



## 3.ª EDIÇÃO PRÉMIO ATLÂNTICO JÚNIOR

# Biofiltração Inovadora

## Resíduos de Bananeira Protetores do oceano

Carla Caldeira, Diogo Mendonça, Lucas Dória, Mariana Figueira & Rodrigo Pinto

*Escola B+S Bispo D. Manuel Ferreira Cabral*

### Orientador

Ângela Morais, Professora de Biologia e Geologia, Escola B+S Bispo D. Manuel Ferreira Cabral

### Apoio Científico

Prof. Doutora Nereida Cordeiro e MSc Marisa Faria, Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia,  
Universidade da Madeira

## Resumo

Numa sociedade contemporânea, onde os valores ecológicos e de sustentabilidade são cada vez mais importantes, há uma preocupação crescente com o aumento da produção de plástico, que anualmente tende a acumular-se no meio ambiente na forma de nano ou microplásticos (MPs). Com origens diversas, como produtos de limpeza, cosméticos e macrolásticos, os MPs afetam os ecossistemas terrestres e, principalmente, os marinhos, colocando em risco muitas espécies devido aos processos de bioacumulação e bioamplificação de outros poluentes. Este trabalho teve como objetivos: comprovar a presença de MPs em águas residuais provenientes da máquina de lavar roupa, em águas das estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) e nos conteúdos estomacais de peixes de aquacultura e selvagens; produzir biofiltros puros e nanomodificados a partir de resíduos agrícolas; criar um protótipo que incorpore os biofiltros produzidos, construído a partir da reutilização de diferentes materiais, de modo a simular a filtração de MPs presentes em águas residuais contaminadas, para instalar à saída das ETARs. Aplicar o método científico na construção de um protocolo experimental eficaz que permita testar a eficiência dos biofiltros na remoção de MPs de águas contaminadas; sensibilizar a comunidade educativa, e população em geral, para a problemática da poluição por MPs e para a importância da adoção de hábitos de vida sustentáveis que minimizem a sua libertação para o ambiente, bem como para a importância da utilização de resíduos como materiais de valor acrescentado. Para tal, produziram-se biofiltros a partir da pasta celulósica da bananeira e biofiltros nanomodificados com exopolímeros provenientes de cianobactérias. Testou-se a sua eficiência na retenção de MPs através da sua instalação num protótipo, que se revelou eficaz na filtração de águas residuais com MPs. Tanto os biofiltros de pasta celulósica do talo da bananeira, quanto os biofiltros nanomodificados com substâncias exopoliméricas provenientes de cianobactérias mostraram elevada eficácia na remoção de MPs. Constatou-se que após várias utilizações os biofiltros mantêm a sua integridade e eficácia. Assim, esta eco-tecnologia revelou resultados bastante promissores na descontaminação de águas, e na valorização de um resíduo muito abundante na ilha da Madeira, contribuindo para a economia circular do arquipélago e para a Agenda 2030 para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (Água limpa), 11 (Cidades sustentáveis) e 14 (Vida abaixo da água).

**Palavras-chave:** microplásticos; água contaminada; peixe; estômago; oceano; bananeira; biofiltro; ETAR, eco-tecnologia, economia circular.

## 1. Introdução

Os plásticos são polímeros sintéticos orgânicos com diversas aplicações na indústria, medicina, construção e na proteção alimentar, devido à sua versatilidade, durabilidade e ao seu baixo custo de produção. Nos últimos tempos, temos vivido uma época de exponencial utilização do plástico, causando preocupações com a elevada poluição terrestre e marinha derivada da sua sobreutilização.

As partículas de plástico podem ser encontradas numa grande variedade de tamanhos e tipos, sendo os microplásticos (MPs) definidos como partículas de plástico com tamanhos inferiores a 5 mm (Andrady, 2011). A presença de MPs no meio aquático tem sido um tópico cada vez mais discutido no que toca à poluição da água, e consequentemente à contaminação alimentar (Cunha *et al.*, 2019). Segundo estudos recentes, a presença destas micropartículas tem sido documentadas nos lugares mais remotos, tais como nos oceanos Antártico (Waller *et al.*, 2017) e Ártico (Peeken *et al.*, 2018).

Os MPs podem ser divididos por origem em duas categorias principais: MPs primários e secundários. Os MPs primários, como pellets e microesferas, são originários da produção intencional de produtos comercializados que são utilizados em produtos de cuidados pessoais (limpeza e cosmética) (Cunha *et al.*, 2020a). Estes plásticos primários estão presentes, também, em fibras têxteis sintéticas, utilizadas na fabricação de itens de vestuário e tapetes, por exemplo. Os MPs secundários entram no ambiente como resultado da fragmentação de macrolásticos, tais como pneus, roupas e tapetes sintéticos, sacolas e garrafas plásticas, redes de pesca e outros resíduos de materiais plásticos, sendo essa decomposição causada principalmente pela degradação induzida por UV ou abrasão física (Cunha *et al.*, 2020b). Dada a natureza e as pequenas dimensões, a ingestão desses MPs por organismos marinhos tem um impacto subsequente na vida marinha, incluindo a transferência de contaminantes biológicos ou químicos (Wright *et al.*, 2013), devido ao processo de bioacumulação nestas micropartículas plásticas que afetam mais os níveis tróficos superiores (Cauwenberghe & Janssen, 2014; Besseling *et al.*, 2015), modificam a expressão genética (Lagarde *et al.*, 2016) e aumentam a toxicidade e mortalidade do plâncton marinho (Bergami *et al.*, 2017). Por isso, é extremamente importante a sua eliminação/remoção das entradas nas cadeias tróficas.

Os MPs provenientes de tecidos - microfibras (MFs) - representam 35% do total de MPs nos oceanos, segundo o relatório "Primary Microplastics in the Oceans" da International Union for Conservation of Nature. Os grandes responsáveis por isto são o poliéster (o material mais utilizado pela *fast fashion*), o polietileno, o acrílico e o elastano. Para visualizar melhor o impacto disto, em média, 6kg de poliéster (mais ou menos uma máquina de roupa) libertam 496 mil MFs; o mesmo peso de poliéster misturado com algodão liberta 137 900 MFs. O mais poluente, neste aspeto, é o acrílico, que liberta 728 700 MFs por cada 6kg. Muitos fatores afetam a quantidade de fibras libertadas, como o tipo de tecido, a ação mecânica, os detergentes, a temperatura e a duração do ciclo de lavagem. Estas MFs entram diretamente na rede de saneamento e chegam às ETARs. Existem soluções, como a instalação de filtros nas máquinas de lavar, que apresentam uma eficácia de 90% na remoção de MPs. Para combater este grave problema, a França aprovou uma norma exigindo que todas as novas máquinas de lavar sejam equipadas com filtros até 2025.

Embora os plásticos grandes possam ser facilmente removidos durante o processamento da água, as tecnologias atualmente utilizadas não conseguem reter nem nano, nem MPs (Mintenig *et al.*, 2016). Sun *et al.* (2019) referiu que as concentrações de MPs nos efluentes podem atingir as 447 partículas L<sup>-1</sup>, sendo o poliestireno (PS) um dos polímeros mais detetados. Dados de mais de 70 estações de tratamento de águas residuais (ETAR) mostraram que, embora a inclusão de processos de tratamento terciário (TTPs) reduza fortemente a quantidade média de MPs nos efluentes, este ainda pode ser elevado (51 partículas L<sup>-1</sup>). Se levarmos em conta que apenas *c.a.* 24% das ETAR incorporam os TTPs, a descarga total de MPs é ainda maior e mais preocupante. Sun *et al.* (2019) também reportou que o valor mediano da descarga de MPs nas ETAR estudadas era de 2 106 partículas.dia<sup>-1</sup>, o que suscita preocupações em relação à poluição de MPs derivada das ETARs. Deste modo, há uma preocupação crescente quanto à urgência do desenvolvimento de tecnologias de tratamento orientadas para a remoção dos MPs, de forma a se evitar a sua emissão excessiva.

Biodegradabilidade, sustentabilidade e baixa toxicidade são algumas características das substâncias exopoliméricas (EPS) produzidas por microrganismos (cianobactérias e bactérias), tornando-os

promissores para aplicações em uma ampla gama de campos - da biomedicina à biorremediação. Os EPS são atualmente muito aplicados na indústria como em gomas, biofloculantes, biossorventes e bioemulsificantes. Cunha *et al.* (2020) reportou a potencialidade dos EPS produzidos pela cianobactéria *Cyanothece* sp., quando a cultura de cianobactérias foi exposta a nano e MPs. O EPS produzido pela *Cyanothece* sp. apresentou uma elevada atividade biofloculante em baixas concentrações, realçando o potencial dos biopolímeros de microalgas para substituir floculantes sintéticos perigosos utilizados no tratamento de águas residuais.

Desde a década de 1970 os MPs têm sido identificados no conteúdo estomacal de peixes marinhos. Muitos autores relataram a ocorrência de MPs em várias espécies de peixes marinhos de importância socioeconómica que habitam diferentes regiões, como zonas costeiras (de importância para pesca artesanal) e espécies de regiões pelágicas (de importância para pesca industrial). Diante das variedades de tipos de MPs, as microfibras plásticas (MFs) são as mais abundantes nos resultados observados (Silva, A. 2020). A ingestão de MPs por peixes marinhos é um problema extremamente grave, e que vem sendo cada vez mais identificado em diversas espécies de importância socioeconómica e para o consumo humano. Estudos para identificar os danos que possam causar à saúde humana após a ingestão desses peixes, ainda são insuficientes. No entanto, hoje, os MPs já são considerados omnipresentes e já foram identificados na placenta humana (RAGUSA, A. *et al.*, 2021). Segundo os autores, não foi possível identificar como os MPs entraram na corrente sanguínea, se pelas vias respiratórias ou pelo sistema gastrointestinal. Isso torna o problema da contaminação de peixes com MPs bastante preocupante (Silva, A. 2020)

Os peixes, de modo geral, necessitam dos mesmos nutrientes exigidos pelos animais terrestres para o crescimento, reprodução e outras funções fisiológicas normais. Esses nutrientes geralmente são obtidos dos alimentos naturais disponíveis no ambiente ou das rações comerciais fornecidas no cultivo. Se os peixes são mantidos em confinamento, onde o alimento natural se torna escasso, eles necessitam de uma ração nutricionalmente completa e equilibrada (Rotta, M. 2003). O tamanho do estômago dos peixes pode ser relacionado com o intervalo entre as refeições e o tamanho das partículas do alimento ingerido. Os peixes que consomem grandes presas em intervalos esparsos possuem grandes estômagos e aqueles que se alimentam de pequenas partículas (*i.e.* micrófagos) possuem frequentemente pequenos estômagos ou não os possuem (*i.e.* carpa comum) (Rotta, M. 2003).

Na ilha da Madeira, e segundo dados da GESBA (Empresa de Gestão do Setor da Banana), a produção de bananas tem vindo a aumentar. Esta atividade agrícola produz uma grande quantidade de resíduos, uma vez que cada planta produz apenas um cacho de bananas, após a colheita, o tronco é cortado e usado parcialmente como adubo orgânico para o solo. Todos os anos são produzidas toneladas de resíduos por hectare, sendo por isso importante encontrar uma forma de dar mais utilidade aos mesmos e aumentar a economia circular regional. Cordeiro e colaboradores (2004; Oliveira *et al.* 2005, 2006a,b, 2007) demonstrou que estes resíduos agrícolas têm elevada potencialidade como fonte de fibras celulósicas para a produção de papel, agregando-se assim valor acrescentado a um resíduo, e contribuindo para a minimização de impactos ambientais negativos (Lacerda, 2009).

Dando continuidade ao projeto desenvolvido por Afonso *et al.* em 2017, no âmbito do 25º concurso para Jovens Cientistas e o projeto “utilização da pasta celulósica da bananeira para a remoção de MPs de águas contaminadas” desenvolvido por Mendonça, A. & Vieira, T. em 2021, no âmbito do 29º Concurso Jovens Cientistas, premiado a nível nacional e internacional no EUCYs que decorreu em setembro de 2022 na Holanda, o presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a viabilidade de um protótipo com biofiltros incorporados. Estes biofiltros, produzidos a partir da pasta celulósica de bananeira, tanto na forma pura quanto nanomodificada com exopolímeros de cianobactérias, destinaram-se à remoção de MPs de águas contaminadas. Para tal, analisaram-se as águas residuais provenientes de máquinas de lavar roupa e das ETAR, bem como os conteúdos estomacais após a digestão da matéria orgânica, usando uma lupa binocular. Além disso, tanto os biofiltros simples quanto os nanomodificados foram examinados, e as partículas nas soluções filtradas foram contabilizadas através da Câmara de Neubauer. Os resultados obtidos foram submetidos a análise estatística para avaliar a eficácia dos biofiltros.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Pasta de celulose da bananeira

A pasta celulósica foi obtida usando os resíduos agrícolas do cultivo da banana na Ilha da Madeira, como descrito por Afonso *et al.* (2017) no âmbito do projeto elaborado para o 25º Concurso Jovens Cientistas 2017. Sucintamente, para a confecção das folhas de papel utilizaram-se talos de bananeira *Musa acuminata Colla*, recolhido numa plantação localizada no Faial, Madeira. Pedacos pequenos deste resíduo foram cozidos e triturados para obtenção da pasta celulósica. Com o auxílio de tinas retangular (30x40 cm), e de água abundante, as fibras foram entrelaçadas e colocadas a secar. O tamanho da tela e a massa de pasta celulósica usada definiram a espessura do papel obtido. Das folhas de papel foram cortados os biofiltros (denominados de biofiltros não modificados) com diâmetro de 60 mm. Utilizaram-se os biofiltros, que de acordo com Mendonça, A. & Vieira, T. (2021) apresentaram melhor eficácia na retenção de MPs.

### 2.2. Cianobactéria e meio de cultivo

*Cyanocohniella calida* (BEA 0786) foi isolada em Espanha, Álava, pelo Banco Espanhol de Algas. *C. calida* cresceu em meio *Spirulina*, composto por macronutrientes: 13.61 g.L<sup>-1</sup> dH<sub>2</sub>O NaHCO<sub>3</sub>; 4.03 g.L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; 0.50 g.L<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; 2.5 g.L<sup>-1</sup> NaNO<sub>3</sub>; 1.0 g.L<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 1.0 g.L<sup>-1</sup> NaCl; 0.2 g.L<sup>-1</sup> MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; 0.04 g.L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O; 0.08 g.L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>EDTA.2H<sub>2</sub>O; micronutrientes: 0.8 g.L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>EDTA.2H<sub>2</sub>O; 0.7 g.L<sup>-1</sup> FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; 0.1 g.100 ml<sup>-1</sup> ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; 0.1 g.100 ml<sup>-1</sup> MnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; 0.2 g.100 ml<sup>-1</sup> H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; 0.02 g.100 ml<sup>-1</sup> Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O; 0.02 g.100 ml<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O; 0.0005 g.100 ml<sup>-1</sup> CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O, 1 ml vitaminas (0.000005 g.L<sup>-1</sup> Vitamina B12)]. A cultura inicial cresceu sob uma irradiação de 40 μmol. photons. s<sup>-1</sup> (HOBO® Pendant® MX Temp MX2201) fornecido por uma luz fria Osram L 18W840 Lumilux lamp, com um fotoperíodo de 14/10h (luz/escuro) (Aralab CP500 growth chamber), a 28 ± 2 °C. A cultura foi mantida em crescimento durante 45 dias sob condições de arejamento, após o qual foi usada uma fração tal e qual (contendo as microalgas e denominada por cultura de *C. calida*) e a outra fração foi sujeita a centrifugação 4032 xg por 20 min (HERLME Z360 Centrifuge), usando-se o sobrenadante (denominada por EPS) para a modificação dos biofiltros.

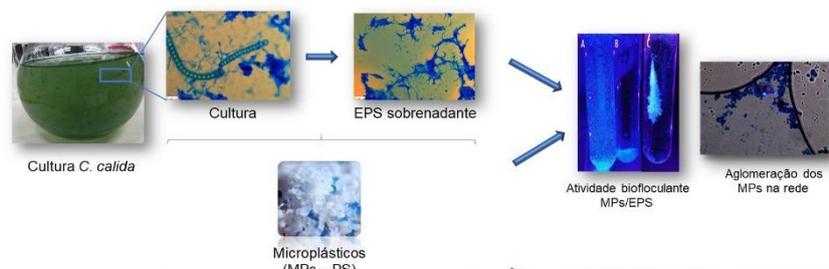
### 2.3. Biofiltros

#### 2.3.1. Biofiltros não modificados

Efetuar-se filtros de pasta celulósica do talo da bananeira com massas de aproximadamente 1,03g e espessura (2 mm), tendo como referência os biofiltros que revelaram maior percentagem de eficácia no trabalho desenvolvido por Mendonça, A. & Vieira, T. (2021).

#### 2.3.2. Biofiltros nanomodificados

Os biofiltros à base de pasta de bananeira foram modificados com a matriz EPS da *C. calida* (Fig. 1). Para tal, foi implementado o processo de modificação por imersão da pasta de celulose da bananeira na matriz, ou seja, os biofiltros já feitos foram deixados durante a noite imersos na matriz a 20% (m/v) de concentração. Os biofiltros modificados obtidos foram secos em estufa à temperatura de 50 °C. Os ensaios foram efetuados em triplicado para garantir a precisão e a repetibilidade dos resultados.



**Figura 1.** Esquema resumo da matriz de reforço usada e respetivo potencial para a agregação/floculação dos MPs na rede.

#### 2.4. Remoção dos MPs de águas contaminadas

Águas residuais da máquina de lavar, provenientes da lavagem de 6Kg de roupa constituída 100% por poliéster, foram utilizadas nos testes. Cada um dos biofiltros foi usado para filtrar 10 mL de água contaminada com MPs. Após a filtração, 1,5 mL da solução filtrada foram recolhidos e conservados em frigorífico a 6°C até análise.

#### 2.5. Detecção dos MPs na água contaminada e nos biofiltros

Para comprovar a existência de MPs nas águas residuais das máquinas de lavar foram recolhidos 6 L de água residual diretamente de uma máquina de lavar roupa e foram também recolhidos 36 L de água residual do efluente após tratamento da ETAR.

Essa água foi passada por uma rede de 5 mm e uma de 0,75 mm. Transferiu-se o conteúdo da malha para um gobelé de 100 mL e adicionou-se água destilada. Foram vertidos 20 mL para uma placa de Petri, que esteve na estufa durante 24h a 90°C. Posteriormente, degradou-se a matéria orgânica com peróxido de hidrogénio a 35%, aqueceu-se durante 30 min a 75°C e deixou-se secar a placa de Petri dentro de uma estufa a 100°C. Pesaram-se as placas de Petri antes e após a evaporação da água e observaram-se à lupa binocular.

Os biofiltros foram observados à lupa binocular, o que permitiu a observação dos MPs retidos no filtro. As partículas nas soluções filtradas foram contabilizadas através da Câmara de Neubauer, a fim de determinar a quantidade de MPs que foram retidos ou passaram pelo filtro.

#### 2.6. Detecção dos MPs nos conteúdos estomacais de peixes

Para comprovar a existência de MPs nos conteúdos estomacais de peixes, dissecaram-se 5 peixes da espécie *Sparus aurata* (douradas) de aquacultura e 5 peixes selvagens da espécie *Diplodus sargus* (sargo). Retirou-se o estômago, o qual foi aberto e lavado com água destilada, recolhendo-se o seu conteúdo para uma proveta, onde se adicionou igual volume de KOH 20%. Digeriu-se a matéria orgânica por 24h e colocaram-se 10 mL numa placa de Petri coberta com papel de alumínio a secar.

#### 2.7. Construção de um protótipo

Construiu-se um protótipo representativo da filtração de águas contaminadas com MPs, com base no esquema da figura 2, reutilizando-se materiais, nomeadamente 2 garrafas de vidro, uma bomba de uma máquina de lavar roupa antiga, 2 panelas, cano de esgoto, rede e mangueiras. Neste protótipo, foram colocados os biofiltros simples e nanomodificados produzidos e utilizou-se a amostra de água proveniente da máquina de lavar roupa para avaliar a sua eficácia de filtração.

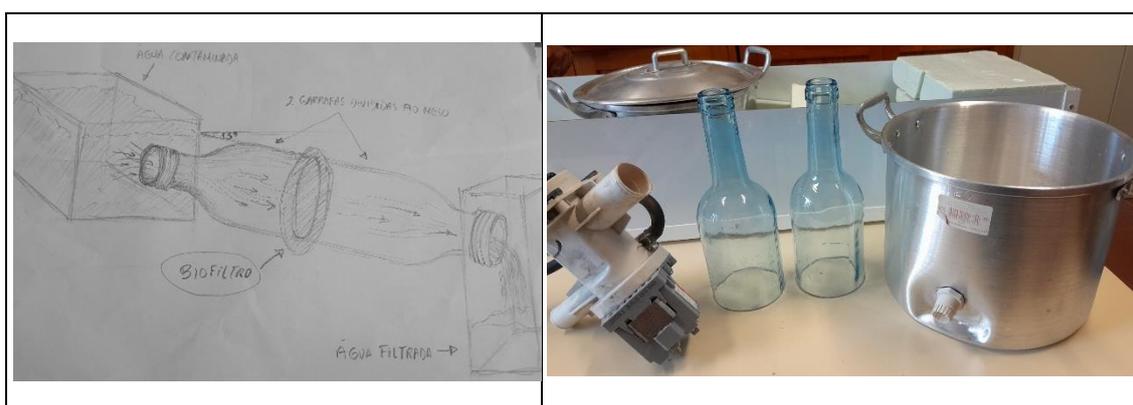


Figura 2. Esquema do protótipo “Biofiltração inovadora” e materiais reutilizados.

#### 2.8. Análise estatística

Todos os estudos foram efetuados em triplicado. Os resultados apresentados são a média dos valores obtidos. A análise estatística foi realizada usando o software de estatísticas IBM SPSS (V.26). As diferenças nas condições experimentais foram avaliadas por análises unilaterais de variância (ANOVA), com um nível de significância estatística de  $p$ -value <0,05.

### 3. Resultados

#### 3.1. Presença de MPs na água residual da máquina de lavar roupa e no efluente final da ETAR

Através das imagens obtidas por observação ao microscópio ótico e à lupa binocular, constatou-se a presença dos MPs nas águas provenientes da máquina de lavar roupa e do efluente recolhido à saída da ETAR de Santana (B) (Fig. 3 e 4). Utilizando a lâmina de Neubauer, procedeu-se à contagem dos MPs presentes na água da máquina de lavar roupa, verificando-se uma média de 27.400 MPs/L, enquanto na água da ETAR a média foi de 11.400 MPs/L. Dado que a água da máquina de lavar roupa apresentou maior quantidade de MPs, selecionou-se esta para ser filtrada através dos biofiltros incorporados no protótipo.

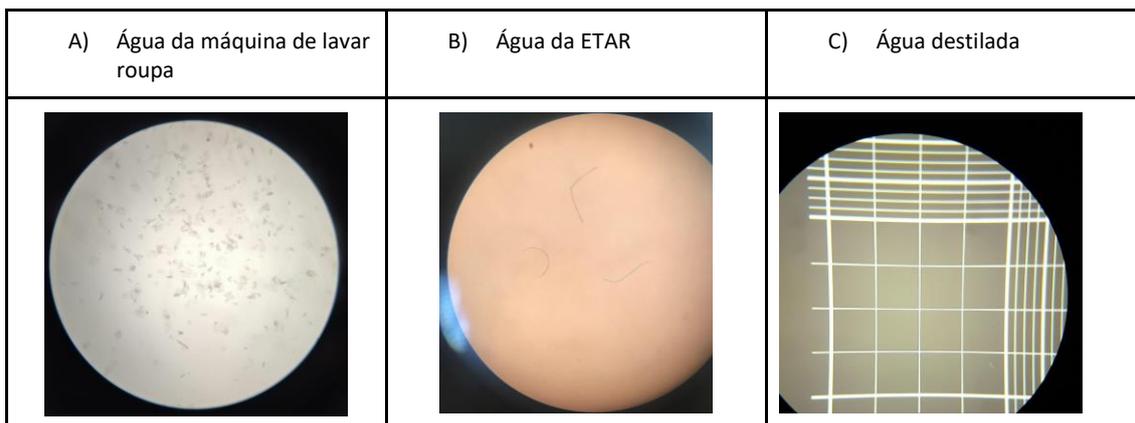


Figura 3. Observação à lupa binocular (Amp 10x) de MPs na água residual da máquina de lavar roupa (A), na água do efluente à saída da ETAR (B), e na água destilada (controlo) (C).

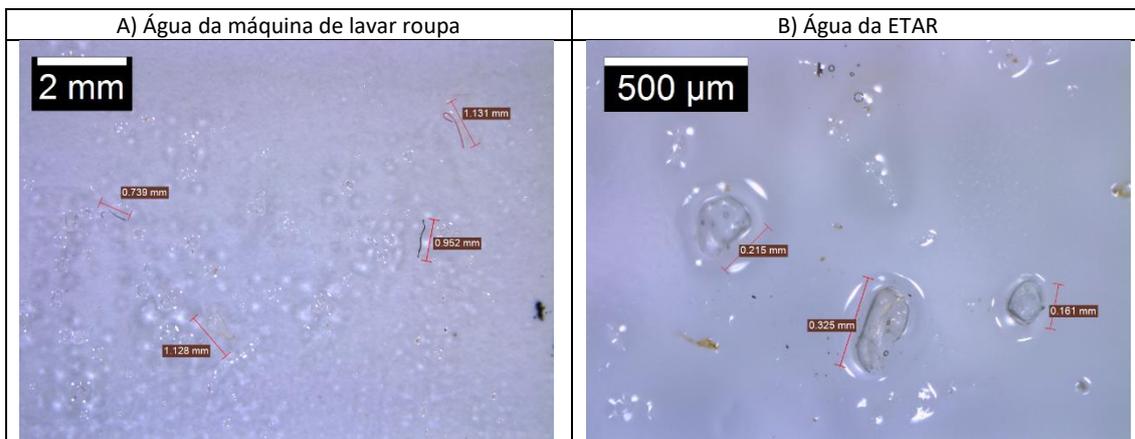
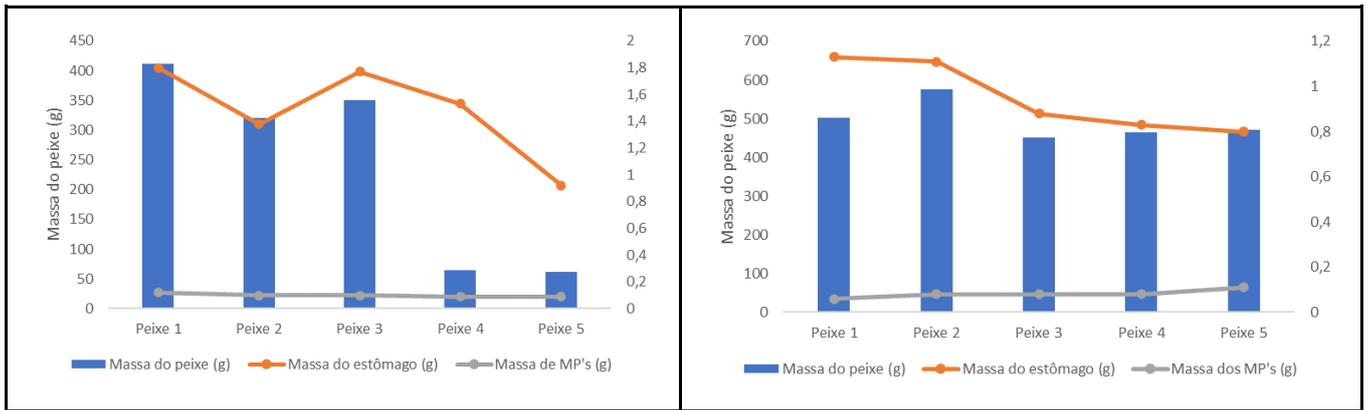


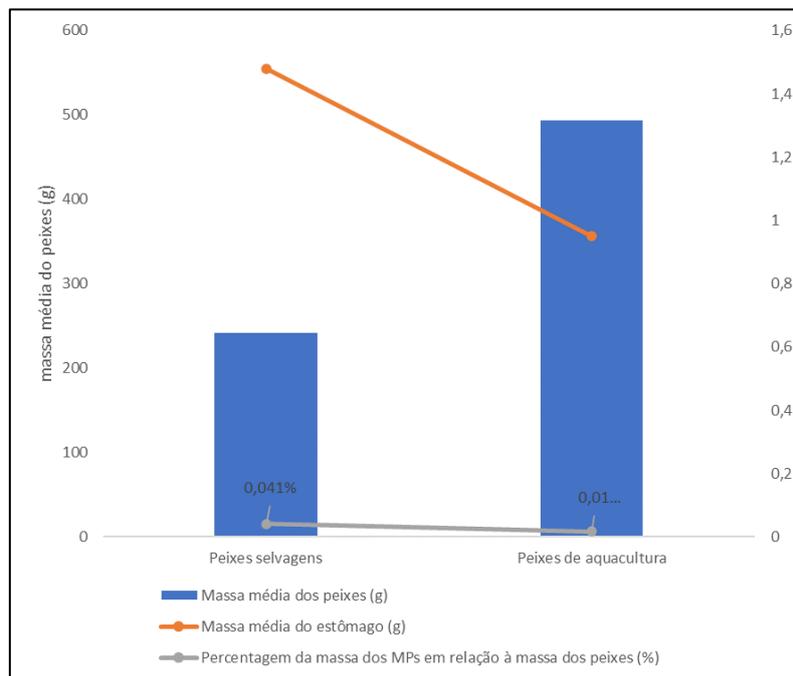
Figura 4. Observação à lupa binocular (Amp 10x) dos MPs presentes na água residual da máquina de lavar roupa (A) e na água do efluente à saída da ETAR (B).

#### 3.2. Presença de MPs nos conteúdos estomacais de peixes de aquacultura e selvagens

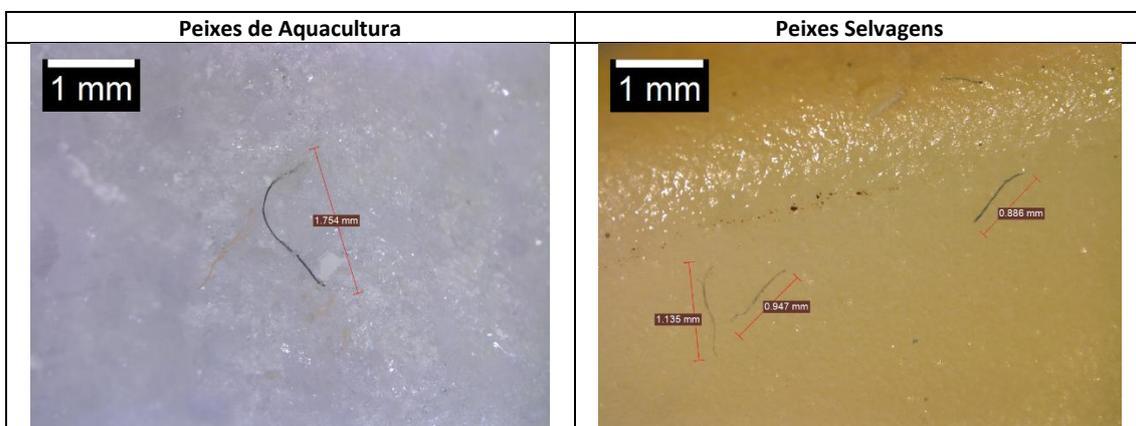
Todos os peixes estudados (selvagens e de aquacultura) foram pesados, bem como os seus estômagos, os quais foram dissecados e recolhido o conteúdo estomacal para contabilização dos MPs (Figura 5).



**Figura 5.** Massa dos peixes das espécies *Diplodus sargus* selvagens (A) e *Sparus aurata* (B), bem como dos respectivos estômagos e MPs contabilizados no respetivo conteúdo estomacal.



**Figura 6.** Comparação entre a massa dos peixes de aquacultura e selvagens analisados, respetivos estômagos, e MPs contabilizados no respetivo conteúdo estomacal.



**Figura 7.** Observação à lupa binocular (Amp 10x) dos MPs presentes nos conteúdos estomacais de peixes de aquacultura e peixes selvagens.

### 3.3. Biofiltros simples

Os biofiltros à base de pasta celulósica do talo de bananeira foram produzidos com uma média de massas de 1,03g e uma espessura de 2mm (Fig. 8).



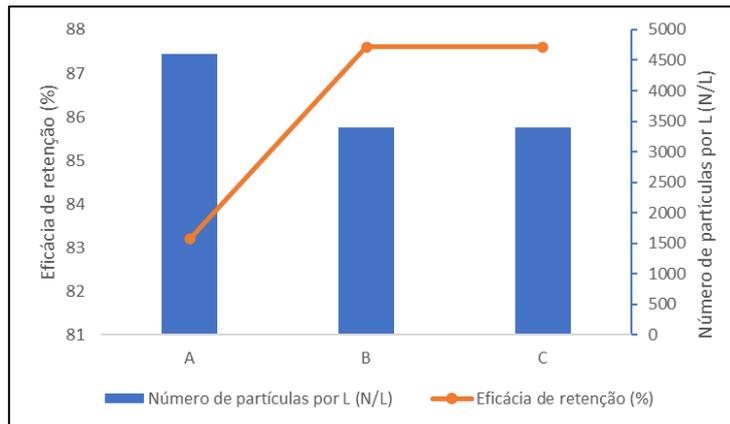
Figura 8. Observação macroscópica dos biofiltros puros

Através da observação à lupa binocular dos biofiltros puros, antes e após a filtração, foi possível identificar MPs, do tipo MFs retidas nas fibras celulósicas da bananeira após filtração (Fig.9).

Biofiltros Puros		Biofiltros nanomodificados	
Antes	Após filtração	Antes	Após filtração

Figura 9. Observação dos biofiltros não modificados à lupa binocular (ampliação 10x) antes e após filtração de águas contaminadas por MPs. As setas amarelas indicam os MPs retidos na rede celulósica.

O número de partículas de MPs nas soluções filtradas foram determinadas através da Câmara de Neubauer, a fim de determinar a quantidade de MPs retidos e não removidos pelos biofiltros. A média da eficácia de retenção é de 86,1% (Figura 10).



**Figura 10.** Eficiência de remoção e número de partículas de MPs presentes no filtrado após utilização dos biofiltros simples.

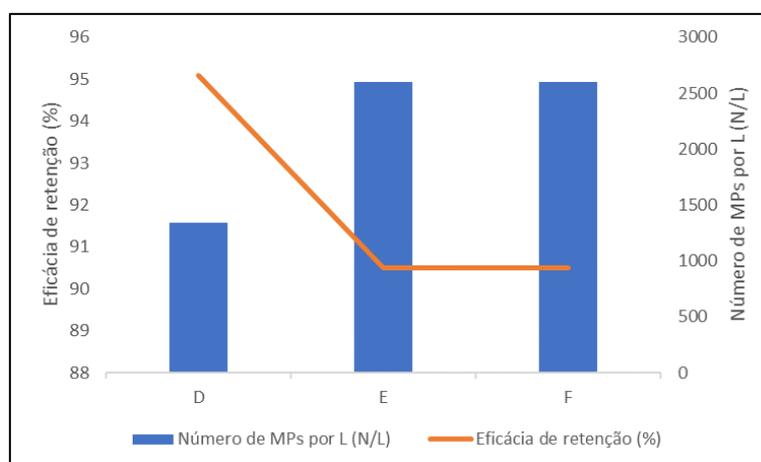
### 3.4. Biofiltros nanomodificados

Os biofiltros à base de pasta celulósica do talo de bananeira foram sujeitos à modificação por matriz de origem microbiológica usando o processo de imersão (Fig. 11).



**Figura 11.** Biofiltros produzidos à base de pasta celulósica do talo de bananeira nanomodificados por imersão.

O número de partículas de MPs nas soluções filtradas foram determinadas através da Câmara de Neubauer, a fim de determinar a quantidade de MPs retidos e não removidos pelos biofiltros nanomodificados. A média da eficácia de retenção é de 93,4% (Figura 12).



**Figura 12.** Eficiência de remoção e número de partículas de MPs presentes no filtrado após utilização dos biofiltros nanomodificados.

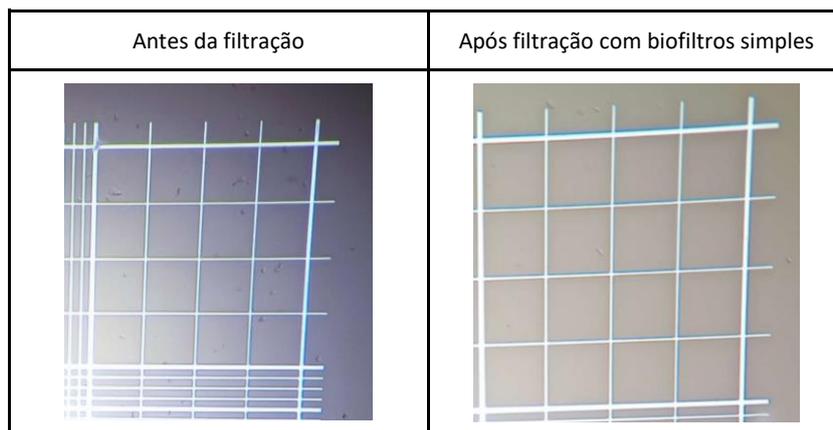


Figura 13. Observação ao microscópio ótico (ampliação 40X) da solução A antes e após filtração com biofiltro puros.

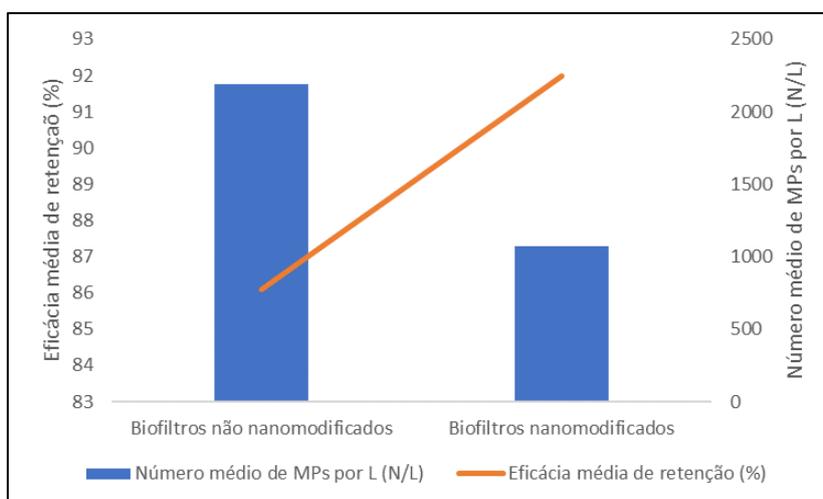


Figura 14. Comparação dos resultados entre biofiltros puros e biofiltros nanomodificados

### 3.5 Protótipo

O protótipo foi construído, a partir da reutilização de diversos materiais, tendo como base o esquema inicialmente elaborado (Fig.2). No entanto, de forma a evitar a retenção de microplásticos no gargalo das garrafas, optou-se por colocar essa secção do dispositivo que contém o biofiltro, na vertical e introduziu-se uma bomba de água, reaproveitada de uma máquina de lavar roupa antiga, para tornar a filtração mais rápida e eficiente. A figura 15 apresenta o protótipo que simula a biofiltração de águas contaminadas com MPs, o qual poderá ser colocado à saída de uma ETAR, de forma a minimizar a libertação destes poluentes para os oceanos.

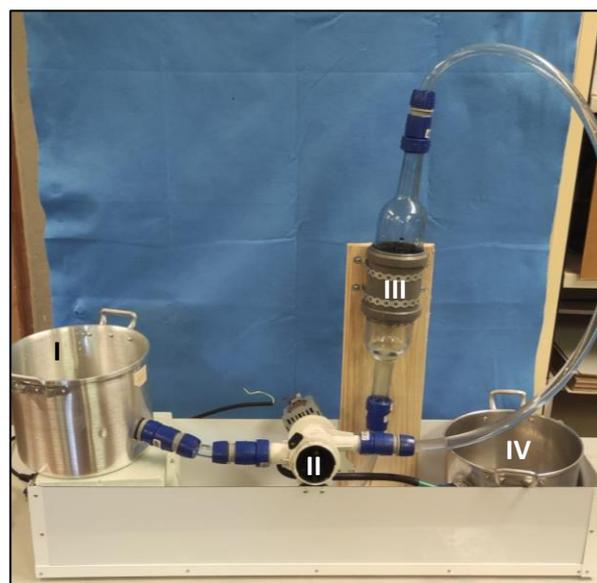


Figura 15. Protótipo para a biofiltração de águas contaminadas com MPs. Legenda: I – Entrada de água contaminada com MPs, II – Bomba de água, III- Secção que contém o Biofiltro, IV – Saída de água filtrada.

#### 4. Discussão/ Conclusão

Comprovou-se a presença de MPs na água residual da máquina de lavar roupa (solução A), (Fig.3 e 4) sendo estes maioritariamente MFs, atendendo ao facto de terem sido lavados 6 kg de roupa 100% poliéster. Após contagem ao m.o.c usando a lâmina de Newbauer constatou-se que o número de MPs nesta solução é de 27400MPs/L, considerando a lavagem de 6Kg de roupa foram libertados 184400 MFs. De acordo com a bibliografia consultada em média são libertados 496 mil MFs, ou seja, um valor superior ao obtido. Tal discrepância pode ser justificada pelo facto desta solução A ser proveniente de um ciclo curto de lavagem a uma temperatura de 30°C. Sabe-se que quanto maior o tempo de lavagem a altas temperaturas, maior será a libertação de MFs.

Também se identificaram MPs na água recolhida do efluente à saída da ETAR (solução B) (Fig. 3 e 4), estando estes em menor concentração comparativamente a igual volume de água da máquina de lavar roupa, uma vez que apresentam 11400 MPs/L. Esta diferença pode ser explicada pelo fato de que a ETAR realiza processos de tratamento que reduzem a quantidade de MPs na água residual antes do seu descarte final.

Relativamente à análise dos conteúdos estomacais dos peixes de aquacultura e selvagens, foram observados MPs, maioritariamente MFs em ambos (Fig. 7). Após a pesagem dos peixes estudados e respetivos estômagos verificou-se que os peixes de aquacultura apresentam um estômago menor comparativamente ao seu peso (Fig.6). Rotta, M. (2003) atribui este facto ao tipo de alimentação à base de ração nos peixes de aquacultura. Por sua vez, os peixes selvagens apresentam um estômago maior em proporção ao peso do animal, atendendo ao facto de se alimentarem livremente no oceano. Relativamente à percentagem de MPs, verificou-se que os peixes selvagens apresentaram uma maior percentagem (Fig.6).

Com o objetivo de avaliar a eficiência dos biofiltros, verificou-se que os biofiltros puros e nanomodificados têm capacidade para reter micropartículas plásticas. O tipo de MPs que ficam retidos nos biofiltros foram maioritariamente fibras, as quais ficam aprisionadas nas fibras celulósicas da bananeira (Fig.9). Isto resulta na diminuição da sua presença na solução filtrada (Fig.13). Os biofiltros puros apresentaram uma eficácia de 86,1% (Fig.14), o que vai de encontro aos resultados obtidos no trabalho desenvolvido por Mendonça, Artur & Vieira, T., 2021. Os biofiltros nanomodificados por imersão nas soluções EPS da *C. calida* a 20 % apresentaram uma eficácia de 93,4%. Desta forma constatou-se que ambos os biofiltros têm capacidade de retenção de MPs, sendo o mais eficaz o biofiltro com EPS (Fig.14). Isto pode ser devido ao facto dos EPS produzidos pela *Cyanothece* sp. terem capacidade para agregarem nano e MPs, como descrito por Cunha *et al.*, 2020.

O protótipo construído permitiu simular a filtração de MPs de águas contaminadas à saída de uma ETAR (Fig.15), sendo uma eco-tecnologia inovadora na minimização destes poluentes para os oceanos.

Este dispositivo constitui igualmente um recurso pedagógico interessante, uma vez que colocando uma determinada solução no recipiente de entrada, selecionando-se o tipo de biofiltro que se pretende e recolhendo a solução filtrada no recipiente final, os alunos conseguem compreender o potencial destes biofiltros na remoção de MPs de soluções contaminadas e a sua importância para a preservação dos oceanos.

Desta forma, pelo trabalho realizado, comprovou-se a presença de MPs, maioritariamente MFs, nas águas de lavagem de roupas sintéticas, na água do efluente final de uma ETAR e nos conteúdos estomacais de peixes de aquacultura e selvagens. Para reduzir a libertação destes poluentes nos oceanos, produziram-se biofiltros à base de pasta celulósica de bananeira puros ou impregnados com EPS provenientes da cianobactéria *C. calida*. A elaboração do protótipo permitiu simular o processo de biofiltração dos MPs à saída de uma ETAR, demonstrando a eficiência dos biofiltros na retenção de MPs. Desta forma, estes biofiltros poderão constituir uma alternativa ecológica aos filtros comerciais.

## 5. Contribuições do trabalho

No desenvolvimento deste projeto tivemos o contributo da Professora Doutora Nereida Cordeiro e Doutoranda Marisa Faria do Banco de Microalgas da Madeira, Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia da Universidade da Madeira, que prestaram todo o apoio a nível científico e facultaram algum material necessário à concretização do mesmo, nomeadamente: solução de exopolímeros de *Cyanocohniella cálida*. Além disso, disponibilizaram nas suas instalações os equipamentos necessários à identificação dos MPs nas placas de Petri das soluções filtradas. A empresa José Manuel Barbara Ramos - Caixilharia de Alumínio, Sociedade Unipessoal Lda., do Faial, auxiliou na montagem do protótipo, bem como os docentes de Artes Visuais da nossa escola, Marco Sousa e Marco Magalhães.

## 6. Referências bibliográficas

- Afonso E., Coelho L., Alves S., 25º Concurso Jovens Cientistas (2017), “O papel da bananeira e da cana-de-açúcar na preservação do meio ambiente”.
- Andrady, A., (2011). “Microplastics in the marine environment. Mar. Pollut. Bull. 62 (8), 1596e1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>.
- Andrady, A., 2017. The plastic in microplastics: a review. Mar. Pollut. Bull. 119 (1), 12e22. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>
- Bergami, E., Pugnali, S., Vannuccini, M., Manfra, L., Faleri, C., Svarelli, F., Dwason, K., Corsi, I. (2017) “Long-term toxicity of surface-charged polystyrene nanoplastics to marine planktonic species *Dunaliella tertiolecta* and *Artemia franciscana*”. Aquat. Toxicol. 189 (0), 159e169. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.06.008>.
- Besseling, E., Foekema, E., Franeker, J., Leopold, M., Kühn, S., Rebolledo, E., Heße, E., Mielke, L., Ijzer, J., Kamminga, P., Koelmans, A. (2015) “Microplastic in a macro filter feeder: humpback whale *Megaptera novaeangliae*. Mar”. Pollut. Bull. 95 (1), 248e252. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.007>.
- Cauwenberghe, L., Janssen, C. (2014) “Microplastics in bivalves cultured for human consumption”. Environ. Pollut. 193 (0), 65e70. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010>.
- Cordeiro, N., Belgacem, M.N., Torres, I.C., Moura, J.V.C.P. (2004) “Chemical composition and pulping of banana pseudo-stems”. Ind. Crops Prod. 19, 147–154.
- Cunha, C., Faria, M., Nogueira, N., Ferreira, A., Cordeiro, N. (2019) “Marine vs freshwater microalgae exopolymers as biosolutions to microplastics pollution”. Environmental Pollution 249 (2019), 372e380. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.046>
- Cunha, C., Lopes, J., Paulo, J., Faria, M., Kaufmann, M., Nogueira, N., Ferreira, A., Cordeiro, N. (2020a) “The effect of microplastics pollution in microalgal biomass production: A biochemical study”. Water Research, 186 (2020) 116370
- Cunha, C., Silva, L., Paulo, J., Faria, M., Nogueira, N., Cordeiro, N. (2020) “Microalgal-based biopolymer for nano- and microplastic removal: a possible biosolution for wastewater treatment”. Environmental Pollution 263 (2020b), 114385 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114385>
- Gatti, Thérèse H, OLIVEIRA, Daniela. (2007) Dossiê Técnico: Papel Artesanal - aproveitamento de resíduos agrícolas e reciclagem de papéis usados. UnB - Universidade de Brasília – CDT.
- Lacerda, N. (2009) Produção de papel artesanal de fibra de bananeira: uma proposta de ensino de química por projeto. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências. Universidade de Brasília.
- Lagarde, F., Olivier, O., Zanella, M., Daniel, P., Hiard, S., Caruso, A. (2016) “Microplastic interactions with freshwater microalgae: hetero-aggregation and changes in plastic density appear strongly dependent on polymer type”. Environ. Pollut. 215 (0), 331e339. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.006>.
- Mintenig, S., Int-Veen, I., Loder, M., Primpke, S., Gerds, G. (2016) « Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging”. Water Res. 108, 365e372. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.015>, 0.
- Oliveira, L., Cordeiro, N., Evtuguin, D.V., Torres, I.C., Silvestre, A.J.D. (2007) “Chemical composition of different morphological parts from ‘Dwarf Cavendish’ banana plant and their potential as a non-wood renewable source of natural product”. Ind. Crops Prod. 26, 163–172.
- Oliveira, L., Evtuguin, D., Cordeiro, N., Silvestre, A.J.D., Silva, A.M.S., Torres, I. (2006a). “Structural characterization of lignin from leaf sheaths of banana plant ‘Dwarf Cavendish’”. J. Agric. Food Chem. 54, 2598–2605.

- Oliveira, L., Freire, C.S.F., Silvestre, A.J.D., Cordeiro, N., Torres, I.C., Evtuguin, D. (2005) "Steryl glucosides from banana plant *Musa acuminata* Colla var. Cavendish". *Ind. Crops Prod.* 22, 187–192.
- Oliveira, L., Freire, C.S.F., Silvestre, A.J.D., Cordeiro, N., Torres, I.C., Evtuguin, D. (2006b) "Lipophilic extractives from different morphological parts of banana plant "Dwarf Cavendish". *Ind. Crops Prod.* 23, 201–211.
- Peeken, I., Primpke, S., Beyer, B., Gütermann, J., Katlein, C., Krumpfen, T., Bergmann, M., Hehemann, L., Gerdt, G., (2018) "Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic". *Nat. Commun.* 9 (1), 1e12. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03825-5>.
- Pinheiro, P., Junior, R., Freitas, F., "Microplástico em peixes marinhos: um referencial teórico. Engenharia de Pesca: aspectos teóricos e práticos" - Volume 3. 163-172.
- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., Loosdrecht, M., Ni, B. (2019) "Microplastics in wastewater treatment plants: detection, occurrence and removal". *Water Res.* 152, 21e37. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.050>.
- Rotta, M. (2003) "Aspectos Gerais da ISSN 1517-1973 Dezembro, 2003 Fisiologia e Estrutura do Sistema Digestivo dos Peixes Relacionados à Piscicultura". Embrapa Pantanal. Brasil, 9-20.
- Waller, C., Griffiths, H., Waluda, C., Thorpe, S., Loaiza, I., Moreno, B., Pachterres, C., Hughes, K. (2017) "Microplastics in the Antarctic marine system: an emerging area of research". *Sci. Total Environ.* 598 (0), 220e227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.283>.
- Wright, S., Thompson, R., Galloway, T. (2013) "The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environ. Pollut.* 178, 483e492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>.
- <https://www.terra.com.br/byte/ciencia/lavar-roupa-e-uma-das-maiores-fontes-de-microplasticos-o-que-fazer-para-evitar,c78154d13706493be242df54833b6bf6szphvzx8.html>