago dos Açores foram encontradas concentrações entre 0,04 MP m⁻³ e 0,57 MP m⁻³ para amostras colhidas por arrasto horizontal (Poli *et al.*, 2024).

No estudo efetuado junto à ilha de plástico do Atlântico Norte, as partículas de dimensões superiores a 300 µm apresentam abundância de $(0,8 \pm 1,0)$ MP m⁻³ enquanto as partículas com dimensões inferiores a 300 µm apresentam uma concentração de (500 ± 700) MP m⁻³ (Hansen *et al.*, 2023) e na área localizada no giro anticiclónico do Atlântico Norte, a abundância das amostras costeiras (até 370 km da costa) foi de $(0,40 \pm 0,37)$ MP m⁻³ (Courtene-Jones *et al.*, 2022).

A cidade costeira de Weihai, rodeada pelo Mar Amarelo, é uma das maiores zonas pesqueiras da China. Num estudo foram amostrados nove pontos de amostragem distribuídos em próximos de áreas proibidas para maricultura, próximos de zonas restritas para essa prática e em zonas de reprodução, sendo que a abundância nestas áreas varia entre $1,57 \text{ MP m}^{-3}$ e $11,49 \text{ MP m}^{-3}$ (Zhang *et al.*, 2021).

Em Marrocos, na baía de Al Hoceima, no mar Mediterrâneo, em três anos consecutivos foram encontradas abundâncias entre $(1 \pm 4,50) \text{ MP m}^{-3}$ e $(15 \pm 4,50) \text{ MP m}^{-3}$ enquanto na costa atlântica marroquina a abundância varia entre $0,048$ e $3,305 \text{ MP m}^{-3}$ (Abelouah *et al.*, 2022; Bouadil *et al.*, 2024).

Em Portugal, na costa algarvia, as abundâncias encontradas em amostras de água variam até $14,09 \text{ MP m}^{-3}$, na costa da região norte, no Parque Natural do Litoral Norte, junto à foz do rio Cávado, a concentração de microplásticos foi de $(0,015 \pm 0,014) \text{ MP m}^{-3}$ e no estuário do Douro, junto à foz, foi de $(0,17 \pm 0,16) \text{ MP m}^{-3}$, no rio Antuã as concentrações de microplásticos variam entre 58 e 1265 MP m^{-3} e na área costeira do Parque Natural da Arrábida a concentração média de microplásticos foi de $(0,45 \pm 0,52) \text{ MP m}^{-3}$ (Lechthaler *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2018b; Rodrigues *et al.*, 2020).

No outono, a abundância de microplásticos nas amostras colhidas por arrasto horizontal é maior nos pontos de amostragem junto à foz do rio Mondego, enquanto nos pontos a norte da foz, isto é, entre a Praia da Mira e Quiaios, a abundância é semelhante aos pontos a sul, entre Leirosa e Vieira de Leiria, enquanto na primavera, a abundância é superior a sul da foz do Mondego, enquanto na foz do rio apresenta o valor mais baixo.

A norte, isto é, entre a Praia da Mira e Quiaios, no outono a abundância média de microplásticos nas amostras colhidas por arrasto horizontal foi de $0,14 \text{ MP m}^{-3}$ enquanto na primavera foi de $0,11 \text{ MP m}^{-3}$. Comparando as abundâncias entre o outono e a primavera, verifica-se na primavera houve um aumento no ponto mais próximo à costa de Praia de Mira, no ponto mais afastado da faixa à frente de Praia de Mira e nos pontos intermédios da região norte e uma diminuição no ponto costeiro próximo a Quiaios, no ponto costeiro intermédio da região norte, no ponto intermédio da faixa à frente de Praia de Mira e no segundo ponto intermédio da faixa à frente de Quiaios.

Na foz do rio Mondego, no outono a abundância média de microplásticos nas amostras de colheita horizontal foi de $0,16 \text{ MP m}^{-3}$ enquanto na primavera foi de $0,06 \text{ MP m}^{-3}$. Comparando as abundâncias entre o outono e a primavera, verifica-se na primavera uma diminuição nos pontos a norte da foz e no ponto intermédio a sul da foz e um aumento no ponto costeiro a sul e no ponto mais afastado da foz.

A sul, isto é, entre Leirosa e Vieira de Leiria a abundância média foi de $0,16 \text{ MP m}^{-3}$ para o outono e de $0,15 \text{ MP m}^{-3}$ para a primavera. Comparando as abundâncias entre o outono e a primavera, verifica-se que na primavera houve um aumento no ponto mais afastado da faixa à frente de Vieira de Leiria e uma diminuição nos pontos costeiros da região sul e no ponto intermédio à frente de Leirosa.

Os valores de abundância registados na costa portuguesa, tanto na primavera como no outono, neste estudo, quando comparados com outros estudos realizados na costa portuguesa e no oceano Atlântico situam-se na mesma ordem de grandeza. Porém, quando comparados com o estudo realizado no mar Mediterrâneo e no mar Amarelo são muito inferiores, o que pode indiciar que a costa portuguesa possui uma circulação oceânica muito dinâmica ao contrário do que acontece no Mar Mediterrâneo e no Mar Amarelo em que não há circulação tão acentuada. Embora os plásticos demorem muito tempo a fragmentar-se dando origem a microplásticos, as diferenças entre os sistemas de gestão de resíduos nos três países também podem influenciar as abundâncias de microplásticos encontradas, uma vez que Portugal tem vindo a implementar políticas alinhadas com as diretrizes europeias de forma a tornar os sistemas de gestão de resíduos mais eficientes.

Comparando os valores encontrados junto à foz do Mondego com valores encontrados junto à foz do rio Cávado verifica-se que neste estudo os valores são superiores aos da foz do Cávado, enquanto comparando os valores da foz do Mondego com os valores encontrados junto à foz do Douro os valores são semelhantes. A diferença de valores poderá estar relacionada com a localização dos rios, uma vez que o Mondego tem maior comprimento e mais povoações nas suas margens, enquanto a foz do Cávado está inserida no Parque Natural do Litoral Norte. A semelhança entre os valores da foz do Mondego e do Douro poderá estar relacionada com as atividades praticadas ao longo das suas bacias hidrográficas.

Num estudo efetuado na coluna de água no rio Reno, no troço próximo a Basileia, a abundância de microplásticos varia entre $0,75 \text{ MP m}^{-3}$ e 123 MP m^{-3} , no mar de Bohai, no oceano Pacífico, a abundância de microplásticos varia entre $0,4$ e $5,2 \text{ MPL}^{-1}$ (isto é, entre 400 MP m^{-3} e 5200 MP m^{-3}) e entre a bacia do rio Milwaukee e o lago Michigan, a abundância de microplásticos varia entre $0,42$ e $5,67 \text{ MP m}^{-3}$ (Dai *et al.*, 2018; Erni-Cassola *et al.*, 2024; Lenaker *et al.*, 2019).

Em Portugal, no rio Lis verificaram-se valores de abundância entre $0,05 \text{ MP m}^{-3}$ e $3422,22 \text{ MP m}^{-3}$, enquanto no rio Antuã, a abundância de microplásticos varia entre 58 e 1265 MP m^{-3} (Rodrigues *et al.*, 2018a; Sá *et al.*, 2022)

Nas amostras de coluna de água, durante o outono a região a norte da foz do Mondego é aquela que apresenta maior abundância enquanto a sul apresentam o menor valor. Na região da foz do Mondego apresentam um valor intermédio. Na primavera, a região com maior abundância de microplásticos é na foz do rio Mondego, a região sul apresenta abundância intermédia e a norte a menor abundância.

Entre a Praia da Mira e Quiaios, a norte da área de estudo, no outono a abundância de microplásticos nas amostras colhidas por arrasto vertical foi de $3,15 \text{ MP m}^{-3}$ enquanto na primavera foi de $0,44 \text{ MP m}^{-3}$. Comparando as abundâncias entre o outono e a primavera, verifica-se que houve um aumento no ponto costeiro de Praia de Mira e uma diminuição nos restantes pontos da região norte.

Na foz do rio Mondego, no outono a abundância média de microplásticos nas amostras de colheita vertical foi de $2,56 \text{ MP m}^{-3}$ enquanto na primavera foi de $0,96 \text{ MP m}^{-3}$. Comparando as abundâncias entre o outono e a primavera, verifica-se uma diminuição nos pontos a norte da foz e no ponto mais afastado da foz, uma diminuição no ponto intermédio a sul da foz e no ponto costeiro a sul da foz a abundância foi a mesma nas duas estações do ano.

Entre Leirosa e Vieira de Leiria, a sul da área de estudo, a abundância média foi de $1,30 \text{ MP m}^{-3}$ para o outono e $0,72 \text{ MP m}^{-3}$ para a primavera. Comparando as abundâncias entre o outono e a primavera, verifica-se que nos pontos costeiros da região sul os valores são mesmo tanto para a primavera como para o outono e houve uma diminuição nos pontos intermédio da região sul e no ponto mais afastado da costa na região sul.

Comparando os valores de abundância deste estudo com os valores de outros estudos verifica-se que são semelhantes aos encontrados no rio Reno e no rio Milwaukee e no lago Michigan, o que poderá indiciar que a gestão de resíduos nestes países é eficiente, enquanto no mar de Bohai verifica-se que os valores encontrados são muito inferiores o que poderá indiciar que nesta região existe uma ausência de gestão de resíduos.

Comparando os valores encontrados no oceano Atlântico com os valores encontrados no rio Lis e no rio Antuã, verifica-se que nos rios os valores são muito superiores, o que poderá indiciar que os microplásticos ao chegarem ao oceano são facilmente dispersos devido às correntes.

Através da análise estatística efetuada para este estudo, verificou-se que para as águas superficiais, as abundâncias são significativamente diferentes ($p=0,01$ para um grau de confiança de 95%), enquanto para as águas colhidas por arrasto vertical as abundâncias registadas no outono e na primavera são significativamente diferentes (valor p é $2,73 \times 10^{-14}$ ($<0,05$) para um grau de confiança de 95%).

5.2 Tipologia

Nas águas do oceano Atlântico, analisadas neste estudo, as formas de microplásticos encontradas foram fragmentos, fibras, filamentos e filmes.

No outono, os microplásticos encontrados nas amostras colhidas por arrasto horizontal, existe uma maior variedade de tipologias, existindo uma maior percentagem de filamentos, as fibras são a segunda forma mais presente nestas águas, os fragmentos são a terceira forma mais representativa, enquanto os filmes são a forma menos representada.

Na primavera, os fragmentos são a forma predominante, representando a grande maioria das micropartículas encontradas. As fibras representam a outra forma encontrada nas águas superficiais.

A norte, entre a Praia da Mira e Quiaios, no outono, as fibras foram a tipologia mais encontrada nas amostras colhidas por arrasto horizontal, enquanto na primavera foram os fragmentos. Na foz do rio Mondego, no outono, os filamentos foram a tipologia mais encontrada nas amostras colhidas por arrasto horizontal, enquanto na primavera foram os fragmentos. A sul, entre Leirosa e Vieira de Leiria, no outono os fragmentos e os filamentos foram a tipologia mais encontradas nas amostras de arrasto horizontal e, na primavera, os fragmentos foram os mais encontrados.

Na coluna de água, tanto no outono como na primavera, os fragmentos representam a forma mais comum encontrada. No outono surgem mais fibras que na primavera, enquanto os filamentos representam a menor parte dos microplásticos encontrados nas duas estações do ano.

A norte, entre a Praia da Mira e Quiaios, no outono e na primavera, os fragmentos e as fibras foram as tipologias mais encontradas nas amostras colhidas por arrasto vertical. Na foz do rio Mondego, no outono, os fragmentos e as fibras foram as tipologias mais encontradas nas amostras colhidas por arrasto vertical, enquanto na primavera foram os fragmentos. A sul, entre Leirosa e Vieira de Leiria, no outono os fragmentos e as fibras foram as tipologias mais encontradas nas amostras de arrasto vertical e, na primavera, os fragmentos foram os mais encontrados.

Comparando este estudo com estudos efetuados no oceano Atlântico, no Mar Amarelo, na costa atlântica e mediterrânea de Marrocos, os microplásticos encontrados eram, maioritariamente, fibras, fragmentos e filmes enquanto na costa portuguesa para além dos mencionados também foram encontrados pellets e microesferas, verifica-se que independentemente da localização do estudo e da gestão de resíduos dos países e das áreas de estudo, os

microplásticos encontrados têm as mesmas tipologias. (Abelouah *et al.*, 2022; Almeida *et al.*, 2023; Bouadil *et al.*, 2024; Hansen *et al.*, 2023; Rodrigues *et al.*, 2020; Sá *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2021).

5.3 Dimensões

No oceano Atlântico, a maioria dos microplásticos encontrados tinha dimensões inferiores a 1000 μm enquanto no Mar Amarelo, na China, a maioria dos microplásticos situa-se entre 1000 e 5000 μm (Almeida *et al.*, 2023; Poli *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2021).

Em Al Hoceima, em Marrocos, a maioria dos microplásticos encontrados tinham dimensões entre 3000 μm e 5000 μm enquanto na costa atlântica marroquina, a maioria situa-se até 2000 μm (Abelouah *et al.*, 2022; Bouadil *et al.*, 2024).

Nas águas da costa portuguesa, a maioria dos microplásticos encontrados, na zona costeira do parque natural da Arrábida e no Parque Natural do Litoral Norte, tem dimensões entre 1000 e 3000 μm (Rodrigues *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2020).

Durante o outono, neste estudo, nas águas superficiais a maioria dos microplásticos encontrados tem dimensões entre 500 μm e 2000 μm , enquanto na primavera existe uma maior variedade de dimensões, sendo a maioria tem até 2000 μm .

A norte, entre a Praia da Mira e Quiaios, no outono, as classes de dimensões predominantes foram [1, 500[μm , [500, 1000[μm e [1000, 2000[μm para as amostras por arrasto horizontal, enquanto na primavera são [500, 1000[μm e [1000, 2000[μm .

Na foz do rio Mondego, a classe dominante é [1000, 2000[μm , no outono para as amostras de água superficial e na primavera são as classes [500, 1000[μm e [1000, 2000[μm .

A sul, entre Leirosa e Vieira de Leiria, no outono as classes dominantes são [500, 1000[μm e [1000, 2000[μm , para as amostras colhidas por arrasto horizontal, enquanto na primavera são classes dominantes são [1, 500[μm , [500, 1000[μm e [1000, 2000[μm .

Na coluna de água, a maioria dos microplásticos encontrados têm dimensões entre 1 μm e 2000 μm , tanto no outono como na primavera.

A norte, entre a Praia da Mira e Quiaios, no outono, as classes de dimensões predominantes foram [1, 500[μm e [1000, 2000[μm para as amostras por arrasto vertical, enquanto na primavera são [500, 1000[μm e [1000, 2000[μm .

Na foz do rio Mondego, as classes dominantes são [1, 500[μm e [1000, 2000[μm , no outono para as amostras de água vertical e na primavera são as classes [500, 1000[μm e [1000, 2000[μm .

A sul, entre Leirosa e Vieira de Leiria, no outono as classes dominantes são [500, 1000[μm e [1000, 2000[μm , para as amostras colhidas por arrasto vertical, enquanto na primavera são classes dominantes [1, 500[μm , [500, 1000[μm .

Comparando as dimensões de microplásticos encontrados, neste estudo, com as dimensões encontradas no Mar Amarelo verifica-se que neste estudo os microplásticos têm dimensões inferiores às deste mar, o que pode indicar que a costa portuguesa possui uma circulação oceânica muito dinâmica ao contrário do que acontece no Mar Amarelo em que não há circulação tão acentuada (Zhang *et al.*, 2021). Contudo ao comparar com as dimensões dos microplásticos encontrados noutros estudos da costa portuguesa verifica-se que as dimensões são semelhantes (Rodrigues *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2020).

Ao comparar as dimensões deste estudo com outros realizados no oceano Atlântico verifica-se que as dimensões encontradas em Praia de Mira e Vieira de Leiria são superiores o que poderá mostrar que os microplásticos encontrados sofreram menos erosão e desgaste do que aqueles encontrados em áreas mais afastadas da costa (Almeida *et al.*, 2023; Poli *et al.*, 2024), enquanto comparando com as dimensões dos microplásticos encontrados nas águas marroquinas verifica-se que os deste estudo apresentam dimensões semelhantes (Abelouah *et al.*, 2022; Bouadil *et al.*, 2024).

Através da análise estatística efetuada para este estudo, verificou-se que para as águas superficiais, as dimensões são significativamente diferentes ($p=0,002$ para um grau de confiança de 95%), enquanto para as águas colhidas por arrasto vertical as dimensões também são significativamente diferentes ($p=0,049$ ($<0,05$) para um grau de confiança de 95%).

5.4 Cores

No outono, os microplásticos encontrados nas águas superficiais apresentam maioritariamente a cor vermelha, enquanto naqueles encontrados na coluna de água as cores predominantes foram vermelho, azul e branco.

Na primavera nos microplásticos encontrados nas águas superficiais a cor predominante foi o azul, enquanto na coluna de água as cores predominantes foram azul e vermelho.

A norte, entre a Praia da Mira e Quiaios, no outono, as cores encontradas em maior quantidade foram vermelho e preto nas amostras colhidas por arrasto horizontal, enquanto nas amostras colhidas por arrasto vertical as cores encontradas em maior quantidade foram vermelho, azul e branco. Na primavera, nas amostras colhidas por arrasto horizontal as cores predominantes foram o azul e branco, enquanto na coluna de água a cor predominante foi o azul.

Na foz do rio Mondego, no outono, nas águas superficiais o vermelho foi a cor mais encontrada enquanto na coluna de água o azul e o branco foram as cores mais encontradas. Na primavera, tanto nas amostras colhidas por arrasto horizontal como nas colhidas por arrasto vertical a cor azul foi predominante.

A sul, entre Leirosa e Vieira de Leiria, no outono as cores predominantes foram vermelho e transparente nas águas de arrasto horizontal enquanto nas águas de arrasto vertical as cores predominantes foram branco, vermelho e azul. Na primavera, nas amostras colhidas por arrasto horizontal a cor azul foi predominante, enquanto nas águas de arrasto vertical as cores predominantes foram a cor vermelha e a cor azul.

As cores de microplásticos encontrados, neste estudo, coincidem com as encontradas noutros estudos efetuados na costa portuguesa e no oceano Atlântico, o que poderá indiciar que correspondem às cores mais utilizadas nos materiais (Almeida *et al.*, 2023; Hansen *et al.*, 2023; Rodrigues *et al.*, 2018b; Rodrigues *et al.*, 2020).

5.5 Caracterização química

No outono, nas águas superficiais colhidas o polímero mais abundante é o PP, seguido dos polímeros da família PE (PE, LDPE e HDPE) enquanto na coluna de água o PP é o polímero mais abundante. Na primavera, nas águas colhidas por arrasto horizontal os polímeros da família PE são os mais frequentes, seguidos de PP enquanto nas águas colhidas por arrasto vertical o PP é o polímero mais abundante.

A norte, entre a Praia de Mira e Quiaios, no outono, nas amostras colhidas por arrasto horizontal os polímeros predominantes são o PP e o PET, enquanto nas amostras colhidas por arrasto vertical, os polímeros predominantes são o PP, o PET, PVC e a mistura de PP com PE. Na primavera, tanto nas amostras colhidas por arrasto horizontal como nas amostras colhidas por arrasto vertical o polímero predominante foi o PP.

Na foz do rio Mondego, no outono, nas águas superficiais os polímeros predominantes foram o PP e PE, enquanto na coluna de água os polímeros predominantes foram o PP, PE, PET, PA e PVC. Na primavera, nas amostras colhidas por arrasto horizontal os polímeros predominantes foram o PP, PE e PBT e nas águas da coluna de água, o polímero predominante foi o PP.

A sul, entre Leirosa e Vieira de Leiria, no outono, nas águas superficiais o polímero predominante foi o PP e na coluna de água os polímeros predominantes foram PP, LDPE, PA e PET. Enquanto na primavera nas amostras colhidas por arrasto horizontal os polímeros predominantes foram PE, LDPE, HDPE e PP e na coluna de água os polímeros predominantes foram PP e PE.

Os polímeros encontrados, neste estudo, coincidem com os encontrados noutros estudos efetuados nas águas portuguesas, o que corresponderá aos polímeros mais utilizados na sociedade portuguesa (Hansen *et al.*, 2023; Lechthaler *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2018b; Rodrigues *et al.*, 2020; Sá *et al.*, 2022)

CONCLUSÕES

A comunidade científica tem vindo a tomar cada vez mais consciência da problemática dos microplásticos nos oceanos o que se reflete no crescente número de estudos produzidos, sendo esta preocupação também estendida à sociedade em geral.

O trabalho apresentado contribui para o conhecimento da distribuição e da abundância de microplásticos, em amostras da superfície da água e em amostras da coluna de água, ao largo da costa ocidental portuguesa, entre a Praia de Mira e Vieira de Leiria.

Este trabalho confirma a presença de microplásticos, em duas estações do ano - outono e primavera - sendo que foram comparadas entre si e verificou-se que entre a região norte (entre a Praia de Mira e Quiaios), a foz do rio Mondego e a região sul (entre Leirosa e Vieira de Leiria) existem diferenças nas abundâncias, tipologia, cores e dimensões. Estes resultados também foram comparados com outros estudos e através da identificação da composição química dos polímeros também é possível tirar mais conclusões acerca das imediações da área de estudo.

As maiores concentrações de microplásticos foram registadas na coluna de água uma vez que o volume de amostragem é menor no arrasto vertical que no arrasto horizontal, sendo que o ponto de amostragem mais afastado da costa entre Leirosa e Vieira de Leiria, a sul da área de estudo, deve ser indicado, uma vez que apresenta tanto na superfície da água como na coluna de água valores de abundância muito superiores a todos os outros pontos.

Ao conhecer as características físicas e químicas dos microplásticos encontrados, as fontes de lixo marinho e as características socioeconómicas da envolvente da área de estudo, é possível inferir a provável origem. Neste caso, as características dos microplásticos encontrados não permitem concluir sobre a sua origem, contudo as fontes associadas à área entre a Praia da Mira e Vieira de Leiria e ao Rio Mondego são as atividades piscatórias e de aquacultu-

ra, as atividades recreativas e de lazer e o turismo, a proximidade das atividades industriais e as descargas de águas residuais domésticas, que incluem grandes quantidades de fibras resultantes das lavagens de roupa, e industriais.

Deste modo, a existência de microplásticos nas águas do oceano Atlântico pode ser atribuída às diversas atividades humanas, sendo que a implementação de estratégias que visem a redução do lixo marinho, tais como a melhoria dos sistemas de gestão de resíduos e dos sistemas de tratamento de águas residuais, a redução do uso de plásticos nas atividades piscatórias e recreativas devem ser tidas em conta.

Reconhecer a existência de lixo plástico e de microplásticos em todos os compartimentos do planeta Terra é fundamental para que seja possível alterar a legislação existente e implementar políticas que permitam a promoção da redução do uso de plásticos, a monitorização das possíveis fontes de emissão de lixo marinho.

Com este estudo, considero que a investigação em microplásticos continua a ser muito importante e crucial para entender a poluição marinha e as suas formas de mitigação. Assim, poderá ser necessário deixar algumas recomendações para o futuro, nomeadamente a padronização dos métodos de recolha, processamento, análise e quantificação de microplásticos de forma a permitir comparações e avaliações mais precisas entre os vários estudos e a monitorização global de forma a implementar uma base de dados global e compreender a distribuição dos microplásticos nos oceanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abelouah, M. R., Ben-Haddad, M., Hajji, S., De-la-Torre, G. E., Aziz, T., Oualid, J. A., Banni, M., & Ait Alla, A. (2022). Floating microplastics pollution in the Central Atlantic Ocean of Morocco: Insights into the occurrence, characterization, and fate. *Marine Pollution Bulletin*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113969>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2019). *PERSU2020+*.
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2021a). *Plásticos de uso único e lixo marinho*. <https://apambiente.pt/residuos/plasticos-de-uso-unico-e-lixo-marinho>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2021b). *Sacos de Plástico Leves*. <https://apambiente.pt/residuos/sacos-de-plastico-leves>
- Ahmad, M., Li, J. L., Wang, P. D., Hozzein, W. N., & Li, W. J. (2020). Environmental perspectives of microplastic pollution in the aquatic environment: a review. In *Marine Life Science and Technology* (Vol. 2, Issue 4, pp. 414–430). Springer. <https://doi.org/10.1007/s42995-020-00056-w>
- Almeida, J. M., Singdahl-Larsen, C., Buenaventura, N., Gomes, L., Morgado, V., Olsen, M., Bettencourt da Silva, R., & Palma, C. (2023). Assessment and Comparison of Microplastic Contamination in Atlantic Navigation Routes with Known Uncertainty. *Environmental Science and Technology*, 57(27), 10062–10069. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c00657>
- Amelia, T. S. M., Khalik, W. M. A. W. M., Ong, M. C., Shao, Y. T., Pan, H. J., & Bhubalan, K. (2021). Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans. In *Progress in Earth and Planetary Science* (Vol. 8, Issue 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00405-4>
- Amobonye, A., Bhagwat, P., Raveendran, S., Singh, S., & Pillai, S. (2021). Environmental Impacts of Microplastics and Nanoplastics: A Current Overview. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 12). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.768297>

- Anderson, J. C., Park, B. J., & Palace, V. P. (2016). Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. In *Environmental Pollution* (Vol. 218, pp. 269–280). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.074>
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2011.05.030>
- Andrady, A. L. (2017). The plastic in microplastics: A review. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 119, Issue 1, pp. 12–22). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>
- Antunes, J., Sobral, P., Martins, M., & Branco, V. (2023). Nanoplastics activate a TLR4/p38-mediated pro-inflammatory response in human intestinal and mouse microglia cells. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104298>
- Bakir, A., Desender, M., Wilkinson, T., Van Hoytema, N., Amos, R., Airahui, S., Graham, J., & Maes, T. (2020). Occurrence and abundance of meso and microplastics in sediment, surface waters, and marine biota from the South Pacific region. *Marine Pollution Bulletin*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111572>
- Barboza, L. G. A., Cózar, A., Gimenez, B. C. G., Barros, T. L., Kershaw, P. J., & Guilhermino, L. (2018). Macroplastics pollution in the marine environment. In *World Seas: An Environmental Evaluation Volume III: Ecological Issues and Environmental Impacts* (pp. 305–328). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00019-X>
- Barboza, L. G. A., Frias, J. P. G. L., Booth, A. M., Vieira, L. R., Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Guilhermino, L. (2018). Microplastics pollution in the marine environment. In *World Seas: An Environmental Evaluation Volume III: Ecological Issues and Environmental Impacts* (pp. 329–351). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00020-6>
- Barboza, L. G. A., & Gimenez, B. C. G. (2015). Microplastics in the marine environment: Current trends and future perspectives. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 97, Issues 1–2, pp. 5–12). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.008>
- Barboza, L. G. A., Lopes, C., Oliveira, P., Bessa, F., Otero, V., Henriques, B., Raimundo, J., Caetano, M., Vale, C., & Guilhermino, L. (2020). Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Science of the Total Environment*, 717. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134625>
- Bauer, T., Busch, P.-O., & Tuncer, B. (2023). *Reducing Plastic Waste Through Voluntary Agreements Learning from the European Green Deal Implementation*.
- Bergmann, M., Gutow, L., & Klages, M. (Eds.). (2015). *Marine Anthropogenic Litter*.

- Bettencourt, S., Freitas, D. N., Costa, S., & Caeiro, S. (2023). Public perceptions, knowledge, responsibilities, and behavior intentions on marine litter: Identifying profiles of small oceanic islands inhabitants. *Ocean and Coastal Management*, 231. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106406>
- Bouadil, O., Benomar, M., El Ouarghi, H., Aboulhassan, M. A., & Benbrahim, S. (2024). Identification and quantification of microplastics in surface water of a southwestern Mediterranean Bay (Al Hoceima, Morocco). *Waste Management Bulletin*, 2(1), 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.01.003>
- Bronzo, L., Lusher, A. L., Schøyen, M., & Morigi, C. (2021). Accumulation and distribution of microplastics in coastal sediments from the inner Oslofjord, Norway. *Marine Pollution Bulletin*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113076>
- Brown, D. M., & Cheng, L. (1981). *New Net for Sampling the Ocean Surface* (Vol. 5).
- Campanale, C., Savino, I., Pojar, I., Massarelli, C., & Uricchio, V. F. (2020). A practical overview of methodologies for sampling and analysis of microplastics in riverine environments. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 17). MDPI. <https://doi.org/10.3390/SU12176755>
- Canopoli, L., Fidalgo, B., Coulon, F., & Wagland, S. T. (2018). Physico-chemical properties of excavated plastic from landfill mining and current recycling routes. In *Waste Management* (Vol. 76, pp. 55–67). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.043>
- Carter, J., Horan, T., Miller, J., Madejski, G., Butler, E., Amato, C., & Roussie, J. (2023). Comparative evaluation of filtration and imaging properties of analytical filters for microplastic capture and analysis. *Chemosphere*, 332. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138811>
- Chagnon, C., Thiel, M., Antunes, J., Ferreira, J. L., Sobral, P., & Ory, N. C. (2018a). Plastic ingestion and trophic transfer between Easter Island flying fish (*Cheilopogon rapanouiensis*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from Rapa Nui (Easter Island). *Environmental Pollution*, 243, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.042>
- Chagnon, C., Thiel, M., Antunes, J., Ferreira, J. L., Sobral, P., & Ory, N. C. (2018b). Plastic ingestion and trophic transfer between Easter Island flying fish (*Cheilopogon rapanouiensis*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from Rapa Nui (Easter Island). *Environmental Pollution*, 243, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.042>
- Chiba, S., Saito, H., Fletcher, R., Yogi, T., Kayo, M., Miyagi, S., Ogido, M., & Fujikura, K. (2018). Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris. *Marine Policy*, 96, 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.03.022>

- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 62, Issue 12, pp. 2588–2597). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Courtene-Jones, W., van Gennip, S., Penicaud, J., Penn, E., & Thompson, R. C. (2022). Synthetic microplastic abundance and composition along a longitudinal gradient traversing the subtropical gyre in the North Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114371>
- Cui, Y., Liu, M., Selvam, S., Ding, Y., Wu, Q., Pitchaimani, V. S., Huang, P., Ke, H., Zheng, H., Liu, F., Luo, B., Wang, C., & Cai, M. (2022). Microplastics in the surface waters of the South China sea and the western Pacific Ocean: Different size classes reflecting various sources and transport. *Chemosphere*, 299. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134456>
- Cunningham, E. M., Mundy, A., Kregting, L., Dick, J. T. A., Crump, A., Riddell, G., & Arnott, G. (2021). Animal contests and microplastics: Evidence of disrupted behaviour in hermit crabs *Pagurus bernhardus*. *Royal Society Open Science*, 8(10). <https://doi.org/10.1098/rsos.211089>
- Cutroneo, L., Cincinelli, A., Chelazzi, D., Fortunati, A., Reboa, A., Spadoni, S., Vena, E., & Capello, M. (2020). Baseline characterisation of microlitter in the sediment of torrents and the sea bottom in the Gulf of Tigullio (NW Italy). *Regional Studies in Marine Science*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101119>
- Dai, Z., Zhang, H., Zhou, Q., Tian, Y., Chen, T., Tu, C., Fu, C., & Luo, Y. (2018). Occurrence of microplastics in the water column and sediment in an inland sea affected by intensive anthropogenic activities. *Environmental Pollution*, 242, 1557–1565. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.131>
- de Lucia, G. A., Caliani, I., Marra, S., Camedda, A., Coppa, S., Alcaro, L., Campani, T., Giannetti, M., Coppola, D., Cicero, A. M., Panti, C., Bainsi, M., Guerranti, C., Marsili, L., Massaro, G., Fossi, M. C., & Matiddi, M. (2014). Amount and distribution of neustonic micro-plastic off the western Sardinian coast (Central-Western Mediterranean Sea). *Marine Environmental Research*, 100, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.03.017>
- Desforges, J. P. W., Galbraith, M., Dangerfield, N., & Ross, P. S. (2014). Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 79(1–2), 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.12.035>
- Direção-Geral dos Recursos Naturais, S. e S. M. (2018a). *Convenção OSPAR*.
- Direção-Geral dos Recursos Naturais, S. e S. M. (2018b). *Diretiva Quadro da Estratégia Marinha*.

- Erni-Cassola, G., Dolf, R., & Burkhardt-Holm, P. (2024). Microplastics in the Water Column of the Rhine River Near Basel: 22 Months of Sampling. *Environmental Science and Technology*, 58(12), 5491–5499. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c08364>
- Filho, W. L., Hunt, J., & Kovaleva, M. (2021). Garbage patches and their environmental implications in a plastisphere. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/jmse9111289>
- Frias, J. P. G. L., Gago, J., Otero, V., & Sobral, P. (2016). Microplastics in coastal sediments from Southern Portuguese shelf waters. *Marine Environmental Research*, 114, 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.12.006>
- Frias, J. P. G. L., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
- Frias, J. P. G. L., Otero, V., & Sobral, P. (2014). Evidence of microplastics in samples of zooplankton from Portuguese coastal waters. *Marine Environmental Research*, 95, 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.01.001>
- Frias, J. P. G. L., Sobral, P., & Ferreira, A. M. (2010). Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin*, 60(11), 1988–1992. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.07.030>
- Frias, J., Pagter, E., Nash, R., O'Connor, I., Carratero, O., Filgueiras, A., Viñas, L., Gago, J., Antunes, J., Bessa, F., Sobral, P., Goruppi, A., Tirelli, V., Pedrotti, M. L., Suaria, G., Aliani, S., Lopes, C., Raimundo, J., Caetano, M., ... Gerdts, G. (2018). *Standardised protocol for monitoring microplastics in sediments*. <http://www.jpi-oceans.eu/baseman/main-page>
- Gago, J., Pedrotti, M. L., Suaria, G., Tirelli, V., Andrade, J., Frias, J., Nash, R., O'Connor, I., Lopes, C., Caetano, M., Raimundo, J., Carretero, O., Viñas, L., Antunes, J., Bessa, F., Sobral, P., Goruppi, A., Aliani, S., Palazzo, L., ... Filgueiras, A. (2018). *Standardised protocol for monitoring microplastics in seawater*. <http://www.jpi-oceans.eu/baseman/main-page>
- Gallo, F., Fossi, C., Weber, R., Santillo, D., Sousa, J., Ingram, I., Nadal, A., & Romano, D. (2018). Marine litter plastics and microplastics and their toxic chemicals components: the need for urgent preventive measures. In *Environmental Sciences Europe* (Vol. 30, Issue 1). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0139-z>
- García-Regalado, A., Herrera, A., & Almeda, R. (2024). Microplastic and mesoplastic pollution in surface waters and beaches of the Canary Islands: A review. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 201). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116230>
- GESAMP. (2015). *SOURCES, FATE AND EFFECTS OF MICROPLASTICS IN THE MARINE ENVIRONMENT: PART 1 OF A GLOBAL ASSESSMENT Science for Sustainable Oceans*. www.imo.org

- GESAMP. (2016). *SOURCES, FATE AND EFFECTS OF MICROPLASTICS IN THE MARINE ENVIRONMENT: PART 2 OF A GLOBAL ASSESSMENT* Science for Sustainable Oceans. www.imo.org
- GESAMP. (2019). *GUIDELINES FOR THE MONITORING AND ASSESSMENT OF PLASTIC LITTER IN THE OCEAN*. <http://gesamp.org>
- GESAMP. (2021). *SEA-BASED SOURCES OF MARINE LITTER*.
- GESAMP. (2022). *THE CHANGING ACIDITY OF THE GLOBAL ATMOSPHERE AND OCEAN AND ITS IMPACT ON AIR/SEA CHEMICAL EXCHANGE GESAMP WORKING GROUP 38*.
- Halfar, J., Čabanová, K., Vávra, K., Delongová, P., Motyka, O., Špaček, R., Kukutschová, J., Šimetka, O., & Heviánková, S. (2023). Microplastics and additives in patients with preterm birth: The first evidence of their presence in both human amniotic fluid and placenta. *Chemosphere*, 343. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140301>
- Hansen, J., Hildebrandt, L., Zimmermann, T., El Gareb, F., Fischer, E. K., & Pröfrock, D. (2023). Quantification and characterization of microplastics in surface water samples from the Northeast Atlantic Ocean using laser direct infrared imaging. *Marine Pollution Bulletin*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114880>
- Hasan Anik, A., Hossain, S., Alam, M., Binte Sultan, M., Hasnine, M. T., & Rahman, M. M. (2021). Microplastics pollution: A comprehensive review on the sources, fates, effects, and potential remediation. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16, 100530. <https://doi.org/10.1016/J.ENMM.2021.100530>
- Henry, B., Laitala, K., & Klepp, I. G. (2019). Microfibres from apparel and home textiles: Prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment. *Science of the Total Environment*, 652, 483–494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.166>
- Hydro-Bios. (2020). *"MANTA" MICROPLASTIC NET*. www.hydrobios.de
- Jaini, M., & Namboothri, N. (2023). Boat paint and epoxy fragments - Leading contributors of microplastic pollution in surface waters of a protected Andaman bay. *Chemosphere*, 312. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137183>
- Järnskog, I., Strömwall, A. M., Magnusson, K., Galfi, H., Björklund, K., Polukarova, M., Garção, R., Markiewicz, A., Aronsson, M., Gustafsson, M., Norin, M., Blom, L., & Andersson-Sköld, Y. (2021). Traffic-related microplastic particles, metals, and organic pollutants in an urban area under reconstruction. *Science of the Total Environment*, 774. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145503>
- Järnskog, I., Strömwall, A. M., Magnusson, K., Gustafsson, M., Polukarova, M., Galfi, H., Aronsson, M., & Andersson-Sköld, Y. (2020). Occurrence of tire and bitumen wear microplastics on urban

- streets and in sweepsand and washwater. *Science of the Total Environment*, 729. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138950>
- Jenner, L. C., Rotchell, J. M., Bennett, R. T., Cowen, M., Tentzeris, V., & Sadofsky, L. R. (2022). Detection of microplastics in human lung tissue using μ FTIR spectroscopy. *Science of the Total Environment*, 831. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154907>
- Jung, M. R., Horgen, F. D., Orski, S. V., Rodriguez C., V., Beers, K. L., Balazs, G. H., Jones, T. T., Work, T. M., Brignac, K. C., Royer, S. J., Hyrenbach, K. D., Jensen, B. A., & Lynch, J. M. (2018). Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 704–716. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.061>
- Kirstein, I. V., Gomiero, A., & Vollertsen, J. (2021). Microplastic pollution in drinking water. In *Current Opinion in Toxicology* (Vol. 28, pp. 70–75). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.09.003>
- Kutralam-Muniasamy, G., Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., & Roy, P. D. (2023). Microplastic diagnostics in humans: “The 3Ps” Progress, problems, and prospects. In *Science of the Total Environment* (Vol. 856). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159164>
- Landon-Lane, M. (2018). Corporate social responsibility in marine plastic debris governance. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 310–319. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.054>
- Lechthaler, S., Schwarzbauer, J., Reicherter, K., Stauch, G., & Schüttrumpf, H. (2020). Regional study of microplastics in surface waters and deep sea sediments south of the Algarve Coast. *Regional Studies in Marine Science*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101488>
- Lenaker, P. L., Baldwin, A. K., Corsi, S. R., Mason, S. A., Reneau, P. C., & Scott, J. W. (2019). Vertical Distribution of Microplastics in the Water Column and Surficial Sediment from the Milwaukee River Basin to Lake Michigan. *Environmental Science and Technology*, 53(21), 12227–12237. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03850>
- Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- Li, J., Liu, H., & Paul Chen, J. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. In *Water Research* (Vol. 137, pp. 362–374). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>
- Li, P., Wang, X., Su, M., Zou, X., Duan, L., & Zhang, H. (2021). Characteristics of Plastic Pollution in the Environment: A Review. In *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* (Vol. 107, Issue 4, pp. 577–584). Springer. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-02820-1>

- Lopes, C., Ambrosino, A. C., Figueiredo, C., Caetano, M., Santos, M. M., Garrido, S., & Raimundo, J. (2023). Microplastic distribution in different tissues of small pelagic fish of the Northeast Atlantic Ocean. *Science of the Total Environment*, 901. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166050>
- Ma, H., Pu, S., Liu, S., Bai, Y., Mandal, S., & Xing, B. (2020). Microplastics in aquatic environments: Toxicity to trigger ecological consequences. In *Environmental Pollution* (Vol. 261). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114089>
- Mamun, A. Al, Prasetya, T. A. E., Dewi, I. R., & Ahmad, M. (2023). Microplastics in human food chains: Food becoming a threat to health safety. In *Science of the Total Environment* (Vol. 858). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159834>
- McNicholas, G., & Cotton, M. (2019). Stakeholder perceptions of marine plastic waste management in the United Kingdom. *Ecological Economics*, 163, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.04.022>
- Md Amin, R., Sohaimi, E. S., Anuar, S. T., & Bachok, Z. (2020). Microplastic ingestion by zooplankton in Terengganu coastal waters, southern South China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110616>
- Mira Veiga, J., Fleet, D., Kinsey, S., Nilsson, P., Vlachogianni, T., Werner, S., Galgani, F., Thompson, R. C., Dagevos, J., Gago, J., Sobral, P., & Cronin, R. (2016). *Identifying Sources of Marine Litter*. <https://doi.org/10.2788/018068>
- Montoto-Martínez, T., Meléndez-Díez, C., Melián-Ramírez, A., Hernández-Brito, J. J., & Gelado-Caballero, M. D. (2022). Comparison between the traditional Manta net and an innovative device for microplastic sampling in surface marine waters. *Marine Pollution Bulletin*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114237>
- Morgado, V., Gomes, L., Bettencourt da Silva, R. J. N., & Palma, C. (2022). Microplastics contamination in sediments from Portuguese inland waters: Physical-chemical characterisation and distribution. *Science of the Total Environment*, 832. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155053>
- Napper, I. E., Davies, B. F. R., Clifford, H., Elvin, S., Koldewey, H. J., Mayewski, P. A., Miner, K. R., Potocki, M., Elmore, A. C., Gajurel, A. P., & Thompson, R. C. (2020). Reaching New Heights in Plastic Pollution—Preliminary Findings of Microplastics on Mount Everest. *One Earth*, 3(5), 621–630. <https://doi.org/10.1016/J.ONEEAR.2020.10.020>
- Organização das Nações Unidas. (2018). *Guia sobre Desenvolvimento Sustentável*. http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E
- OSPAR. (2023). *OSPAR - Convention Text*.

- Österlund, H., Blecken, G., Lange, K., Marsalek, J., Gopinath, K., & Viklander, M. (2023). Microplastics in urban catchments: Review of sources, pathways, and entry into stormwater. *Science of The Total Environment*, 858, 159781. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.159781>
- Pabortsava, K., & Lampitt, R. S. (2020). High concentrations of plastic hidden beneath the surface of the Atlantic Ocean. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17932-9>
- Parlamento Europeu e do Conselho. (2008). *DIRECTIVA 2008/56/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 17 de Junho de 2008 que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política para o meio marinho (Directiva-Quadro «Estratégia Marinha»).*
- Pasquier, G., Doyen, P., Kazour, M., Dehaut, A., Diop, M., Duflos, G., & Amara, R. (2022). Manta Net: The Golden Method for Sampling Surface Water Microplastics in Aquatic Environments. In *Frontiers in Environmental Science* (Vol. 10). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.811112>
- Pereira, R., Rodrigues, S. M., Silva, D., Freitas, V., Almeida, C. M. R., & Ramos, S. (2023). Microplastic contamination in large migratory fishes collected in the open Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 186. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114454>
- Pfeiffer, F., & Fischer, E. K. (2020). Various Digestion Protocols Within Microplastic Sample Processing—Evaluating the Resistance of Different Synthetic Polymers and the Efficiency of Biogenic Organic Matter Destruction. *Frontiers in Environmental Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.572424>
- Plastics Europe. (2021). *Plastics-the Facts 2021 An analysis of European plastics production, demand and waste data.*
- Plastics Europe. (2022). *Plastics-the Facts 2022 OCTOBER 2022.*
- Plastics Europe. (2023a). *History of plastics.*
- Plastics Europe. (2023b). *How plastics are made.*
- Plastics Europe. (2023c). *Plastics & health.* <https://plasticseurope.org/sustainability/plastics-health/>
- Poli, V., Litti, L., & Lavagnolo, M. C. (2024). Microplastic pollution in the North-east Atlantic Ocean surface water: How the sampling approach influences the extent of the issue. *Science of the Total Environment*, 947. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174561>
- Pozo, K., Urbina, W., Gómez, V., Torres, M., Nuñez, D., Příbylová, P., Audy, O., Clarke, B., Arias, A., Tombesi, N., Guida, Y., & Klánová, J. (2020). Persistent organic pollutants sorbed in plastic resin pellet — “Nurdles” from coastal areas of Central Chile. *Marine Pollution Bulletin*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110786>

- Prata, J. C., da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. In *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* (Vol. 110, pp. 150–159). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.029>
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Andrady, A. L., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2021). A One Health perspective of the impacts of microplastics on animal, human and environmental health. In *Science of the Total Environment* (Vol. 777). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146094>
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020a). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. In *Science of the Total Environment* (Vol. 702). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020b). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. In *Science of the Total Environment* (Vol. 702). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>
- Recuero Virto, L. (2018). A preliminary assessment of the indicators for Sustainable Development Goal (SDG) 14 "Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development." *Marine Policy*, 98, 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.036>
- Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (2015). A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. In *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* (Vol. 65, pp. 47–53). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.011>
- Rodrigues, D., Antunes, J., Otero, V., Sobral, P., & Costa, M. H. (2020). Distribution Patterns of Microplastics in Seawater Surface at a Portuguese Estuary and Marine Park. *Frontiers in Environmental Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.582217>
- Rodrigues, D., Antunes, J., Pais, J., Pequeno, J., Caetano, P. S., Rocha, F., Sobral, P., & Costa, M. H. (2022). Distribution patterns of microplastics in subtidal sediments from the Sado river estuary and the Arrábida marine park, Portugal. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.998513>
- Rodrigues, M. O., Abrantes, N., Gonçalves, F. J. M., Nogueira, H., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. (2018a). Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antuã River, Portugal). *Science of the Total Environment*, 633, 1549–1559. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.233>
- Rodrigues, M. O., Abrantes, N., Gonçalves, F. J. M., Nogueira, H., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. (2018b). Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a

- freshwater system (Antuã River, Portugal). *Science of the Total Environment*, 633, 1549–1559. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.233>
- Rodrigues, S. M., Almeida, C. M. R., & Ramos, S. (2020). Microplastics contamination along the coastal waters of NW Portugal. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100056>
- Roscher, L., Halbach, M., Nguyen, M. T., Hebel, M., Luschtinetz, F., Scholz-Böttcher, B. M., Primpke, S., & Gerdts, G. (2022). Microplastics in two German wastewater treatment plants: Year-long effluent analysis with FTIR and Py-GC/MS. *Science of the Total Environment*, 817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152619>
- Rose, D., & Webber, M. (2019). Characterization of microplastics in the surface waters of Kingston Harbour. *Science of the Total Environment*, 664, 753–760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.319>
- Rossatto, A., Arlindo, M. Z. F., de Moraes, M. S., de Souza, T. D., & Ogirodowski, C. S. (2023). Microplastics in aquatic systems: A review of occurrence, monitoring and potential environmental risks. *Environmental Advances*, 13, 100396. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100396>
- Roychand, R., & Pramanik, B. K. (2020). Identification of micro-plastics in Australian road dust. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(1). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103647>
- Sá, B., Pais, J., Antunes, J., Pequeno, J., Pires, A., & Sobral, P. (2022). Seasonal Abundance and Distribution Patterns of Microplastics in the Lis River, Portugal. *Sustainability (Switzerland)*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/su14042255>
- Saley, A. M., Smart, A. C., Bezerra, M. F., Burnham, T. L. U., Capece, L. R., Lima, L. F. O., Carsh, A. C., Williams, S. L., & Morgan, S. G. (2019). Microplastic accumulation and biomagnification in a coastal marine reserve situated in a sparsely populated area. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.065>
- Segar, D. A., & Segar, E. Stamman. (2018). *Introduction to ocean sciences*.
- Shen, M., Ye, S., Zeng, G., Zhang, Y., Xing, L., Tang, W., Wen, X., & Liu, S. (2020). Can microplastics pose a threat to ocean carbon sequestration? *Marine Pollution Bulletin*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110712>
- Shrivastava, A. (2018). Plastic Properties and Testing. In *Introduction to Plastics Engineering* (pp. 49–110). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-39500-7.00003-4>
- Silva, A. B., Bastos, A. S., Justino, C. I. L., da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. A. P. (2018). Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry - A review. In *Analytica Chimica Acta* (Vol. 1017, pp. 1–19). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2018.02.043>
- Sobral, P., Frias, J., & Martins, J. (2011). *Microplásticos nos oceanos-um problema sem fim à vista*.

- Talukdar, A., Bhattacharya, S., Bandyopadhyay, A., & Dey, A. (2023). Microplastic pollution in the Himalayas: Occurrence, distribution, accumulation and environmental impacts. *Science of The Total Environment*, 874, 162495. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.162495>
- Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R. U., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., Rowland, S. J., Thompson, R. C., Galloway, T. S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P. H., Tana, T. S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M. P., Akkhavong, K., ... Takada, H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2027–2045. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>
- Tirkey, A., & Upadhyay, L. S. B. (2021). Microplastics: An overview on separation, identification and characterization of microplastics. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 170). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112604>
- Tokai, T., Uchida, K., Kuroda, M., & Isobe, A. (2021). Mesh selectivity of neuston nets for microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112111>
- Turner, A., Ostle, C., & Wootton, M. (2022). Occurrence and chemical characteristics of microplastic paint flakes in the North Atlantic Ocean. *Science of the Total Environment*, 806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150375>
- UNEP. (2016). *Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change*.
- United Nations Environment Programme. (2021a). *FROM POLLUTION TO SOLUTION A GLOBAL ASSESSMENT OF MARINE LITTER AND PLASTIC POLLUTION*. <https://www.unep.org/>
- United Nations Environment Programme. (2021b). *FROM POLLUTION TO SOLUTION A GLOBAL ASSESSMENT OF MARINE LITTER AND PLASTIC POLLUTION*. <https://www.unep.org/>
- United Nations Environment Programme. (2021c). *Understanding the State of the Ocean*. <http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm>
- United Nations Environment Programme. (2021d). *Understanding the State of the Ocean: A Global Manual on Measuring SDG 14.1.1, SDG 14.2.1 and SDG 14.5.1*. United Nations Environment Programme. <http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm>
- Van Seville, E., Aliani, S., Law, K. L., Maximenko, N., Alsina, J. M., Bagaev, A., Bergmann, M., Chapron, B., Chubarenko, I., Cózar, A., Delandmeter, P., Egger, M., Fox-Kemper, B., Garaba, S. P., Goddijn-Murphy, L., Hardesty, B. D., Hoffman, M. J., Isobe, A., Jongedijk, C. E., ... Wichmann, D. (2020). The physical oceanography of the transport of floating marine debris. In *Environmental Research Letters* (Vol. 15, Issue 2). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d7d>

- Vázquez-Rowe, I., Ita-Nagy, D., & Kahhat, R. (2021). Microplastics in fisheries and aquaculture: implications to food sustainability and safety. In *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* (Vol. 29). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100464>
- Vered, G., & Shenkar, N. (2021). Monitoring plastic pollution in the oceans. In *Current Opinion in Toxicology* (Vol. 27, pp. 60–68). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.08.005>
- Vikas, M., & Dwarakish, G. S. (2015). Coastal Pollution: A Review. *Aquatic Procedia*, 4, 381–388. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.051>
- Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178, 483–492. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2013.02.031>
- Xu, J. L., Thomas, K. V., Luo, Z., & Gowen, A. A. (2019). FTIR and Raman imaging for microplastics analysis: State of the art, challenges and prospects. In *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* (Vol. 119). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.115629>
- Xumiao, L., Prata, J. C., Alves, J. R., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T., & Cerqueira, M. (2021). Airborne microplastics and fibers in indoor residential environments in Aveiro, Portugal. *Environmental Advances*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100134>
- Yan, X., Cao, Z., Murphy, A., & Qiao, Y. (2022). An ensemble machine learning method for microplastics identification with FTIR spectrum. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(4). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108130>
- Yang, H., Chen, G., & Wang, J. (2021). Microplastics in the marine environment: Sources, fates, impacts and microbial degradation. In *Toxics* (Vol. 9, Issue 2, pp. 1–19). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/toxics9020041>
- Yang, Y., Xie, E., Du, Z., Peng, Z., Han, Z., Li, L., Zhao, R., Qin, Y., Xue, M., Li, F., Hua, K., & Yang, X. (2023). Detection of Various Microplastics in Patients Undergoing Cardiac Surgery. *Environmental Science and Technology*, 57(30), 10911–10918. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c07179>
- Zebrowski, M. L., Babkiewicz, E., Błażejewska, A., Pukos, S., Wawrzeńczak, J., Wilczynski, W., Zebrowski, J., Ślusarczyk, M., & Maszczyk, P. (2022). The effect of microplastics on the interspecific competition of *Daphnia*. *Environmental Pollution*, 313. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120121>
- Zhang, Q., Liu, L., Jiang, Y., Zhang, Y., Fan, Y., Rao, W., & Qian, X. (2023). Microplastics in infant milk powder. *Environmental Pollution*, 323, 121225. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121225>

- Zhang, X., Li, S., Liu, Y., Yu, K., Zhang, H., Yu, H., & Jiang, J. (2021). Neglected microplastics pollution in the nearshore surface waters derived from coastal fishery activities in Weihai, China. *Science of the Total Environment*, 768. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144484>
- Zhang, Y., Gao, T., Kang, S., Allen, D., Wang, Z., Luo, X., Yang, L., Chen, J., Hu, Z., Chen, P., Du, W., & Allen, S. (2023). Cryosphere as a temporal sink and source of microplastics in the Arctic region. *Geoscience Frontiers*, 14(4), 101566. <https://doi.org/10.1016/J.GSF.2023.101566>
- Zhang, Y. Q., Lykaki, M., Markiewicz, M., Alrajoula, M. T., Kraas, C., & Stolte, S. (2022). Environmental contamination by microplastics originating from textiles: Emission, transport, fate and toxicity. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 430). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128453>
- Zhu, L., Kang, Y., Ma, M., Wu, Z., Zhang, L., Hu, R., Xu, Q., Zhu, J., Gu, X., & An, L. (2024). Tissue accumulation of microplastics and potential health risks in human. *Science of the Total Environment*, 915. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170004>

| A

APÊNDICES

A.1 Dados relativos à amostragem por arrasto horizontal, nomeadamente a localização e o volume amostrado

Campanha	Estação	Coordenadas Geográficas Iniciais		Coordenadas Geográficas Finais		Volume amostrado (m³)
		Latitude (N)	Longitude (O)	Latitude (N)	Longitude (O)	
outono	A039	40,45994386	-8,845841361	40,46444839	-8,867124861	56,2545
	A041	40,45542769	-8,957468639	40,45182344	-8,94064975	58,779
	A046	40,45114425	-9,410458083	40,43399622	-9,403212417	77,274
	A053	40,37120883	-9,076156333	40,36289178	-9,054172389	67,3245
	A055	40,37050764	-8,904679833	40,35244253	-8,908676083	65,421
	A057	40,28420367	-8,897743444	40,26403139	-8,909734194	70,146
	A059	40,28780069	-9,022359778			57,537
	A062	40,25122169	-9,302083333	40,24314806	-9,286563389	75,384
	A071	40,20299969	-9,125191417	40,19535958	-9,108638056	63,8685
	A073	40,20365108	-8,955937583	40,21509961	-8,968514167	60,8175
	A075	40,12301511	-8,930074306	40,13076569	-8,903541306	60,399
	A077	40,12198633	-9,047370722	40,11502225	-9,027674389	59,076
	A081	40,1180055	-9,371396583	40,11468861	-9,353385778	62,7615
	A084	40,03641267	-8,953073	40,02132581	-8,965356556	68,3505
	A086	40,03612614	-9,091690278	40,03546714	-9,070251833	65,0565
	A093	39,95129072	-9,039081056	39,9336875	-9,055033667	65,2185
	A097	39,96282514	-9,374512056	39,98045228	-9,375349389	69,525
primavera	A039	40,44654169	-8,847182472	-	-	42,4845
	A041	40,45766814	-8,956054639	40,45607417	-8,927296056	67,3245
	A046	40,45080417	-9,411069417	40,43361678	-9,385536722	97,173
	A053	40,37066914	-9,075971806	40,35625136	-9,06628075	63,342
	A055	40,37264786	-8,901117722	40,38862472	-8,910555556	58,563
	A057	40,28678014	-8,901225194	40,30204947	-8,899523111	53,8785
	A059	40,28719169	-9,022435778	-	-	65,016
	A062	40,31672986	-9,294263528	40,32172797	-9,269363944	70,5105
	A065	40,28808408	-9,555455056	40,30929736	-9,533179361	97,227
	A071	40,20002733	-9,123147944	40,21207786	-9,145020167	63,396
	A073	40,20336011	-8,952197944	40,22211244	-8,968428833	67,635
	A075	40,12310883	-8,927081611	40,13309769	-8,902345111	84,618
	A077	40,11917383	-9,040601111	40,10254172	-9,058991306	55,674
	A081	40,11901522	-9,366620444	40,13856036	-9,386274944	82,2825
	A084	40,03582156	-8,953325722	40,05342967	-8,948575278	68,8905
	A086	40,04786436	-9,114873361	40,06597928	-9,116949972	62,1945
	A091	40,03459522	-9,516431528	40,05156322	-9,487808694	86,535
	A093	39,95330544	-9,038179722	39,9685605	-9,025209222	63,3015
	A097	39,95202875	-9,370366694	39,93435564	-9,400371194	91,2465

A.2 Dados relativos à amostragem por arrasto vertical, nomeadamente a localização e o volume amostrado

Campanha	Estação	Coordenadas Geográficas		Volume amostrado (m³)
		Latitude (N)	Longitude (O)	
outono	A039	40,460038	-8,8444513	2,5
	A041	40,458859	-8,9589348	2,5
	A046	40,449887	-9,407838	2,5
	A053	40,370122	-9,0749121	2,5
	A055	40,369751	-8,9042273	2,5
	A057	40,288361	-8,9001355	2,5
	A059	40,286479	-9,0223732	2,5
	A062	40,249771	-9,3002026	2,5
	A071	40,202355	-9,1223889	2,5
	A073	40,203482	-8,9530063	2,5
	A075	40,118313	-8,9262971	2,5
	A077	40,117059	-9,0353596	2,5
	A081	40,115363	-9,369738	2,5
	A084	40,037343	-8,9549696	2,5
	A086	40,037736	-9,0923983	2,5
	A093	39,951163	-9,0362228	2,5
	A097	39,953493	-9,3702685	2,5
primavera	A039	40,455977	-8,8400304	2,5
	A041	40,457142	-8,9573781	2,5
	A046	40,450988	-9,4105452	2,5
	A053	40,370576	-9,0762273	2,5
	A055	40,372558	-8,9012056	2,5
	A057	40,286753	-8,9012867	2,5
	A059	40,286869	-9,0218135	2,5
	A062	40,316933	-9,2914191	2,5
	A065	40,289294	-9,55473	2,5
	A071	40,200027	-9,1222576	2,5
	A073	40,203101	-8,9519939	2,5
	A075	40,122242	-8,9257852	2,5
	A077	40,119256	-9,0386147	2,5
	A081	40,119511	-9,3660233	2,5
	A084	40,036008	-8,9532098	2,5
	A086	40,048177	-9,1140126	2,5
	A091	40,035474	-9,5158754	2,5
	A093	39,953047	-9,0383013	2,5
	A097	39,952484	-9,3701559	2,5

A.3 Estatística das tipologias encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto horizontal, no outono e na primavera

			Fragmento	Fibra	Filamento
outono	Norte	média ± desvio-pa-drão	(0,014±0,016)	(0,113±0,147)	(0,014±0,029)
		máximo	0,036	0,385	0,080
		mínimo	0,014	0,013	0,035
	Foz Mon-dego	média ± desvio-pa-drão	(0,026±0,029)	-	(0,124±0,07)
		máximo	0,066	-	0,214
		mínimo	0,017	-	0,032
	Sul	média ± desvio-pa-drão	(0,065±0,101)	-	(0,075±0,05)
		máximo	0,216	-	0,108
		mínimo	0,015	-	0,092
			Fragmento	Fibra	Filamento
primavera	Norte	média ± desvio-pa-drão	(0,101±0,143)	(0,015±0,017)	-
		máximo	0,431	0,043	-
		mínimo	0,014	0,01	-
	Foz Mon-dego	média ± desvio-pa-drão	(0,049±0,052)	(0,007±0,011)	-
		máximo	0,142	0,024	-
		mínimo	0,018	0,012	-
	Sul	média ± desvio-pa-drão	(0,121±0,180)	-	-
		máximo	0,438	-	-
		mínimo	0,032	-	-

A.4 Estatística das classes de dimensão encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto horizontal, no outono e na primavera

			[1, 500[μm	[500, 1000[μm	[1000, 2000[μm	[2000, 3000[μm	[3000, 4000[μm	[4000, 5000] μm
outono	Norte	média $\pm$ desvio-padrão	(0,028 $\pm$ 0,048)	(0,031 $\pm$ 0,035)	(0,055 $\pm$ 0,063)	(0,010 $\pm$ 0,013)	(0,013 $\pm$ 0,013)	(0,004 $\pm$ 0,007)
		máximo	0,143	0,1	0,187	0,036	0,031	0,015
		mínimo	0,013	0,013	0,017	0,013	0,013	0,014
	Foz Mon-dego	média $\pm$ desvio-padrão	(0,010 $\pm$ 0,015)	(0,039 $\pm$ 0,025)	(0,072 $\pm$ 0,049)	(0,023 $\pm$ 0,009)	(0,016 $\pm$ 0,011)	-
		máximo	0,033	0,066	0,132	0,033	0,031	-
		mínimo	0,016	0,033	0,016	0,016	0,013	-
	Sul	média $\pm$ desvio-padrão	-	(0,052 $\pm$ 0,052)	(0,066 $\pm$ 0,073)	(0,033 $\pm$ 0,047)	-	-
		máximo	-	0,101	0,158	0,101	-	-
		mínimo	-	0,015	0,015	0,031	-	-
primavera	Norte	média $\pm$ desvio-padrão	(0,021 $\pm$ 0,025)	(0,031 $\pm$ 0,044)	(0,035 $\pm$ 0,058)	(0,018 $\pm$ 0,020)	(0,005 $\pm$ 0,011)	(0,006 $\pm$ 0,011)
		máximo	0,074	0,138	0,185	0,047	0,031	0,031
		mínimo	0,01	0,014	0,01	0,014	0,015	0,01
	Foz Mon-dego	média $\pm$ desvio-padrão	(0,006 $\pm$ 0,008)	(0,026 $\pm$ 0,033)	(0,020 $\pm$ 0,023)	-	-	-
		máximo	0,016	0,083	0,059	-	-	-
		mínimo	0,012	0,012	0,012	-	-	-
	Sul	média $\pm$ desvio-padrão	(0,031 $\pm$ 0,057)	(0,056 $\pm$ 0,093)	(0,028 $\pm$ 0,023)	-	(0,006 $\pm$ 0,008)	-
		máximo	0,132	0,219	0,055	-	0,016	-
		mínimo	0,023	0,016	0,016	-	0,012	-

A.5 Estatística das cores encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto horizontal, no outono e na primavera

			preto	azul	transparente	vermelho	verde	outros
outono	Norte	média ± desvio-padrão	(0,017±0,025)	(0,004±0,007)	-	(0,116±0,118)	-	-
		máximo	0,071	0,017	-	0,328	-	-
		mínimo	0,015	0,013	-	0,015	-	-
	Foz Mon-dego	média ± desvio-padrão	-	(0,006±0,009)	(0,009±0,014)	(0,124±0,070)	-	-
		máximo	-	0,016	0,031	0,214	-	-
		mínimo	-	0,016	0,016	0,032	-	-
	Sul	média ± desvio-padrão	-	(0,022±0,034)	(0,040±0,061)	(0,075±0,050)	-	-
		máximo	-	0,072	0,129	0,108	-	-
		mínimo	-	0,015	0,031	0,092	-	-

primavera	Norte	média ± desvio-padrão	(0,005±0,008)	(0,038±0,038)	(0,010±0,016)	(0,003±0,007)	(0,008±0,020)	(0,014±0,021)
		máximo	0,017	0,118	0,045	0,017	0,062	0,047
		mínimo	0,014	0,021	0,021	0,014	0,015	0,032
	Foz Mon-dego	média ± desvio-padrão	(0,008±0,007)	(0,022±0,010)	-	-	-	-
		máximo	0,015	0,035	-	-	-	-
		mínimo	0,012	0,012	-	-	-	-
	Sul	média ± desvio-padrão	-	(0,090±0,150)	-	-	(0,013±0,014)	(0,013±0,024)
		máximo	-	0,351	-	-	0,032	0,055
		mínimo	-	0,016	-	-	0,012	0,012

A.6 Estatística dos polímeros encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto horizontal, no outono e na primavera

			PP	LDPE	HDPE	PE	PET
outono	Norte	média ± desvio-padrão	(0,118±0,115)	-	-	-	(0,021±0,024)
		máximo	0,328	-	-	-	0,071
		mínimo	0,015	-	-	-	0,015
	Foz Mon-dego	média ± desvio-padrão	(0,128±0,064)	-	-	(0,023±0,024)	-
		máximo	0,214	-	-	0,049	-
		mínimo	0,048	-	-	0,017	-
	Sul	média ± desvio-padrão	(0,09±0,063)	-	-	(0,015±0,020)	-
		máximo	0,144	-	-	0,043	-
		mínimo	0,092	-	-	0,015	-

primavera	Norte	média ± desvio-padrão	(0,051±0,103)	(0,015±0,02)	(0,004±0,008)	(0,018±0,037)	(0,010±0,012)
		máximo	0,323	0,047	0,024	0,089	0,032
		mínimo	0,014	0,016	0,01	0,077	0,014
	Foz Mon-dego	média ± desvio-padrão	(0,017±0,02)	-	-	(0,018±0,024)	-
		máximo	0,049	-	-	0,059	-
		mínimo	0,015	-	-	0,015	-
	Sul	média ± desvio-padrão	(0,021±0,036)	(0,028±0,033)	(0,014±0,019)	(0,052±0,100)	-
		máximo	0,077	0,077	0,035	0,23	-
		mínimo	0,012	0,016	0,033	0,016	-

A.7 Estatística das cores encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto vertical, no outono e na primavera

			Preto	Azul	Branco	Transparente	Vermelho	Verde	Outros
outono	Norte	média ± desvio-padrão	-	(0,7± 0,555)	(0,65± 0,475)	(0,15± 0,207)	(1,25± 0,967)	(0,100± 0,185)	(0,25± 0,424)
		máximo	-	1,6	1,2	0,4	3,2	0,4	1,2
		mínimo	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Foz Mon-dego	média ± desvio-padrão	-	(0,88± 1,073)	(0,56± 0,456)	(0,24± 0,219)	(0,32± 0,335)	-	-
		máximo	-	2,4	1,2	0,4	0,8	-	-
		mínimo	-	0,4	0,4	0,4	0,4	-	-
	Sul	média ± desvio-padrão	-	(0,3± 0,383)	(0,4± 0,327)	-	-	-	-
		máximo	-	0,8	0,8	-	-	-	-
		mínimo	-	0,4	0,4	-	-	-	-
primavera	Norte	média ± desvio-padrão	-	(0,267± 0,346)	-	-	-	-	
		máximo	-	0,8	-	-	-	-	
		mínimo	-	0,4	-	-	-	-	
	Foz Mon-dego	média ± desvio-padrão	(0,16± 0,219)	(0,4± 0,4)	-	-	(0,24± 0,358)	-	
		máximo	0,4	0,8	-	-	0,8	-	
		mínimo	0,4	0,4	-	-	0,4	-	
	Sul	média ± desvio-padrão	-	(0,24± 0,219)	-	-	(0,24± 0,219)	-	(0,24± 0,358)
		máximo	-	0,4	-	-	0,4	-	0,8
		mínimo	-	0,4	-	-	0,4	-	0,4

A.8 Estatística das classes de dimensões encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto vertical, no outono e na primavera

			[1, 500[μm	[500, 1000[μm	[1000, 2000[μm	[2000, 3000[μm	[3000, 4000[μm	[4000, 5000] μm
outono	Norte	média $\pm$ desvio-padrão	(0,900 $\pm$ 0,875)	(0,400 $\pm$ 0,302)	(1,05 $\pm$ 0,521)	(0,250 $\pm$ 0,298)	(0,250 $\pm$ 0,207)	(0,300 $\pm$ 0,283)
		máximo	2,4	0,8	1,6	0,8	0,4	0,8
		mínimo	0,4	0,4	0,8	0,4	0,4	0,4
	Foz Mon-dego	média $\pm$ desvio-padrão	(0,320 $\pm$ 0,335)	(0,640 $\pm$ 0,537)	(0,560 $\pm$ 0,456)	(0,400 $\pm$ 0,400)	(0,240 $\pm$ 0,358)	-
		máximo	0,8	1,2	1,2	0,8	0,8	-
		mínimo	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-
	Sul	média $\pm$ desvio-padrão	-	(0,400 $\pm$ 0,566)	(0,500 $\pm$ 0,383)	-	-	-
		máximo	-	1,2	0,8	-	-	-
		mínimo	-	0,4	0,4	-	-	-
primavera	Norte	média $\pm$ desvio-padrão	(0,089 $\pm$ 0,176)	(0,133 $\pm$ 0,200)	(0,178 $\pm$ 0,291)	-	-	-
		máximo	0,4	0,4	0,8	-	-	-
		mínimo	0,4	0,4	0,4	-	-	-
	Foz Mon-dego	média $\pm$ desvio-padrão	(0,240 $\pm$ 0,358)	(0,320 $\pm$ 0,335)	(0,320 $\pm$ 0,438)	-	-	-
		máximo	0,8	0,8	0,8	-	-	-
		mínimo	0,4	0,4	0,8	-	-	-
	Sul	média $\pm$ desvio-padrão	(0,240 $\pm$ 0,219)	(0,320 $\pm$ 0,335)	-	-	-	-
		máximo	0,4	0,8	-	-	-	-
		mínimo	0,4	0,4	-	-	-	-

A.9 Estatística dos polímeros encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto vertical, no outono e na primavera

			PP	PE	PET	PA
outono	Norte	média ± desvio-padrão	(0,95±0,707)	-	(0,5±0,355)	-
		máximo	2,4	-	1,2	-
		mínimo	0,4	-	0,4	-
	Foz Mon-dego	média ± desvio-padrão	(0,72±1,18)	(0,48±0,522)	(0,4±0,566)	(0,4±0,693)
		máximo	2,8	1,2	1,2	1,6
		mínimo	0,4	0,4	0,8	0,4
	Sul	média ± desvio-padrão	(0,4±0,327)	-	-	-
		máximo	0,8	-	-	-
		mínimo	0,4	-	-	-
primavera	Norte	média ± desvio-padrão	(0,133±0,2)	-	-	(0,178±0,353)
		máximo	0,4	-	-	0,8
		mínimo	0,4	-	-	0,8
	Foz Mon-dego	média ± desvio-padrão	(0,4±0,566)	(0,16±0,22)	-	-
		máximo	1,2	0,4	-	-
		mínimo	0,8	0,4	-	-
	Sul	média ± desvio-padrão	(0,32±0,522)	(0,32±0,335)	-	-
		máximo	1,2	0,8	-	-
		mínimo	0,4	0,4	-	-

A.10 Estatística das tipologias encontradas nas amostras de água colhidas por arrasto vertical, no outono e na primavera

			Fragmento	Fibra	Filamento
outono	Norte	média ± desvio-padrão	(1,5±0,733)	(1,3±0,793)	(0,35±0,256)
		máximo	2,4	2,800	0,800
		mínimo	1,2	0,8	0,4
	Foz Mon-dego	média ± desvio-padrão	(1,12±0,335)	(0,88±1,213)	(0,32±0,438)
		máximo	1,6	2,4	0,800
		mínimo	0,8	2	0,800
	Sul	média ± desvio-padrão	(0,6±0,4)	(0,6±0,516)	-
		máximo	1,2	1,200	-
		mínimo	0,4	0,4	-
			Fragmento	Fibra	Filamento
primavera	Norte	média ± desvio-padrão	(0,222±0,353)	(0,178±0,291)	-
		máximo	0,800	0,800	-
		mínimo	0,4	0,4	-
	Foz Mon-dego	média ± desvio-padrão	(0,56±0,456)	(0,32±0,438)	-
		máximo	1,200	0,800	-
		mínimo	0,400	0,800	-
	Sul	média ± desvio-padrão	(0,64±0,456)	-	-
		máximo	1,200	-	-
		mínimo	0,4	-	-



