



TÉCNICO
LISBOA

Comportamento dos microplásticos e beatas em meio aquático

Beatriz dos Reis Eloi Machado

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia do Ambiente

Júri

Presidente Professor Doutor Ramiro Joaquim de Jesus Neves

Orientador: Professora Doutora Ana Fonseca Galvão

Vogal: Professora Hilda de Pablo

31 de outubro de 2021

Resumo

Na presente dissertação foi realizado um trabalho experimental que consistiu na imersão de amostras de microplásticos de fio de nylon e filtros de cigarro numa coluna de água. Foi registado o seu comportamento relativamente à flutuação ou à sedimentação, o tempo de sedimentação, aquando da sua ocorrência, e as suas trajetórias.

Registou-se o comportamento de microplásticos com três espessuras distintas e comprimento máximo de 5 mm e de 4 filtros de cigarro, três deles pertencentes a cigarros aquecidos da marca IQOS e um pertencente a cigarros convencionais. A maioria dos filtros era constituído por celulose e apenas um dos filtros pertencente a um cigarro IQOS era de bioplástico. Todas as amostras foram expostas a diversos ambientes, onde foram variados alguns parâmetros como a temperatura e salinidade, tendo sido um dos ambientes a água da Doca de Alcântara, em Lisboa, devido à sua maior aproximação com características normais do Oceano Atlântico.

A análise foi realizada para amostras inicialmente limpas, e para o mesmo conjunto de amostras que tinham sido submersas no ambiente da Doca de Alcântara, com intuito de permitir o desenvolvimento de uma camada de biofilme na sua superfície. Com estas amostras foi possível avaliar o comportamento destas antes e após a sua exposição, tendo-se avaliado as alterações de comportamento durante os ensaios propostos, a evolução do seu estado de degradação, a capacidade de criação de biofilme, alterações físicas (formato e dimensões).

Através dos resultados obtidos foi possível determinar a velocidade média absoluta das amostras, onde se concluiu que a forma e dimensões destas são determinantes no seu comportamento. Na comparação de amostras com a mesma densidade, quanto mais próximos forem os valores de comprimento e diâmetro, maior será a sua velocidade. A velocidade média absoluta diminuiu com o aumento da salinidade e as variações de temperatura não têm influência significativa no seu valor. Os resultados obtidos pela velocidade média absoluta e pela fórmula empírica da velocidade não foram semelhantes, no segundo caso, a diferença das densidades sobrepôs-se à dos diâmetros, onde se concluiu que a fórmula empírica só é válida para densidades muito próximas.

Palavras-chave:

- Microplásticos
- Filtros de cigarro
- Velocidade média absoluta
- Biofilme
- Salinidade
- Temperatura

Abstract

In the present dissertation, an experimental programme was developed and executed, which consisted in immersing samples of nylon thread microplastics and cigarette filters in a water column. Its behaviour in relation to flotation or sedimentation, the sedimentation time, when it occurs, and its trajectories were recorded.

The behaviour of microplastics with three different thicknesses and maximum length of 5 mm and of 4 cigarette filters was recorded, three of them belonging to heated cigarettes of the “IQOS” brand and one belonging to conventional cigarettes. Most filters were made of cellulose and only one of the filters belonging to an “IQOS” cigarette was made of bioplastic. All samples were exposed to different environments, where some parameters such as temperature and salinity were varied, one of the environments being the water of the Alcântara Dock, in Lisbon, due to its closer approximation with normal characteristics of the Atlantic Ocean.

The analysis was performed for initially clean samples, and for the same set of samples that had been submerged in the Alcântara Dock environment, to allow the development of a biofilm layer on its surface. With these samples it was possible to evaluate their behaviour before and after their exposure, having evaluated the behaviour changes during the proposed tests, the evolution of their degradation state, the biofilm creation capacity, physical changes (format and dimensions).

Through the obtained results, it was possible to determine the mean absolute velocity of the samples, where it was concluded that their shape and dimensions are determinant in their behaviour. When comparing samples with the same density, the closer the length and diameter values are, the higher the speed. The absolute mean velocity decreases with increasing salinity and temperature variations do not have a significant influence on its value. The results obtained by the mean absolute velocity and the empirical velocity formula were not similar, in the second case, the difference in densities overlapped that of the diameters, where it was concluded that the empirical formula is only valid for very similar densities.

Key words:

- Microplastics
- Cigarette filters
- Average absolute velocity
- Biofilm
- Salinity
- Temperature

Agradecimentos

Esta dissertação é o culminar de uma fase da minha vida onde houveram muitos obstáculos, mas também muita coisa boa, principalmente a certeza de que é este o caminho que quero seguir e as amizades que vão ficar para a vida

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus pais e à minha irmã que sempre me apoiaram em tudo ao longo destes anos, mesmo quando precisei de fazer uma paragem nos estudos e posteriormente decidi mudar de curso.

À Professora Ana Galvão, orientadora desta dissertação, que me passou muitos conhecimentos, mas acima de tudo, que sempre me incentivou e apoiou, com muita paciência, durante as fases mais difíceis.

À investigadora Hilda de Pablo Leonardo pela ajuda essencial com a colocação das amostras na Doca de Alcântara e pelo conhecimento.

Ao Prof. Manuel Francisco pelas extraordinárias fotografias das amostras com biofilme, que claramente enriqueceram este trabalho

A todos os meus amigos que em várias fases foram essenciais. São eles André Castelo, Micaela, Catarina, Vânia, Susana, Rita que foram o meu suporte em Lisboa, umas vezes perto outras à distância. À Ana Luísa e Inês que me levavam para Coimbra quando já estava farta de Lisboa, à Dina e Bárbara que foram essenciais no ano de pandemia, ao Rafa e à Raquel que trouxeram mais alegria à minha casa. Às minha primas Carolina e Margarida.

A todas as meninas do Zero Waste Youth Portugal e Instituto Lixo Zero Portugal, que foram uma surpresa na minha vida e a confirmação de que entrei no curso certo e estou aqui para lutar por um mundo melhor. São elas Érica, Camila, Beatriz Acabado, Mari, Teith, Ariadne, Patricia.

Índice

Resumo.....	i
Abstract.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Índice de Figuras.....	vi
Índice de Tabelas.....	vii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e relevância do tema.....	1
1.2. Objetivos e metodologia.....	2
1.3. Estrutura da dissertação.....	3
2. Estado de Arte.....	4
2.1. Propriedades físicas e dinâmica de microplásticos marinhos.....	4
2.2. Taxas de sedimentação de microplásticos.....	5
2.3. Velocidade de sedimentação de microplásticos.....	6
3. Métodos Experimentais.....	11
3.1. Seleção e caracterização inicial das amostras.....	11
3.2. Preparação das amostras.....	13
3.3. Coluna de água.....	15
3.4. Ambientes de exposição.....	16
3.5. Comportamento das amostras na água.....	18
3.6. Ensaios laboratoriais.....	18
3.7. Fórmulas empíricas.....	20
4. Análise e discussão de resultados.....	22
4.1. Caracterização das amostras submersas.....	22
4.2. Variação da velocidade média absoluta com a salinidade.....	23
4.3. Variação da velocidade média absoluta com a temperatura.....	29
4.4. Velocidade de sedimentação teórica.....	31
4.5. Número de Reynolds e coeficiente de arrasto.....	34
4.6. Velocidade adimensional.....	35
5. Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	38
6. Referências.....	40

Anexo I.....	a
Anexo II.....	c
Anexo III.....	k

Índice de Figuras

Figura 1 – Mapa mundo com a identificação das 5 maiores ilhas de plástico do mundo [1].	1
Figura 2 - Ave Corta-água alimenta a sua cria com uma beata [7].	2
Figura 3 - A dependência do produto $C_D Re_L$ para cortes FL em seu comprimento [14].	9
Figura 4 - Velocidade de sedimentação de cortes FL de diferentes diâmetros e as aproximações propostas [14].	9
Figura 5 - Amostras E1, E2, e E3	11
Figura 6 - Beata de cigarro aquecido IQOS (esquerda); Beata de cigarro Boa Viagem (direita) (F1 – boquilha de acetato; F2 - filtro filme de ácido poliláctico; F3 – filtro oco de acetato; F4 - filtro de acetato de celulose).	12
Figura 7 - Meias de licra com amostras no seu interior, prontas para serem colocadas no saco de rede e enviadas para a Doca de Alcântara (esquerda); Amostra E3 no interior da meia de licra (direita).	14
Figura 8 – Recolha das amostras na Doca de Alcântara, em Lisboa, (esquerda e meio) e meias de licra com as amostras dentro, no laboratório (direita).	14
Figura 9 - Esquema da coluna de água com as suas medidas e marcações das linhas de início e fim da cronometragem do movimento de sedimentação das amostras	15
Figura 10 - Amostras E1_b (esquerda), E2_b (meio), E3_b (direita)	22
Figura 11 - Amostras F1_b	22
Figura 12 - Amostras F3_b	23
Figura 13 - Amostras F2_b	23
Figura 14 – Velocidade média absoluta das amostras E1, E2, E3, E1_b, E2_b e E3_b para ambientes de exposição com salinidades distintas	27
Figura 15 - Velocidades absolutas das amostras F1, F2, F3, F1_b, F2_b e F3_b para ambientes de exposição com salinidades distintas	27
Figura 16 – Velocidade média absoluta das amostras para ambientes de exposição com temperaturas distintas	30
Figura 17 – Velocidade de sedimentação final das amostras E1, E2 e E3, tendo em conta o diâmetro de cada amostra	31
Figura 18 - Velocidade de sedimentação final das amostras E1, E2 e E3, relacionando o respetivo valor de D_n de cada amostra	32
Figura 19 – Comparação dos valores da velocidade média absoluta (E1 real, E2 real e E3 real) e da velocidade de sedimentação teórica (E1 teórica, E2 teórica e E3 teórica) obtida por [14], em cada ambiente de exposição	33
Figura 20 - Comparação dos valores da velocidade média absoluta (E1 real, E2 real e E3 real) e da velocidade de sedimentação teórica ajustada (E1 ajustada, E2 ajustada e E3 ajustada), em cada ambiente de exposição	33
Figura 21 – Variação linear entre $C_D Re_L$ e o comprimento de cada amostra	35
Figura 22 – Velocidade adimensional das amostras E1, E2 e E3, tendo em conta o diâmetro adimensional de cada amostra	36

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Características das amostras utilizadas nos ensaios.....	13
Tabela 2 – Valores obtidos no cálculo da densidade das amostras de nylon.....	13
Tabela 3 – Massa das amostras antes de serem colocadas na água da Doca de Alcântara	14
Tabela 4 - Quantidade de sal a colocar em 27,6 l de água da torneira para atingir as salinidades de 0, 15, 25 e 36 ppt.	16
Tabela 5 – Compilação das características dos ambientes de exposição a que as amostras foram sujeitas	17
Tabela 6 - Densidades dos diferentes ambientes de exposição a que as amostras foram expostas	17
Tabela 7 - Ambientes a que cada tipo de amostra foi exposto	19
Tabela 8 - Dimensões das amostras	21
Tabela 9 – Tempos médios de sedimentação, temperaturas e viscosidade cinemática das amostras E1, E2, E3, F1, F2, F3 e F4, nos diferentes ambientes de exposição a que foram submetidas	24
Tabela 10 – Tempos médios de sedimentação, temperaturas e viscosidade cinemática das amostras E1_b, E2_b, E3_b, F1_b, F2_b e F3_b com biofilme nos diferentes ambientes de exposição a que foram submetidas	25
Tabela 11 – Velocidade média absoluta (v) das amostras nos meios de exposição A_0, A_15, A_25, A_36 e A_R e respectivos valores de salinidade (S)	26
Tabela 12 – Massas das amostras antes e depois de serem imersas na Doca de Alcântara ...	29
Tabela 13 – Velocidade média absoluta (v) das amostras nos meios de exposição A_0 e A_F e respectivos valores de temperatura (T)	29
Tabela 14 - Velocidades de sedimentação teóricas (w_s) das amostras E1, E2 e E3, nos diferentes meios de exposição	31
Tabela 15 – Número de Reynolds para cada ambiente de exposição e o coeficiente de arrasto para A_0.....	34
Tabela 16 - Velocidades e diâmetros adimensionais das amostras E1, E2 e E3 nos diferentes ambientes de exposição.....	35

1. Introdução

1.1. Enquadramento e relevância do tema

Atualmente, pode-se dizer que a presença de plástico no nosso planeta tornou-se um dos grandes problemas do século XXI. Desde a sua invenção, no início do século XX, que se foi aumentando a quantidade de objetos fabricados a partir deste material, em substituição do vidro e metal, devido ao seu baixo custo e resistência. O fabrico de plástico foi evoluindo e surgiram diferentes tipos de plástico, entre os quais os descartáveis, e o plástico passou a estar presente no dia-a-dia de todos nós de diversas formas. O seu uso desenfreado, sem se pensar nas consequências que poderia causar, deu lugar à situação catastrófica que estamos a viver nos dias de hoje, onde simplesmente o plástico está em todo o lado.

Em 1997, foi descoberta a primeira ilha de plástico, no Pacífico Norte, por Charles Moore, mas desde então, têm vindo a ser descobertas ilhas de variadas dimensões nos oceanos de todo o globo. Popularmente, estas são assim denominadas por serem grandes conjuntos de plásticos que se acumulam devido às correntes dos oceanos e ao vento. As dimensões destas ilhas são tão grandes, que a ilha do Pacífico Norte tem a área da Espanha, França e Alemanha juntos, por exemplo. Apesar de a área superficial por si só já ser de grandes dimensões, a Greenpeace já advertiu que o plástico visível à superfície corresponde a apenas 15% do total, os restantes 85% estão submersos e presos no gelo do Ártico [1].



Figura 1 – Mapa mundo com a identificação das 5 maiores ilhas de plástico do mundo [1].

Todos os anos, são despejados 11 milhões de toneladas de resíduos plásticos no mar [1]. De entre os vários resíduos de plástico presentes no mar, 10% são redes de pesca abandonadas pela atividade piscatória, o que representa despejos de 640 mil toneladas anualmente [3]. Estas redes, agora denominadas por redes fantasma, são mortíferas para os animais que ficam presos nelas, onde acabam por falecer. A sua degradação, estimada em 30 anos para o fio de nylon [4], origina os microplásticos, que correspondem a partículas com dimensão máxima de 5 mm. Esta não é a única origem dos microplásticos nos oceanos, existem variados tipos de microplástico que terminam nos oceanos por ação do vento, chuva,

ou mesmo ação humana, como por exemplo, partículas de pneus, pellets da indústria, esferovite e fibras de tecido. Estas partículas que são libertadas diretamente no ambiente, denominam-se por microplásticos primários. Os microplásticos que provêm da degradação de um plástico de maiores dimensões, que já está no meio ambiente, denominam-se por microplásticos secundários.

Outro resíduo muito presente nos oceanos são as beatas de cigarro, que inclusive estão no Top 3 dos resíduos mais encontrados nas limpezas de praia. Estima-se que a cada minuto são atiradas ao chão em Portugal 7000 beatas, o que perfaz um total de cerca de 10 milhões por dia [5]. Apesar de muitas vezes não ser do conhecimento da população em geral, os filtros presentes nas beatas são de plástico e pode levar até 10 anos a decomporem-se [5]. Para além disso, assim que estão em contacto com a água, as beatas libertam vários dos químicos presentes na sua constituição, como a nicotina.

Os microplásticos e beatas de cigarro são comumente confundidos com comida pelos animais, que acabam por os ingerir. Por exemplo, os pellets e bolas de esferovite são confundidos com ovas.



Figura 2 - Ave Corta-água alimenta a sua cria com uma beata [7].

Se o despejo de resíduos nos oceanos continuar a esta velocidade, em 2048 teremos mais toneladas de plástico do que peixe [8].

1.2. Objetivos e metodologia

Nesta dissertação, pretende-se contribuir para a evolução do conhecimento sobre o comportamento dos microplásticos em meio aquático, através da determinação dos seus tempos de sedimentação em diferentes ambientes de exposição.

Selecionaram-se diferentes conjuntos de amostras de microplásticos a serem estudadas. Escolheram-se fragmentos de fio de nylon de três espessuras diferentes e comprimento de cerca de 5 mm, que foram cortados manualmente no laboratório. Optou-se igualmente por incluir amostras de filtros de cigarro, que apesar de não serem microplásticos, são muito abundantes no mar. Numa coluna de água, foram determinados tempos de sedimentação, sendo os registos posteriormente utilizados para determinar algumas variáveis

como a velocidade de sedimentação de cada conjunto de amostras. Os ensaios foram realizados com águas em diferentes condições de temperatura e salinidade, para o mesmo conjunto de amostras, para se compreender se haveria alterações de comportamento.

Após alguns ensaios, houve a vontade de perceber se o comportamento das amostras seria muito diferente no caso de estas não estarem totalmente limpas e terem uma camada de biofilme à sua volta. Assim, prepararam-se sacos de amostras para mergulhar na Doca de Alcântara, onde permaneceram durante 1 ano. Ao final deste tempo, as amostras foram recolhidas e submetidas aos ensaios de sedimentação, mas desta vez apenas se utilizou água proveniente da rede pública e água recolhida na Doca de Alcântara.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em 4 capítulos principais. No capítulo 2 são apresentados estudos e trabalhos laboratoriais já existentes e que auxiliaram na escolha dos métodos experimentais realizados no presente trabalho. No capítulo 3, são apresentados os métodos experimentais realizados. No capítulo 4 os resultados obtidos são apresentados e discutidos. No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

2. Estado de Arte

O aumento da presença de microplásticos nos oceanos e nos seus organismos levou a uma grande preocupação por parte não só de ambientalistas, mas também das entidades políticas a nível mundial no que diz respeito às alterações climáticas. Assim, a necessidade de se estudar o comportamento dos microplásticos também aumentou significativamente.

2.1. Propriedades físicas e dinâmica de microplásticos marinhos

Chubarenko et al. [9] analisou um conjunto de amostras de diferentes materiais, recolhidas no Mar Báltico, e concluiu que o seu comportamento dependia das suas propriedades físicas, principalmente tamanho e densidade. A colheita foi realizada em diferentes ambientes, à superfície da água, na coluna de água e nos sedimentos do fundo. As amostras foram peneiradas e obtiveram-se dimensões entre 0,5 e 5 mm de diversas formas (fibras e pellets) e fragmentos de várias formas geométricas (irregulares e esféricas), que dependem dos processos de fragmentação e da duração da exposição ao meio ambiente.

No que diz respeito à forma, as amostras indicam que as extremidades afiadas podem indicar exposições de curta duração ou que os fragmentos foram quebrados recentemente a partir de exemplares maiores. Extremidades lisas estão associadas a fragmentos mais antigos, que estão constantemente a ser polidos por outras partículas e sedimentos. As partículas maiores apresentavam formas mais alongadas e/ou superfícies irregulares, enquanto as menores são mais circulares.

À superfície da água encontram-se as amostras com densidade inferior à da água, que aí permanecem por longos períodos de tempo e são rapidamente transportados por longas distâncias, devido à sua alta exposição ao vento, ondas e correntes, como o polietileno e polipropileno. Nos sedimentos do fundo encontraram-se amostras como acetato e acrílico. A ação do vento sofrida pelas partículas flutuantes foi determinada tendo em conta áreas da seção transversal seca e húmida da partícula, velocidades do vento e da partícula à deriva, densidades do ar e da água e dos coeficientes de arrasto adimensional do ar e da água.

Após os microplásticos permanecerem algum tempo na água, sejam submersos ou à superfície, ganham uma camada de biofilme que vai aumentando com o tempo e que depende linearmente da escala de comprimento da partícula, seja esta o raio da esfera, a espessura do filme ou o raio da fibra. Quanto menor for esta escala, mais rápida é a criação do biofilme e consequentemente o aumento da densidade da partícula, que caso inicialmente esteja a flutuar, numa determinada altura deixa de o fazer, porque a sua densidade passa a ser superior à da água. Partículas com a mesma massa, mas com diferentes formas, também têm diferentes áreas de superfície e tempos de criação da camada de biofilme.

A velocidade de sedimentação, w_s (mm/s), foi determinada pela Equação 1, onde ν é a viscosidade cinemática (mm²/s), d é a espessura da camada de biofilme que cobre a partícula (mm) e d_* o diâmetro adimensional da partícula.

$$w_s = \frac{v}{d} d_*^3 [38,1 + 0,93d_*^{12/7}]^{-7/8} \quad \text{Equação 1}$$

Pela Equação 2 obtém-se o diâmetro adimensional, onde ρ_s (kg/m^3) é a densidade da partícula, ρ é a densidade da água (kg/m^3), g a aceleração gravítica (m/s^2) e D o diâmetro da partícula (mm).

$$d_* = \left(\frac{(\rho_s - \rho) g}{\rho v^2} \right)^{1/3} D \quad \text{Equação 2}$$

A velocidade de sedimentação depende das densidades da partícula e da água, mas é uma dependência não linear entre a diferença das densidades e o diâmetro da partícula, conforme pode-se verificar na figura 5 de [9].

Concluiu-se que partículas de alta flutuação e muito leves, como os materiais esponjosos, e em condições de mar aberto movem-se mais rapidamente que a água do mar e podem espalhar-se mais rapidamente que os restantes microplásticos. Assim, são as propriedades físicas, como a densidade, tamanho e forma, que definem o comportamento dos microplásticos marinhos, determinando o tempo de permanência em diferentes habitats marinhos e a rapidez de formação do seu biofilme.

2.2. Taxas de sedimentação de microplásticos

Com o intuito de estudar as taxas de sedimentação de microplásticos de diferentes materiais, Kowalski et. al [10] realizou ensaios experimentais. Tal como Chubarenko et al. [9], Kowalski et. al [10] refere que a sedimentação dos microplásticos está dependente da sua densidade em relação à da água. Microplásticos com densidades inferiores à da água permanecem à sua superfície. Com o tempo, a sua densidade sofre alterações devido ao envelhecimento das partículas por parte de agentes externos e à formação de uma camada de biofilme. A densidade da partícula aumenta até que alcança o valor da densidade da água e nessa altura começa a afundar.

Para o ensaio laboratorial trituraram-se pellets de vários materiais, como o poliestireno (esferovite) e o polometilmetacrilato (acrílico), até se obterem amostras com dimensões até 5 mm. Foram utilizadas três colunas cilíndricas iguais, com 400 mm de altura e 75 mm de diâmetro. Em cada coluna colocaram-se diferentes soluções:

- Solução 1 - Água ionizada, com salinidade 0 ppt e 998 kg/m^3 de densidade;
- Solução 2 – Água do Mar Báltico, com salinidade 15 ppt e 1010 kg/m^3 de densidade;
- Solução 3 – Água do Oceano Atlântico, com salinidade 36 ppt e 1026 kg/m^3 de densidade.

Inicialmente, as três soluções foram filtradas com um filtro de fibra de vidro de modo a remover-se a matéria em suspensão. As experiências foram realizadas numa divisão onde a

temperatura do ar a 20°C era controlada, com o intuito de se manter a temperatura das soluções. As amostras foram imersas em água com a mesma salinidade e temperatura que as soluções de modo a evitar a descarga electrostática nas suas superfícies e não dificultar a sua sedimentação. As amostras foram colocadas nas colunas onde se iniciou a cronometragem da sedimentação aos 15 cm de profundidade para garantir que atingia a velocidade final. Para além das amostras iniciais, utilizaram-se amostras que foram submetidas a processos de degradação. Expuseram-se as amostras à radiação ultravioleta e à água do mar artificial (34 ppt de salinidade), formando o segundo grupo de amostras. O terceiro grupo de amostras foram agitadas em frascos de vidro, com areia e água, simulando a zona de arrebentação das ondas.

Tendo os dados do tempo e distância percorrida pelas amostras foi possível calcular a velocidade de sedimentação. A velocidade de sedimentação aumentou com o aumento do tamanho da amostra. Em alto mar, a densidade da água e a salinidade aumentam com a profundidade, pelo que a velocidade da partícula deverá diminuir com a profundidade, já que chegará a uma altura em que a densidade da partícula e da água será semelhante e a partícula permanecerá a flutuar. Esta ocorrência acontece para partículas com densidades mais baixas, uma vez que para partículas com elevadas densidades, as suas velocidades não variaram consideravelmente com as variações de salinidade da água. A variação de temperatura não teve impacto nas variações de velocidades das partículas.

Concluiu-se que o valor da velocidade de sedimentação depende do tamanho, densidade e forma da amostra e da salinidade do fluido.

2.3. Velocidade de sedimentação de microplásticos

A presente dissertação foi baseada fundamentalmente no trabalho de Khatmullina e Isachenko [14] que estudaram a velocidade de sedimentação de microplásticos não flutuantes com formas regulares. Realizaram ensaios laboratoriais com 600 amostras de microplásticos de variadas formas e materiais e com dimensões entre 0,5 e 5 mm. Examinaram esferas e cilindros de policaprolactona (PCL) de iguais dimensões e densidade 1130 kg/m³ e cilindros compridos de linha de pesca (FL), com diâmetros entre 0,15 e 0,71 mm e densidade a variar entre 1130 e 1168 kg/m³, sendo estas últimas do mesmo material, com comprimento inferior a 1 mm. A densidade das amostras foi determinada pelo método da titulação modificado da ISO 1183-1 (2012). O processo consistiu em colocar uma amostra num frasco de vidro com 50 ml de água destilada. Para eliminar as possíveis bolhas de ar à superfície das amostras, agitou-se o frasco. Quando a amostra caiu para o fundo do frasco procedeu-se à adição de cloreto de zinco até que a amostra permanecesse suspensa na solução, sem subir ou descer por pelo menos 1 min, atingindo assim a flutuabilidade. Nesta altura é recolhido 1 ml da solução, que é pesado numa balança analítica e determinada a densidade.

A escolha das formas esféricas e cilíndricas deve-se à enorme quantidade de microplásticos com essas formas presentes nos oceanos e por já terem sido estudadas antes.

FL sofreu envelhecimento devido à exposição ao meio ambiente e PCL foi manipulado e transformando-se esferas em cilindros de várias dimensões. As amostras FL foram limpas antes de serem cortadas de modo a eliminar-se qualquer sujidade. Os ensaios foram realizados numa coluna de secção quadrada com 18 cm de lado e 110 cm de altura. Encheu-se a coluna com água destilada e mediu-se a sua temperatura à superfície e no fundo, 15 min antes e logo depois de cada ensaio. Os valores de densidade e viscosidade cinemática da água foram obtidos tendo em conta a temperatura. As amostras foram mergulhadas até 1 cm de profundidade e soltas aí, de modo a evitar a tensão superficial. Afundaram mais 10 cm de profundidade onde atingiram a velocidade de sedimentação final e iniciou-se a cronometragem. Após a partícula percorrer 87 cm e estar a 10 cm do fundo da coluna, terminou-se a cronometragem. A velocidade de sedimentação final foi obtida pela divisão entre a distância percorrida e o intervalo de tempo necessário para a percorrer.

Após os ensaios, os resultados laboratoriais foram comparados com resultados teóricos. Para tal escolheram-se fórmulas semi-empíricas para esferas perfeitas e partículas de sedimentos naturais para comparar com os valores obtidos pelas amostras de PCL, tendo em conta que o fluxo pertencia ao regime de transição. Estas amostras eram isométricas com $L/D=1$, ao contrário das amostras FL com $L/D>1$.

A velocidade de sedimentação, w_s , (mm/s) sendo conhecida como velocidade de movimento uniforme, ou seja, para partículas pequenas, o seu valor é atingido quando a força de arrasto hidrodinâmica está equilibrada com as forças gravíticas, tendo em conta que não existem mais forças verticais a exercer a sua força na partícula. Pode ser descrita teoricamente pela Equação 3:

$$\frac{1}{2} C_D \rho S w_s^2 = (\rho_s - \rho) g V \quad \text{Equação 3}$$

onde C_D é o coeficiente de arrasto, ρ e ρ_s as densidades do fluido e da partícula (kg/m^3), S a área projetada (m^2), V o volume da partícula (m^3) e g a aceleração gravítica (m/s^2).

O coeficiente de arrasto C_D também depende do número de Reynolds, Re , e a sua relação é obtida pela seguinte equação:

$$Re = \frac{w_s d}{\nu} \quad \text{Equação 4}$$

onde d é a escala de comprimento característico da partícula (mm) e ν a viscosidade cinemática (mm^2/s). Considerou-se o regime do fluxo de transição ($1 < Re < 10^3$) o mesmo considerado no mar.

Considerando o regime transitório para o cálculo da velocidade de sedimentação, na Equação 5 relacionou-se o regime laminar, primeiro termo, com o regime turbulento, segundo termo, onde C_1 e C_t são coeficientes de calibração (mm^{-1}).

$$w_s = \frac{C_1 g' d^2}{\nu} + C_t \sqrt{g' d} \quad \text{Equação 5}$$

Para amostras longas e cilíndricas, como as FL, Khatmullina e Isachenko [14] desenvolveram a Equação 5 realizando aproximações presentes na literatura e pela derivação da função baseada na dependência linear de $C_D Re_L$ com o comprimento L (mm) da amostra. Obtiveram-se assim a Equação 6 e a Equação 7:

$$C_D = \frac{\pi}{2} \frac{1}{w_s^2} g' D \quad \text{Equação 6}$$

$$w_s = \left(\frac{\pi}{2} \frac{1}{C_D} g' D \right)^{1/2} \quad \text{Equação 7}$$

Apesar de experimentalmente a velocidade de sedimentação depender de L, na Equação 7 essa relação não é explícita, o que acontece é que w_s é uma função de Re e para FL a escala de comprimento característico é L. w_s da Equação 6 e C_D da Equação 7 correspondem a funções implícitas de comprimento. Para além disso, a análise dos dados experimentais sugeriu que $C_D Re_L$ dependia linearmente de L, resultando na Equação 8 e consequentemente na Equação 9.

$$C_D Re_L = c_1 L + c_2 \quad \text{Equação 8}$$

$$w_s = \frac{\pi}{2} \frac{1}{\nu} g' \frac{DL}{c_1 L + c_2} \quad \text{Equação 9}$$

Após o cálculo de Re foi confirmado que todas as amostras cumpriam a condição de regime transitório de $1 < Re < 10^3$.

Foi calculado o parâmetro $C_D Re_L$ através das velocidades de sedimentação obtidas para cada conjunto de diâmetros de FL e obteve-se os coeficientes de calibração c_1 e c_2 (mm^{-1}) pelo algoritmo de mínimos quadrados. Por fim, foi calculada a regressão linear com todas as observações, o que resultou em c_1 e c_2 iguais a 55,238 e 12,691 mm^{-1} , respetivamente. Na Figura 3 apresenta-se o gráfico correspondente a esta regressão.

Ao longo dos ensaios verificaram-se comportamentos diversos das amostras. Os cilindros de PCL efetuaram movimentos de rotação e nem sempre fizeram uma trajetória retilínea, ao contrário das esferas. As amostras FL moveram-se com o seu eixo na horizontal. Algumas destas amostras estavam arqueadas e verificou-se que o lado convexo ficou virado para cima durante a sua sedimentação e por vezes originou alguma rotação. No entanto, estas curvaturas foram insignificantes para os cálculos realizados.

A velocidade de sedimentação das amostras FL não coincide com as curvas semi-empíricas das amostras esféricas e cilíndricas PCL. Observou-se que as velocidades obtidas pelas amostras FL dependeram da variação dos seus diâmetros, originando valores distintos. Tendo em conta os valores de c_1 e c_2 obtidos e comparando a Equação 9 resultante com as

equações obtidas por outros autores, os autores deste trabalho fizeram uma boa aproximação. Na Figura 4 estão representados por círculos os dados de velocidade de sedimentação obtidos experimentalmente. As curvas sólidas e coloridas correspondem à aplicação da Equação 9 ajustada a cada diâmetro, enquanto as linhas ponto-traço pretas correspondem à Equação 9 ajustada à totalidade das observações.

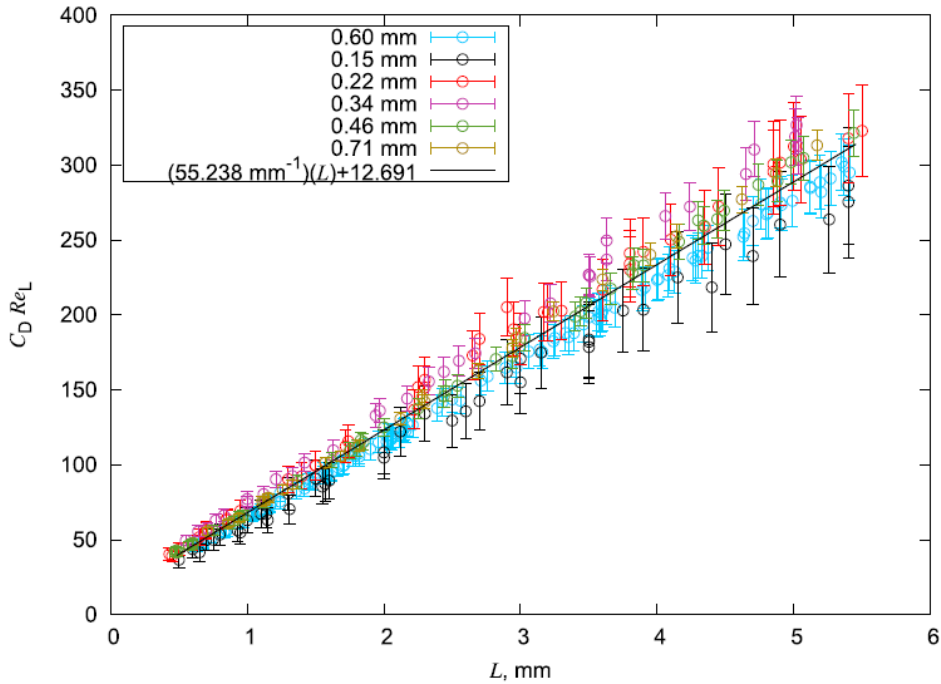


Figura 3 - A dependência do produto $C_D Re_L$ para cortes FL em seu comprimento [14].

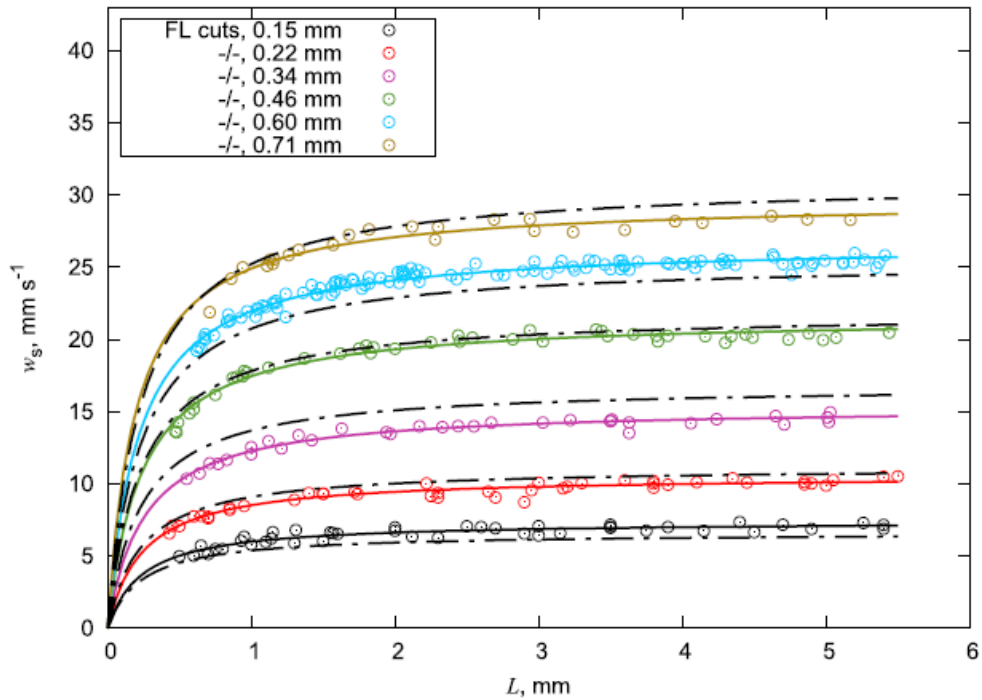


Figura 4 - Velocidade de sedimentação de cortes FL de diferentes diâmetros e as aproximações propostas [14].

Neste estudo observou-se que a velocidade de sedimentação dependeu do tamanho e forma da partícula e o efeito da forma foi mais evidente em amostras maiores. As imperfeições das amostras, como textura ou deformação, podem alterar o comportamento e consequentemente a velocidade de sedimentação destas.

3. Métodos Experimentais

O trabalho laboratorial desenvolvido na presente dissertação teve como objetivo estudar o comportamento de microplásticos em meio aquático, tendo sido considerado o seu movimento de sedimentação em águas com diferentes condições de salinidade e temperatura. Assim sendo, selecionou-se um grupo de variadas amostras de plástico, que foram submetidas ao processo de sedimentação através da imersão numa coluna de água.

3.1. Seleção e caracterização inicial das amostras

Para este estudo selecionaram-se diferentes amostras compostas por fragmentos de fio de nylon, popularmente conhecido por fio de pesca, e filtros de diferentes tipologias de cigarros. Apesar destes últimos apresentarem dimensões superiores a 5 mm, dimensão máxima de um microplástico, optou-se por incluí-las no presente estudo devido à presença de elevadas quantidades destes elementos em meio aquático atualmente.

Tirando partido da naturalidade açoriana da autora da dissertação, natural da ilha de São Miguel, optou-se por recolher vestígios de fio de nylon nos detritos do local de fabrico de redes de pesca artesanais, em Ponta Delgada. Em meio laboratorial mediu-se a espessura dos fios com uma régua e verificou-se que tinham três espessuras distintas. Mesmo esta medição não tenha sido exata, foi importante para se poder separar os fios numa primeira fase. Procedeu-se à sua limpeza com álcool e ao corte em pequenos fragmentos de aproximadamente 5 mm de comprimento. Efetuaram-se marcações numa tábua de corte com as dimensões pretendidas e procedeu-se ao corte com recurso a x-ato. Sendo este um processo manual, sem recorrer a máquinas de corte calibradas, os fragmentos apresentaram ligeiras diferenças de comprimento. Para se conhecer as dimensões exatas de cada amostra e ser possível calcular um valor médio, recorreu-se ao *software* do microscópio DinoCapture 2.0 e mediram-se 60 unidades de cada tipo, denominadas amostras **E** (Anexo I). As amostras do tipo E foram divididas em três grupos: amostras **E1** (Figura 5 – esquerda), correspondentes a fragmentos com 1,0 mm de espessura e 5,3 mm de comprimento médio; amostras **E2** (Figura 5 – centro), com 2,2 mm de espessura e 5,4 mm de comprimento médio; amostras **E3** (Figura 5 – direita), com 2,6 mm de espessura e 5,0 mm de comprimento médio.



Figura 5 - Amostras E1, E2, e E3

A análise do comportamento dos filtros de cigarro teve em conta filtros de 2 cigarros distintos: os filtros dos cigarros aquecidos da marca IQOS, por serem cada vez mais populares e, conseqüentemente, já serem encontrados em algumas praias e os filtros de cigarros tradicionais da marca açoriana Boa Viagem. O cigarro aquecido, Figura 6, é composto por uma boquilha de acetato [11], a que se denominou por **F1**, um filtro filme de ácido poliláctico, que é um bioplástico [12], **F2**, e um tubo oco de acetato [11], **F3**. O cigarro Boa Viagem é composto por apenas um filtro de acetato de celulose [12], **F4**, Figura 6. Tal como as amostras E, as dimensões das amostras F foram conhecidas por meio do *software* do microscópio DinoCapture 2.0, mas apenas se mediram uma unidade da amostra F2 e duas unidades das restantes amostras Anexo I. As amostras F1 têm 7,5 mm de espessura e 7,8 mm de comprimento médio, as amostras F2 têm 6,7 mm de espessura e 17,8 mm de comprimento médio; as amostras F3 têm 7,5 mm de espessura onde se localiza um orifício com 3,0 mm de diâmetro e 8,7 mm de comprimento médio; as amostras F4 têm 8,4 mm de espessura e 31,1 mm de comprimento médio.

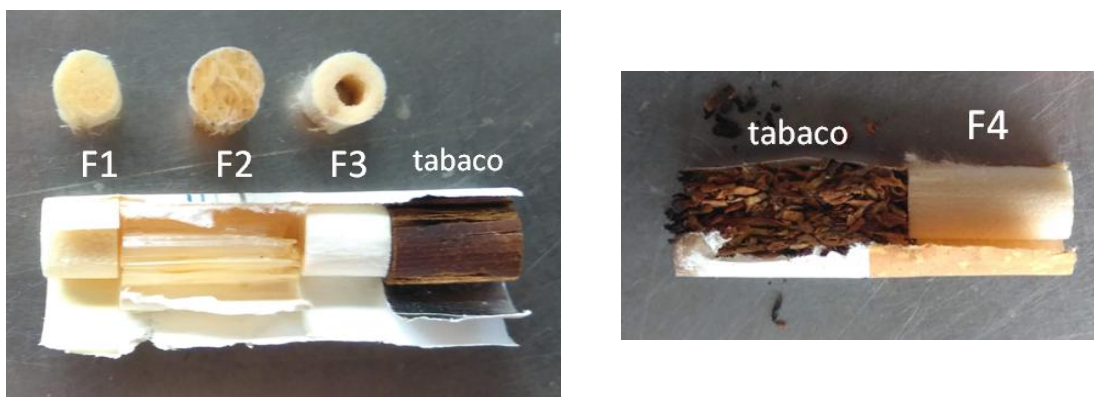


Figura 6 - Beata de cigarro aquecido IQOS (esquerda); Beata de cigarro Boa Viagem (direita) (F1 – boquilha de acetato; F2 - filtro filme de ácido poliláctico; F3 – filtro oco de acetato; F4 - filtro de acetato de celulose)

Na Tabela 1 é apresentado um resumo da denominação de cada tipo de amostra, descrição, material e dimensões das médias das unidades utilizadas na companhia experimental.

As densidades das amostras de nylon foram obtidas através Equação 10. Determinou-se a massa pela pesagem de fragmentos E1, E2 e E3, cortados não uniformemente, numa balança analítica. Não se utilizaram as amostras cortadas para os ensaios anteriormente, por serem demasiado pequenas e em pouca quantidade, podendo resultar em valores de densidade pouco fiáveis. Para a contabilização do volume, utilizaram-se provetas de 5 ml com as amostras E1, e 50 ml com as amostras E2 e E3, pois a primeira proveta era demasiado pequena para as amostras de maiores dimensões. Na proveta de 5 ml colocou-se 2 ml de água e de seguida as amostras E1. Era importante que estas ficassem completamente submersas. A água subiu 1,5 ml, correspondentes ao volume das amostras. Procedeu-se ao mesmo procedimento com as amostras E2 e E3 obtendo-se 1,9 ml e 2 ml, respetivamente.

Tabela 1 – Características das amostras utilizadas nos ensaios

Amostra	Descrição	Material	Dimensão
E1	Fragmento de fio de pesca com 1,0 mm de espessura	Nylon	D = 1,0 mm L = 5,3 mm
E2	Fragmento de fio de pesca com 2,2 mm de espessura	Nylon	D = 2,2 mm L = 5,4 mm
E3	Fragmento de fio de pesca com 2,6 mm de espessura	Nylon	D = 2,6 mm L = 5,0 mm
F1	Filtro do cigarro aquecido IQOS – Boquilha (Figura 6, parte a)	Acetato [1]	D = 7,5 mm L = 7,8 mm
F2	Filtro do cigarro aquecido IQOS – Bioplástico (Figura 6, parte b)	Filme de polímero [1]	D = 6,7 mm L = 17,8 mm
F3	Filtro do cigarro aquecido IQOS – Tubo oco (Figura 6, parte c)	Acetato [1]	D = 7,5 mm L = 8,7 mm
F4	Filtro cigarro Boa Viagem	Acetato de celulose [1]	D = 8,4 mm L = 31,1 mm

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \text{Equação 10}$$

Os valores de densidades obtidos pela Equação 10, onde ρ é a densidade da amostra (kg/m^3), M a massa da amostra (kg) e V o volume da amostra (m^3), foram compilados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores obtidos no cálculo da densidade das amostras de nylon.

Amostra	Massa (g)	Volume (ml)	Densidade (kg/m^3)
E1	1,8911	1,5	1260,7
E2	2,1170	1,9	1114,2
E3	2,1809	2,0	1090,5

Não se procedeu à determinação das densidades das amostras F, pois quando colocadas em água permaneceram à superfície, como será demonstrado posteriormente, significando assim que são menos densas que a água.

3.2. Preparação das amostras para submersão

De forma a evitar a realização de ensaios apenas em amostras limpas em laboratório, foram imersas amostras na água da Doca de Alcântara, em Lisboa, onde ficaram expostas às condições ambientais naturais durante um ano e quatro meses, entre fevereiro de 2020 e junho de 2021, permitindo a criação de uma camada de biofilme em toda a sua superfície. Colocaram-se 60 unidades de cada tipo de amostra, previamente pesadas numa balança analítica e colocadas separadamente no interior de meias de licra, como ilustra a Figura 7, de modo a facilitar a sua identificação e separação após o período de exposição. Por sua vez, as meias foram colocadas num saco de rede, o qual se encontrava preso a um peso de modo a garantir a sua submersão durante todo o período de exposição.

Tabela 3 – Massa das amostras antes de serem colocadas na água da Doca de Alcântara

Amostras	N (unidades)	Massa total (g)	Massa média (g)
E1	60	0,2155	0,0036
E2	60	1,0381	0,0173
E3	60	1,7549	0,0292
F1	60	2,6385	0,0440
F2	60	16,2389	0,2706
F3	60	4,1468	0,0691
F4	60	6,7147	0,1119

O número de amostras de cada tipo teve em conta o número suficiente para se proceder à realização de dois ensaios, cada um com 30 unidades.



Figura 7 - Meias de licra com amostras no seu interior, prontas para serem colocadas no saco de rede e enviadas para a Doca de Alcântara (esquerda); Amostra E3 no interior da meia de licra (direita)

Durante a recolha e manuseamento das amostras, verificou-se que a quantidade de organismos agarrados ao saco de rede era elevada, conforme se observa na Figura 8 – ao centro. Transportou-se o saco para o laboratório e aí iniciou-se a análise do estado das amostras, (Figura 8 – à direita):



Figura 8 – Recolha das amostras na Doca de Alcântara, em Lisboa, (esquerda e meio) e meias de licra com as amostras dentro, no laboratório (direita).

As amostras que permaneceram submersas passaram a ter outra denominação, por terem sofrido alterações físicas. Passou-se a denominar as amostras E1, E2 e E3 por E1_b, E2_b e E3_b, respetivamente e as amostras F1, F2, F3 e F4 por F1_b, F2_b, F3_b e F4_b, respetivamente.

3.3. Coluna de água

Uma das partes fundamentais do trabalho experimental foi a seleção da coluna de água. Seria importante que a mesma fosse transparente e estanque de forma a manter a água no seu interior, tendo também as dimensões da coluna a capacidade de permitir que o atrito das suas paredes não influenciasse a sedimentação das partículas. Inicialmente considerou-se recorrer a uma coluna cilíndrica, mas afastou-se a ideia por não ser onerosamente favorável. Assim, tendo como base o trabalho de Khatmullina e Isachenko [12], determinou-se que a coluna seria em acrílico translúcido, com uma secção transversal quadrada de 20 cm e 70 cm de altura.

Encheu-se a coluna com água quase até à sua capacidade máxima, até perfazer 69 cm de altura. Em seguida, procedeu-se à marcação de algumas marcas de referência na parede da frente da coluna, de forma a se conseguir avaliar os movimentos das amostras.

As amostras foram completamente imersas a 1 cm de profundidade, tendo sido libertadas a essa profundidade. A cronometragem do tempo de sedimentação da amostra iniciou-se a 10 cm de profundidade, no ponto **M_1** (Figura 9), em que se considera que a amostra alcança a sua velocidade final de sedimentação. A amostra foi cronometrada ao longo de 49 cm enquanto se sedimentava, até ao ponto **M_2**, Figura 9, a 10 cm do fundo, para que esta distância não interferisse na velocidade de sedimentação.

O volume de água na coluna de água para a realização dos ensaios foi de 27,6 l.

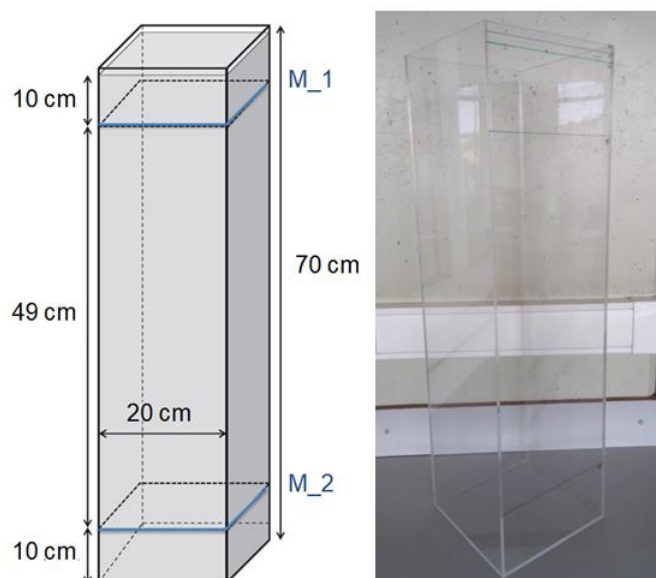


Figura 9 - Esquema da coluna de água com as suas medidas e marcações das linhas de início e fim da cronometragem do movimento de sedimentação das amostras

3.4. Ambientes de exposição

Uma vez que este trabalho teve como objetivo principal a análise do comportamento dos microplásticos em diferentes meios aquáticos, expôs-se as amostras a ambientes com temperaturas e salinidades variados. No total foram testados 7 ambientes distintos, cujas características principais se apresentam na Tabela 5.

Tendo em conta que a salinidade do Oceano Atlântico é de aproximadamente 36 ppt [16] e havendo a necessidade de monitorizar o comportamento das amostras para diferentes salinidades típicas de situações de estuários, foram selecionadas salinidades de 0, 15, 25 e 36 ppt. Estas foram obtidas através da junção de água da rede pública e sal de cozinha comum.

Tendo em conta que se pretendia encher a coluna com 27,6 l de água e que a densidade da água é de aproximadamente 1000 kg/m^3 , determinou-se as quantidades de sal teóricas necessárias para 27500 g de água que se apresentam na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantidade de sal a colocar em 27,6 l de água da torneira para atingir as salinidades de 0, 15, 25 e 36 ppt.

Salinidade pretendida (ppt)	Quantidade de água (g)	Quantidade de sal necessária (g)
0	27600	0
15	27600	414
25	27600	690
36	27600	993,6

O valor da salinidade final da água foi obtido experimentalmente, tendo sido necessário avaliar a salinidade real da água antes de iniciar os ensaios. Para tal, efetuou-se a medição da temperatura e da condutividade elétrica através de uma sonda de condutividade (sension da marca hach). Com estes dois dados, obtiveram-se as salinidades finais presentes na Tabela 5 [15].

Para além da análise do comportamento das amostras a ambientes de exposição com diferentes salinidades, submeteu-se as amostras a um ambiente com uma elevada variação de temperatura, tendo-se colocado a água em garrações, que após permanecerem no frigorífico cerca de 24h, atingiram temperatura de 5°C .

Por último, recolheu-se uma amostra de água na Doca de Alcântara, no estuário do rio Tejo, em Lisboa, para se obter um ambiente de exposição, representativo de um estuário.

Mediram-se as salinidades de todos os ambientes de exposição de igual forma, apresentando-se os resultados na Tabela 5. Ainda que se tenham medido as temperaturas numa primeira fase para a obtenção dessas salinidades, decidiu-se efetuar novas medições, posteriormente, imediatamente antes e depois dos ensaios de modo a avaliar qualquer alteração.

Tabela 5 – Compilação das características dos ambientes de exposição a que as amostras foram sujeitas

Ambiente de exposição	Descrição	Salinidade pretendida (ppt)	Condutividade elétrica ($\mu\text{m/cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Salinidade Real (ppt)
A_0 (1)	Água da rede pública sem adição de sal	0,0	198,2	16,0	0,0
A_0 (2)	Água da rede pública sem adição de sal	0,0	234,7	19,0	0,0
A_15	Água da rede pública com adição de sal (salinidade de 15 ppt)	15,0	23000,0	23,5	14,5
A_25	Água da rede pública com adição de sal (salinidade de 25 ppt)	25,0	41200,0	23,0	27,6
A_36	Água da rede pública com adição de sal (salinidade de 36 ppt)	36,0	56410,0	22,7	40,1
A_F	Água da rede pública sem adição de sal, colocada no frigorífico durante aproximadamente 24h	0,0	155,0	7,2	0,0
A_R	Água do rio Tejo, obtida na Doca de Alcântara	-	43300,0	30,5	25,1

As densidades dos ambientes de exposição foram calculadas por pesagem de uma amostra de água de volume conhecido. Com o auxílio de uma pipeta de 25 ml, recolheu-se e pesou-se esse volume de solução de cada um dos ambientes. Os resultados encontram-se expostos na Tabela 6. Apesar de se terem efetuado ensaios distintos com os ambientes de exposição A_0 (1) e A_0 (2), calculou-se a densidade apenas para o primeiro ambiente e admitiu-se o mesmo valor para o segundo dada a reduzida diferença de temperatura entre eles. O ambiente de exposição A_R não teve a sua densidade calculada experimentalmente, optando-se assim, por calculá-la através de uma interpolação entre os valores das densidades e salinidades de A_15 e A_25, uma vez que A_R tinha 30,5 ppt de salinidade.

Tabela 6 - Densidades dos diferentes ambientes de exposição a que as amostras foram expostas

Ambientes de exposição	Massa (g)	Volume (ml)	Densidade (kg/m^3)
A_0	24,9714	25,0	998,9
A_15	25,1570	25,0	1006,3
A_25	25,3549	25,0	1014,2
A_36	25,5114	25,0	1020,5
A_F	25,0193	25,0	1000,8
A_R	-	-	1015,8

3.5. Comportamento das amostras na água

Com o intuito de se alcançar uma maior compreensão do comportamento de cada amostra dentro de água, e antes do início dos ensaios de sedimentação, realizaram-se algumas experiências que consistiam na necessidade de se verificar a ocorrência ou não de sedimentação, independentemente de estarem secas ou molhadas.

Inicialmente, começou-se por mergulhar em água algumas amostras secas de cada tipo. Em relação às amostras de nylon, E1, E2 e E3, notou-se que algumas acabavam por sedimentar, mas a maioria voltava à superfície e, quando sedimentavam, por vezes ficavam com bolhas de ar agarradas a si. As restantes amostras, F1, F2, F3 e F4, voltavam à superfície assim quem eram soltas.

Em seguida, colocaram-se E1, E2 e E3 em caixas de petri com água e foram-se mergulhando as amostras que ficaram a flutuar, uma a uma por alguns segundos, com o auxílio de uma pinça, até se verificar que não voltavam à superfície. Em copos com água colocaram-se as amostras F1, F2, F3 e F4 e procedeu-se de igual modo, observando-se que todas as amostras voltavam à superfície, tornando-se num insucesso. Estas amostras, à exceção da F2, eram de acetato, o que significa que se comportavam como esponjas, ou seja, para que ocorra sedimentação primeiro tinham que ficar completamente embebidas. Conseguiu-se fazer isso com as amostras F3, uma a uma, mergulhando em água e apertando ligeiramente algumas vezes com recurso à pinça ou mesmo com o auxílio das mãos. Realizou-se o mesmo processo com as F1 onde, maioritariamente, se atingiram os resultados pretendidos. Já o desempenho das amostras F4 não foi tão positivo. Assim, as amostras F4 e as restantes amostras F1 foram deixadas a flutuar em copos de água até sedimentarem, o que demorou apenas alguns dias no caso das F1, mas cerca de 3 semanas para as F4. As amostras F2, por serem constituídas por um material que apresentava elevada dureza, apresentaram resistência total ao embebedimento, por isso optou-se também por deixá-las a flutuar no copo de água até sedimentarem. Relativamente às outras amostras que ficaram nessas condições, o período para sedimentação foi mais elevado, cerca de 3 meses.

Para determinar qual o melhor posicionamento das amostras dentro de água, fizeram-se vários ensaios e verificou-se que, independentemente da posição em que as amostras eram colocadas dentro de água, estas voltavam sempre à posição horizontal. Optou-se assim por colocá-las sempre na horizontal.

3.6. Ensaios laboratoriais

Previamente, encheu-se a coluna de água e esperou-se cerca de 15 min antes de se iniciar os ensaios, de modo que a água permanecesse estática e o seu movimento ou o aparecimento de bolhas não influenciasse o movimento das amostras posteriormente. Uma vez que o estudo do transporte de microplásticos em meio aquático não se encontra muito avançado e de forma a simplificar o trabalho laboratorial, considerou-se a ausência de correntes, o oposto ao ocorrido no oceano e outros meios aquáticos.

Como referido no subcapítulo 3.4. Ambientes de exposição, para além da medição da temperatura aquando da determinação das salinidades de cada ambiente de exposição, a temperatura da água foi sempre medida à superfície, com um termómetro, antes e depois de cada ensaio, recolhendo-se assim a temperatura inicial (T_i) e a temperatura final (T_f) para o cálculo da temperatura média (T). Esta foi posteriormente, utilizada para a obtenção da viscosidade cinemática (ν) de cada ambiente de exposição através de [17]. Apesar dos ambientes de exposição terem salinidades distintas, para a obtenção de ν foi considerada desprezável a variação da salinidade.

A inserção das amostras na água foi realizada com o devido cuidado para que as forças de tensão superficiais da água e das paredes não exercessem a sua influência. Cada amostra foi colocada individualmente, com o auxílio de uma pinça, no centro da coluna de água e a aproximadamente 1 cm de profundidade. Após a amostra ser liberta, esperou-se que esta alcança-se a marca M_1 (Figura 9) e cronometrou-se o tempo de sedimentação até à marca M_2, com o cronómetro do telemóvel. Realizou-se este procedimento para, pelo menos, 30 unidades de cada tipo de amostra.

As amostras E1, E2 e E3 foram expostas aos seis ambientes, tendo sido as amostras analisadas mais vezes. O mesmo não foi possível com as amostras F1, F2, F3 e F4, devido à situação pandémica, que impossibilitou a frequência do laboratório, e à dificuldade em molhar as amostras. Não foi possível ir ao laboratório com a antecedência necessária para deixar as amostras em água, sempre que se realizaram ensaios. A Tabela 7 sintetiza os ambientes a que cada uma das amostras foi exposta.

Tabela 7 - Ambientes a que cada tipo de amostra foi exposto.

Amostra	A_0	A_15	A_25	A_36	A_F	A_R
E1	x	x	x	x	x	x
E2	x	x	x	x	x	x
E3	x	x	x	x	x	x
F1	x	x	x		x	
F2	x					
F3	x	x	x		x	
F4	x	x	x		x	
E1_b	x					x
E2_b	x					x
E3_b	x					x
F1_b	x					
F2_b	x					x
F3_b	x					

As amostras E1_b, E2_b, E3_b e F2_b foram mergulhadas em A_0, o ambiente a que todas as outras amostras foram expostas, e em A_R de modo a se analisar o seu comportamento no ambiente mais próximo do real, de entre os estudados. Como F1_b e F3_b se encontravam muito danificadas, apenas se conseguiram amostras suficientes para um

ensaio, escolhendo-se o ambiente A_0, Tabela 7. Aquando do manuseamento destas amostras, embora se tenha tido a maior precaução possível, ocorreu sempre a perda de algum biofilme, particularmente quando se extraiu as amostras da coluna de água já utilizadas em ensaio. Por estas amostras serem tão frágeis só puderam ser utilizadas uma vez, ao contrário das amostras E e F, onde o manuseamento ilimitado foi permitido.

3.7. Fórmulas empíricas

Após a realização dos ensaios experimentais, onde se obtiveram as características e tempos de sedimentação das amostras em estudo e propriedades dos ambientes de exposição a que essas amostras foram sujeitas, foi possível determinar as velocidades médias absolutas e adimensionais de sedimentação de cada amostra.

As velocidades médias absolutas de sedimentação, v , (mm/s) foram obtidas através da Equação 11, onde d é a distância percorrida pela amostra (490 mm) e t , o tempo de sedimentação (s), dependente de cada amostra e respetivo ambiente de exposição. Esta velocidade foi calculada para todas as amostras, incluindo as que permaneceram por 1 ano submersas na Doca de Alcântara.

$$v = \frac{d}{t} \quad \text{Equação 11}$$

Após o cálculo das velocidades médias absolutas, procedeu-se ao cálculo das velocidades de sedimentação teóricas e adimensionais, através das fórmulas empíricas apresentadas por [14]. Nesta fase, foi necessário determinar a densidade das amostras para o cálculo de algumas variáveis. Como referido no capítulo anterior, apenas foi possível determinar os valores para as amostras E1, E2 e E3, já que foi impossível obter as densidades das restantes amostras.

Pela Equação 12 determinou-se o diâmetro nominal, D_n (mm), correspondente a uma esfera que teria o mesmo volume de cada amostra, sendo L , o comprimento da amostra (mm) e D , o diâmetro (ou espessura) da amostra (mm).

$$D_n = \sqrt[3]{\frac{3}{2}LD^2} \quad \text{Equação 12}$$

A aceleração gravítica reduzida, g' (m/s^2), foi determinada através da Equação 13, sendo g , a aceleração gravítica (m/s^2), ρ_s a densidade da amostra (kg/m^3) e ρ a densidade do ambiente de exposição (kg/m^3).

$$g' = \frac{g(\rho_s - \rho)}{\rho} \quad \text{Equação 13}$$

Através da Equação 9 determinou-se a velocidade de sedimentação teórica w_s (mm/s), onde se determinou que os valores das constantes c_1 e c_2 seriam os obtidos e usados por [14], ou seja, $c_1 = 55,238 \text{ mm}^{-1}$ e $c_2 = 12,691 \text{ mm}^{-1}$. Foram utilizados estes valores porque, ao contrário de [14], no âmbito deste trabalho experimental não foi analisado um número

suficientemente elevado de amostras que permitissem determinar experimentalmente as constantes c_1 e c_2 (mm^{-1}) para uma gama de valores de D (mm) relevante.

$$w_s = \frac{\pi}{2} \frac{1}{v} g' \frac{DL}{55,238L + 12,691} \quad \text{Equação 14}$$

O número de Reynolds Re_L foi calculado para se verificar que o regime do fluxo na vizinhança das amostras era de transição, o mesmo das amostras de [14]. Esta verificação foi importante, pois [14] calculou c_1 e c_2 tendo em conta que o regime de fluxo era o de transição, em que $1 < Re < 10^3$.

$$Re_L = \frac{w_s L}{v} \quad \text{Equação 15}$$

Confirmado o regime de fluxo, calculou-se o coeficiente de arrasto C_D com o intuito de se verificar que os nossos valores estariam na mesma ordem de grandeza dos de [14].

$$C_D = \frac{\pi}{2} \frac{1}{w_s^2} g' D \quad \text{Equação 16}$$

Por último calcularam-se a velocidade adimensional, W_* , Equação 17, e o diâmetro adimensional D_* , Equação 18.

$$W_* = \frac{w_s^3}{g' v} \quad \text{Equação 17}$$

$$D_* = \frac{g' D_n^3}{v^2} \quad \text{Equação 18}$$

Na Tabela 8 são apresentados os valores de L/D , D_n (mm) e ρ_s (kg/m^3) obtidos para as amostras E1, E2, E3, F1, F2, F3 e F4, indispensáveis na análise de resultados que se apresentará no próximo capítulo.

Tabela 8 - Dimensões das amostras

Variáveis	E1	E2	E3	F1	F2	F3	F4
D (mm)	1,0	2,2	2,6	7,5	6,7	7,5	8,4
L(mm)	5,3	5,4	5,0	7,8	17,8	8,7	31,1
L/D	5,1	2,5	1,9	1,1	2,7	1,2	3,7
D_n (mm)	2,1	3,4	3,7	8,7	10,6	9,0	14,9
ρ_s (kg/m^3)	1260,7	1114,2	1090,5	-	-	-	-

4. Análise e discussão de resultados

4.1. Caracterização das amostras submersas

As amostras E_b e F_b submersas na Doca de Alcântara sofreram várias alterações nas suas características. O nylon das amostras do tipo E1_b, E2_B e E3_b manteve-se intacto, como era esperado, e com uma camada de biofilme, como se pode observar na Figura 10.



Figura 10 - Amostras E1_b (esquerda), E2_b (meio), E3_b (direita)

As dimensões das amostras F1_b sofreram uma redução significativa, como se pode observar na Figura 11. As amostras F3_b apresentaram um estado de degradação avançado, embora algumas tenham conseguido manter a sua forma original, observou-se alteração da secção tubular para secção aberta na Figura 12. Em ambas as amostras surgiu uma camada de biofilme.



Figura 11 - Amostras F1_b

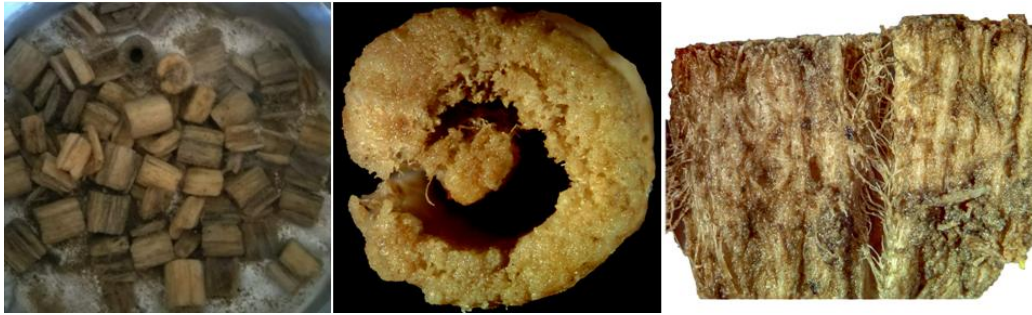


Figura 12 - Amostras F3_b

Tendo em conta o tempo de permanência das amostras submersas no rio Tejo, esperava-se que as amostras F2_b, por serem de bioplástico, apresentassem alguma danificação. Contudo, verificou-se o oposto e, tal como as amostras de nylon, apenas criou-se uma camada de biofilme, Figura 13.

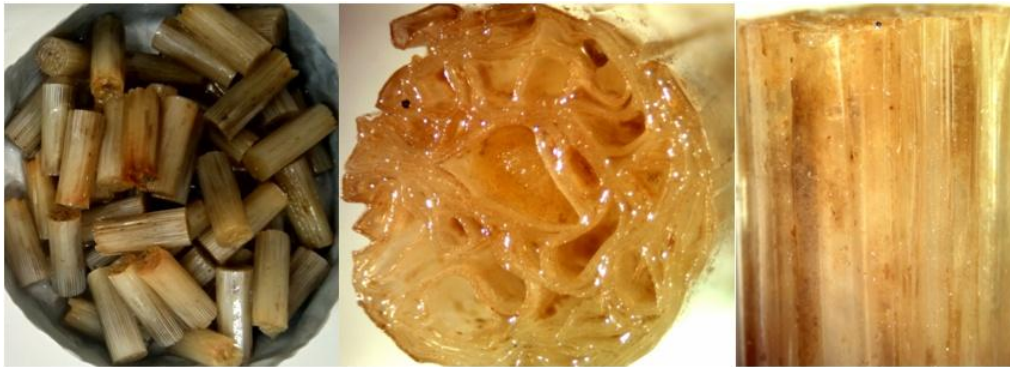


Figura 13 - Amostras F2_b

Apesar de se terem colocado 60 unidades de cada tipo de amostra, estas não se mantiveram na totalidade devido à sua degradação, amostras F1_b e F3_b, a possíveis fugas através de alguns orifícios que se formaram nas meias e no saco de rede, amostras E1_b, E2_b, E3_b e F2_b. Desta forma, tornou-se impossível realizar dois ensaios para cada tipo de amostra, cada um com 30 unidades, optando-se por passar a ter pelo menos 25 unidades.

As amostras F4_b foram as únicas amostras que, no final do período de exposição, se tinham degradado na totalidade, tendo-se dissolvido completamente na água, apesar de estas apresentarem maiores dimensões que as amostras F1 e F2 e de, à partida, serem do mesmo material.

4.2. Variação da velocidade média absoluta com a salinidade

Dos ensaios realizados resultaram os tempos médios de sedimentação apresentados na Tabela 9 e na Tabela 10, necessários para o cálculo da velocidade média absoluta de cada amostra, em cada ambiente de exposição. Os tempos médios de sedimentação foram calculados através da média dos tempos de sedimentação obtidos para cada unidade das diferentes amostras, Anexo II. Nas referidas tabelas estão presentes os valores das

temperaturas e viscosidade cinemática, que foram necessários para a determinação da velocidade de sedimentação teórica e da velocidade adimensional.

Tabela 9 – Tempos médios de sedimentação, temperaturas e viscosidade cinemática das amostras E1, E2, E3, F1, F2, F3 e F4, nos diferentes ambientes de exposição a que foram submetidas

Variáveis	A_0 (1)	A_0 (2)	A_F	A_15	A_25	A_36	A_R
E1							
T _i (°C)	16,0	19,0	5,0	16,0	17,0	17,0	21,0
T _f (°C)	16,0	19,0	6,0	16,0	17,0	17,0	21,0
T (°C)	16,0	19,0	5,5	16,0	17,0	17,0	21,0
v (mm ² /s)	1,1088	1,0272	1,4749	1,1088	1,0804	1,0804	0,9783
t (s)	13,97	13,59	15,14	14,97	15,48	16,42	15,25
E2							
T _i (°C)	16,0	19,0	6,0	16,0	17,0	17,0	21,0
T _f (°C)	16,0	19,0	7,0	16,0	17,0	17,0	21,0
T (°C)	16,0	19,0	6,5	16,0	17,0	17,0	21,0
v (mm ² /s)	1,1088	1,0272	1,4302	1,1088	1,0804	1,0804	0,9783
t (s)	7,37	7,26	7,85	7,82	8,15	8,52	8,07
E3							
T _i (°C)	16,0	19,0	6,0	16,0	17,0	17,0	21,0
T _f (°C)	16,0	19,0	7,0	16,0	17,0	17,0	21,0
T (°C)	16,0	19,0	6,5	16,0	17,0	17,0	21,0
v (mm ² /s)	1,1088	1,0272	1,4302	1,1088	1,0804	1,0804	0,9783
t (s)	6,02	6,05	6,13	6,32	6,64	6,93	6,72
F1							
T _i (°C)	16,0		7,0	16,0	17,0		
T _f (°C)	16,0		8,0	16,0	17,0		
T (°C)	16,0		7,5	16,0	17,0		
v (mm ² /s)	1,1088		1,3876	1,1088	1,0804		
t (s)	7,99		7,61	8,84	9,45		
F2							
T _i (°C)	16,0						
T _f (°C)	16,0						
T (°C)	16,0						
v (mm ² /s)	1,1088						
t (s)	6,38						
F3							
T _i (°C)	16,0	19,0	7,0	16,0	17,0		
T _f (°C)	16,0	19,0	7,0	16,0	17,0		
T (°C)	16,0	19,0	7,0	16,0	17,0		
v (mm ² /s)	1,1088	1,0272	1,4302	1,1088	1,0804		
t (s)	6,76	7,06	6,97	7,71	8,25		
F4							
T _i (°C)	16,0		8,0	16,0	17,0		
T _f (°C)	16,0		8,0	16,0	17,0		
T (°C)	16,0		8,0	16,0	17,0		
v (mm ² /s)	1,1088		1,3876	1,1088	1,0804		
t (s)	9,04		8,91	12,08	14,60		

Tabela 10 – Tempos médios de sedimentação, temperaturas e viscosidade cinemática das amostras E1_b, E2_b, E3_b, F1_b, F2_b e F3_b com biofilme nos diferentes ambientes de exposição a que foram submetidas

Variáveis	A_0 (1)	A_R
E1_b		
T _i (°C)	23	21
T _f (°C)	23	21
T (°C)	23	21
v (mm ² /s)	0,9333	0,9783
t (s)	14,663	17,0984
E2_b		
T _i (°C)	23	21
T _f (°C)	23	21
T (°C)	23	21
v (mm ² /s)	0,9333	0,9783
t (s)	7,8524	8,6964
E3_b		
T _i (°C)	23	21
T _f (°C)	23	21
T (°C)	23	21
v (mm ² /s)	0,9333	0,9783
t (s)	6,276	6,9584
F1_b		
T _i (°C)	23	
T _f (°C)	23	
T (°C)	23	
v (mm ² /s)	0,9333	
t (s)	8,3336	
F2_b		
T _i (°C)	23	21
T _f (°C)	23	21
T (°C)	23	21
v (mm ² /s)	0,9333	0,9783
t (s)	4,4909	5,0158
F3_b		
T _i (°C)	23	
T _f (°C)	23	
T (°C)	23	
v (mm ² /s)	0,9333	
t (s)	6,7209	

Após a realização de todos os ensaios, tornou-se possível calcular as velocidades médias de sedimentação correspondentes.

Na Tabela 11, com recurso à Equação 11, compilaram-se as velocidades médias absolutas de cada amostra para todos os ambientes de exposição, à exceção de A_F (água a 7°C), para que fosse possível comparar os valores obtidos, tendo em conta a variação de salinidade de cada ambiente de exposição.

Tabela 11 – Velocidade média absoluta (v) das amostras nos meios de exposição A_0, A_15, A_25, A_36 e A_R e respetivos valores de salinidade (S)

	A_0 (1)			A_0 (2)			A_15			
	N (partículas)	v (mm/s)	S (ppt)	N (partículas)	v (mm/s)	S (ppt)	N (partículas)	v (mm/s)	S (ppt)	
E1	39	35,07	0	40	36,06	0	30	32,73	15.7	
E2	29	66,45		40	67,53		30	62,63		
E3	35	81,35		40	80,94		30	77,53		
E1_b	-	-		27	33,42		-	-		
E2_b	-	-		25	62,40		-	-		
E3_b	-	-		25	78,08		-	-		
F1	23	61,36		-	-		30	55,45		
F2	37	76,84		-	-		-	-		
F3	33	72,54		40	69,38		30	63,54		
F4	18	54,20		-	-		30	40,56		
F1_b	-	-		25	58,80		-	-		
F2_b	-	-		23	109,11		-	-		
F3_b	-	-		23	72,91		-	-		
	A_25			A_36			A_R			
	N (partículas)	v (mm/s)	S (ppt)	N (partículas)	v (mm/s)	S (ppt)	N (partículas)	v (mm/s)	S (ppt)	
E1	30	31,65	27,2	30	29,84	39,9	30	32,13	30,5	
E2	30	60,10		30	57,48		30	60,71		
E3	30	73,84		30	70,74		30	72,96		
E1_b	-	-		-	-		25	28,66		
E2_b	-	-		-	-		25	56,35		
E3_b	-	-		-	-		25	70,42		
F1	30	51,88		-	-		-	-		
F2	-	-		-	-		-	-		
F3	30	59,41		-	-		-	-		
F4	30	33,56		-	-		-	-		
F1_b	-	-		-	-		-	-		
F2_b	-	-		-	-		-	26		97,69
F3_b	-	-		-	-		-	-		-

Na Figura 14 representou-se graficamente os valores de E1, E2, E3, E1_b, E2_b e E3_b presentes na Tabela 11 e na Figura 15 os valores de F1, F2, F3, F4, F1_b, F2_b e F3_b.

A velocidade média absoluta de todas as amostras **E** e **E_b** diminuiu com o aumento da salinidade dos ambientes de exposição criados em laboratório através da mistura da água da rede pública com sal de cozinha, como é visível na Figura 14. Em relação ao ambiente de exposição A_R, que tem uma salinidade de 30,5 ppt, superior a 27,2 ppt de A_25, não se observou o mesmo comportamento no caso das amostras E1 e E2, onde a velocidade A_25 é menor que em A_R (ver Figura 14).

A velocidade média absoluta de todas as amostras **F** e **F_b** diminuiu com o aumento da salinidade dos ambientes de exposição, repetindo o mesmo comportamento das restantes amostras (ver Figura 15).

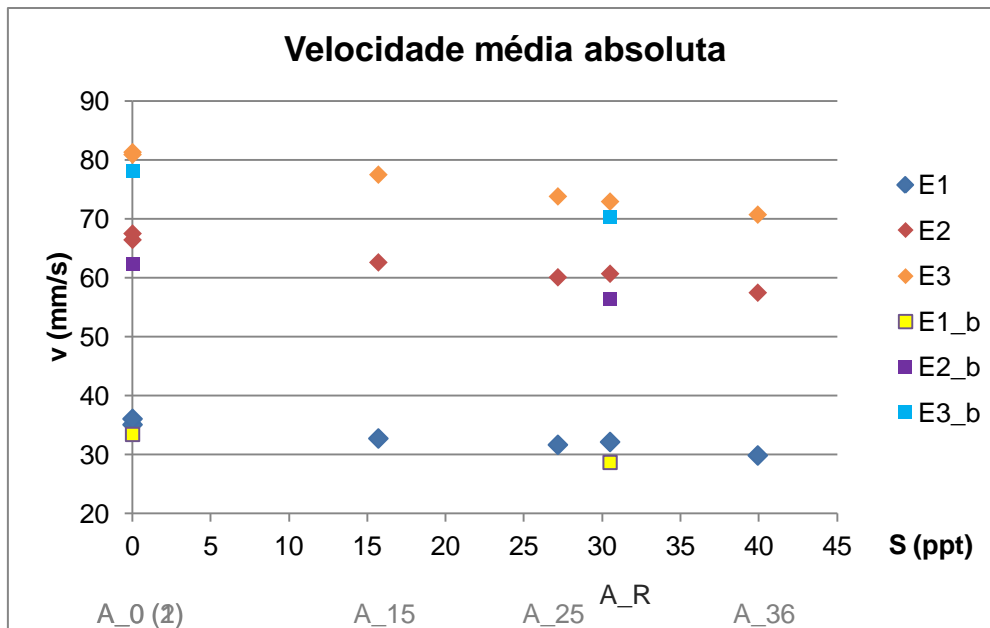


Figura 14 – Velocidade média absoluta, v , das amostras E1, E2, E3, E1_b, E2_b e E3_b para ambientes de exposição com salinidades, S , distintas

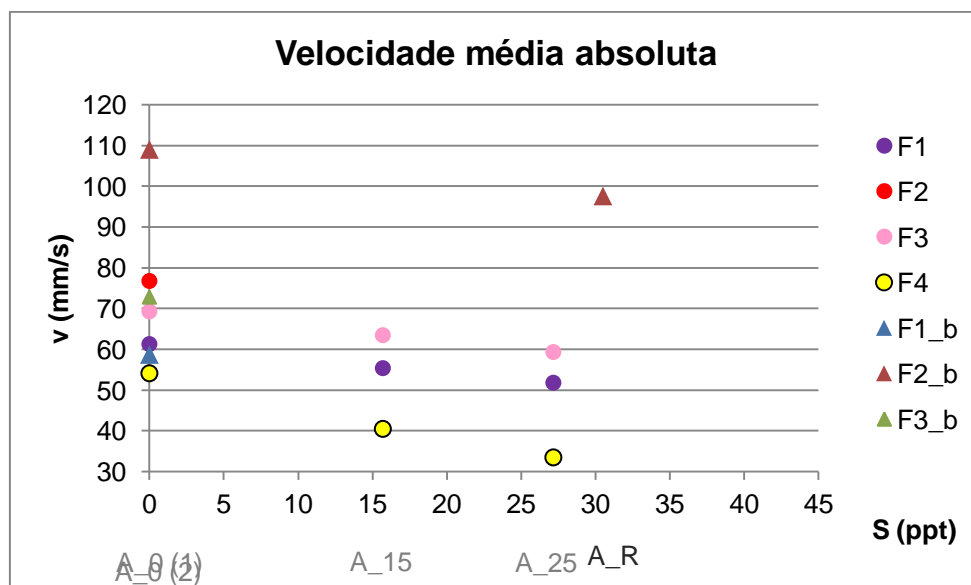


Figura 15 – Velocidade média absoluta, v , das amostras F1, F2, F3, F1_b, F2_b e F3_b para ambientes de exposição com salinidades, S , distintas

A diminuição das velocidades médias absolutas obtidas com o aumento da salinidade, levou-nos à mesma conclusão que [10] obteve. Em mar alto, a velocidade das nossas amostras irá diminuir com a profundidade devido ao aumento da salinidade da água.

Através da análise da Figura 14, observou-se que de entre as amostras E1, E2 e E3, num mesmo ambiente de exposição, ou seja, onde a salinidade se mantém constante, E1 apresentou a menor velocidade e E3 a maior. Todas as amostras apresentavam sensivelmente o mesmo comprimento, L , variando apenas o diâmetro, D . A fração L/D era mais próxima da unidade no caso de E3 (ver Tabela 8), o que não ocorreu nos restantes casos. Concluiu-se

também que quanto mais próximo de um cubo for a forma das amostras, $L \approx D$, maior será a sua velocidade.

A amostra E1, com $1260,73 \text{ kg/m}^3$ de densidade, apresentava uma densidade superior à amostra E3, com $1090,45 \text{ kg/m}^3$ (ver Tabela 8). Contudo, esta característica não foi determinante para que a velocidade de E1 fosse superior à de E3, em que na realidade observou-se exatamente o oposto. Assim, neste caso, a forma e dimensão da amostra (consequentemente a relação L/D) tiveram maior influência no comportamento das amostras em relação às suas densidades.

Mantendo a mesma salinidade, as velocidades médias absolutas de F1, F3 e F4 foram superiores à de E1, mas inferiores à de E3. Dado que todas as amostras F tinham densidades inferiores a todas as amostras E, justificado pelo facto das primeiras, ao contrário das segundas, quando colocadas em água e no seu estado seco, permaneceram à superfície, recaindo a análise dos seus valores de velocidades nas suas dimensões. Os valores da relação L/D, Tabela 8, de todas as amostras **F** encontram-se entre os valores de E1 e E3; logo, os valores das suas velocidades seguem a mesma relação.

A velocidade média absoluta das amostras **E** e **F** foram comparadas com as amostras **E_b** e **F_b**, respetivamente, para o ensaio laboratorial executado no ambiente de exposição A_0. Neste ensaio, a velocidades das amostras E1, E2 e E3 foram superiores às das amostras E1_b, E2_b e E3_b, respetivamente. As amostras E eram de nylon e tinham uma consistência maciça, com superfícies lisas (Figura 5), dando origem a uma superfície irregular após a formação do biofilme (Figura 10). Esta nova rugosidade superficial aumentou o atrito quando a amostra foi colocada na água, o que poderá ter estado na origem do aumento do tempo de sedimentação de cada amostra, como é verificado na Tabela 9 e na Tabela 10.

Os valores das massas de cada amostra (Tabela 12) foram analisados, mas não foi possível obter conclusões relevantes. As massas das amostras E1_b e E2_b aumentaram; contudo, a amostra E3_b manteve-se. Não foi possível contabilizar a variação de volume destas amostras devido à necessidade excessiva de manuseio que se verificou, o que foi danificando a camada de biofilme gradualmente. Não tendo sido possível obter os volumes das amostras, não foi possível calcular a sua densidade, o que poderia ter permitido a compreensão do comportamento das amostras referente à variação de velocidade.

Como é possível analisar na Figura 15, a velocidade média absoluta de F1 foi superior à de F1_b. Estas amostras diminuíram muito de tamanho enquanto estiveram expostas às condições de envelhecimento, o que pode explicar a diminuição da sua massa (Tabela 12). Devido à sua textura esponjosa, estas amostras absorveram alguma da matéria orgânica presente no meio de exposição e criou-se uma camada de biofilme (ver Figura 11).

A velocidade de F2 foi inferior à de F2_b, tendo sido uma diferença de $32,27 \text{ mm/s}$, valor muito superior à diferença verificada nas restantes amostras (Tabela 11). Tendo estas amostras vários orifícios na sua constituição, bem visível na Figura 13, a formação de biofilme

ocorreu não só nas superfícies externas, como ocorreu nas restantes amostras, como também nas superfícies internas dos orifícios. Este fator levou a um aumento de massa (Tabela 12) que pode ter originado um aumento da sua velocidade.

Tabela 12 – Massas das amostras antes e depois de serem imersas na Doca de Alcântara

	Inicial			Final		
	N (partículas)	Massa total (g)	Massa média unitária (g)	N (partículas)	Massa total (g)	Massa média unitária (g)
E1_b	60	0,2155	0,0036	52	0,5041	0,0097
E2_b	60	1,0381	0,0173	50	1,0107	0,0202
E3_b	60	1,7549	0,0292	50	1,4535	0,0291
F1_b	60	2,6385	0,0440	29	0,2221	0,0077
F2_b	60	16,2389	0,2706	49	29,0919	0,5937
F3_b	60	4,1468	0,0691	Indefinido	3,7558	Indefinido
F4_b	60	6,7147	0,1119	0	0	0

Por fim, a velocidade da amostra F3 foi inferior à de F3_b. O facto destas amostras terem sofrido elevada degradação da sua forma e dimensão, poderá ter sido o fator mais provável para F3_b ter manifestado uma velocidade superior (Tabela 9 e Tabela 10). Antes do envelhecimento, as amostras eram cilíndricas, com um orifício no meio, e após o envelhecimento eram maioritariamente abertas e com elevada degradação do seu material, como é visível na Figura 12.

4.3. Variação da velocidade média absoluta com a temperatura

Tal como foi feita a análise em relação à salinidade, analisou-se o comportamento das amostras tendo em atenção as variações de temperatura nos meios de exposição. Para tal, usaram-se os meios A_F, A_0 (1) e A_0 (2), por serem de água da rede pública, sem adição de sal. A única diferença recaiu sobre o fato de A_F apresentar uma temperatura muito inferior devido à sua permanência no frigorífico. Para esta análise, apenas foram tidas em consideração as amostras **E** e **F**, não tendo sido analisadas as amostras que permaneceram imersas na Doca de Alcântara, por não haver dados suficientes. Os valores para análise foram compilados na Tabela 13 e representados graficamente na Figura 16.

Tabela 13 – Velocidade média absoluta (v) das amostras nos meios de exposição A_0 e A_F e respetivos valores de temperatura (T)

	A_F			A_0 (1)			A_0 (2)		
	N (partículas)	v (mm/s)	T (°C)	N (partículas)	v (mm/s)	T (°C)	N (partículas)	v (mm/s)	T (°C)
E1	37	32,37	6	39	35,07	16	40	36,06	19
E2	39	62,44		29	66,45		40	67,53	
E3	39	79,94		35	81,35		40	80,94	
F1	36	64,40		23	61,36		-	-	
F3	39	70,29		33	72,54		40	69,38	
F4	39	55,00		18	54,20		-	-	

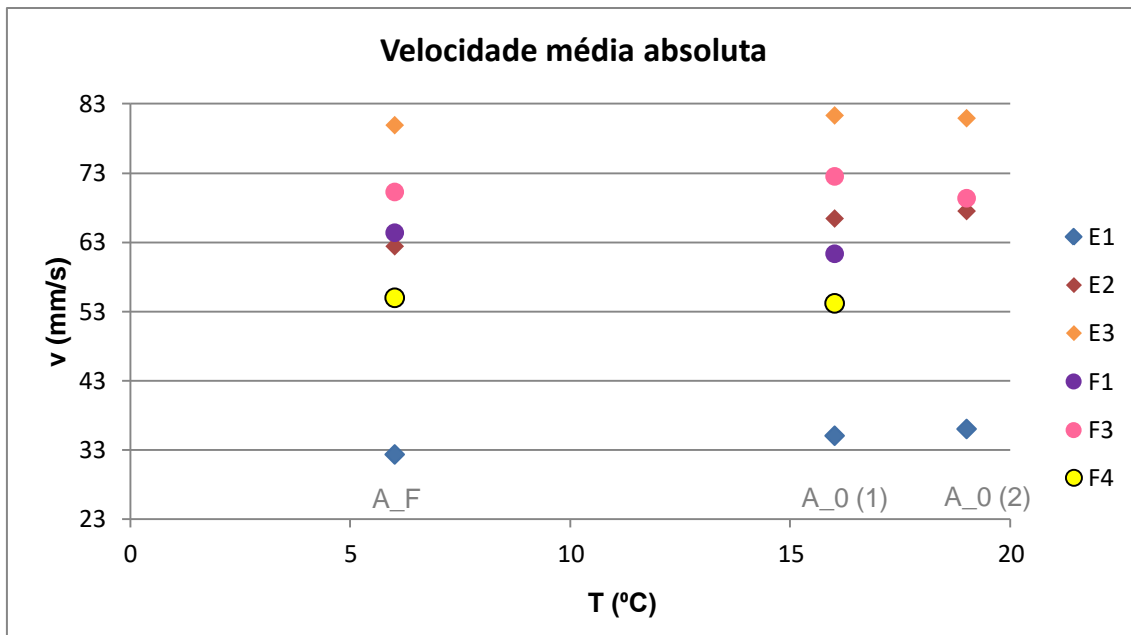


Figura 16 – Velocidade média absoluta, v , das amostras para ambientes de exposição com temperaturas, T , distintas

Ao analisar a Tabela 13, foi possível verificar que a evolução das velocidades médias absolutas das amostras entre os ambientes A_0 (1) e A_0 (2) não foi a mesma. As velocidades de E1 e E2 aumentaram com a temperatura, enquanto as de E3 e F3 diminuíram. Não foram realizados ensaios com as amostras F1 e F4 no ambiente A_0 (2). As temperaturas de A_0 (1) e A_0 (2) foram de 16°C e 19°C, respetivamente. Esta proximidade de valores pode estar relacionada com a discrepância de comportamento entre E1-E2 e E3-F3. Sendo assim, para evitar conclusões precipitadas, não se procedeu à análise das amostras entre os ambientes A_0 (1) e A_0 (2), apenas entre os ambientes A_F e A_0 (1).

Perante um aumento da temperatura, as velocidades médias absolutas das amostras E aumentaram. As velocidades das amostras F1 e F4 diminuíram e a de F3 aumentou de A_F para A_0 (1), mas de A_F para A_0 (2) diminuiu.

Ao manter-se a temperatura constante, as amostras **E** comportaram-se da mesma forma que no caso da salinidade constante: E1 obteve velocidade média absoluta mais baixa e E3 velocidade média absoluta mais alta. As velocidades absolutas de F1, F3 e F4 apresentaram-se superiores à de E1, mas inferiores à de E3, análogo ao ocorrido para salinidade constante, mesmo no que diz respeito às amostras **F** tendo densidades inferiores às **E**. Concluiu-se assim, que, mais uma vez, a forma e dimensões das amostras prevaleceu em relação à variação de densidade de cada uma.

As variações de temperatura não originaram grandes variações nas velocidades médias absolutas, apesar de entre A_F e A_0 (1) a variação ter sido de 10°C. Para melhor compreender se as diferenças de valores de velocidades foram significativas, teria sido necessário fazer uma análise estatística, que não foi realizada.

4.4. Velocidade de sedimentação teórica

Como referido anteriormente, os resultados apresentados seguidamente são apenas referentes às amostras E1, E2 e E3.

Através da aplicação da Equação 14, obtiveram-se as velocidades de sedimentação teóricas (w_s) para as amostras **E** em cada um dos ambientes Tabela 14.

Tabela 14 - Velocidades de sedimentação teóricas (w_s) das amostras E1, E2 e E3, nos diferentes meios de exposição

	A_0 (1)	A_0 (2)	A_F	A_15	A_25	A_36	A_R
E1							
w_s (mm/s)	65,9	71,2	49,1	63,6	62,8	60,8	75,0
E2							
w_s (mm/s)	61,0	65,8	46,4	56,7	53,5	49,8	69,7
E3							
w_s (mm/s)	58,1	62,7	44,0	53,0	48,9	44,6	66,4

Na Figura 17 e na Figura 18 são apresentados graficamente os resultados das velocidades de sedimentação finais obtidas para cada amostra, tendo em conta o seu diâmetro D , no primeiro caso, e o seu diâmetro nominal D_n , no segundo caso, de acordo com os dados da Tabela 8.

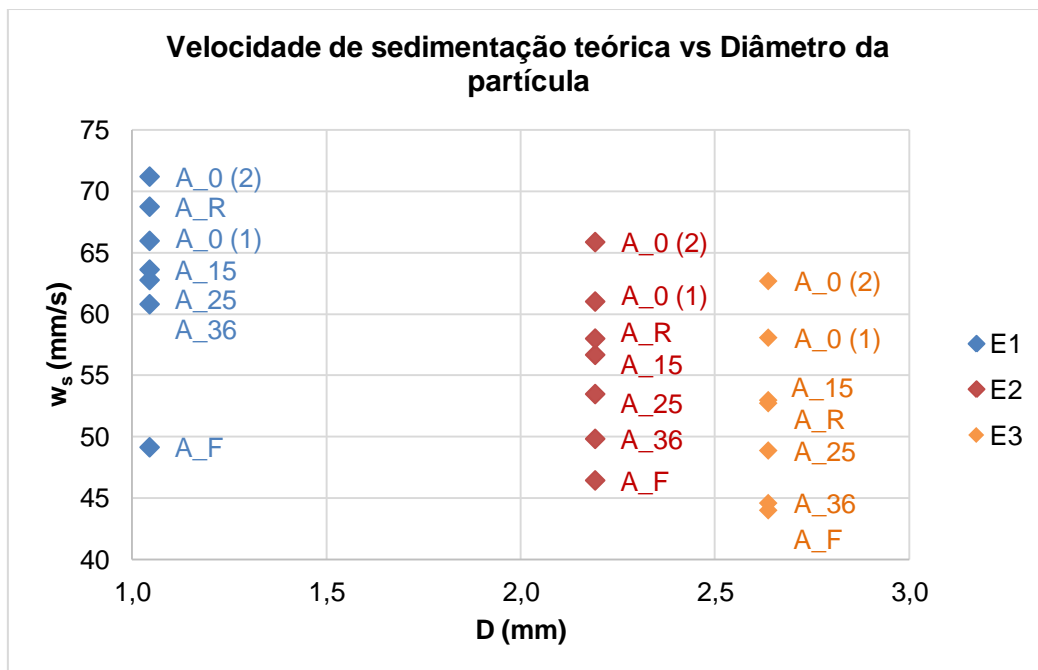


Figura 17 – Velocidade de sedimentação teórica, w_s , das amostras E1, E2 e E3, tendo em conta o diâmetro, D , de cada amostra

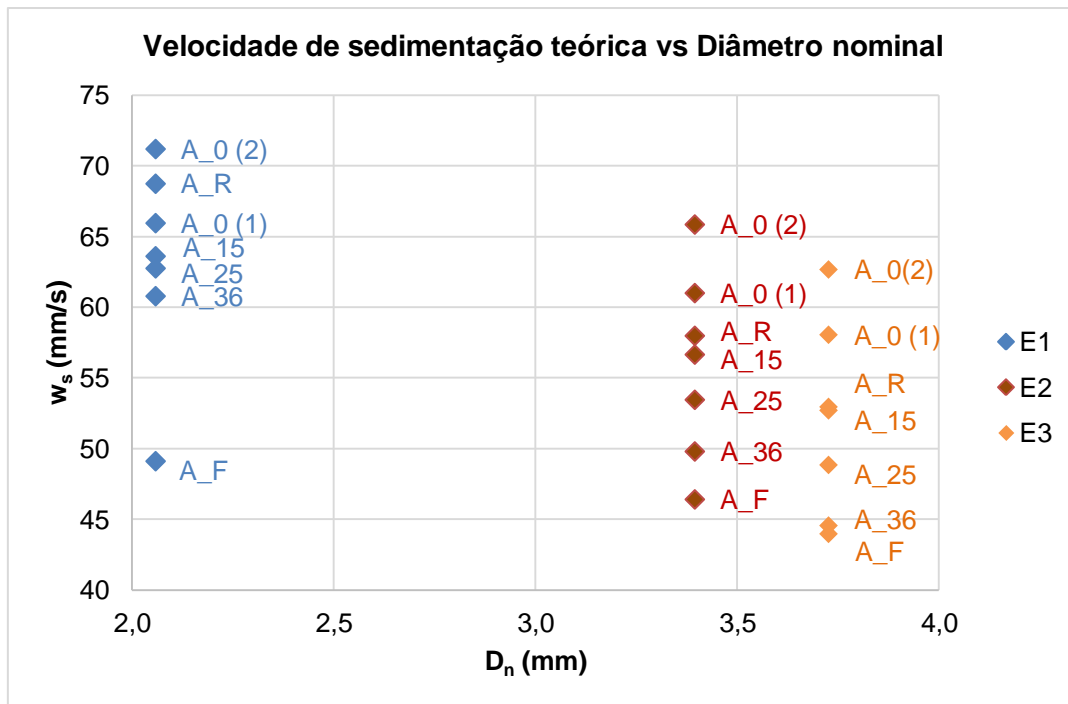


Figura 18 - Velocidade de sedimentação teórica das amostras E1, E2 e E3, relacionando o respetivo valor de diâmetro nominal, D_n, de cada amostra

Em todas as amostras, observa-se que a velocidade de sedimentação final diminui com o aumento da salinidade do meio de exposição, à exceção dos meios A_F e A_R. Em todos os casos, w_s de A_F é a menor de todos os ambientes, havendo uma diferença bem perceptível em relação aos valores dos restantes ambientes no caso de E1. Ao contrário do que aconteceu no cálculo das velocidades médias absolutas, no caso de w_s, a variação de temperatura teve uma maior influência no comportamento das amostras. Este acontecimento pode estar relacionado com o facto de w_s depender da densidade e a viscosidade cinemática do ambiente, que, por sua vez, também dependem da temperatura.

As velocidades em A_R encontram-se próximas das de A₀ e superiores a A₁₅, A₂₅ e A₃₆, apesar de as características de A_R, como salinidade e viscosidade cinemática, estão mais próximas de A₂₅ e A₃₆, do que de A₀.

Na comparação dos valores de velocidade média absoluta e velocidade de sedimentação teórica, verificou-se que a Equação 14 não traduz o efeito prevalente da forma (D) para a diferença de densidades, como se pode verificar pela Figura 19. Uma alteração da fórmula introduzindo o expoente 0,91 em g' e 2 em D, conforme a Equação 19, já conduzia a um ajuste adequado.

$$w_s = \frac{\pi}{2} \frac{1}{v} g'^{0,91} \frac{D^2 L}{55,238L + 12,691} \quad \text{Equação 19}$$

Na Figura 20 apresenta-se a estimativa da velocidade teórica ajustada utilizando a Equação 19, onde se observa que a estimativa da velocidade é muito mais próxima dos valores

de velocidade média absoluta observados para os três diâmetros do que os valores obtidos pela fórmula original (Equação 14).

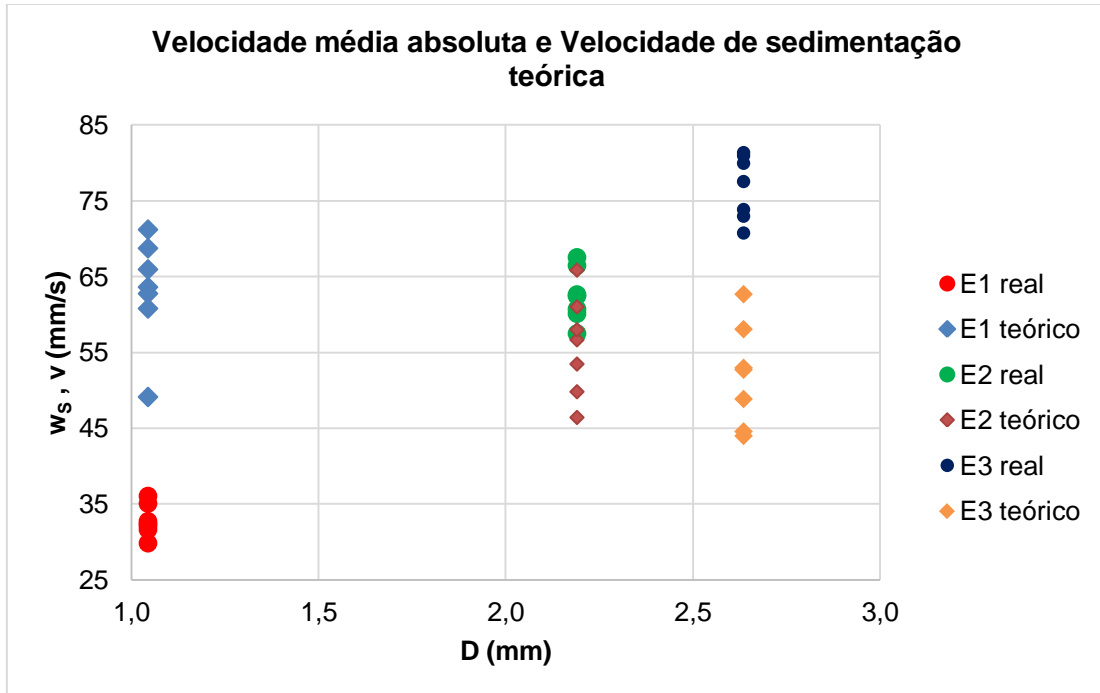


Figura 19 – Comparação dos valores da velocidade média absoluta, v , (E1 real, E2 real e E3 real) e da velocidade de sedimentação teórica, w_s , (E1 teórica, E2 teórica e E3 teórica) obtida por [14], em cada ambiente de exposição

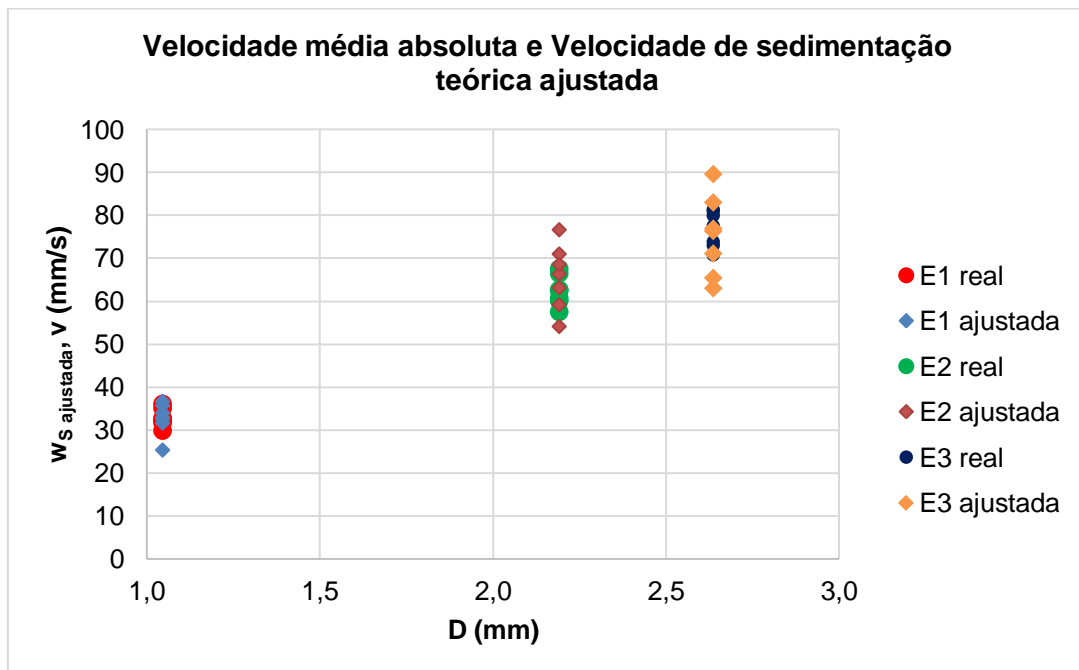


Figura 20 - Comparação dos valores da velocidade média absoluta, v , (E1 real, E2 real e E3 real) e da velocidade de sedimentação teórica ajustada, w_s ajustada, (E1 ajustada, E2 ajustada e E3 ajustada), em cada ambiente de exposição

4.5. Número de Reynolds e coeficiente de arrasto

Os valores do número de Reynolds calculados pela Equação 15, para cada ambiente de exposição, apresentam-se na Tabela 15. Foi possível verificar a condição do regime do fluxo de transição na vizinhança das amostras, uma vez que todos os valores obtidos pertencem ao intervalo $1 < Re < 10^3$. Assim sendo, foi admissível a utilização dos valores de $55,238 \text{ mm}^{-1}$ e $12,691 \text{ mm}^{-1}$ para c_1 e c_2 , respetivamente, como foi obtido por [14].

O coeficiente de arrasto C_D , foi calculado para cada amostra em cada ambiente de exposição, através Equação 16 e posteriormente os valores de $C_D Re_L$, representados na Tabela 15.

Tabela 15 – Número de Reynolds para cada ambiente de exposição e o coeficiente de arrasto para A_0

	A_0 (1)	A_0 (2)	A_F	A_15	A_25	A_36	A_R
E1							
Re_L	168,5	186,9	116,9	157,2	156,0	147,1	174,9
C_D	3,428	3,244	3,987	3,798	3,904	4,254	3,757
C_DRe_L	577,6	606,5	466,1	597,0	609,1	625,7	657,1
E2							
Re_L	325,4	356,9	237,1	306,7	302,1	288,9	336,9
C_D	0,883	0,855	0,981	0,923	0,922	0,939	0,887
C_DRe_L	287,3	305,2	232,6	283,1	278,4	271,1	298,9
E3							
Re_L	363,8	390,8	277,2	346,8	338,9	324,7	369,9
C_D	0,563	0,569	0,570	0,565	0,560	0,557	0,561
C_DRe_L	204,8	222,2	157,9	196,0	189,9	180,8	207,3

Analisou-se qual a variação de valores de $C_D Re_L$ em função do comprimento L de cada amostra. Para tal, os cálculos foram realizados utilizando os valores referentes ao ambiente de exposição A_0 (1) e os valores de 60 unidades das amostras E1, E2 e E3 medidos com o auxílio do microscópio. O diâmetro D de cada tipo de amostra manteve-se constante. Os valores obtidos foram tabelados no Anexo III e representados graficamente na Figura 21, onde a variação de $C_D Re_L$ depende linearmente de L. Verificou-se que para cada amostra resultaram regressões lineares muito distintas, principalmente para E1, consequência do seu elevado coeficiente de arrasto. Estas variações podem estar relacionadas com as diferenças de densidade de cada amostra, tal como tinha sido observado em 4.4. Velocidade de sedimentação teórica, e não com os seus diâmetros.

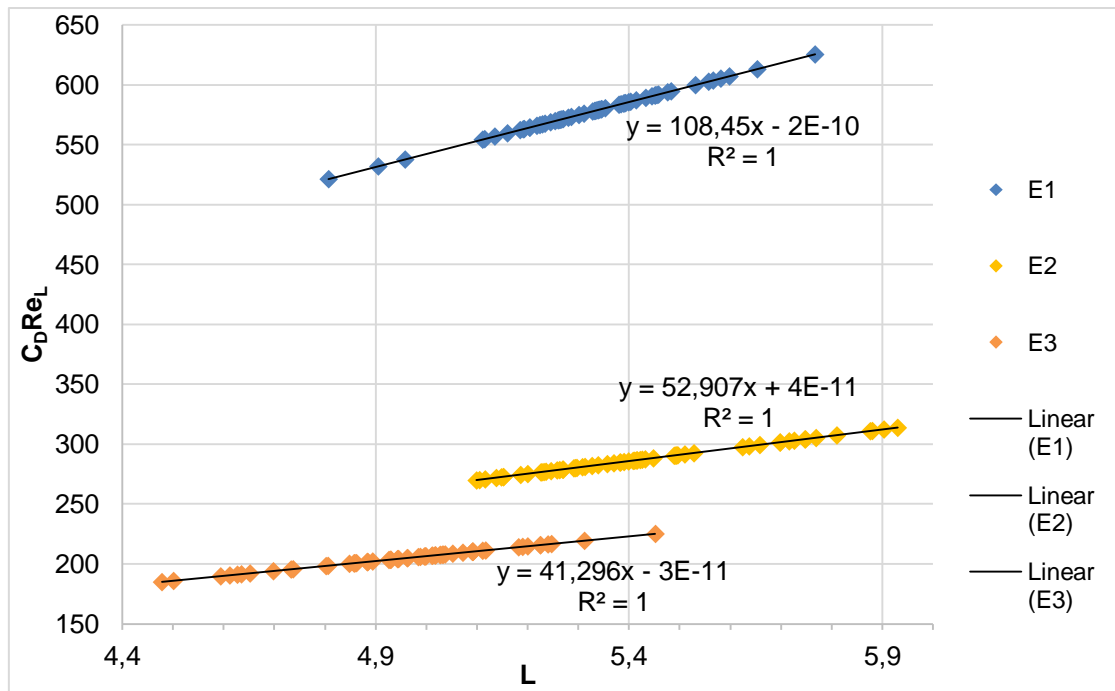


Figura 21 – Variação linear entre $C_D Re_L$ e o comprimento, L , de cada amostra

4.6. Velocidade adimensional

Foram calculadas a velocidade adimensional (W^*) e o diâmetro adimensional (D^*), através da Equação 17 e da Equação 18, respectivamente, das amostras E1, E2 e E3 em cada um dos diferentes ambientes de exposição. Os valores obtidos encontram-se apresentados na Tabela 16 e representados graficamente na Figura 22.

Tabela 16 - Velocidades e diâmetros adimensionais das amostras E1, E2 e E3 nos diferentes ambientes de exposição

	A_0 (1)	A_0 (2)	A_F	A_15	A_25	A_36	A_R
E1							
D*	1,82E+04	2,12E+04	1,02E+04	1,75E+04	1,78E+04	1,72E+04	2,35E+04
W*	1,01E+02	1,37E+02	3,16E+01	9,37E+01	9,60E+01	9,01E+01	1,67E+02
E2							
D*	3,60E+04	4,19E+04	2,12E+04	3,34E+04	3,24E+04	3,01E+04	4,66E+04
W*	1,81E+02	2,46E+02	6,30E+01	1,56E+02	1,46E+02	1,27E+02	3,03E+02
E3							
D*	3,78E+04	4,40E+04	2,22E+04	3,45E+04	3,26E+04	2,98E+04	4,90E+04
W*	1,96E+02	2,67E+02	6,78E+01	1,63E+02	1,47E+02	1,22E+02	3,30E+02

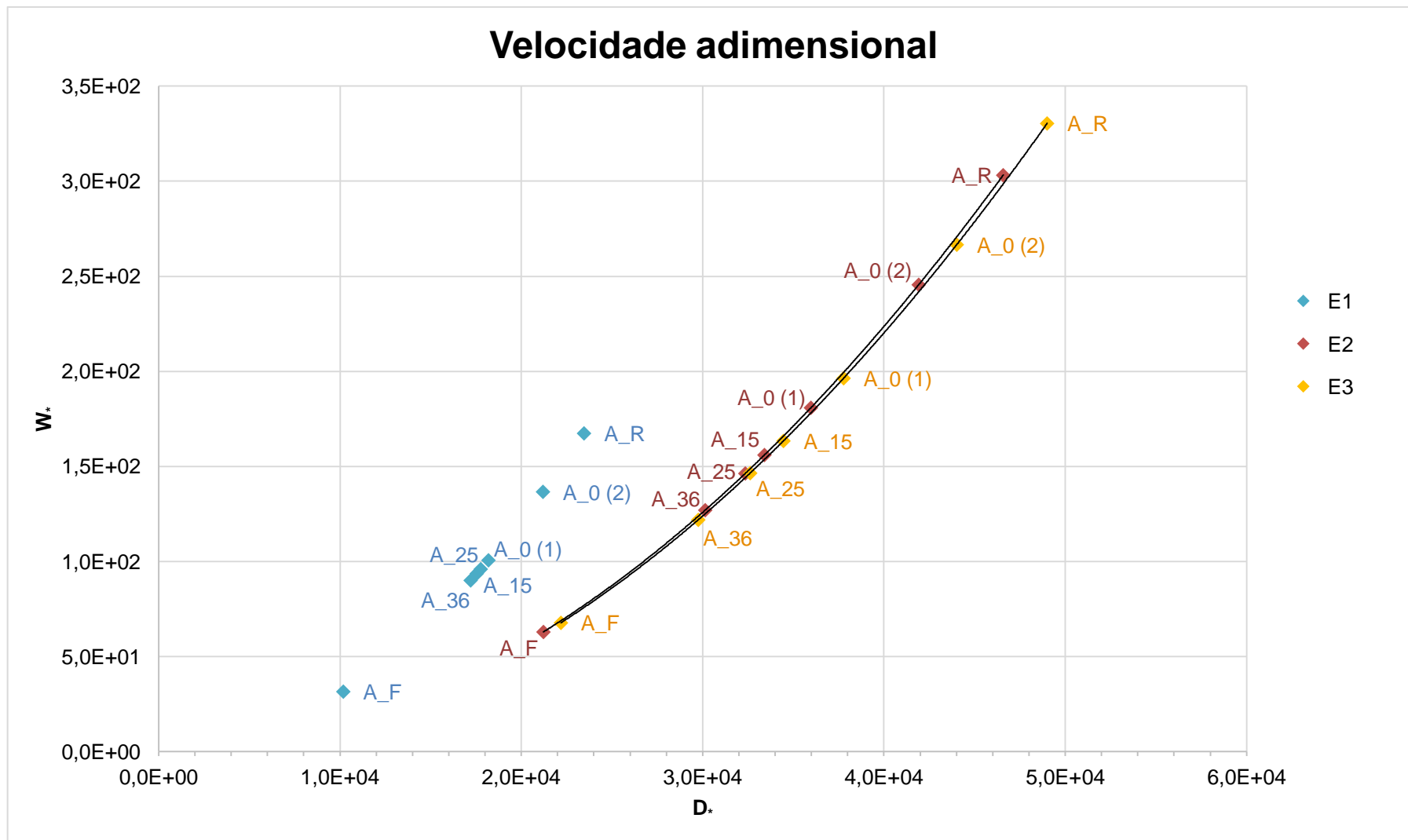


Figura 22 – Velocidade adimensional, W_* , das amostras E1, E2 e E3, tendo em conta o diâmetro adimensional, D_* , de cada amostra

Como expectável, a velocidade adimensional demonstrou ter o mesmo comportamento que w_s , visto que W^* varia proporcionalmente a w_s . Sendo assim, mais uma vez, a temperatura influenciou o comportamento das amostras e W^* diminuiu com a diminuição da temperatura. Paralelamente, tal como a w_s , W^* diminuiu com o aumento da salinidade.

As amostras E2 e E3 apresentaram valores de diâmetro adimensional muito próximos, ao contrário de E1. A explicação deste resultado recai nos valores de diâmetro nominal obtidos anteriormente (Tabela 8). A diferença de valores de D_n entre E2 e E3 foi de 0,3 mm, enquanto que a diferença entre E1 e E2 foi de 1,3 mm.

O facto de os valores de D^* de E2 e E3 e de alguns dos seus valores de W^* serem muito similares, originou duas linhas de tendência muito aproximadas, como é visível na Figura 22. Pode-se assim concluir que as duas amostras seguiram a mesma curva de evolução.

5. Conclusões e desenvolvimentos futuros

Concluída a presente dissertação, considera-se que o objetivo inicial foi cumprido. Este estudo possibilitou algumas conclusões em relação ao comportamento dos microplásticos e beatas quando expostos a diferentes meios aquáticos.

Inicialmente decidiu-se realizar os ensaios em meios aquáticos com diferentes condições e com amostras com diferentes características, obtendo-se uma maior variedade de resultados. Contudo, a dificuldade de sedimentação por parte de alguns filtros não permitiu que o estudo fosse tão abrangente e aprofundado quanto se desejaria.

Os ensaios mostraram que a velocidade média absoluta das amostras dependeu essencialmente da sua forma e dimensão. Amostras regulares, de forma cúbica ou esférica, adquirem velocidades mais elevadas. Observou-se também que a densidade das amostras é determinante no contacto inicial com o meio aquático e posterior comportamento, uma vez que amostras com densidade inferior ao meio não sedimentam instantaneamente. A sua sedimentação só ocorre ao final de um determinado período de tempo, quando a sua densidade aumenta devido ao contacto com o fluido e com organismos biológicos, atingindo uma densidade superior à do meio aquático. As variações de velocidade perante a variação de temperatura não foram significativas; contudo, o facto de a velocidade diminuir com o aumento da salinidade leva-nos a concluir que no oceano a velocidade dos microplásticos diminui com a profundidade.

Com o intuito de se verificar a veracidade da fórmula de velocidade teórica apresentada por [14], para diversas amostras, concluiu-se que a expressão empírica só é válida, na sua fórmula original, para a densidade de partículas em que foi testada ou para partículas com a densidade próxima. No caso dos estudos de Khatmullina e Isachenko [14], a densidade das partículas estudadas variou muito pouco e apresentou-se muito semelhante à amostra E2, o que explica os bons resultados apenas nessa amostra. O facto dos valores das densidades das partículas serem necessários para a aplicação desta fórmula dificulta a sua utilização em partículas com densidades inferiores às do meio aquático.

Em relação às amostras com biofilme analisadas foi claro que a velocidade das partículas E_b foi inferior às E. Em relação às amostras F e F_b, os resultados variaram entre as várias amostras. É de salientar que as amostras F_b sofreram degradação ao contrário das E_b, o que influenciou os seus resultados. Num trabalho futuro seria interessante voltar a analisar as amostras F_b, mas durante o processo de submersão para a criação do biofilme e proceder-se à análise das amostras com diferentes tempos de submersão. Este estudo permitiria um maior controle da sua degradação e, conseqüentemente, uma análise mais aprofundada da variação de velocidade de sedimentação.

Após a realização deste trabalho pode afirmar-se que o comportamento dos microplásticos em meio aquático necessita de um estudo mais exaustivo. O facto de existirem microplásticos com características muito distintas dificulta a obtenção de uma equação única

que traduza os vários comportamentos. A equação empírica de Khatmullina e Isachenko é um exemplo de como as alterações das amostras podem modificar os resultados esperados. Futuramente aconselha-se a realização de ensaios com amostras de diversas densidades e diâmetros de modo a proceder-se a uma possível atualização da fórmula, uma vez que esta foi testada para partículas com a mesma densidade e diâmetro até 1 mm.

Nesta dissertação não foram tidas em consideração a variação de pressão do meio aquático com a profundidade, nem o efeito de correntes. Estas variáveis também devem ser tidas em consideração num trabalho futuro.

6. Referências

- [1]. Ilhas de plástico em nossos oceanos. Site Sakoko, <https://sakoko.pt/ilhas-de-plastico-em-nossos-oceanos/> (consultado a 31 de Outubro de 2021)
- [2]. Plástico: ONU pede mudança sistémica. Site Nações Unidas, <https://unric.org/pt/plastico-onu-pede-mudanca-sistemica/> (consultado a 30 de Outubro de 2021)
- [3]. Maioria dos plásticos nos oceanos são redes de pesca fantasmas, alerta Greenpeace. Site Wilder, <https://www.wilder.pt/historias/maioria-dos-plasticos-nos-oceanos-sao-redes-de-pesca-fantasmas-alerta-greenpeace/> (consultado a 30 de Outubro de 2021)
- [4]. Tempo de Decomposição dos Materiais. Site Ambiente Brasil, https://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/tempo_de_decomposicao_dos_materiais.html (consultado a 30 de Outubro de 2021)
- [5]. Arte urbana, diálogo com cidadãos beata é plástico. Site Zero waste lab, <https://www.zerowastelab.pt/artigos.php?p=66> (consultado a 31 de Outubro de 2021)
- [6]. Literacia – Beatas de cigarro. Site Do rio ao mar sem lixo, <https://rmsl.apambiente.pt/content/beatas-de-cigarro?language=pt-pt> (consultado a 31 de Outubro de 2021)
- [7]. Pássaro alimenta cria com beata de cigarro. Imagem devastadora torna-se viral. Site Correio da manhã, <https://www.cmjornal.pt/mundo/detalhe/passaro-alimenta-cria-com-beata-de-cigarro-imagem-devastadora-torna-se-viral> (consultado a 31 de Outubro de 2021)
- [8]. Paula Sobral. "Os oceanos estão afogados em plástico". Site Diário de notícias, <https://www.dn.pt/ciencia/paula-sobral-os-oceanos-estao-afogados-em-plastico-13900740.html> (consultado a 31 de Outubro de 2021)
- [9]. Chubarenko, I., Bagaev, A., Zobkov, M., Esiukova, E., (2016). On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 108, 105-112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.048>
- [10]. Kowalski, Nicole, Reichardt, Aurelia M., Waniek, Joanna J. (2016). Sinking rates of microplastics and potential implications of their alteration by physical, biological, and chemical factors. *Marine Pollution Bulletin*, 109, 310-319. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.064>
- [11]. Glantz, Stanton A. (2018). Heated tobacco products: the exemple of IQOS. *Tobacco Control*, 27, 1-6. doi: 10.1136/tobaccocontrol-2018-054601
- [12]. Este é o Iqos, o cigarro da Philip Morris para substituir os tradicionais. Site Diário de notícias, <https://www.dn.pt/dinheiro/este-e-o-iqos-o-cigarro-da-philip-morris-para-substituir-os-tradicionais-5528284.html> (consultado a 30 de Outubro de 2021)
- [13]. How Cigarette Butts Pollute the Environment. (2020). Site da verywell mind, <https://www.verywellmind.com/world-cigarette-litter-facts-that-will-shock-you-2824735>, (consultado a 7 de Fevereiro de 2021)

- [14]. Khatmullina, Liliya, Isachenko, Igor. (2017). Settling velocity of microplastic particles of regular shapes. *Marine Pollution Bulletin*, 114, 871-880. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.024>
- [15]. Water Quality Monitoring: Conductivity to Salinity Conversion. Site da Friends of Five Creeks, <http://www.fivecreeks.org/monitor/sal.shtml>, (consultado a 8 de setembro de 2021)
- [16]. Salinidade do Ambiente Marinho. Site Mídias Digitais para Matemática, <http://mdmat.mat.ufrgs.br/acqua/Textos/concentracao.htm> (consultado a 22 de novembro de 2020)
- [17]. Water – Dynamic (Absolute) and Kinematic Viscosity. Site The Engineering ToolBox, https://www.engineeringtoolbox.com/water-dynamic-kinematic-viscosity-d_596.html (consultado a 29 de Setembro de 2021)

Anexo I

Por meio do software do microscópio DinoCapture 2.0, obtiveram-se as dimensões de 60 unidades das amostras E1, E2 e E3.

Amostra	E1		E2		E3	
	L (mm)	D (mm)	L (mm)	D (mm)	L (mm)	D (mm)
1	5,557	1,044	5,698	2,190	4,627	2,636
2	5,653		5,93		4,883	
3	5,581		5,726		5,091	
4	5,767		5,698		5,19	
5	5,566		5,297		4,999	
6	5,433		5,152		5,011	
7	5,391		5,51		5,072	
8	5,234		5,152		5,247	
9	5,204		5,313		4,594	
10	5,301		5,186		4,857	
11	5,451		5,236		4,988	
12	5,245		5,492		5,312	
13	5,229		5,489		4,859	
14	5,286		5,339		4,612	
15	5,598		5,382		5,091	
16	5,403		5,269		4,943	
17	5,339		5,422		4,848	
18	5,16		5,327		4,998	
19	5,185		5,228		5,452	
20	5,26		5,291		5,033	
21	5,452		5,357		4,698	
22	5,254		5,408		5,018	
23	5,483		5,432		4,858	
24	5,311		5,263		4,894	
25	5,135		5,308		5,111	
26	5,193		5,37		5,017	
27	5,111		5,411		4,926	
28	5,455		5,426		4,93	
29	5,458		5,246		4,652	
30	5,531		5,658		5,2	
31	5,224		5,903		4,478	
32	5,115		5,81		4,501	
33	5,328		5,39		5,027	
34	5,38		5,769		4,635	
35	5,414		5,748		4,884	
36	5,393		5,624		5,092	
37	5,384		5,876		5,225	
38	5,342		5,716		4,802	
39	5,445		5,2		4,884	

Continuação das dimensões das amostras E1, E2, E3.

Amostra	E1		E2		E3	
	L (mm)	D (mm)	L (mm)	D (mm)	L (mm)	D (mm)
40	5,27		5,258		5,092	
41	5,399		5,416		5,225	
42	5,204		5,226		5,012	
43	5,389		5,383		4,963	
44	5,476		5,496		5,028	
45	5,265		5,148		4,984	
46	5,332		5,448		4,996	
47	5,218		5,493		5,052	
48	5,28		5,88		4,929	
49	5,263		5,528		5,091	
50	5,353		5,747		4,737	
51	5,333		5,637		4,806	
52	5,267		5,105		5,117	
53	5,339		5,399		4,862	
54	5,336		5,116		5,037	
55	4,807		5,232		5,24	
56	5,191		5,27		5,032	
57	5,346		5,294		5,182	
58	4,958		5,099		4,945	
59	5,345		5,138		4,962	
60	4,905		5,415		4,733	
Média	5,3255	1,0440	5,4297	2,1907	4,9594	2,6360

Dimensões das amostras F1 e F2 e respetiva média.

Amostra	F1		F2	
	L (mm)	D (mm)	L (mm)	D (mm)
1	7,626	7,199	17,781	6,707
2	8,05	7,709		
Média	7,8380	7,4540	17,7810	6,7070

Dimensões das amostras F3 e F4 e respetiva média.

Amostra	F3			F4	
	L (mm)	D _{maior} (mm)	D _{menor} (mm)	L (mm)	D (mm)
1	8,334	6,743	2,841	33,908	9,264
2	9,034	8,246	3,244	28,236	7,577
Média	8,6840	7,4945	3,0425	31,0720	8,4205

Anexo II

Primeiros ensaios para a obtenção dos tempos de sedimentação, em segundos, das amostras E1, E2, E3, F1 e F3, em A_0. Foram utilizados para conhecer melhor o trabalho experimental e melhorar alguns procedimentos, não sendo assim, incluídos na obtenção dos resultados finais desta tese.

Amostra	E1			E2		
	t _{Ensaio 1} (s)	t _{Ensaio 2} (s)	t _{Ensaio 3} (s)	t _{Ensaio 1} (s)	t _{Ensaio 2} (s)	t _{Ensaio 3} (s)
1	13,19	13,23	13,14	7,03	6,88	7,07
2	13,21	13,07	13,43	6,95	7,22	7,1
3	12,97	13,36	13,7	7,03	7,03	7,78
4	13,44	13,25	13,22	7,17	7,61	7,19
5	13,19	13,47	13,14	7,05	7,1	7,12
6	13,22	13,30	13,06	7,04	7,26	6,94
7	13,16	13,43	13,44	7,08	7,14	7,00
8	13,14	13,13	13,11	7,16	7,27	7,00
9	13,13	13,07	13,37	7,23	7,21	7,32
10	13,21	erro	13,21	7,19	7,21	7,02
Média	13,19	13,26	13,28	7,09	7,19	7,15

Amostra	E3			F1		F3	
	t _{Ensaio 1} (s)	t _{Ensaio 2} (s)	t _{Ensaio 3} (s)	t _{Ensaio 1} (s)	t _{Ensaio 2} (s)	t _{Ensaio 1} (s)	t _{Ensaio 2} (s)
1	5,96	5,92	6,03	16,61	7,62	7,42	6,57
2	6,4	6,23	5,91	10,05	8,07	7,13	7,06
3	6,29	6,71	6,62	11,2	8,67	7,22	7,44
4	5,98	6,07	6,33	9,11	8,56	7,37	6,67
5	6,26	6,02	5,81	9,16	7,95	7,02	6,57
6	6,08	6,17	5,91	8,1	8,03	7,2	6,55
7	5,89	6,36	6,33	9,82	7,67	6,4	7,09
8	6,03	6,26	6,5	8,94	7,5	7,5	7,36
9	erro	erro	5,89	16,29	não sedimentou	7,17	6,75
10	erro	erro	6,01	não sedimentou	erro	7,93	6,63
Média	6,11	6,22	6,13	11,03	8,01	7,24	6,87

Tempo de sedimentação obtidos para cada amostra, nos diferentes ambientes de exposição

Amostra	t _{E1} (s)						
	A_0	A_0	A_F	A_15	A_25	A_36	A_R
1	13,79	13,55	15,08	14,72	15,41	16,22	15,46
2	13,76	13,27	15,18	15,14	15,36	16,42	15,19
3	13,74	13,49	15,12	14,81	15,31	16,76	15,29
4	13,6	13,46	15,14	15,03	15,44	16,14	14,93
5	17,76	13,5	15,02	14,88	15,49	16,27	15,52
6	13,5	13,49	14,92	14,89	15,61	16,38	15,38
7	13,73	13,45	15,30	14,8	15,36	16,35	15,4
8	13,57	13,41	15,13	14,81	15,42	16,41	15,35
9	13,55	13,42	15,20	15,5	15,62	16,73	15,27
10	13,4	13,62	15,04	15,09	15,4	16,4	15,31
11	13,79	13,62	15,02	14,8	15,51	16,48	15,06
12	13,59	13,74	15,14	15,11	15,46	16,43	15,06
13	13,48	13,33	15,10	15,06	15,54	16,47	15,25
14	16,62	13,33	15,15	14,86	15,58	16,39	15,16
15	13,67	13,69	14,98	14,88	15,42	16,49	15,18
16	13,55	13,39	14,96	14,81	15,46	16,43	15,18
17	13,59	13,38	15,09	15,1	15,48	16,38	15,28
18	13,72	13,5	14,94	14,95	15,4	16,38	14,96
19	13,91	13,4	15,13	14,87	15,54	16,52	15,38
20	13,68	13,4	15,26	14,87	15,53	16,41	15,19
21	13,64	13,48	15,22	14,90	15,52	16,37	15,14
22	13,6	13,38	15,27	14,98	15,63	16,27	15,19
23	15,38	18,68	15,14	15,02	15,55	16,56	15,39
24	13,91	13,25	15,13	14,77	15,46	16,48	15,4
25	13,42	13,52	15,27	16,16	15,48	16,44	15,17
26	13,53	13,39	15	14,85	15,39	16,41	15,17
27	13,74	13,26	15,23	14,92	15,55	16,48	15,11
28	13,55	13,41	15,14	14,85	15,49	16,37	15,3
29	13,51	13,46	15,23	14,85	15,64	16,36	15,35
30	13,78	13,5	15,05	14,88	15,43	16,39	15,47
31	13,58	13,62	15,11				
32	13,59	13,36	15,16				
33	16,1	13,41	15,25				
34	13,87	13,32	15,28				
35	14,93	13,55	15,07				
36	13,73	13,47	15,13				
37	13,61	13,48	15,44				
38	13,78	13,39	erro				
39	13,59	13,66	erro				
40	erro	13,57	erro				
Média	13,97	13,59	15,14	14,97	15,48	16,42	15,25

Amostra	t _{E2} (s)						
	A_0	A_0	A_F	A_15	A_25	A_36	A_R
1	7,17	7,25	7,71	7,71	8,1	8,65	7,84
2	7,1	7,16	7,76	7,89	7,79	8,3	8
3	7,26	7,35	7,37	7,93	7,9	8,67	8,04
4	7,49	7,19	8,27	7,9	8,06	8,45	8,33
5	7,26	7,36	7,58	7,91	8,29	8,57	8,11
6	7,25	7,51	7,71	7,82	7,89	8,41	8,29
7	7,47	7,43	7,64	7,96	8,29	8,42	8,08
8	7,31	7,16	7,54	7,82	8,06	8,22	8
9	7,4	7,2	7,52	7,78	8,09	8,52	7,91
10	7,32	7,18	7,71	7,76	8,47	8,43	7,98
11	7,59	6,94	7,86	7,84	8,24	8,47	8
12	7,17	7,35	7,6	7,73	8,21	8,64	8,11
13	7,51	7,12	7,63	7,99	8,05	8,52	8,13
14	7,34	7,5	7,57	7,82	8,09	8,32	8,05
15	7,19	7,29	7,85	7,77	8,09	8,26	7,96
16	7,25	7,21	7,7	7,62	8,31	8,7	8,29
17	8,24	7,73	10,23	7,67	8,32	8,53	8,24
18	7,29	7,19	7,96	7,73	8,28	8,76	7,93
19	7,61	7,27	7,39	7,9	8,11	8,51	8,31
20	7,41	7,32	7,65	7,75	8,11	8,73	7,98
21	7,29	7,39	7,9	7,91	8,06	8,44	8
22	7,42	7,19	7,88	7,52	8,19	8,51	8,07
23	7,38	7,44	7,89	7,83	8,22	8,55	8,04
24	7,14	7,3	7,66	7,83	8,1	8,59	7,93
25	7,38	7,26	7,65	7,83	8,22	8,56	8,09
26	7,26	7,1	7,71	8	8,28	8,72	8,06
27	7,54	6,87	7,95	7,96	8,33	8,45	8,12
28	7,37	6,98	7,65	7,97	8,05	8,64	8,17
29	7,42	7,26	7,94	7,76	8,24	8,84	8,05
30	erro	7,31	7,93	7,8	8,14	8,34	8,04
31	erro	7,1	8,07				
32	erro	7,19	9,59				
33	erro	7,16	7,68				
34	erro	7,23	7,7				
35	erro	7,46	7,53				
36	erro	7,09	7,62				
37	erro	7,21	7,75				
38	erro	7,52	7,91				
39	erro	7,3	7,78				
40	erro	7,18	erro				
Média	7,37	7,26	7,85	7,82	8,15	8,52	8,07

Amostra	t _{E3} (s)						
	A_0	A_0	A_F	A_15	A_25	A_36	A_R
1	6,22	6,21	6,06	6,58	6,61	6,82	6,96
2	6,07	5,52	6,12	6,31	6,49	7,21	6,55
3	5,81	6,16	6,27	6,22	6,54	6,75	6,79
4	6,02	5,84	6,12	6,2	6,87	7,05	6,39
5	5,91	6,3	6,1	6,26	6,54	7,04	6,89
6	5,78	5,9	6,11	6,47	6,5	6,97	6,69
7	6,22	5,84	6,21	6,63	7,05	7,05	6,52
8	6,16	6,09	5,98	6,48	6,5	6,92	6,72
9	5,89	6,04	6,1	6,39	6,58	7,06	6,83
10	5,91	5,83	6,08	6,42	6,61	6,81	6,67
11	6,31	5,91	6,13	6,67	6,77	6,9	6,52
12	5,82	5,78	6,08	6,4	6,64	6,82	6,66
13	5,87	6,18	5,98	6,29	6,56	7,16	7,04
14	6,14	6,1	6,21	6,41	6,98	6,86	6,79
15	5,93	5,9	6,26	6,44	6,79	6,83	6,92
16	6,24	6,1	6,18	6,39	6,46	7,1	7,02
17	5,94	5,97	6,21	6,16	6,54	6,8	6,87
18	6,17	5,96	6,08	6,22	6,82	7,06	6,76
19	5,83	6,06	6,17	6,22	6,64	7,11	6,56
20	6,3	6,35	6,23	6,32	6,52	6,99	6,6
21	6,21	6,23	6,22	6,34	6,52	6,83	6,76
22	6,09	5,97	6,15	6,43	6,33	6,88	6,47
23	6,32	6,16	6,08	6,02	6,65	6,78	6,8
24	6,27	6,3	6,15	5,75	6,79	6,78	6,6
25	5,97	5,84	6,02	6,26	6,69	6,83	6,53
26	5,79	6,11	6,16	6,13	6,59	6,67	6,57
27	6,12	5,53	6,22	6,22	6,55	6,84	6,88
28	5,86	6,37	6,03	6,33	6,57	7	6,63
29	5,72	5,77	6,04	6,24	6,62	7,02	6,69
30	5,77	5,79	6,06	6,4	6,76	6,86	6,8
31	5,95	6,9	6,11				
32	6,18	6,5	6,03				
33	6,22	5,91	6,17				
34	5,87	5,98	6,16				
35	5,95	5,77	6,16				
36	erro	6,31	6,05				
37	erro	6,18	6,19				
38	erro	6,37	6,23				
39	erro	6,02	6,15				
40	erro	6,1	erro				
Média	6,02	6,05	6,13	6,32	6,64	6,93	6,72

Amostra	t _{F1} (s)				t _{F2} (s)
	A_0	A_F	A_15	A_25	A_0
1	7,28	7,80	9,46	9,11	5,99
2	7,49	7,38	9,51	9,44	5,48
3	7,72	7,33	9,52	8,89	5,59
4	7,88	7,85	9,54	10,18	5,18
5	8,23	6,97	9,13	9,10	5,2
6	10,47	7,86	8,35	9,56	4,56
7	7,97	7,92	8,16	8,63	5,17
8	6,97	7,81	8,02	9,31	6,16
9	9,19	7,79	8,78	10,64	6,38
10	7,78	7,43	9,4	8,56	5,9
11	7,55	7,27	8,04	10,12	6,13
12	7,44	7,08	8,35	9,14	4,66
13	10,24	8,03	8,11	9,09	5,64
14	7,79	7,31	8,34	9,63	6,03
15	7,66	6,82	9,06	9,49	5,87
16	8,05	7,18	9,11	9,85	7,75
17	7,45	7,69	8,7	9,58	5,27
18	7,77	7,74	9,35	9,42	6,5
19	8,01	7,82	9,26	8,92	5,16
20	7,51	7,93	9,53	9,83	5,27
21	8,47	7,25	9,05	9,17	9,74
22	7,45	7,88	7,92	9,97	5,1
23	7,29	7,97	9,17	9,04	5,68
24	erro	7,54	7,77	9,38	6,57
25	erro	7,05	10,06	9,43	6,2
26	erro	8,2	9,03	10,1	6,82
27	erro	7,45	8,26	9,51	4,99
28		8,12	8,33	8,91	4,91
29		8,13	9	9,62	5,37
30		8,13	8,77	9,74	4,9
31		7,11			5,98
32		6,98			4,65
33		7,05			4,83
34		7,46			6,47
35		8,52			5,36
36		8,06			26,76
37		erro			7,72
38		erro			erro
39		erro			
40		erro			
Média	7,99	7,61	8,84	9,45	6,38

Amostra	t _{F3} (s)					t _{F4} (s)			
	A_0	A_0	A_F	A_15	A_25	A_0	A_F	A_15	A_25
1	6,36	7,1	7,13	7,39	7,96	9,43	8,58	11,08	15,28
2	6,71	6,94	6,6	7,23	8,2	8,82	8,97	11,48	15,66
3	6,75	6,95	7,16	8,06	7,7	9,51	8,17	12,39	13,58
4	7,05	6,94	6,76	7,57	8,2	8,12	10,22	12,34	17,86
5	6,81	6,69	6,96	8,44	8,25	8,18	7,83	15,04	14,47
6	7,11	6,36	6,79	7,65	7,87	8,38	8,91	11,01	15,02
7	6,48	6,68	6,94	7,11	9,03	15,67	9,47	12	14,01
8	7,43	7,02	7,14	8,25	7,6	8,47	8,84	11,78	15,84
9	6,82	6,83	6,72	8,33	8,15	10,05	9,36	11,94	15,88
10	6,6	7,08	7,1	7,92	8,22	8,62	10,08	13,02	15,54
11	6,78	6,55	6,98	7,46	8,32	9,36	8,93	13,04	14,62
12	6,51	6,75	6,82	7,33	8,6	8,32	8,57	10,88	15,12
13	6,62	6,76	6,94	7,42	7,76	8,67	8,26	11,65	15,25
14	6,46	6,5	7,22	7,58	8,59	7,92	9,74	12,56	14,23
15	7,14	6,81	7,06	7,36	8,74	7,62	8,72	12,44	15,59
16	6,91	6,29	6,88	7,58	8,6	8,57	8,05	11,94	12,59
17	6,62	6,75	7,29	7,73	8,67	8,62	10,66	13,75	13,45
18	7,07	7,3	6,75	7,81	7,9	8,4	8,2	10,69	13,78
19	6,44	6,7	7,24	7,88	8,53	erro	8,26	12,08	15,48
20	6,7	6,88	6,98	8,3	7,8	erro	9,03	11,12	12,3
21	6,14	7,21	6,79	7,53	7,94	erro	8,89	11,77	12,3
22	6,7	7,27	7	7,13	8,14	erro	8,96	11,85	13,62
23	6,64	6,55	6,98	7,87	8,96		10,71	12,31	13,84
24	7,3	6,87	6,71	8,1	8,53		8,95	13,86	8,88
25	6,64	7,08	7,43	7,16	8,7		9,07	11,82	15,85
26	6,71	6,89	6,96	7,92	7,97		8,39	10,34	12,94
27	7,4	7,09	7,11	7,53	8,35		9,9	13,4	14,49
28	6,91	6,63	6,9	7,75	7,99		9,02	11,51	15,57
29	6,72	6,69	6,64	8,11	7,95		8,2	12,07	15,79
30	6,81	6,96	6,4	7,85	8,2		8,13	11,31	19,19
31	6,14	6,94	7,43				9,14		
32	6,85	7,18	6,3				8,92		
33	6,59	7,6	7,36				7,97		
34	erro	6,75	6,72				8,58		
35	erro	6,89	6,66				8,74		
36	erro	7,12	7,08				10,02		
37		14,1	6,97				8,15		
38		7,03	7,6				8,7		
39		6,88	7,38				8,15		
40		6,88	erro				erro		
Média	6,76	7,06	6,97	7,71	8,25	9,04	8,91	12,08	14,60

Amostra	t _{E1_b} (s)		t _{E2_b} (s)		t _{E3_b} (s)	
	A_R	A_0	A_R	A_0	A_R	A_0
1	17,33	14,71	8,75	8,15	6,49	6,06
2	16,99	14,7	8,57	7,85	6,7	6,7
3	16,88	14,58	8,66	7,6	6,56	6,66
4	17,08	14,57	8,81	8,17	7,21	6,09
5	16,86	14,5	8,37	7,82	6,83	6,21
6	16,98	14,47	8,82	7,47	6,76	6,14
7	16,95	14,67	8,62	7,7	7,04	5,98
8	18,17	14,46	8,76	8,34	6,82	6,88
9	17,08	14,66	8,71	7,77	6,92	6,23
10	16,99	14,77	8,71	7,38	7,04	5,98
11	17,18	14,79	8,55	7,75	7,16	5,98
12	16,78	14,65	8,82	7,67	7,13	6
13	17,45	14,64	8,82	8,08	6,87	6,18
14	17,15	14,6	8,88	7,74	6,74	6,05
15	16,95	14,91	8,63	7,64	6,94	6,49
16	16,93	14,92	8,7	7,9	6,71	6,16
17	17,33	14,6	8,79	7,9	7	6,43
18	16,86	15,17	8,66	8,16	7,06	6,03
19	16,83	14,56	8,68	7,71	7,78	6,2
20	16,92	14,56	8,56	8,05	6,79	5,94
21	17,05	14,44	8,79	8,12	7,32	6,64
22	17,29	14,82	8,69	7,98	6,8	6,34
23	17,18	14,61	8,88	7,65	7,25	6,9
24	17,09	14,54	8,67	7,92	7,32	6,27
25	17,16	14,47	8,51	7,79	6,72	6,36
26		14,71		erro		
27		14,83				
28						
29						
30						
Média	17,10	14,66	8,70	7,85	6,96	6,28

Amostra	t_{F1_b} (s)	t_{F2_b} (s)		t_{F3_b} (s)
	A_0	A_R	A_0	A_0
1	7,49	4,95	4,46	5,41
2	8,03	5,06	4,56	6,26
3	8,99	4,97	4,72	6,95
4	7,32	4,96	4,32	6,18
5	6,43	4,85	4,46	5,01
6	10,07	4,55	4,51	7,85
7	9,1	4,8	4,62	5,96
8	8,71	5,15	4,56	7,06
9	8,62	5,22	4,49	7,34
10	8,6	4,99	4,61	5,05
11	8,11	5,19	4,49	7,04
12	8,11	5,21	4,3	5,58
13	8,73	5,15	4,49	6
14	9,67	4,87	4,56	7,03
15	7,96	4,84	4,38	7,34
16	9,05	4,95	4,53	8,34
17	10,24	4,59	4,46	8,19
18	7,59	5,27	4,5	5,78
19	8,21	5,42	4,21	6,49
20	7,19	5,41	4,63	6,98
21	8,21	5,01	4,4	7,67
22	8,44	4,99	4,66	6,97
23	8,17	4,88	4,37	8,1
24	7,82	5,12	erro	
25	7,48	4,77		
26		5,24		
27				
28				
29				
30				
Média	8,33	5,02	4,49	6,72

Anexo III

Valores de Re_L e C_D calculados para 60 unidades das amostras E1, E2 e E3, tendo em conta a variação do comprimento L (mm).

E1				E2				E3			
L (mm)	Re_L	C_D	$C_D Re_L$	L (mm)	Re_L	C_D	$C_D Re_L$	L (mm)	Re_L	C_D	$C_D Re_L$
5,6	175,8	3,4284	602,7	5,7	341,5	0,883	301,5	4,6	339,5	0,563	191,1
5,7	178,8	3,4284	613,1	5,9	355,4	0,883	313,7	4,9	358,2	0,563	201,6
5,6	176,5	3,4284	605,3	5,7	343,2	0,883	302,9	5,1	373,5	0,563	210,2
5,8	182,4	3,4284	625,4	5,7	341,5	0,883	301,5	5,2	380,8	0,563	214,3
5,6	176,1	3,4284	603,6	5,3	317,5	0,883	280,2	5,0	366,7	0,563	206,4
5,4	171,9	3,4284	589,2	5,2	308,8	0,883	272,6	5,0	367,6	0,563	206,9
5,4	170,5	3,4284	584,7	5,5	330,2	0,883	291,5	5,1	372,1	0,563	209,5
5,2	165,6	3,4284	567,6	5,2	308,8	0,883	272,6	5,2	384,9	0,563	216,7
5,2	164,6	3,4284	564,4	5,3	318,4	0,883	281,1	4,6	337,0	0,563	189,7
5,3	167,7	3,4284	574,9	5,2	310,8	0,883	274,4	4,9	356,3	0,563	200,6
5,5	172,4	3,4284	591,2	5,2	313,8	0,883	277,0	5,0	365,9	0,563	206,0
5,2	165,9	3,4284	568,8	5,5	329,2	0,883	290,6	5,3	389,7	0,563	219,4
5,2	165,4	3,4284	567,1	5,5	329,0	0,883	290,4	4,9	356,5	0,563	200,7
5,3	167,2	3,4284	573,3	5,3	320,0	0,883	282,5	4,6	338,4	0,563	190,5
5,6	177,1	3,4284	607,1	5,4	322,6	0,883	284,7	5,1	373,5	0,563	210,2
5,4	170,9	3,4284	586,0	5,3	315,8	0,883	278,8	4,9	362,6	0,563	204,1
5,3	168,9	3,4284	579,0	5,4	325,0	0,883	286,9	4,8	355,7	0,563	200,2
5,2	163,2	3,4284	559,6	5,3	319,3	0,883	281,8	5,0	366,7	0,563	206,4
5,2	164,0	3,4284	562,3	5,2	313,3	0,883	276,6	5,5	400,0	0,563	225,1
5,3	166,4	3,4284	570,5	5,3	317,1	0,883	279,9	5,0	369,2	0,563	207,8
5,5	172,5	3,4284	591,3	5,4	321,1	0,883	283,4	4,7	344,7	0,563	194,0

Continuação dos valores de Re_L e C_D calculados para 60 unidades das amostras E1, E2 e E3

E1				E2				E3			
L (mm)	Re_L	C_D	$C_D Re_L$	L (mm)	Re_L	C_D	$C_D Re_L$	L (mm)	Re_L	C_D	$C_D Re_L$
5,3	166,2	3,4284	569,8	5,4	324,1	0,883	286,1	5,0	368,1	0,563	207,2
5,5	173,4	3,4284	594,6	5,4	325,6	0,883	287,4	4,9	356,4	0,563	200,6
5,3	168,0	3,4284	576,0	5,3	315,4	0,883	278,4	4,9	359,0	0,563	202,1
5,1	162,4	3,4284	556,9	5,3	318,1	0,883	280,8	5,1	375,0	0,563	211,1
5,2	164,3	3,4284	563,2	5,4	321,8	0,883	284,1	5,0	368,1	0,563	207,2
5,1	161,7	3,4284	554,3	5,4	324,3	0,883	286,3	4,9	361,4	0,563	203,4
5,5	172,6	3,4284	591,6	5,4	325,2	0,883	287,1	4,9	361,7	0,563	203,6
5,5	172,7	3,4284	591,9	5,2	314,4	0,883	277,5	4,7	341,3	0,563	192,1
5,5	175,0	3,4284	599,8	5,7	339,1	0,883	299,3	5,2	381,5	0,563	214,7
5,2	165,3	3,4284	566,6	5,9	353,8	0,883	312,3	4,5	328,5	0,563	184,9
5,1	161,8	3,4284	554,7	5,8	348,2	0,883	307,4	4,5	330,2	0,563	185,9
5,3	168,5	3,4284	577,8	5,4	323,0	0,883	285,2	5,0	368,8	0,563	207,6
5,4	170,2	3,4284	583,5	5,8	345,8	0,883	305,2	4,6	340,0	0,563	191,4
5,4	171,3	3,4284	587,2	5,7	344,5	0,883	304,1	4,9	358,3	0,563	201,7
5,4	170,6	3,4284	584,9	5,6	337,1	0,883	297,5	5,1	373,6	0,563	210,3
5,4	170,3	3,4284	583,9	5,9	352,2	0,883	310,9	5,2	383,3	0,563	215,8
5,3	169,0	3,4284	579,3	5,7	342,6	0,883	302,4	4,8	352,3	0,563	198,3
5,4	172,2	3,4284	590,5	5,2	311,7	0,883	275,1	4,9	358,3	0,563	201,7
5,3	166,7	3,4284	571,5	5,3	315,1	0,883	278,2	5,1	373,6	0,563	210,3
5,4	170,8	3,4284	585,5	5,4	324,6	0,883	286,5	5,2	383,3	0,563	215,8
5,2	164,6	3,4284	564,4	5,2	313,2	0,883	276,5	5,0	367,7	0,563	207,0
5,4	170,5	3,4284	584,4	5,4	322,6	0,883	284,8	5,0	364,1	0,563	205,0
5,5	173,2	3,4284	593,9	5,5	329,4	0,883	290,8	5,0	368,9	0,563	207,6
5,3	166,5	3,4284	571,0	5,1	308,5	0,883	272,4	5,0	365,6	0,563	205,8

Continuação dos valores de Re_L e C_D calculados para 60 unidades das amostras E1, E2 e E3

E1				E2				E3			
L (mm)	Re_L	C_D	$C_D Re_L$	L (mm)	Re_L	C_D	$C_D Re_L$	L (mm)	Re_L	C_D	$C_D Re_L$
5,3	168,7	3,4284	578,3	5,4	326,5	0,883	288,2	5,0	366,5	0,563	206,3
5,2	165,1	3,4284	565,9	5,5	329,2	0,883	290,6	5,1	370,6	0,563	208,6
5,3	167,0	3,4284	572,6	5,9	352,4	0,883	311,1	4,9	361,6	0,563	203,5
5,3	166,5	3,4284	570,8	5,5	331,3	0,883	292,5	5,1	373,5	0,563	210,2
5,4	169,3	3,4284	580,5	5,7	344,4	0,883	304,1	4,7	347,5	0,563	195,6
5,3	168,7	3,4284	578,4	5,6	337,8	0,883	298,2	4,8	352,6	0,563	198,5
5,3	166,6	3,4284	571,2	5,1	306,0	0,883	270,1	5,1	375,4	0,563	211,3
5,3	168,9	3,4284	579,0	5,4	323,6	0,883	285,6	4,9	356,7	0,563	200,8
5,3	168,8	3,4284	578,7	5,1	306,6	0,883	270,7	5,0	369,5	0,563	208,0
4,8	152,1	3,4284	521,3	5,2	313,6	0,883	276,8	5,2	384,4	0,563	216,4
5,2	164,2	3,4284	563,0	5,3	315,9	0,883	278,8	5,0	369,2	0,563	207,8
5,3	169,1	3,4284	579,8	5,3	317,3	0,883	280,1	5,2	380,2	0,563	214,0
5,0	156,8	3,4284	537,7	5,1	305,6	0,883	269,8	4,9	362,8	0,563	204,2
5,3	169,1	3,4284	579,7	5,1	307,9	0,883	271,8	5,0	364,0	0,563	204,9
4,9	155,2	3,4284	532,0	5,4	324,5	0,883	286,5	4,7	347,2	0,563	195,5