



AROLDO LOPES DE PAULA VALÁCIO

**IDENTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICO NA ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM UMA INSTITUIÇÃO
DE ENSINO SUPERIOR**

**LAVRAS - MG
2023**

AROLDO LOPES DE PAULA VALÁCIO

**IDENTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração: Gestão de Resíduos e Efluentes, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Camila Silva Franco
Orientadora

Prof. Dr. Alfredo Rodrigues de Sena Neto
Coorientador

**LAVRAS - MG
2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Valácio, Aroldo Lopes de Paula.

Identificação de Microplástico na Estação de Tratamento de Esgoto em uma instituição de ensino superior / Aroldo Lopes de Paula Valácio. - 2023.

60 p. : il.

Orientadora: Camila Silva Franco.

Coorientador: Alfredo Rodrigues de Sena Neto.

Dissertação (Mestrado profissional) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Recursos Hídricos. 2. Águas Residuárias. 3. Esgotamento Sanitário. I. Franco, Camila Silva. II. Neto, Alfredo Rodrigues de Sena. III. Título.

AROLDO LOPES DE PAULA VALÁCIO

**IDENTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR**

**IDENTIFICATION OF MICROPLASTICS IN THE SEWAGE TREATMENT PLANT
IN A HIGHER EDUCATION INSTITUTION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração: Gestão de Resíduos e Efluentes, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de abril de 2023.

| | |
|---|---------|
| Dr.a Camila Silva Franco | UFLA |
| Dr. Isael Aparecido Rosa | UFLA |
| Dr.a Rosângela Francisca de Paula Vítor Marques | UNINCOR |

Profa. Dra. Camila Silva Franco
Orientadora

Prof. Dr. Alfredo Rodrigues de Sena Neto
Coorientador

**LAVRAS - MG
2023**

A meus pais e, sobretudo, a meus dois amores, à minha esposa Sirleny e ao meu filho

Walter.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A meu filho Walter Neto e à minha esposa Sirleny Valácio! Faltam-me palavras de gratidão pelo merecimento de tê-los comigo e terem sido pacientes diariamente nesta caminhada. Meu amor e minha gratidão eterna.

Aos meus pais aos quais a satisfação deste trabalho reservo-lhes com júbilo.

Aos(às) meus(minhas) colegas de Ufla que me permitiram abrigar as dúvidas e desenvolver este estudo.

Aos amigos Tobias, Henrique e Reginaldo que compartilharam seus esforços nas campanhas e foram braço amigo, minha eterna gratidão!

À professora Camila por proporcionar o ambiente necessário ao desenvolvimento da proposta de trabalho e asseverar a boa aplicação na condução dos estudos.

Ao professor Alfredo por acreditar na proposta de trabalho.

À professora Rosângela pelo esmero e ensinamento de fidelidade científica.

À Universidade Federal de Lavras a que devo minha satisfação e agradecimento.

Finalmente, a um tio-pai-amigo que se tornou estrelinha durante esta caminhada: Railson Ferreira Costa (*in memoriam*). Sempre presente.

RESUMO

A ampla utilização do plástico no mundo, em suas diferentes formas, cores, tamanhos e densidades, gera resíduos, os quais são intemperizados a dimensões inferiores a 5 mm, formando os denominados microplásticos (MP). Esses contaminantes podem ser encontrados, nos efluentes de estações de tratamento de águas residuárias e, em diversos alimentos presentes na dieta humana, como mel, açúcar, sal, cerveja, vinho, refrigerantes, leite, etc. Atualmente a contaminação por MPs é um desafio para a ciência e para a gestão ambiental pública. Estima-se que até 2050 sejam lançados no ambiente 12 bilhões de toneladas de resíduos plásticos. Diante disso, objetivou-se neste estudo verificar a presença e identificar MPs, nos resíduos de grade retidos no tratamento preliminar (afluente bruto, bem como no efluente de saída dos filtros biológicos aerados (FBAS) da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). O método empregado, para a extração do MP do resíduo de grade, foi mediante digestão da matéria orgânica da amostra com o auxílio de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e subsequente flotação do material em meio aquoso salino (NaCl). Para a detecção do microplástico, nos afluentes bruto e de saída, utilizou-se o método de filtração direta, para a retenção das partículas em papel de filtro qualitativo com gramatura de 180 gramas, para possibilitar a maior retirada da turbidez da solução e posterior clarificação do material de suspensão, possibilitando melhor identificação do precipitado, utilizando-se Lupa. Foram identificados, nos resíduos de grade (lodo primário), filamentos, fragmentos, fibras e partículas disformes de MPs. No Afluente bruto e no Efluente de saída dos filtros biológicos aerados (FBAS), foram identificados filamentos e fragmentos de MPs. Os resultados das análises obtidos indicaram a presença de polietileno (PE).

Palavras-chave: Recursos Hídricos. Águas residuárias. Esgotamento Sanitário.

ABSTRACT

The extensive use of plastic worldwide, in its different shapes, colors, sizes, and densities, generates waste, which is weathered to dimensions of less than 5 mm, forming the so-called microplastics (MP). These contaminants can be found in effluents from wastewater treatment plants and in various foods present in the human diet, such as honey, sugar, salt, beer, wine, soft drinks, milk, etc. Currently, contamination by MPs is a challenge for science and public environmental management. It is estimated that around 12 billion tons of plastic waste will be released into the environment by 2050. Thus, this study aimed to verify the presence and identify MPs in the grid residues retained in the preliminary treatment (raw affluent and effluents from the aerated biological filters (FBAS) of the Sewage Treatment Station (ETE) of the University Federal de Lavras (UFLA). The method used to extract the MP from the grid residue was the digestion of the organic matter of the sample using hydrogen peroxide (H_2O_2) and subsequent flotation of the material in a saline aqueous medium (NaCl). The microplastic in the raw and outgoing effluents was detected using the direct filtration method to retain the particles on qualitative filter paper with a grammage of 180 grams, removing the turbidity from the solution and subsequently clarifying the suspension material, allowing better identification of the precipitate using a magnifying glass. Filaments, fragments, fibers, and shapeless MP particles were identified in the grid waste (primary sludge). Filaments and MP fragments were identified in the raw affluent and in the effluent from the aerated biological filters. The analysis results indicated the presence of polyethylene (PE).

Keywords: Water resources. Wastewater. Sanitary exhaustion.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Resinas fabricadas consumidas no Brasil | 16 |
| Figura 2 - Esquema de contaminação da teia alimentar pela poluição por MP..... | 23 |
| Figura 3 - Via esquemática da exposição humana aos MPs por três vias: ingestão, inalação e contato dérmico | 24 |
| Figura 4 - Efeitos toxicológicos de micropartículas de poliestireno em culturas celulares: estresse oxidativo, apoptose, inflamação, disfunção mitocondrial e lisossomal e genotoxicidade | 25 |
| Figura 5 - Extensão de rios brasileiros poluídos | 27 |
| Figura 6 - Estação de Tratamento de Esgoto da UFLA..... | 31 |
| Figura 7 - Amostra fracionada de resíduos do gradeamento da ETE. Da direita para a esquerda: resíduo orgânico, areia e silte | 33 |
| Figura 8 - Amostra fracionada de resíduos do gradeamento da ETE. Da direita para a esquerda: resíduo orgânico, areia e silte | 34 |
| Figura 9 - Fluxograma do método analítico | 35 |
| Figura 10 - Esquema da ETE/UFLA e respectivos pontos de coleta | 36 |
| Figura 11 - Amostra de resíduo de grade em abertura de 4,75mm e 0,100mm | 38 |
| Figura 12 - Esquema das etapas de análise por flotação | 39 |
| Figura 13 - Procedimentos de análise do material..... | 40 |
| Figura 14 - Etapa analítica..... | 41 |
| Figura 15 - Microplásticos do lodo primário da ETE/UFLA visto em Lupa | 42 |
| Figura 16 - Microplásticos do afluente bruto visto em Lupa | 43 |
| Figura 17 - Microplásticos do UASB-FBAS visto em Lupa..... | 43 |
| Figura 18 - Espectro de PE encontrado na análise por espectrometria por infravermelho | 47 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Caracterização do lodo primário | 34 |
|--|----|

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Tipos de Polímeros e aplicações | 17 |
| Quadro 2 - Classificação e características dos polímeros (continua) | 18 |
| Quadro 3 - Identificação de MPs por outros(as) autores(as) (continua)..... | 28 |
| Quadro 4 - Local e forma de coleta e número de amostras coletadas na ETE/UFLA..... | 37 |
| Quadro 5 - Características morfológica dos MPs..... | 42 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|-------------------------------|--|
| ABIPLAST | Associação Brasileira da Indústria do Plástico |
| ANA | Agência Nacional das Águas |
| ETE | Estação de tratamento de Esgoto |
| FBAS | Filtro Biológico Aerado Submerso |
| Fe | Ferro |
| H ₂ O ² | Peróxido de Hidrogênio |
| MP | Microplástico |
| NaCl | Cloreto de Sódio |
| PE | Polietileno |
| PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos |
| PNUMA | Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente |
| POP | Poluentes Orgânicos Persistentes |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |
| UASB | Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente |
| UFLA | Universidade Federal de Lavras |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | OBJETIVOS | 15 |
| 2.1 | Objetivo Geral | 15 |
| 2.2 | Objetivos Específicos | 15 |
| 3 | REFERENCIAL TEÓRICO | 16 |
| 3.1 | Conceitos e características dos plásticos | 16 |
| 3.2 | Microplásticos na Natureza | 21 |
| 3.3 | Impacto dos Microplásticos | 23 |
| 3.3.1 | Transporte na Cadeia Alimentar e Consequente Exposição Humana | 23 |
| 3.3.2 | Distribuição de Microplásticos no Ambiente | 25 |
| 3.4 | Poluição hídrica por resíduos plásticos | 26 |
| 3.5 | Microplásticos em Estações de Tratamento de Esgotos | 28 |
| 3.6 | Medição de Microplásticos em esgoto doméstico | 29 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS | 31 |
| 4.1 | Caracterização da área de estudo | 31 |
| 4.2 | Delineamento metodológico | 35 |
| 4.3 | Amostragem e procedimento laboratorial | 35 |
| 4.4 | Extração dos microplásticos | 37 |
| 4.5 | Triagem e identificação morfológica | 41 |
| 4.6 | Identificação dos polímeros | 41 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 42 |
| 5.1 | Identificação Morfológica de Microplásticos | 42 |
| 5.2 | Identificação química dos Microplásticos | 46 |
| 5.3 | Considerações e desafios para as análises de MPs em ETEs | 48 |
| 6 | CONCLUSÕES | 49 |
| | REFERÊNCIAS | 50 |

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2021), os dados da produção mundial de 2021 indicam uma produtividade de 373 milhões de toneladas de resinas e de transformados plásticos, havendo o Brasil produzido 7,7 milhões de toneladas no período. Do montante produzido em território nacional, estima-se que 2,9 milhões de toneladas se transformaram em resíduos encaminhados, para aterros e outros descartes, sendo apenas 884 mil toneladas recicladas, totalizando um percentual de 23,1% de reciclados pós-consumo.

A presença de resíduos plásticos no solo e na água vem aumentando rapidamente e, por consequência do descarte inadequado desse resíduo, pesquisas revelam prejuízos ecológicos e o risco iminente à saúde humana (PIRONTI *et al.*, 2021). Quando descartado incorretamente no ambiente, o resíduo plástico demonstra-se persistente, podendo levar 450 anos para biodegradar (NUNES, 2022; TURNER; ARNOLD; WILLIAMS, 2020). Embora esses materiais apresentem alto potencial de reciclagem, estudos demonstram várias deficiências no gerenciamento dos resíduos sólidos, em especial, dos plásticos (LANDIM *et al.*, 2016).

Diante deste cenário, as nações que compõem o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP, 2021) firmaram um acordo no qual a resolução denominada “Fim da Poluição Plástica” propõe a redução de plásticos nos oceanos em 80% até 2040. O programa estima que 11 milhões de toneladas de plásticos adentrem aos oceanos todos os anos (UNEP, 2022).

Após sua degradação física, os resíduos plásticos se convertem em micropartículas denominadas micropásticos (MPs) que são facilmente absorvíveis por organismos vivos. Esses materiais podem conter aditivos tóxicos utilizados na sua concepção e/ou adsorver outras substâncias tóxicas presentes no meio. Apesar de seus efeitos na saúde ambiental serem confirmados, as consequências deste contaminante à saúde humana ainda são insipientes na literatura, embora boa parte dos estudos relate o risco (PIRONTI *et al.*, 2021; RAGUSA *et al.*, 2022).

No meio aquático, estima-se que 23 milhões de toneladas de resíduos plásticos adentraram nesse ecossistema apenas em 2016, sendo o lançamento de efluente tratado das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) uma das principais fontes de contaminação por MPs dessa matriz ambiental (BORELLE *et al.*, 2020; CARR; LIU; TESORO, 2016; LESLIE *et al.*, 2017). As ETEs são muito relacionadas a lançamentos de fibras e fragmentos de MPs

aos corpos hídricos. Estudos realizados anteriormente constataram que não há uma remoção total de MPs, nas etapas de tratamento de esgoto em ETEs, liberando assim MPs para o ambiente marinho (BROWNE *et al.*, 2011; MAGNUSSON; NORÉN, 2014; MURPHY *et al.*, 2016).

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo verificar um método de identificação de MPs nos resíduos de grade retidos no tratamento preliminar, no afluente bruto, bem como no efluente de saída dos filtros biológicos aerados (FBAS) da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Identificar a presença de microplásticos (MPs) no esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

2.2 Objetivos Específicos

- a) Detectar a presença de microplásticos nos resíduos do tratamento preliminar, afluyente bruto e efluente tratado do filtro biológico aerado submerso (FBAS) da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da UFLA;
- b) Caracterizar os microplásticos (MPs) encontrados em base morfológica;
- c) Caracterizar os microplásticos (MPs) encontrados com base na propriedade química polimérica.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Conceitos e características dos plásticos

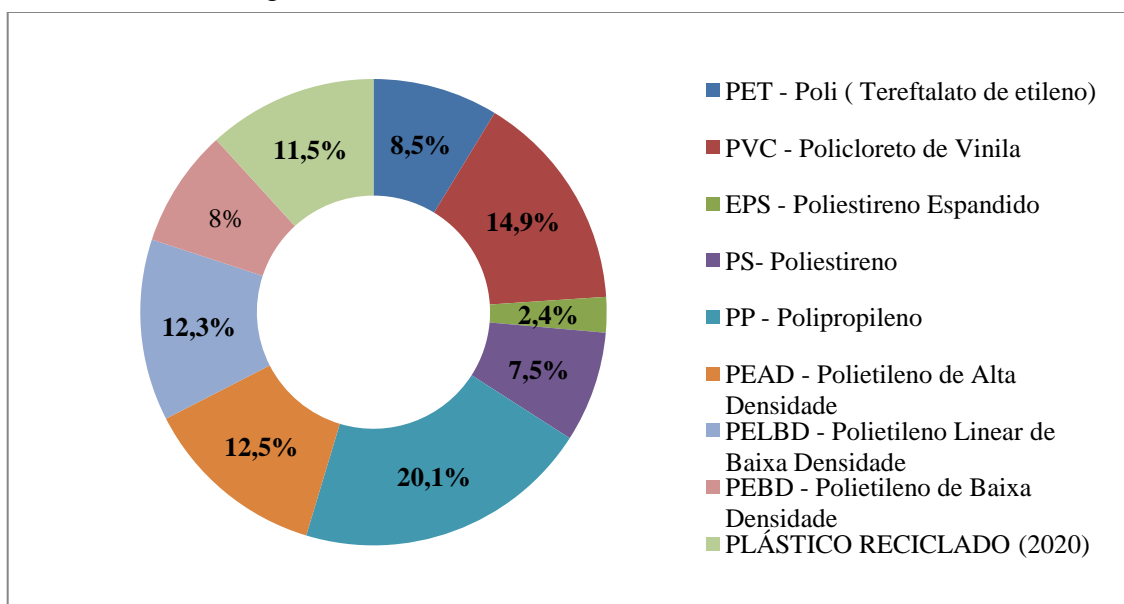
Os plásticos são materiais poliméricos sintéticos leves, impermeáveis e duráveis, que podem ser formulados para serem rígidos, flexíveis, transparentes, coloridos e apresentam baixo custo (MONTAGNER *et al.*, 2021).

Crawford (1998) afirma que o termo plástico e polímero são, muitas vezes, utilizados como sinônimos, no entanto existem diferenças entre ambos. O autor explica que os polímeros são materiais, em estado puro, naturais ou sintéticos, que resultam de processos de polimerização de monômeros. Alguns exemplos de polímeros naturais são a seda e a celulose.

Plástico, no entanto é o nome dado ao material resultante da adição de aditivos como plastificantes que alteram as propriedades do polímero, como a dureza, flexibilidade e outras.

Esses materiais podem ainda ser divididos em duas grandes categorias: os termoplásticos e os termofixos. Os termoplásticos são plásticos que possuem a capacidade de reverter os processos de endurecimento, ou seja, os termoplásticos podem ser derretidos, moldados e endurecidos repetidamente, enquanto os termofixos, depois de endurecerem, não podem voltar à forma líquida por suas modificações químicas no processo de aquecimento (PLASTICS EUROPE, 2021). Dados da ABIPLAST (2021) apresentam as principais resinas de plástico consumidas no Brasil (FIGURA 1).

Figura 1 - Resinas fabricadas consumidas no Brasil



Fonte: Abiplast (2022).

Os plásticos formam um grupo amplo e diverso constituído por diferentes polímeros sintéticos cuja estrutura é baseada na repetição de monômeros (QUEIROZ, 2022). O Quadro 1 apresenta os principais polímeros e suas respectivas aplicações.

Quadro 1 - Tipos de Polímeros e aplicações

| Polímero | Aplicação |
|---|---|
| Polipropileno (PP) | Embalagem de alimentos, acabamento interno de carros, para-choque, cadeirinha de criança. |
| Poliétileno de baixa densidade (PEBD) | Sacos plásticos, filme plástico, sacos de lixo, tubos, revestimentos de caixa de leite. |
| Poliétileno de alta densidade (PEAD) | Garrafas de plástico, recipientes para produtos de limpeza, canos para gás e água potável, utensílios domésticos. |
| Policloreto de Vinílica (PVC) | Botas, cortinas de chuveiro, caixilhos e janelas, canos, revestimentos de piso, cabos elétricos, couro sintético. |
| Tereftalato de Poliétileno (PET) | Fibras de poliéster, filmes, embalagens de alimentos, garrafas de bebidas. |
| Poliestireno (PS) | Embalagem de alimentos, material de embalagens, isolamento. |
| Plásticos diversos PC, PA, PMMA, PUR, ABS, ASA, SAN, termoplásticos | Malas, roupas, cordas, paraquedas, cerdas para escovas de dentes, brinquedos, caixas de aparelhos, elétricos. |

Fonte: Adapado de Pompêo, Rani-Borges e Paiva (2022).

Um estudo conduzido por Olivatto (2017) sobre MPs, no Brasil, apresenta uma classificação conceitual de polímeros, que foi adaptada para o presente estudo. As definições teóricas e as propriedades químicas dos polímeros, representadas no Quadro 2, auxiliam na definição de uma metodologia específica de identificação, extração e separação dos diversos tipos de microplásticos presentes em meio sólido ou aquoso.

Quadro 2 - Classificação e características dos polímeros (continua)

| | |
|---|--|
| Teoria : Macromoléculas | Propriedades: Interações intermoleculares quando envolvem a mesma molécula e intramoleculares quando envolvem moléculas diferentes. As ligações de hidrogênio, interações dipolo-dipolo e as forças de Van der Waals proporcionam maior resistência em estado sólido para a molécula. Em solução, essas interações proporcionam maior viscosidade em relação às micromoléculas. |
| Fórmula Molecular: São Moléculas de elevado peso molecular | |
| Observação: Natural: polissacarídeos, ácidos nucleicos e proteínas são macromoléculas orgânicas. Sintético: poliestireno e Nylon são macromoléculas sintéticas orgânicas. | |
| Teoria : Polímeros | Propriedades: Todos os polímeros são macromoléculas em função do seu tamanho, estrutura química e interações intramoleculares. |
| Fórmula Molecular: Macromoléculas de elevado peso molecular, formada pela repetição de unidades estruturais menores denominadas meros ou monômeros. | |
| Observação: Nem todas as macromoléculas são polímeros. | |
| Teoria : Monômeros | Propriedades: A união dessas cadeias menores de monômeros ocorre por meio da ligação covalente com os pontos reativos específicos das moléculas dos monômeros, como, por exemplo, ligações laterais π . A reação que conduz à formação de polímeros é a polimerização |
| Fórmula Molecular: São compostos químicos suscetíveis de formar os polímeros | |
| Observação: O número de meros da cadeia polimérica é definido como o grau de polimerização. | |

Quadro 2 - Classificação e características dos polímeros (continua)

| | |
|--|---|
| Teoria : Método de Preparação do Polímero Sintético | Propriedades: Quanto aos grupos funcionais da cadeia polimérica, os polímeros podem ser classificados em inúmeros grupos, como poli-hidrocarbonetos, poliamidas, poliéteres, poliésteres, poliacetais, poliuretanos, etc. Quanto à configuração dos átomos da cadeia polimérica, podem assumir a configuração cis ou trans. Esse critério é muito importante para as borrachas diênicas, por exemplo, pois a geometria da cadeia corresponde às suas características elastoméricas (MANO; MENDES, 2001). |
| Conceito: Os polímeros podem ser classificados em polímeros de adição, quando ocorre uma simples reação de adição, sem subprodutos, ou polímeros de condensação, quando ocorre uma reação em que são abstraídas dos monômeros pequenas moléculas, como, por exemplo, H ₂ O, HCl. | |
| Observação: Polímeros e taticidade, ou seja, orientação dos substituintes em relação ao plano formado pela cadeia principal, além de poderem ser classificados em relação à sua estrutura, que pode ser linear ou ramificada, podem também apresentar ligações cruzadas. | |
| Teoria : Polímeros termoplásticos (Plástico, do Grego, “adequado à moldagem”) Conceito: São materiais que fundem por aquecimento, tornando-se um fluido ou líquido viscoso e se solidificam por resfriamento, em um processo reversível, o que permite sua fácil reciclagem. | Propriedades: Os polímeros lineares e ramificados pertencem a esse grupo, e a fluidez obtida pela ação do calor se deve principalmente a essa estrutura que tem suas ligações secundárias facilmente rompidas ante o aquecimento. |
| Observação: Polietileno, polipropileno, poli (tereftalato de etileno), poli (cloreto de vinila) constituem exemplos dessa classe de polímeros. | |

Quadro 2 - Classificação e características dos polímeros (continua)

| | |
|---|---|
| Teoria : Polímeros termorrígidos | Propriedades: Quando submetidos ao aquecimento, esses polímeros têm sua estrutura ainda mais enrijecida, pelas reações químicas que fornecem novos cruzamentos. |
| Conceito: Conservam sua estrutura reticulada, com ligações cruzadas ao serem aquecidos, sendo, portanto infusíveis | |
| Observação: A reciclagem desse material é mais complexa em razão do comportamento descrito. | |
| Teoria : Polietileno (PE) | Propriedades: É considerado um dos principais polímeros termoplásticos, pertencente ao grupo das poliolefinas, que possui o monômero alqueno, com fórmula geral C_nH_{2n} . O grande interesse desse polímero pela indústria plástica ocorre pela sua facilidade de fabricação e seu baixo custo, compondo assim a terça parte da produção mundial total de polímeros termoplásticos. |
| Fórmula Molecular: $(CH_2 - CH_2)_n$ | |
| Observação: A obtenção desse polímero ocorre por diferentes reações de polimerização do monômero etileno, sendo a poliadição em lama com uso do catalisador Ziegler - Natta, a poliadição em lama com uso de óxidos metálicos e a poliadição em fase gasosa também com o uso do catalisador de Ziegler - Natta, métodos referentes à preparação do polietileno de alta densidade (PEAD). | |
| Teoria : Polipropileno (PP) | Propriedades: O método de preparação desse polímero ocorre por poliadição em lama ou poliadição em fase gasosa do monômero propileno, que possui ponto de ebulição - 48 °C, ambas as reações fazem uso do catalisador de Ziegler - Natta. O polipropileno altamente isotático é obtido por mecanismo de coordenação aniônica, apresenta alta cristalinidade e é considerado um excelente material para resistir às radiações eletromagnéticas na região de microondas. Em virtude dessas propriedades, o polipropileno é amplamente utilizado em pára-choques de automóveis, carcaças de eletrodomésticos, recipientes de uso geral, fita-lacre de embalagens, brinquedos, carpetes, tubos para canetas esfereográficas, válvulas para aerossóis, material hospitalar, recipientes domésticos para uso em forno de microondas, entre outros. |
| Fórmula Molecular: $n \text{ H}_2\text{C} = \overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}}$ | |
| Observação: É um termoplástico que também pertence ao grupo das poliolefinas. Fatores como baixa densidade, baixo custo, facilidade para moldagem e versatilidade têm propiciado o crescente uso desse polímero em diversos segmentos. | |

Quadro 2 - Classificação e características dos polímeros (continua)

| | |
|---|---|
| Teoria : Poliuretano PU ou PUR | Propriedades: Esse polímero apresenta alta resistência à abrasão e ao rasgamento e, por suas características, como textura maciça ou celular, tem sido cada vez mais recorrente seu uso em diversos segmentos. Constituem exemplos de sua aplicação os amortecedores, diafragmas e válvulas de equipamentos industriais para processamento e transporte de minérios, solados, material esportivo, blocos e folhas de espuma flexíveis para estofamento de carros e móveis, confecção de bolsas e roupas. Além desses produtos, o poliuretano também tem sido aplicado na área da saúde como biomaterial empregado como reparador de perdas ósseas e próteses, pelas suas propriedades de biocompatibilidade com o organismo humano. Cresce também o uso desse polímero na fabricação de preservativos em vez do uso do tradicional látex. Quando comparados, os preservativos feitos com o PU apresentaram maior resistência, leveza e transparência. Pesquisas de mercado também demonstraram que 80% dos usuários preferem utilizar o preservativo feito de PU, principalmente, pelo aumento da sensibilidade. |
| Fórmula Molecular: $\left[\text{R}-\overset{\text{H}}{\text{N}}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{O} \right]_n$ | |
| Observação: É um polímero muito versátil que, dependendo do monômero e do catalisador utilizado no seu método de preparo, pode resultar em borracha, plástico ou fibra, sendo classificado como um material de natureza termoplástica ou termorrígida. | |
| Teoria : Poliestireno (PS) | Propriedades: O poliestireno expandido (EPS), popularmente conhecido como isopor, trata-se de uma espuma rígida obtida com a expansão da resina de poliestireno durante sua polimerização. O procedimento de expansão descrito é realizado com o uso de um agente químico de expansão, como, por exemplo, o pentano. O principal uso do EPS é como embalagem de proteção e no isolamento térmico. O polímero poliestireno, de modo geral, é utilizado na confecção de utensílios domésticos rígidos, brinquedos, embalagens para cosméticos e alimentos, além de placas expandidas. |
| Fórmula Molecular: $n \text{H}_2\text{C}=\text{CHC}_6\text{H}_5$ | |
| Observação: Esse material não apresenta cristalinidade regular, sendo considerado amorfo, apresenta elevada rigidez, baixa resistência aos solventes e é inflamável. | |

Fonte: Adaptado de Olivatto (2017).

3.2 Microplásticos na Natureza

Uma das primeiras evidências do acúmulo de fragmentos plásticos no ambiente foi constatada indiretamente em análise do conteúdo estomacal de aves marinhas no final da década de sessenta (BARBOZA; GIMENEZ, 2015). Mais tarde, no início dos anos setenta, Buchanan (1971) observou a presença de pequenos fragmentos de plástico na água do mar, ao recolher plânctons no mar do Norte. Alguns anos depois, Thompson *et al.* (2004) constataram

a existência de fragmentos plásticos de dimensões ainda mais reduzidas na costa do Reino Unido, alguns apresentando 20 μm de diâmetro.

De acordo com estudos desenvolvidos por Montagner *et al.* (2021), a degradação de um polímero está relacionada ao rompimento de ligações químicas covalentes, seja na cadeia principal ou em cadeia lateral. Esse rompimento é consequente da geração de espécies reativas (na maioria dos casos, radicais livres) que são também os responsáveis pela propagação do processo de degradação (CECCARINI *et al.*, 2018).

A iniciação do processo pode ser causada por fotodegradação e/ou degradação física, química e biológica (WAGNER; LAMBERT, 2018). Todas essas formas de iniciação implicam o fornecimento de energia para o rompimento das ligações químicas. Dessa forma, é possível entender por que alguns polímeros se degradam mais facilmente que outros. Nos polímeros ramificados, por exemplo, a presença da ramificação implica a existência de átomos de carbono terciário na cadeia polimérica principal. A energia da ligação química C-H é menor, em átomos de carbono terciário que nos secundários, de forma que o processo de degradação pode ser iniciado mais facilmente em polímeros de cadeias ramificadas, quando comparados aos polímeros lineares, os quais possuem majoritariamente átomos de carbono secundário (DE PAOLI, 2008).

Os processos de degradação resultam em perda da massa molar do polímero, aumento da molhabilidade e da cristalização, bem como a formação de fissuras, gerando os fragmentos de MPs (KIM *et al.*, 2020). A degradação física das partículas leva à geração de diferentes formas de MPs, como, por exemplo, fibras, fragmentos e filmes. Os pellets ou microsferas, por sua vez, permanecem em sua forma física original, após a degradação, mas podem ter algumas de suas propriedades alteradas (MAI *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2019).

Arthur, Baker e Banford (2009) definem os microplásticos como sendo partículas de plástico de tamanho inferior a 5mm de diâmetro, incluindo as partículas na escala de nanômetros. Os microplásticos dividem-se em duas categorias: os primários e os secundários. Os primários são produzidos em dimensões inferiores a 5 mm, para uma grande variedade de usos, tanto em nível industrial como em nível doméstico. Exemplos de microplásticos primários são as pastilhas de resina (2-5 mm), utilizadas pela indústria na produção de diversos objetos e as microsferas (200 - 500 μm), produzidas para uso em produtos de limpeza, cosméticos e em abrasivos industriais. Os microplásticos secundários têm origem na degradação de objetos de plástico de maiores dimensões, por meio de processo de degradação, como a radiação ultravioleta, abrasão e decomposição das propriedades químicas.

3.3 Impacto dos Microplásticos

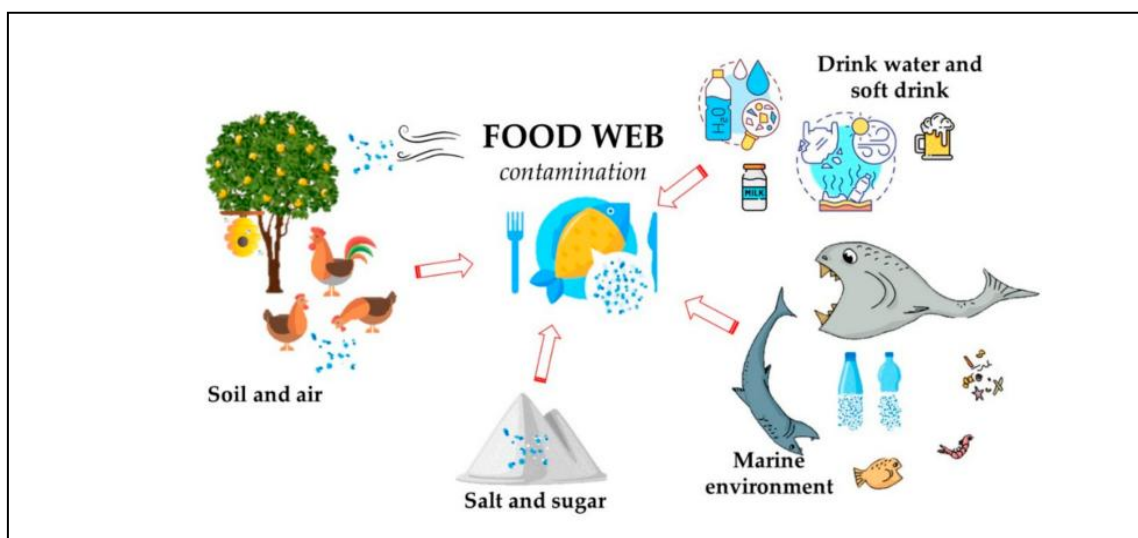
3.3.1 Transporte na Cadeia Alimentar e Consequente Exposição Humana

O impacto pela presença de microplásticos no ecossistema compreende danos físicos, hormonais, fisiológicos ou até mesmo alterações comportamentais em alguns seres vivos. Esses efeitos são verificados tanto em organismos na base da cadeia trófica como nos de níveis superiores (ANBUMANI; KAKKAR, 2018).

Wright *et al.* (2013) relatam que, em organismos menores, os MPs podem causar lesões fatais, originadas de bloqueios do sistema digestivo ou abrasões provocadas por objetos pontiagudos. Cole *et al.* (2015) observaram que os microplásticos permanecem retidos no apêndice exterior ou nas carapaças de pequenos copópodes, podendo repercutir na locomoção, na alimentação, no acasalamento, bem como na sua capacidade de detectar presas ou evitar predadores, comprometendo a sobrevivência do organismo.

De forma semelhante, os MPs entram no organismo dos seres vivos (Figura 2), por meio da ingestão de água, ou após a ingestão de seres vivos das cadeias tróficas inferiores, que podem acumular MPs em sua estrutura. A ingestão de MPs por organismos, na base da cadeia alimentar, pode ainda originar o fenômeno da bioamplificação, atingindo inclusive os seres humanos (ANBUMANI; KAKKAR, 2018; COLE *et al.*, 2013).

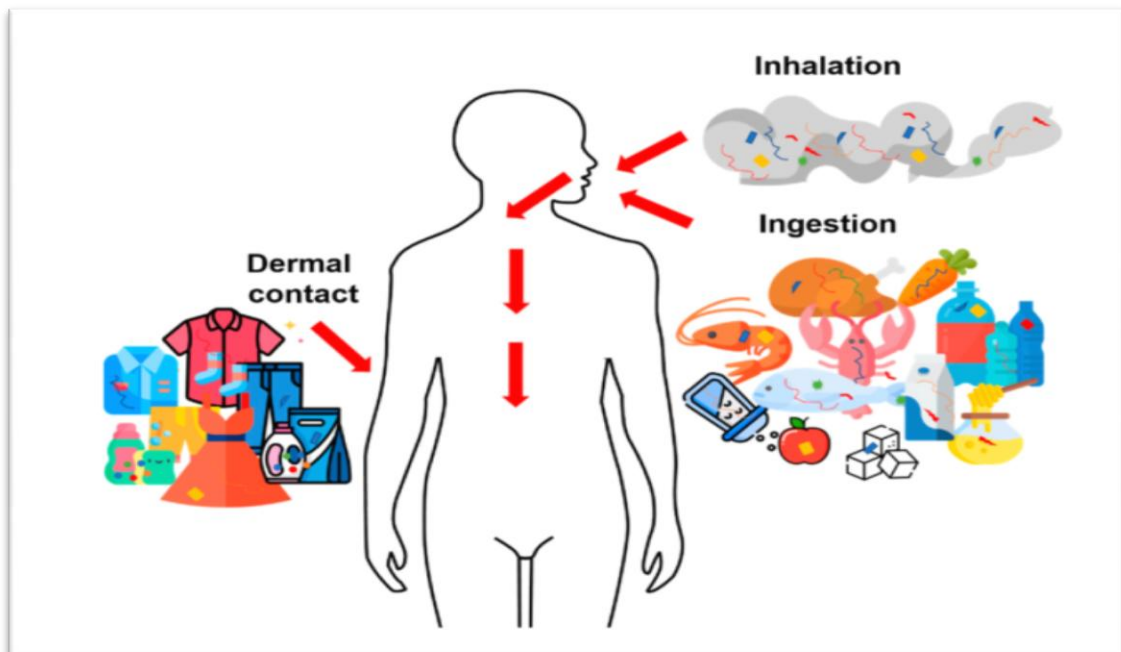
Figura 2 - Esquema de contaminação da teia alimentar pela poluição por MP



Fonte: Pironti *et al.* (2021).

Os danos causados aos organismos (FIGURA 3) podem ser igualmente provocados tanto pela absorção quanto pela adsorção do contaminante (BAKIR; ROWLAND; THOMPSON, 2014; FRIAS; SOBRAL; FERREIRA, 2010; TEUTEN *et al.*, 2009). Esses autores indicaram, em seus estudos, que os MPs dispersos em meio aquoso enriquecem vários POPs em sua superfície. Ao ingerir, inalar ou adsorver uma partícula, filamento ou fragmento de MP, contaminado com poluentes orgânicos, ocorre uma ciclagem em que o sistema orgânico animal tende a lixiviar ou remover esses poluentes aderidos aos microplásticos e, logo após, esses contaminantes são absorvidos pelo próprio organismo. Belháčová-Minaříková *et al.* (2017) comprovam esse argumento, sugerindo que cada poluente orgânico possui uma afinidade específica de atração, para um determinado polímero, o que determina o seu fator de enriquecimento geral. Entre os contaminantes mais pesquisados, destacam-se os Poluentes orgânicos persistentes (POPs), como Bifenís Policlorados (PCB`s), Hidrocarbonetos Policíclicos aromáticos (PAH`s), pesticidas organoclorados, alquifenóis e o Bisfenol A (BPA) (TEUTEN *et al.*, 2009). Esses contaminantes podem ser letais, para os organismos aquáticos ou até mesmo para os seres humanos, quando em grandes concentrações.

Figura 3 - Via esquemática da exposição humana aos MPs por três vias: ingestão, inalação e contato dérmico



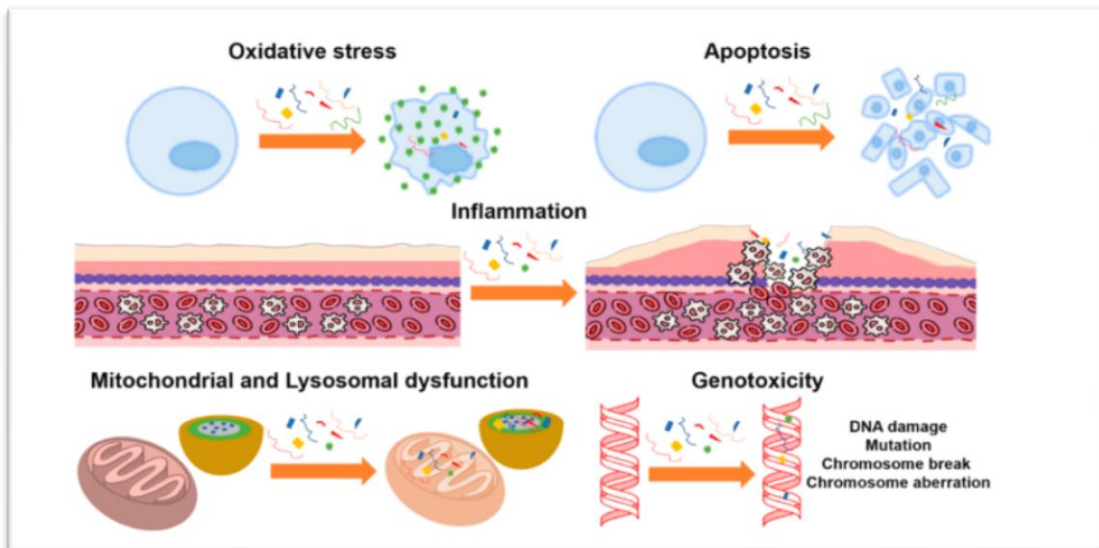
Fonte: Pironi *et al.* (2021).

No últimos anos, estudos científicos avançaram na investigação quanto à presença de MPs no corpo humano. Pironti *et al.* (2021) realizaram uma revisão bibliográfica, em seu estudo acerca da toxicidade dos alimentos consumidos, com suspeita de contaminação por MPs. Nessa investigação, foi detectada a presença de resíduos plásticos em refrigerantes, água potável engarrafada, leite, carne de galinha, de bovinos e suínos. No caso de galinhas, já foram encontradas partículas de MPs em moelas, na carne e nas fezes do animal (YAN *et al.*, 2020).

De forma semelhante, Wu *et al.* (2021) verificaram a ocorrência de MPs, no organismo de porcos, aves e vacas, em pesquisa realizada em 19 fazendas ao Sul da China.

Nos humanos, pesquisas sugerem que a ingestão é a principal via de contaminação por microplásticos. Estima-se que cada pessoa ingere entre 39 a 52 mil partículas por ano (COX *et al.*, 2019; PRATA *et al.*, 2020). Uma vez ingeridas, essas partículas podem provocar a inflamação celular (FIGURA 4).

Figura 4 - Efeitos toxicológicos de micropartículas de poliestireno em culturas celulares: estresse oxidativo, apoptose, inflamação, disfunção mitocondrial e lisossomal e genotoxicidade



Fonte: Pironti *et al.* (2021).

3.3.2 Distribuição de Microplásticos no Ambiente

Os microplásticos podem ser gerados por diversos mecanismos e serem transportados por diversas rotas ambientais. A quantidade anual de plásticos, descartada no solo, supera o

descarte realizado nos oceanos, sendo este último considerado um grande sumidouro de MPs (HORTON *et al.*, 2017; NIZZETTO *et al.*, 2016; VAN SEBILLE *et al.*, 2015).

Além dessas matrizes ambientais, recentemente, os microplásticos foram reconhecidos como poluentes do ar atmosférico, juntamente com outros contaminantes, como óxidos de nitrogênio, sulfato de hidrogênio e dióxido de carbono (AMATO-LOURENÇO *et al.*, 2020; CARLSEN; BRUGGEMANN; KENESSOV, 2018; CHEN *et al.*, 2007; CUCCINIELLO *et al.*, 2012, 2015, 2017, 2023; EL SHAHAWI; BTEX, 2010; MOTTA *et al.*, 2014; TOURINHO *et al.*, 2019).

Estudos demonstram que as partículas plásticas atmosféricas podem ser transportadas para áreas remotas, como a Antártida e o Sul do Oceano Índico, por eventos, como ventos, correntes oceânicas, vazão do rios (AMBROSINI *et al.*, 2019; BALLENT *et al.*, 2012; BARNES *et al.*, 2009; COLE *et al.*, 2011; ERIKSSON *et al.*, 2013; MARTINEZ; MAAMAATUAI AHUTAPU; TAILLANDIER, 2009; ZHANG *et al.*, 2019).

Como se não fosse suficiente, os MPs do ar atmosférico podem ser depositados em ambientes aquáticos e no solo por meio de deposição seca ou úmida com consequente distribuição espacial e variabilidade temporal (DOYLE *et al.*, 2011; DRIS *et al.*, 2015; RYAN *et al.*, 2009).

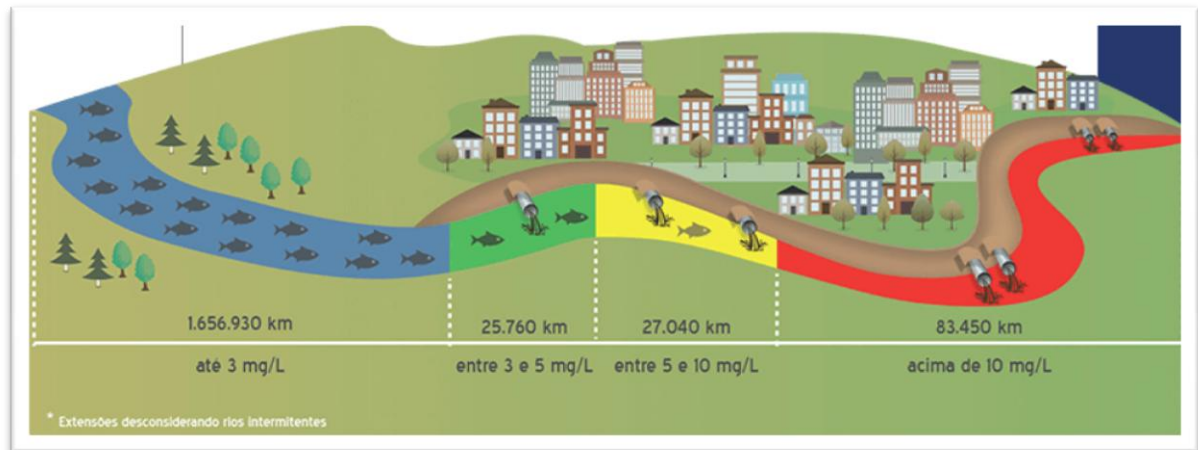
Para se ter um dimensão da variabilidade espacial do contaminante, foram encontrados MPs, em organismos aquáticos vivos, em pontos remotos, como a Fossa das Marianas e de outras cinco fossas profundas do oceano (JAMIESON *et al.*, 2019; MONTAGNER *et al.*, 2021). Além desses locais, estudos recentes revelaram a presença de MPs no Monte Everest (NAPPER *et al.*, 2020).

Esses exemplos demonstram que os MPs são contaminantes que podem ser encontrados, em todas as matrizes ambientais e nos seres vivos, tanto em grandes centros urbanos, quanto em regiões remotas do planeta, em consequência da dinâmica com que são lançados e transportados no ambiente (SUL; SPENGLER; COSTA, 2009; ZHOU; LIU; WANG, 2019).

3.4 Poluição hídrica por resíduos plásticos

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (BRASIL, 2020, 2022), mais de 110 mil Km de rios, no Brasil, estão com a qualidade da água comprometida em consequência do excesso de carga orgânica (FIGURA 5).

Figura 5 - Extensão de rios brasileiros poluídos



Fonte: Brasil (2020, 2022).

Majoritariamente, os corpos hídricos recebem despejos com altas cargas de contaminantes plásticos, seja por meio de fontes difusas como escoamentos superficiais, seja por fontes pontuais como o lançamento de águas pluviais ou residuárias. De forma global, estima-se que entre quatro e 12 milhões de toneladas de plástico vão para os mares e oceanos por ano - prevendo-se que ultrapassem a quantidade de peixes em 2050 (PICÓ; BARCELO, 2019). No Brasil, a gestão do resíduo plástico tem vindo à tona dada a poluição marinha e costeira desse material em evidência.

Esse assunto é polêmico e envolve uma diversidade de variáveis, como mercado, meio ambiente, gestão de resíduos sólidos, mudanças de hábito, soluções alternativas e ciclo de vida dos produtos, que dividem a opinião de especialistas, governo e setor privado sobre as melhores medidas a serem adotadas para enfrentar o problema. Essas medidas incluem, em geral, a elaboração de leis em nível nacional, regional e local nos mais diversos países, utilizando diferentes abordagens.

Diante dessa conjuntura, países como o Canadá, Estados Unidos da América, França, entre outros, têm buscado programar normas regulatórias e/ou ações voluntárias de controle que visem à redução do uso de microesferas, sacolas plásticas e de plásticos descartáveis (UNEP, 2018).

No Brasil, por outro lado, não existem regras normativas de controle de vigilância da qualidade da água para consumo humano que determinem valores permitidos, para a presença ou limitação de MPs no líquido, bem como tampouco há regras ou normas de controle de qualidade para a detecção e controle de MPs, em efluentes tratados, com fins de utilização em fertirrigação ou para lançamentos em corpos hídricos receptores.

3.5 Microplásticos em Estações de Tratamento de Esgotos

Pesquisas apontam uma crescente preocupação com a presença de MPs em estações de tratamento de esgoto, uma vez que esses materiais estão sendo descobertos nos subprodutos do tratamento em todo o mundo (BARESEL; OLSHAMMAR, 2019; GATIDOU; ARVANITI; STASINAKIS, 2019; MAK *et al.*, 2020; TCHOBANOGLIOUS; BURTON; STENSEL, 2004).

No entanto os efeitos causados pelos MPs, presentes em águas residuais e no lodo, são raros na literatura. Algumas revisões, avaliando os métodos de detecção e identificação de microplásticos, em sistemas marinhos e de sedimentos, são também incipientes, revelando uma grande dificuldade em se desenvolver metodologias para a extração e identificação desse material nesses subprodutos (ZHANG; CHEN, 2020).

O Quadro 3 apresenta 6(seis) estudos realizados, em unidades de tratamento de esgoto e águas residuais, similares ao realizado no presente estudo, no qual observa-se a representatividade de polímeros identificados nos efluentes.

Quadro 3 - Identificação de MPs por outros(as) autores(as) (continua)

| Local | Polímero Identificado | Autor e ano | Método Utilizado |
|--|--|---------------------------|--|
| ETAR - estação de tratamento de águas residuais - PORTUGAL | PE (Polietileno) | Gouveia (2018) | Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) |
| Southern California; Municipal wastewater | PE (Polietileno) | Carr, Liu e Tesoro (2016) | Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) |
| Eastern China; Residential and Industrial wastewater | PET (47%), PS (20%), PE(polietileno) (18%), PP(polipropileno) (15%) | Lv <i>et al.</i> (2019) | Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) |

Quadro 3 - Identificação de MPs por outros(as) autores(as) (continua)

| Local | Polímero Identificado | Autor e ano | Método Utilizado |
|---|---|-------------------------------|--|
| Northern Italy; Combined sewers | Acrilonitrila-butadieno PE(polietileno) Etileno-propileno PS(poliestireno) PA, PVC(Policloreto de Vinila), PP(polipropileno), Poliacrilato | Magni <i>et al.</i> (2019) | Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) |
| Wuhan City, China; Municipal and Industrial wastewater | PA PE(polietileno) PP (polipropileno) PVC(policloreto de Vinila) | Chen <i>et al.</i> (2020) | Espectroscopia micro Raman |
| Adana city, Turkey; Municipal wastewater | PE(polietileno) (23.8-29.2%), PES (poliestireno) (50.8-61.9%), PP (polipropileno) (11.9-13.8%), PVC(policloreto de vinila),Nylon, Acrilonitrila, butadieno e estireno. | Gündoğdu <i>et al.</i> (2018) | Espectroscopia micro Raman |

Fonte: Do autor (2023).

3.6 Medição de Microplásticos em esgoto doméstico

A dificuldade em se obter uma metodologia para extração e identificação de MPs em águas residuais e esgoto tem sido um entrave para pesquisadores, quando da investigação deste microcontaminante.

Estudos experimentais na literatura têm avaliado a metodologia de extração de MPs, no afluente e efluente de estações de tratamento de esgoto (ETE), utilizando a técnica de diferença de densidade com emprego de solução salina, após a digestão de matéria orgânica do material coletado com solução de Peróxido de Hidrogênio H₂O₂ a 30%; raros na literatura são estudos que apresentem uma metodologia, para avaliação de MPs, em sedimentos de tratamento preliminar de ETEs.

Montagner *et al.* (2021) afirmam que a técnica de espectroscopia no IR médio (MIR, do inglês mid-infrared, de 400 a 4000 cm⁻¹) deve ser considerada para identificação de grupos funcionais dos polímeros. O autor explica que pellets ou MPs, na forma de fragmentos medindo 3 x 3 x 1 mm, são facilmente isolados da matriz ambiental e podem ser identificados, por meio de análise no instrumento espectrômetro MIR, com transformada de Fourier (FTIR, do inglês Fourier Transform Infrared) convencional, usando uma unidade, ou para aquisição de dados por reflectância total atenuada (espectroscopia ATR-FTIR, do inglês Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared). Nela, cada partícula de MP é prensada individualmente sobre um cristal (ZnSe, ZnS, diamante ou Si) para análise.

O método se comprova, à medida que MPs maiores que 630 µm (coletados de sedimento de rio) foram identificados por essa instrumentação, assim como MPs coletados do trato intestinal de baleias (CHOI *et al.*, 2018; WESCH *et al.*, 2016). Observa-se que nesse método não há um microscópio acoplado, revelando-se uma técnica de fácil exequibilidade para partículas maiores que 500 µm.

O desenvolvimento deste estudo torna-se importante, em razão do monitoramento de microplástico, no que tange a situações análogas de tratamento de esgoto, seja em instituições públicas ou privadas no Brasil. Estudos que visem preencher essa lacuna ainda são insipientes no país, sobretudo, em resíduos de gradeamento e, porque não se dizer, em efluente tratado. Neste trabalho, busca-se aplicar uma metodologia científica qualitativa que possa produzir informações e dados que permitam a análise de MPs em ETEs, sobretudo, para promover o aperfeiçoamento de tecnologias de construção de estações de tratamento de esgoto, tendo em vista propiciar a retenção deste contaminante e permitir o monitoramento de MPs para fins de controle ambiental.

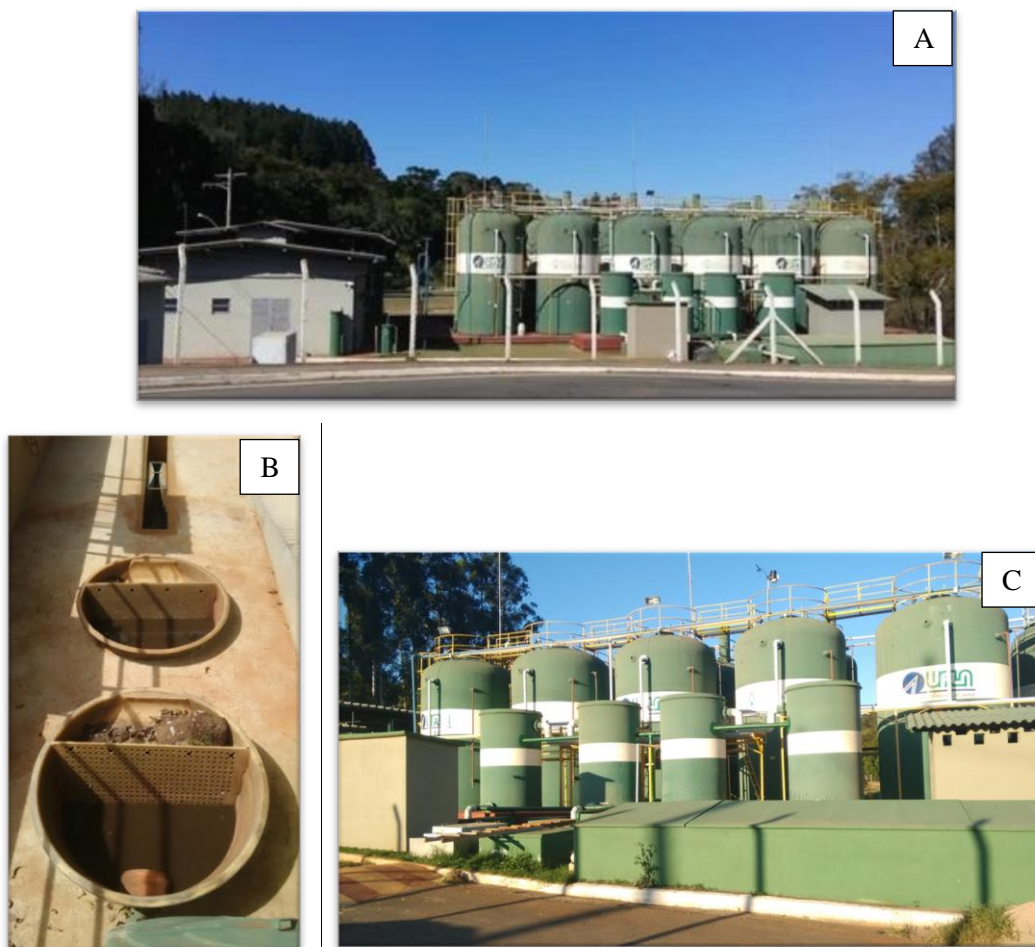
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A Universidade Federal de Lavras (Ufla) apresenta alto potencial gerador de resíduos sólidos e líquidos, uma vez que sua comunidade acadêmica é equivalente à população de muitos municípios brasileiros. Dados do Sistema Integrado de Recursos Humanos da UFLA (SIGRH) revelam a composição da comunidade acadêmica, composta por 1.352 servidores concursados (2022); 11.100 graduandos (2019); 1.850 pós-graduandos (2019) e 600 colaboradores terceirizados, totalizando 14.902 pessoas.

Os estudos foram realizados na ETE/UFLA (Figura 6), no primeiro e segundo semestres de 2022, sendo as atividades desenvolvidas em cinco etapas.

Figura 6 - Estação de Tratamento de Esgoto da UFLA



Legenda: a) Vista Geral; b) Tratamento Preliminar; c) Vista filtração/ desinfecção final.
Fonte: Do autor (2023).

A ETE/UFLA guarda a capacidade de projeto para o tratamento de $900 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$. O volume médio tratado atualmente é de $250 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$, sendo os picos de vazão observados nos seguintes horários: 9h; 11h; 12h; 13h; 15h; 17h e 18h horas.

O tratamento de esgoto da ETE/UFLA pode ser dividido em duas fases, a fase líquida e a fase sólida. A fase líquida corresponde ao tratamento de esgoto doméstico da universidade. O líquido é transportado, para duas estações elevatórias, instaladas no campus universitário: uma na zona norte (Estação Elevatória de Esgoto das Goiabas) e a outra na zona sul do campus (Estação Elevatória da Veterinária). Posteriormente o líquido é bombeado para a ETE, em que é submetido aos três níveis de tratamento:

- a) Tratamento preliminar - Remoção de detritos de maior dimensão, gorduras e areias, de forma a proteger os equipamentos e órgãos da ETE;
- b) Tratamento primário - Remoção da matéria orgânica por tratamento anaeróbio, em Reator anaeróbio de fluxo ascendente, com terminologia em inglês UASB;
- c) Tratamento secundário - polimento e remoção da matéria orgânica biodegradável, de sólidos suspensos e nutrientes por meio de um processo biológico aeróbio, com reatores com filtro aeróbio submerso com manta de lodo ativado; e
- d) Tratamento terciário - Tratamento adicional que corrige a qualidade da água até atingir a qualidade desejada. Nessa etapa são realizadas a filtração e cloração do efluente tratado.

Na estação, o efluente passa, primeiramente, pelo tratamento preliminar que é compreendido por: 1(uma) grade grossa e 1(uma) grade fina do tipo placas perfuradas com orifícios de 50 mm e 10mm de diâmetro, respectivamente, 1(uma) calha parshall, 1(uma) caixa de gordura. Logo após, o esgoto é conduzido para 1(uma) elevatória interna da ETE, responsável por distribuir o efluente para seis reatores UASB (tratamento primário anaeróbio). Cada tanque possui individualmente um volume útil de $62,37 \text{ m}^3$, atendendo, na atualidade, vazões de $120 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ em TDH de 72h, objetivando remover 50% de uma DBO estimada em 400 mg.L (FIGURA 10). Logo depois, o líquido segue ao conjunto de seis FBAS dispostos em paralelo, interligados a cada UASB, pois trata-se de um sistema anaeróbio-aeróbio combinado. Nesses filtros biológicos, o efluente recebe o polimento, chegando a remoções acima de 90% de toda a matéria orgânica biodegradável (tratamento secundário).

Assim, o efluente atende às normas de lançamento, conforme resolução CONAMA n.º 430/2011 (BRASIL, 2011), bem como é reutilizado, após tratamento terciário no próprio

campus, para fins menos nobres como irrigação, atendendo ao disposto na Deliberação Normativa n. °65/2020 CERH-MG, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2020).

A fase sólida corresponde ao tratamento do lodo e conta com um filtro-prensa hidráulico, para o desaguamento da manta de lodo, para posterior secagem ou aproveitamento, porém essa fase encontra-se em processo de desenvolvimento, em consequência dos baixos volumes disponíveis para o tratamento.

O lodo primário, proveniente do grademanto do esgoto bruto, foi objeto de estudo nesta pesquisa (FIGURA 7). Amostragem aleatória do lodo primário foi removida para leito de secagem e após realizado o quartejamento. Depois, seguiu-se ao processo de peneiramento, com peneira metálica até a granulometria de 0,100m, a fim de se obter a quantidade necessária, para tratamento e extração dos MPs nessa etapa da estação de tratamento de esgoto. A Tabela 1 apresenta sua caracterização física e química.

Figura 7 - Amostra fracionada de resíduos do gradeamento da ETE. Da direita para a esquerda: resíduo orgânico, areia e silte



Fonte: Do autor (2022).

Tabela 1 - Caracterização do lodo primário

| Variável | Unidade | Valor |
|----------------|-----------------------|---------------|
| Areia | dag/kg | 31 |
| Silte | dag/kg | 41 |
| Argila | dag/kg | 28 |
| MO | dag/kg | 8,59 |
| K | mg/dm ³ | 244,68 |
| P | mg/dm ³ | 273,98 |
| Na | mg/dm ³ | 214,00 |
| Ca | mmolc/dm ³ | 70,03 |
| Mg | mmolc/dm ³ | 21,90 |
| Al | mmolc/dm ³ | 2,00 |
| H+Al | mmolc/dm ³ | 27,00 |
| Zn | mg/dm ³ | 36,70 |
| Fe | mg/dm ³ | 1.232,20 |
| Mn | mg/dm ³ | 80,80 |
| Cu | mg/dm ³ | 10,71 |
| B | mg/dm ³ | 0,1 |
| S | mg/dm ³ | 559,50 |
| PH | | 5,8 |
| Classe do solo | | Textura média |

Fonte: Pinto Filho (2023).

Figura 8 - Amostra fracionada de resíduos do gradeamento da ETE. Da direita para a esquerda: resíduo orgânico, areia e silte

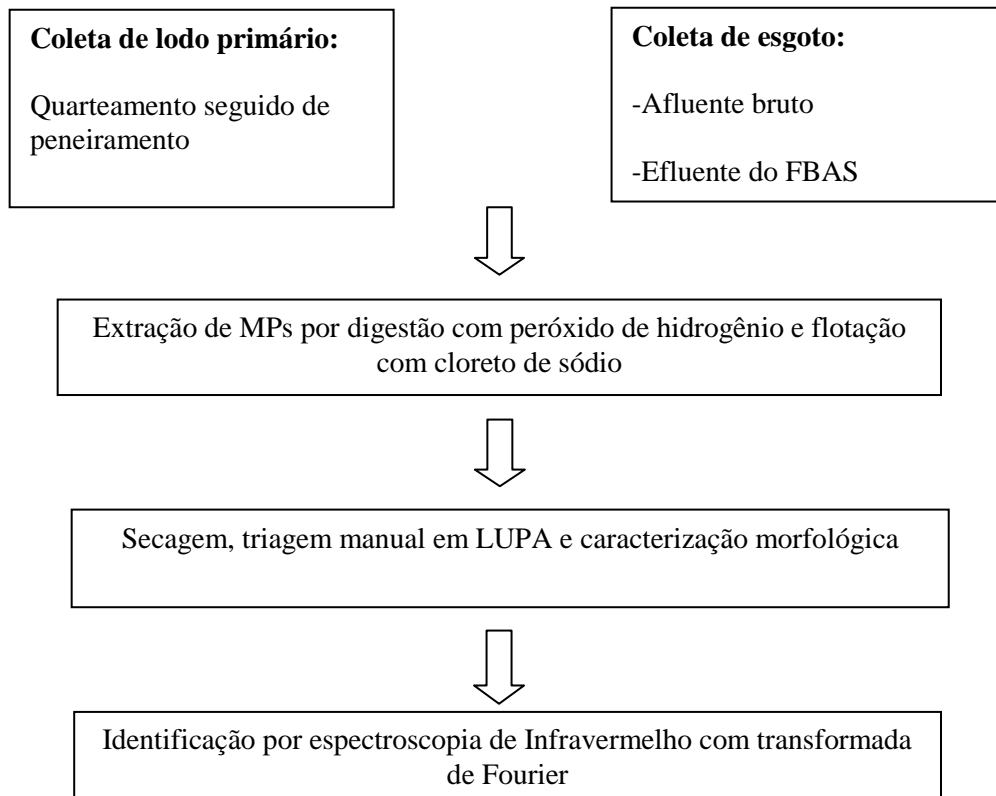


Fonte: Do autor (2022).

4.2 Delineamento metodológico

Para a obtenção dos resultados, a pesquisa seguiu o delineamento metodológico do fluxograma apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma do método analítico



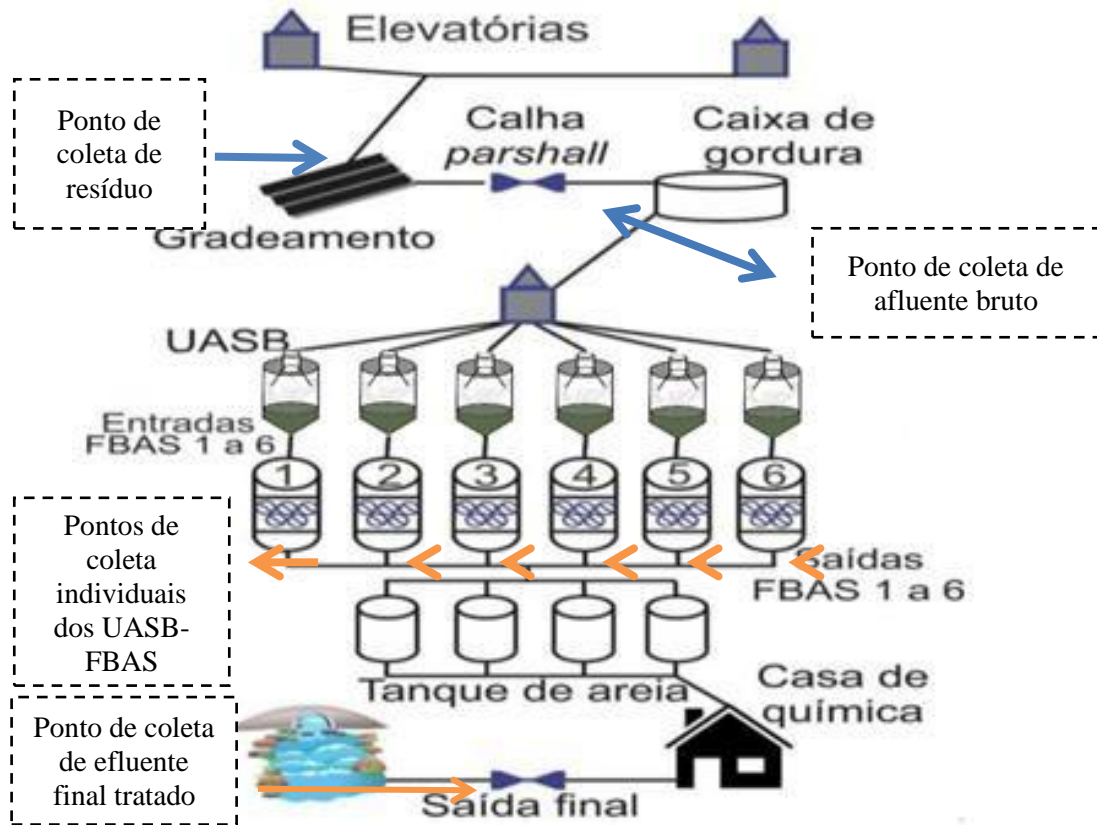
Fonte: Do autor (2022).

4.3 Amostragem e procedimento laboratorial

As amostras, para a análise e detecção de microplásticos na ETE UFLA, foram coletadas no resíduo retido do tratamento preliminar, tendo sido realizado quarteamento na amostragem com massa aleatória e, em sequência, o peneiramento até a granulometria de 0,1mm. Por repetição sucessiva e teste experimental em bancada de laboratório, foram realizadas 22 campanhas cujo valor ótimo de amostragem do material peneirado, para a análise de MPs em lodo primário, foi de 30 gramas, enquanto o efluente do tratamento secundário foi coletado nas seis saídas de amostragem dos FBAS. A amostragem de aflente bruto foi coletada na calha parshal de entrada da ETE e o efluente do tratamento terciário foi

coletado, após passagem pelo sistema de tratamento ultravioleta, conforme esquema ilustrativo demonstrado na Figura 10.

Figura 10 - Esquema da ETE/UFLA e respectivos pontos de coleta



Fonte: Do autor (2022).

Para a realização das coletas de amostragem de resíduos gradeados (lodo primário) secos no leito de secagem, foram utilizadas lonas para quarteamento do material recolhido de forma aleatória, pois objetivou-se homogeneizar uma massa de amostra significativa, a fim de ser transferida para peneiramento em peneiras metálicas com abertura inicial de 4,75mm decrescendo para as aberturas de 3, 2, 0,355 e 0,100mm. Após essa etapa, testes em bancada foram realizados com pesos variados de amostra a 0,1mm, a fim de se obter a massa mais provável que representativa, para o estudo, sendo conferido o valor de 30 gramas de retirada por análise. Para a coleta de efluente de tratamento secundário, foi utilizada, em cada saída de efluente do filtro biológico aerado, uma peneira metálica de 0,100 mesh, para a passagem por gravidade de 20 litros de efluente de cada tanque, para a retenção de massa de material. Por fim, foram coletados em 1(um) béquer de 2(dois) litros a amostra de afluente bruto, sendo transferidas 3(três) amostras de 100 ml em béqueres de vidro graduados de 250ml para a filtração com o objetivo de identificar a ausência/presença de MPs. A metodologia foi

adaptada de Lv *et al.* (2019). O quadro (Quadro 3), a seguir, apresenta as campanhas realizadas de amostragem.

Quadro 4 - Local e forma de coleta e número de amostras coletadas na ETE/UFLA

| Local coleta e amostragem na ETE | Forma de coleta | Campanhas/repetições |
|---|--|-----------------------------|
| Gradeamento | Quarteamento e peneriamento | 22 |
| FBAS | Passagem de 20 L do efluente em peneira de 0,1 mm para cada reator | 12 |
| Efluente e Afluente da ETE | Béquer graduado de 2(dois) litros para a retirada de 100ml | 9 |

Fonte: Do autor (2022).

4.4 Extração dos microplásticos

A caracterização química de macro e micronutrientes do resíduo foi realizada pelo laboratório de análises dos solos, do Departamento de solos da UFLA para as amostras provenientes do gradeamento primário da ETE. Já a caracterização gravimétrica foi realizada, no laboratório de monitoramento do tratamento de efluentes, localizado na ETE/UFLA, utilizando as peneiras metálicas de 4,75 a 0,1 mm, para a separação separação do resíduo de gradeamento fino para análise (FIGURA 11).

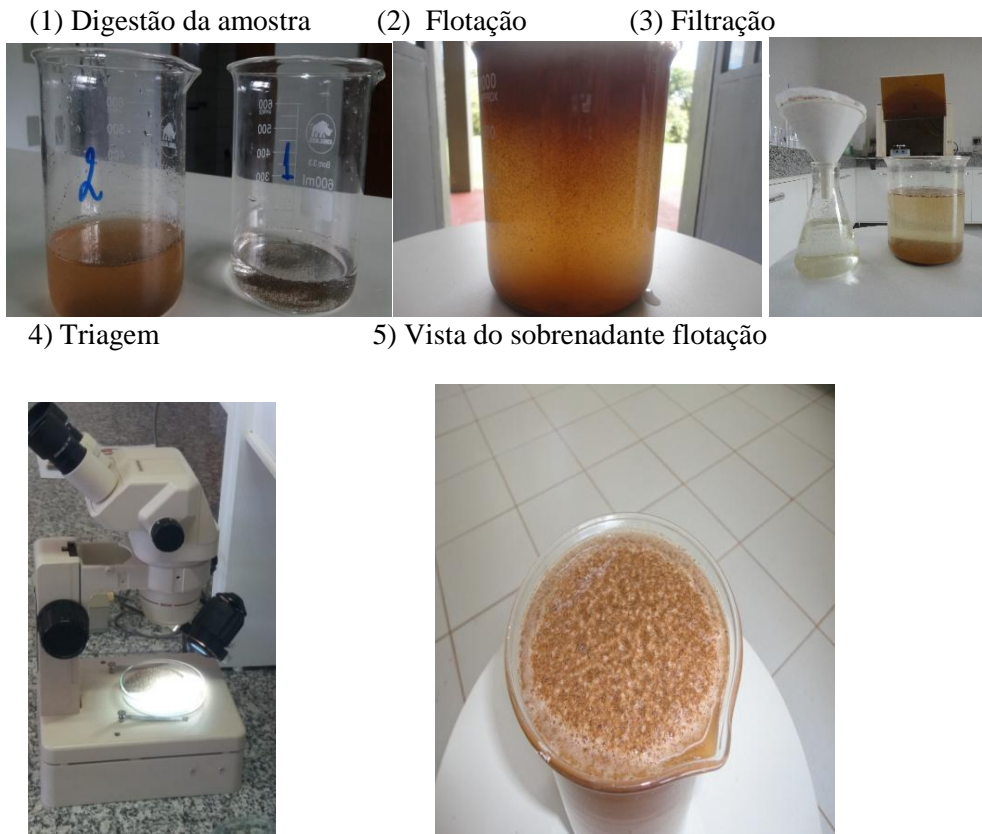
Figura 11 - Amostra de resíduo de grade em abertura de 4,75mm e 0,100mm



Fonte: Do autor (2022).

Para separar os microplásticos dos demais sedimentos de tamanhos micrométricos coletados e peneirados, foram utilizadas as metodologias adaptadas de Löder e Gerdtts (2015) e Thompson *et al.* (2004). Portanto o método de tratamento da amostragem de resíduo de grade, após peneiramento, compreendeu as etapas de: (1) digestão da matéria orgânica por Peróxido de Hidrogênio- H_2O_2 a $65^\circ C$ por 30 minutos, (2) flotação em solução de NaCl ($d:1,2gml^{-1}$), (3) filtração em papel de filtro qualitativo de 180mm de diâmetro e gramatura 80;(4) triagem manual com auxílio de Lupa estereoscópica eletrônica com iluminação, aproximação de 40 vezes. Na sequência, conforme esquematizado na Figura 12, segue o esquema das etapas, bem como a vista dos sobrenadantes na flotação.

Figura 12 - Esquema das etapas de análise por flotação



Fonte: Do autor (2022).

A digestão da matéria orgânica presente nas amostras é seguida da proposta de flotação das partículas de microplásticos, utilizando soluções salinas densas, uma vez que a densidade da maioria dos microplásticos (Polietileno de baixa densidade-LDPE-densidade de 0,89 a 0,93 g/ml ; Polietileno de alta densidade -HDPE-densidade de 0,94 a 0,97 g/ml; Polipropileno-PP-densidade de 0,85 a 0,92 g/ml ; Poliestireno -PS - densidade de 1,04 a 1,08 g/ml; Poliamida Náilon -PA-densidade de 1,15 g/ml⁻¹; Poliuretano-PU- densidade de 1,2 g/ml; Polietileno Tereftalato -PET- densidade de 1,38 a 1,41 g/ml) é menor que 1,0 g/ml (LI; LIU; CHEN, 2018). Na caracterização do resíduo de grade da amostragem, foram identificados em análise textural: argila, silte, areia e material orgânico, motivo pelo qual optou-se pela extração de MPs por processo de flotação com NaCl.

Para tal, 5grs de amostra peneirada de resíduos do gradeamento foram pesadas em balança eletrônica digital com precisão de duas casas decimais, sendo o material transferido para um béquer de vidro graduado de 1(um) litro. Em seguida, a amostra foi digerida para degradação da matéria orgânica por processo oxidativo, no qual, em um béquer com o sedimento seco, foram adicionados 20 mL de Peróxido de Hidrogênio 35%, mantidos em reação por 10 minutos à temperatura ambiente e, em seguida, levado ao aquecimento e

agitação com barra magnética (mínimo) a 65°C durante 30 minutos em agitador aquecido. Os sedimentos entraram em efervecência sendo observada a reação do reagente até o final do efervescimento. Após o tempo de 30 minutos, a amostra foi removida para esfriamento e repouso de 4 horas, sendo coberta com papel alumínio. A Figura 13, a seguir, apresenta as etapas de pesagem e tratamento do material.

Figura 13 - Procedimentos de análise do material



Fonte: Do autor (2022).

Após a etapa de digestão, foi realizada a flotação dos MPs, na qual foram adicionados 900 ml de solução saturada de NaCl, com massa específica de 1,2 gr/cm³ junto à amostra digerida, a fim de aumentar a densidade do meio e promover a separação dos microplásticos (de massa específica menor que 1,0 g cm⁻³) e demais materiais, como areias, com massa específica, em média, de 2,65g cm⁻³ (BESLEY *et al.*, 2017).

Essa mistura foi agitada por mais 30 minutos, em temperatura de 30°C, utilizando barra em agitador/aquecedor magnético. Após, a amostra ficou em repouso por 12 horas em temperatura ambiente. Em seguida, realizou-se a filtração simples por gravidade em Erlemeyer de 600 ml com funil de vidro e um papel de filtro qualitativo de 180mm e gramatura 80 grs de gramatura, sendo lavados repetidas vezes com água destilada (FIGURA 12).

Figura 14 - Etapa analítica

a) Agitação e aquecimento b) Flotação e Repouso c) Filtração



Fonte: Do autor (2022).

4.5 Triagem e identificação morfológica

Após a filtração, o filtro contendo o material retido foi seco em temperatura ambiente por 12 horas e, em seguida, colocado em dessecador, para preservar a integridade da amostra e evitar o contato com o ambiente e a umidade. O material retido foi transferido para uma placa de Petri e, em uma LUPA estereoscópica eletrônica com iluminação, aproximação de 40 vezes, foi realizada a triagem manual de partículas e fragmentos identificados como microplásticos e transferidos para outra placa de Petri, utilizando-se uma agulha metálica como instrumento.

Estas partículas foram identificadas, conforme sua morfologia, sendo identificados e detalhados os fragmentos, filamentos, fibras e demais particulados com características disformes.

4.6 Identificação dos polímeros

Para a execução deste procedimento 0,008 mg de amostra composta por partículas de MPs do tipo fragmentos, fibras e filamentos, foram macerados em Graal. As amostras maceradas foram analisadas, a fim de se obter a identificação química dos polímeros por espectrometria de infravermelho Bruker modelo Vertex, sendo a análise realizada, no tipo ATR, na faixa do infravermelho médio, com 32 scans e resolução de 4(quatro) centímetros elevados a -1(menos 1) por transformada de Fourier. Os espectros obtidos foram plotados em software MestRenova versão 6.0 e impressos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Identificação Morfológica de Microplásticos

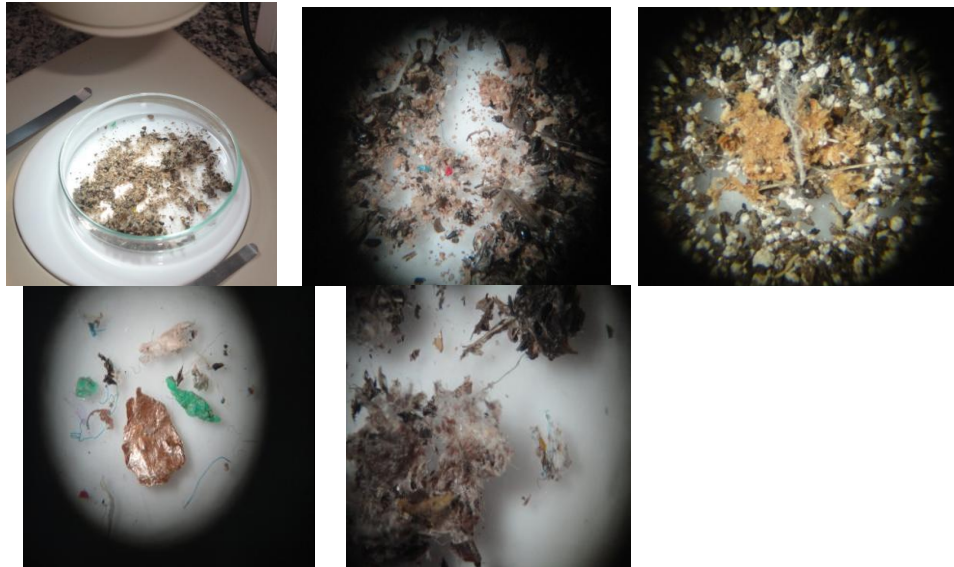
Os resultados visuais obtidos da triagem de amostras analisadas apresentaram microplásticos com as características apresentadas no Quadro 5 e Figuras 15.

Quadro 5 - Características morfológica dos MPs

| Característica morfológica | Cor | Possíveis fontes |
|----------------------------|---------------------|---|
| Fragmento | Verde/Vermelho/azul | Copos, sacos, sacolas, frascos, garrafas plásticas |
| Filamento | Cinza/preto | Escovas de dentes, vassouras, escovas para lavação de vasos e pias |
| Fibra | Cinza | Nylon de linhas, resíduos de fibras de efluentes de lavação de roupas de hospital, sacos de ração |
| Disforme | Marron/verde | Buchas de de pias |

Fonte: Do autor (2022).

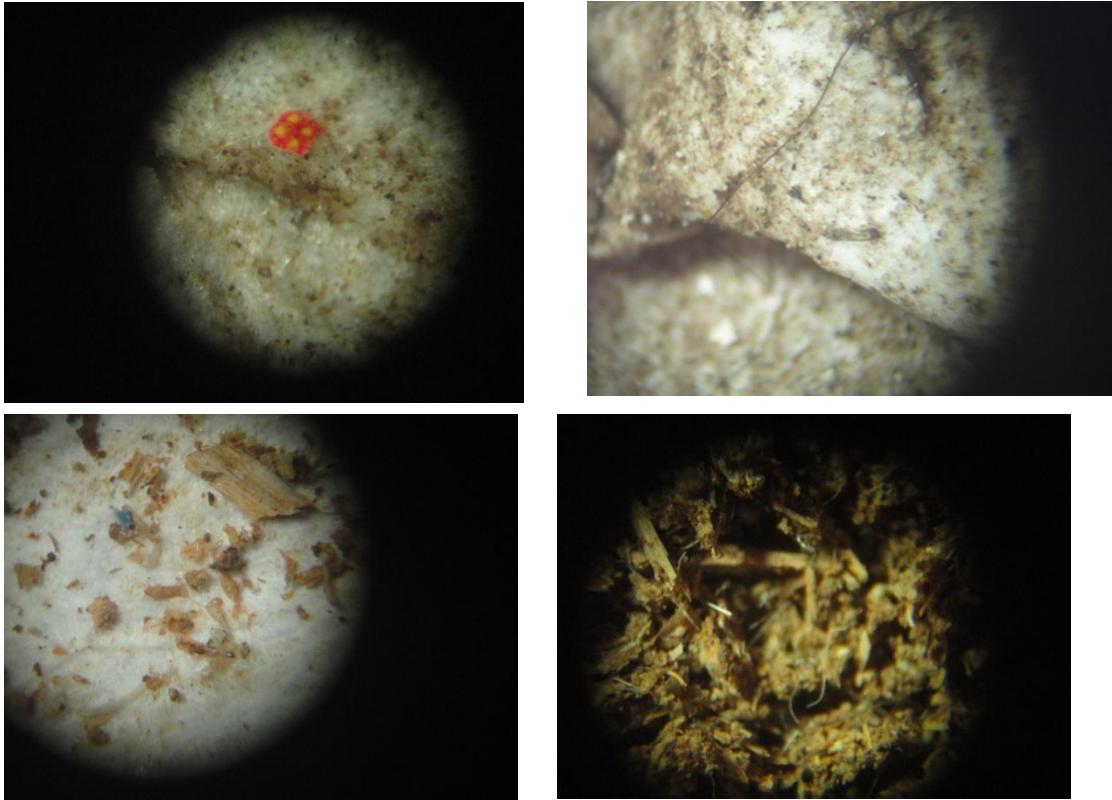
Figura 15 - Microplásticos do lodo primário da ETE/UFLA visto em Lupa



Fonte: Do autor (2022).

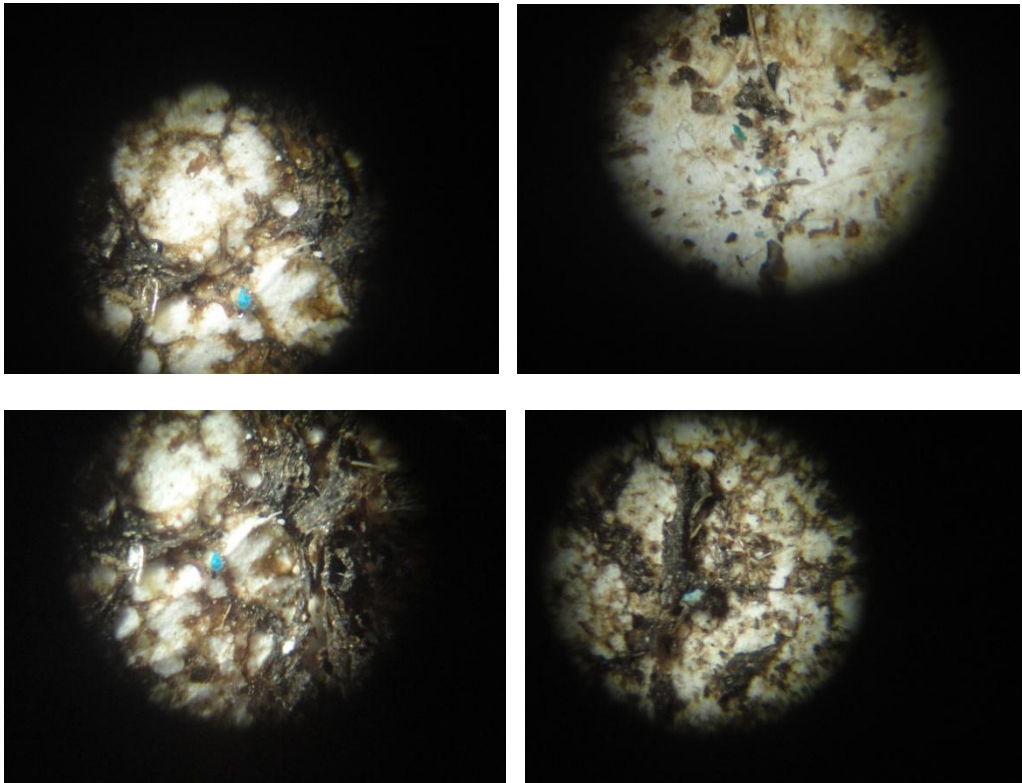
Não foi detectada presença de MPs, no efluente final da ETE/UFLA, após tratamento terciário, sugerindo retenção no filtro de pedras e areia instaladas entre os FBAS e o tratamento terciário. Por outro lado, o efluente tratado do FBAS, bem como o afluente bruto apresentaram presença de MPs, conforme a visualização (FIGURAS 16 e 17).

Figura 16 - Microplásticos do afluente bruto visto em Lupa



Fonte: Do autor (2022).

Figura 17 - Microplásticos do UASB-FBAS visto em Lupa



Fonte: Do autor (2022).

Existem estudos realizados destacando a contribuição das ETE's como barreira à passagem de microplásticos (FERRARI, 2019; GOUVEIA, 2018). Esses estudos têm demonstrado que as ETE's têm obtido sucesso significativo na remoção de porcentagens significativas de microplástico nos processos de tratamento de esgotos. Pereira, Araújo e Bila (2021), em uma revisão bibliográfica, compila estudos realizados de outros autores, abordando a eficiência de remoção de MPs em ETE. Entretanto cabe destacar que trabalhos apresentados, em sua totalidade, são de outros países, levando a confirmar poucos estudos realizados nas regiões da América do Sul e Latina.

Carr, Liu e Tesoro (2016) avaliaram 8(oito) ETEs na Califórnia (USA), sendo 7(sete) com tratamento terciário e 1(uma) com tratamento secundário. O menor tamanho de partícula retido foi de 45(quarenta e cinco) μm e a maior parte dos microplásticos coletados são de partículas de polietileno azul similares às encontradas na formulação de pastas de dente. Nas ETEs com tratamento terciário, foram utilizadas adição de químicos e filtração, após o processo de lodo ativado e não foram encontrados microplásticos no efluente, contudo, na ETE somente com o processo de lodo ativado, apesar da eficiência de remoção ser de 99.9%, houve um lançamento diário para o corpo receptor de 93000 micropartículas, o que em 1(um) ano representa quase 34 milhões de micropartículas.

Murphy *et al.* (2016) observaram uma remoção de 98.41% de microplásticos no processo de lodo ativado. No entanto salientaram que, apesar da alta eficiência de remoção apresentada pela ETE, uma grande quantidade de microplásticos foi lançada diariamente, no corpo receptor, em função dos altos volumes de efluente tratados. Leslie *et al.* (2017) avaliaram 7(sete) ETEs em Amsterdam (Holanda), onde uma eficiência média de retenção de microplásticos de 72% (\pm 61%) foi alcançada, concluindo que o efluente de ETE é uma das principais rotas de entrada de microplásticos em ambientes aquáticos.

Carr, Liu e Tesoro (2016) relataram que os microplásticos encontrados no esgoto estavam revestidos por biofilme, que são colônias de microrganismos que ficam aderidas à superfície dos microplásticos (RUMMEL *et al.*, 2017). Esse biofilme é formado, quando o material plástico está em ambiente aquático e pode afetar as propriedades físicas dos plásticos, como a flutuabilidade e ser um meio de transporte para bactérias e vírus que estão presentes no esgoto (CARR; LIU; TESORO, 2016; RUMMEL *et al.*, 2017).

Verifica-se, contudo que a presença de microplásticos, no efluente tratado, é evidenciada e a necessidade de se aprimorar os estudos, quanto à retenção, controle e toxicidade deste poluente em ETE, contribui para a mitigação do contato com organismos humanos e seres vivos da fauna aquática. Adaptar e prever tecnologias, nas estações de

tratamento de esgoto, que proponham a retenção de microplásticos, tende a vir a ser uma proposta de mitigação de impacto de lançamento deste contaminante, relevante.

Algumas observações acerca das partículas de MPs notam-se relevantes, como a tonalidade envelhecida do material extraído, conforme apresentado nos fragmentos verdes/marrons da Figura 15. A hipótese é que possam ser fragmentos de esponjas de lavação de utensílios em pias, muito utilizadas nos laboratórios da instituição. Esse material fragmentado vira suporte de bactérias e biofilmes. Essa observação sugere cuidados, quando se extrapola essa constatação para uma situação de exposição humana, seja por inalação, ingestão ou contato com a pele (dérmica).

Na UFLA não é incomum a ligação de redes fluviais à rede de esgotamento sanitário o que gera maior acúmulo de resíduos e fragmentos de MPs como os fios de Nylon encontrados nas amostras. Esse fragmento tende a ser o resultado de uma fragmentação de sacos de ração, para o acondicionamento de ração para os animais, ora lançados inadequadamente no solo, expostos à fragmentação e degradação fotolítica e sendo carreados para a rede pluvial e, posteriormente, para as interceptoras de esgoto.

Alguns fragmentos apresentam-se na forma pontiaguda. A hipótese provável é que venham a ser partículas que tenham sofrido ruptura mecânica, assim como os filamentos e fibras. Ao que se observa, os MPs da ETE/UFLA não aparentam estar em condições de degradação fotolítica severas, com possíveis alterações de propriedades químicas e físicas aparentes. Essa análise visual sugere que os polímeros encontrados são recentes, ou seja, não passaram por processos mais avançados de fragmentação por abrasão mecânica ou degradação fotolítica, uma vez que as redes de esgoto e fluviais são tubuladas, isentas da exposição à luz solar.

No campus universitário, há lavanderia de roupas, pias de cozinha, onde se lavam vasilhames de restaurantes, como no restaurante universitário, bem como em lanchonetes no campus, banheiros, pias para a higienização bucal e assepsia das mãos, bem como existem diversos laboratórios, nos quais se utilizam vidrarias e há a necessidade de utilizar a lavação desses materiais com buchas.

Esses pontos de lançamento de geração de esgoto podem carrear filamentos de escovas de dente, filamentos de vassouras e escovas de higienização de vasos e pias, fibras de roupas lavadas e microesferas de maquiagem. O comportamento das pessoas que utilizam o campus universitário diariamente necessita ser objeto de estudo para se compor melhor o fracionamento das observações de partículas e fragmentos.

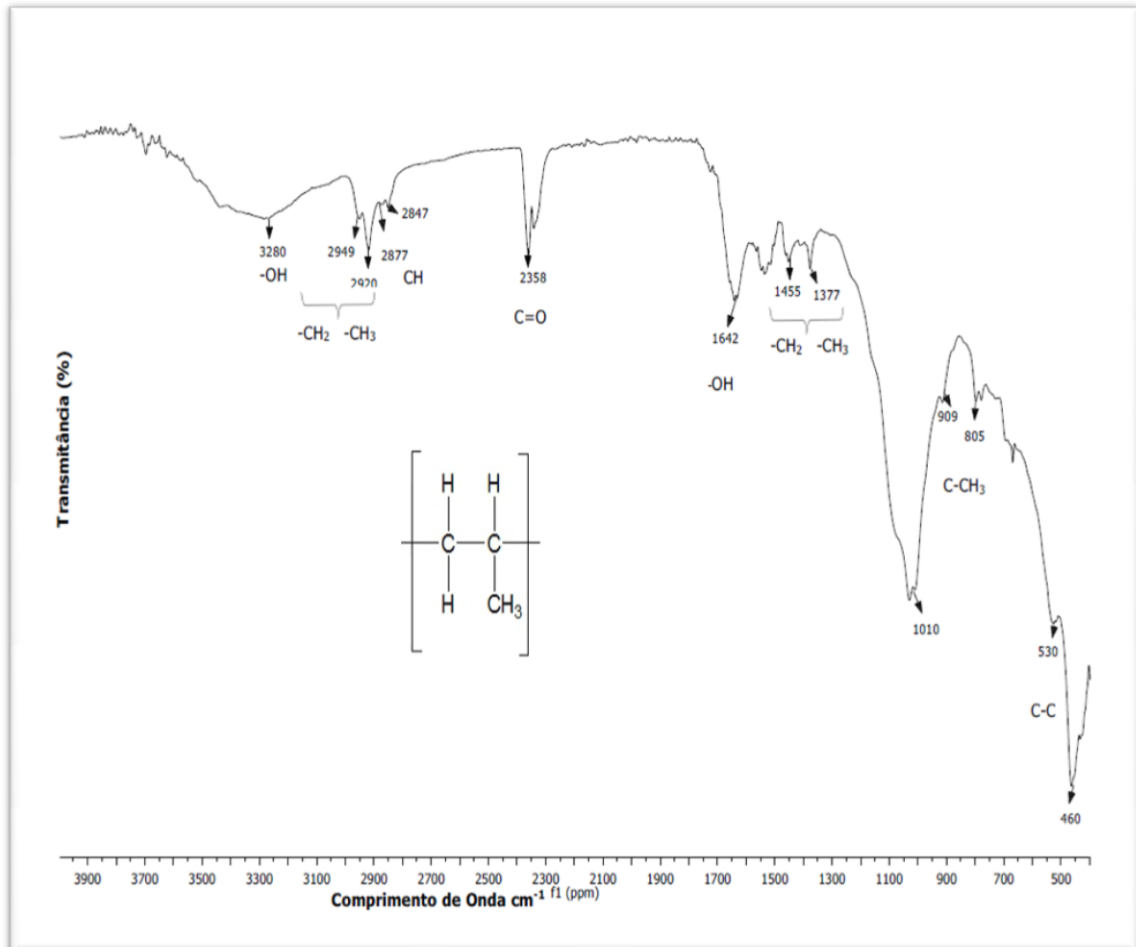
Os efeitos ecotóxicológicos dos MPs, na saúde humana, têm sido objeto de observação científica, bem como em animais (AMATO-LOURENÇO *et al.*, 2021; PIRONTI *et al.*, 2021). Nota-se que corpos hídricos contaminados com partículas de MPs têm grande possibilidade de afetar seres humanos e animais e organismos da cadeia trófica. A fluuabilidade e a hidrofobicidades dessas partículas proporcionam alta mobilidade no ambiente hídrico.

5.2 Identificação química dos Microplásticos

A representação gráfica (FIGURA 18) obtida dos resultados dos espectros no infravermelho das amostras detectaram a presença Polietileno (PE), pelo pico observado no comprimento de onda de 2920 nm na amostragem. Este polímero é muito utilizado na fabricação de sacos plásticos, filme plástico, sacos de lixo, tubos, revestimentos de caixa de leite, garrafas de plástico, recipientes para produtos de limpeza, canos para gás e água potável e utensílios domésticos.

Gouveia (2018), em estudo realizado em ETAR (Estação de Tratamento de Águas Residuais) de Lisboa/Portugal, detectou resultado semelhante ao encontrado, o PE. As discussões levaram à conclusão de que a contaminação da água residual de onde se realizaram os estudos prejudicou a qualidade na varredura do FTIR, levando a crer na alta concentração de contaminantes químicos inorgânicos aderentes à partícula de MP levada à análise, ou erro na amostragem. Olivatto (2017), em estudo de MPs em areia de praia, utilizou a mesma técnica instrumental de FTIR, tendo evidenciado uma predominância de PE e PP nos resultados apresentados.

Figura 18 - Espectro de PE encontrado na análise por espectrometria por infravermelho



Fonte: Do autor (2022).

A predominância de PE, no resultado encontrado, pode ser explicada pelo fato do estudo ser realizado, em uma ETE de um campus universitário, com pouca variabilidade de outros polímeros. A instituição adotou como regra a não utilização de copos descartáveis pelo público no geral. Isso se nota por não terem sido encontrados traços de PS-Poliestireno nas análises.

Por outro lado, ressalta-se ser pertinente considerar que, apesar da massa requerida mínima para a análise ser de 0,002grs e a massa enviada para análise tenha contemplado 0,008grs, é importante que se realizem mais amostragens e repetições, para se tentar identificar outros polímeros, uma vez que este estudo buscou identificar qualitativa e não quantitativamente os MPs. Pode-se obter, em estudos posteriores, de maneira representativa, mais dados que possam trazer e preencher mais informações quanto à variabilidade de polímeros de MPs na ETE-UFLA.

5.3 Considerações e desafios para as análises de MPs em ETEs

Durante a pesquisa, o procedimento, para encontrar o método adequado à extração e obtenção de MPs, tomou tempo e dedicação, uma vez que não existe um método padrão para tal e muitas dificuldades foram encontradas, como segue.

Foram realizadas repetições diversas com outros valores de massa, tendo sido utilizados valores de 10 e 20 grs. Entretanto os resultados encontrados não foram satisfatórios com essas massas principalmente por: 1) aumento de dosagem na digestão da amostra, exibindo rápida efervecência e resíduo de solução sobrenadante excedente; 2) dificuldade de visualização de mudança de fases na flotação, em razão da reação do NaCl + Fe em excesso reagindo na solução, uniformizando a coloração em uma tonalidade marrom turvo; 3) baixa flutuação de material particulado e sobrenadante. A amostragem com 5grs de resíduo produziu um desempenho satisfatório para o estudo, tendo sido constatados e medidos efeitos desejados para o método proposto.

O sobrenadante de material flutuante, dividido em fases no béquer de 1 litro com aspecto gelatinoso, suspendeu além de MPs, pequenas partículas de massas secas brancas que se acredita serem flocos de gorduras hidrolisadas, pequenos galhos, material particulado com aspecto escurecido, apresentando condições de serem particulados finos de pequenas carcaças de insetos em decomposição. Montagner *et al.* (2021) e Olivatto (2017) relatam, em seus estudos, a falta de protocolo-padrão, bem como a falta de consenso na padronização nas técnicas de amostragem. Nisto sendo, apresenta-se, em diversos trabalhos, uma série de unidades expressas em massa seca ou úmida(g,kg), de volume (mL, L, m³) ou de área(m²) (CRAWFORD; QUINN, 2017; MÖLLER; LÖDER; LAFORSCH, 2020; VAN CAUWEBERGHE *et al.*, 2015).

Com a presença de matéria orgânica na superfície do MPs, possíveis interferências, na etapa de caracterização química, podem ser observadas. Portanto é necessária a utilização de métodos, para a eliminação da matéria orgânica, que não danifiquem as propriedades químicas e estruturais dos polímeros (PRATA *et al.*, 2020).

6 CONCLUSÕES

Verificou-se pelas análises que a presença de MPs no afluente bruto e lodo primário(resíduo primário) foi periódico, apontando para a necessidade de reforço e promoção constante da educação ambiental no campus, quanto ao descarte adequado de resíduos sólidos, entre eles o plástico.

A caracterização dos MPs encontrados pode permitir um delineamento dos materiais prováveis que estejam desprendendo os fragmentos, para a rede de esgotamento sanitário, como, por exemplo, buchas de lavação e vassouras com cerdas de plástico identificados em LUPA.

O estudo permitiu constatar que a configuração da estação de tratamento de esgoto da Ufla, no tocante a conter o processo físico de filtração do efluente tratado do filtro biológico aerado (FBAS), antes do tratamento terciário, reteve os MPs, tendo o efluente final não apresentado nenhuma identificação dos fragmentos de MPs.

A metodologia pode ser replicada e adaptada, para avaliações analíticas, em estações de tratamento públicas ou privadas.

Os resultados permitiram confirmar a necessidade de criação de normalização deste poluente, bem como avaliar a necessidade de conscientizar, para a necessidade de se utilizarem produtos, que possam diminuir os impactos de MPs no esgoto sanitário, como no caso de produtos de cosméticos que contenham microesferas.

REFERÊNCIAS

- AMATO-LOURENÇO, L. F. *et al.* An emerging class of air pollutants: potential effects of microplastics to respiratory human health? **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 749, p. 141676, Dec. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720352050>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- AMATO-LOURENÇO, L. F. *et al.* Presence of airborne microplastics in human lung tissue. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 416, p. 126124, Aug. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389421010888>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- AMBROSINI, R. *et al.* First evidence of microplastic contamination in the supraglacial debris of an alpine glacier. **Environmental Pollution**, Barking, v. 253, p. 297-301, Oct. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119316422>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- ANBUMANI, S.; KAKKAR, P. Ecotoxicological effects of microplastics on biota: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, London, v. 25, p. 14373-14396, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1999-x>.
- ARTHUR, C.; BAKER, J.; BANFORD, H. (ed.). **Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects and fate of microplastic marine debris**. Tacoma: NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R30, 2009. 49 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. **Perfil 2021**: as indústrias de transformação e reciclagem de plástico no Brasil. 2021. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil-2021/>. Acesso em: 10 mar. 2022.
- BAKIR, A.; ROWLAND, S. J.; THOMPSON, R. C. Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. **Environmental Pollution**, Barking, v. 185, p. 16-23, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.007>.
- BALLENT, A. *et al.* Physical transport properties of marine microplastic pollution. **Biogeosciences Discussions**, Washington, DC, v. 9, n. 12, p. 18756-18798, 2012. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/006b/b1ba769a79e5cadeaf572297ecec4fcd29e.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- BARBOZA, L. G. A.; GIMENEZ, B. C. G. Microplastics in the marine environment: current trends and future perspectives. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 97, n. 1/2, p. 5-12, Aug. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X15003598>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- BARESEL, C.; OLSHAMMAR, M. On the importance of sanitary sewer overflow on the total discharge of microplastics from sewage water. **Journal of Environmental Protection**, Rugby, v. 10, p. 1105-1118, 2019.

BARNES, D. K. A. *et al.* Acumulação e fragmentação de detritos plásticos em ambientes globais. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: biological sciences**, London, v. 364, p. 1985-1998, 2009.

BELHÁČOVÁ-MINAŘÍKOVÁ, M. *et al.* Investigation of cosolvent application to enhance POPs' mass transfer in partitioning passive sampling in sediment. **Environmental Science and Pollution Research**, London, v. 24, p. 27334-27344, Oct. 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-017-0223-8>. Acesso em: 10 mar. 2023.

BESLEY, A. *et al.* A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 114, n. 1, p. 77-83, Jan. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X16306877>. Acesso em: 10 mar. 2023.

BORRELLE, S. B. *et al.* Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. **Science**, New York, v. 369, n. 6510, p. 1515-1518, 2020. Disponível em: <https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.aba3656>. Acesso em: 10 mar. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento [...]. Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>. Acesso em: 30 mar. 2023.

BRASIL. Agência Nacional das Águas. **Atlas do esgoto**. 2022. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 10 dez. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, DF, 16 maio 2011. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=118583>. Acesso em: 10 mar. 2022.

BROWNE, M. A. *et al.* Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 45, n. 21, p. 9175-9179, 2011. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/es201811s>. Acesso em: 10 mar. 2023.

BUCHANAN, J. B. Pollution by synthetic fibres. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 2, n. 2, p. 23, Feb. 1971. DOI: [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(71\)90136-6](https://doi.org/10.1016/0025-326X(71)90136-6).

CARLSEN, L.; BRUGGEMANN, R.; KENESSOV, B. Use of partial order in environmental pollution studies demonstrated by urban BTEX air pollution in 20 major cities worldwide. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 610, p. 234-243, Jan. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717320272>. Acesso em: 10 mar. 2023.

CARR, S. A.; LIU, J.; TESORO, A. G. Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. **Water Research**, Oxford, v. 91, p. 174-182, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.002>.

CECCARINI, A. *et al.* The hidden microplastics: new insights and figures from the thorough separation and characterization of microplastics and of their degradation byproducts in coastal sediments. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 52, n. 10, p. 5634-5643, 2018. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.8b01487>. Acesso em: 10 mar. 2023.

CHEN, T. M. *et al.* Outdoor air pollution: nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects. **The American Journal of the Medical Sciences**, v. 333, n. 4, p. 249-256, Apr. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0002962915325933>. Acesso em: 10 mar. 2023.

CHEN, Y. *et al.* Microplastic pollution in vegetable farmlands of suburb Wuhan, central China. **Environmental Pollution**, Barking, v. 257, p. 113449, Feb. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749119343556>. Acesso em: 10 mar. 2023.

CHOI, J. S. *et al.* Toxicological effects of irregularly shaped and spherical microplastics in a marine teleost, the sheepshead minnow (*Cyprinodon variegatus*). **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 129, n. 1, p. 231-240, Apr. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X18301279>. Acesso em: 10 mar. 2023.

COLE, M. *et al.* The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 49, p. 1130-1137, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1021/es504525u>.

COLE, M. *et al.* Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 62, n. 12, p. 2588-2597, Dec. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X11005133>. Acesso em: 10 mar. 2023.

COLE, M. *et al.* Microplastics ingestion by zooplankton. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 47, p. 6646-6655, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1021/es400663f>.

COX, K. D. *et al.* Human consumption of microplastics. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 53, n. 12, p. 7068-7074, 2019. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.9b01517>. Acesso em: 10 mar. 2023.

CRAWFORD, C. B.; QUINN, B. **Microplastic pollutants**. Amsterdam: Elsevier, 2017.

CRAWFORD, R. J. General properties of plastics. *In*: CRAWFORD, R. J. **Plastics engineering**. 3rd ed. New York: Elsevier, 1998. p. 1-40. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-075063764-0/50003-0>.

CUCCINIELLO, R. *et al.* An improved method for BTEX extraction from charcoal. **Analytical Methods**, London, v. 7, n. 11, p. 4811-4815, 2015. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/ay/c5ay00828j/unauth>. Acesso em: 10 mar. 2023.

CUCCINIELLO, R. *et al.* Um novo tubo sorvente para determinação de NOx atmosférico por amostragem ativa. **Talanta**, London, v. 164, p. 403-406, 2017.

CUCCINIELLO, R. *et al.* Synthesis, characterization and field evaluation of a new calcium-based CO₂ absorbent for radial diffusive sampler. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 60, p. 82-87, Dec. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231012005742>. Acesso em: 10 mar. 2023.

DE PAOLI, M. A. **Degradação e estabilização de polímeros**. 2. ed. Campinas: Chemkeys, 2008.

DOYLE, M. J. *et al.* Plastic particles in coastal pelagic ecosystems of the Northeast Pacific ocean. **Marine Environmental Research**, Oxford, v. 71, n. 1, p. 41-52, Feb. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141113610001650>. Acesso em: 10 mar. 2023.

DRIS, R. *et al.* Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. **Environmental Chemistry**, Victoria, v. 12, n. 5, p. 592-599, 2015. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/en/en14167>. Acesso em: 10 mar. 2023.

EL-SHAHAWI, M. S. *et al.* Uma visão geral da acumulação, distribuição, transformações, toxicidade e métodos analíticos para o monitoramento de poluentes orgânicos persistentes. **Talanta**, London, v. 80, p. 1587-1597, 2010.

ERIKSSON, C. *et al.* Daily accumulation rates of marine debris on sub-Antarctic island beaches. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 66, n. 1/2, p. 199-208, Jan. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X12004262>. Acesso em: 10 mar. 2023.

FERRARI, M. F. **Avaliação da presença de microplásticos em esgoto sanitário do município de Campo Mourão-PR**. 2019. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7073/1/microplasticosesgotocampomourao.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023.

FRIAS, J. P. G. L.; SOBRAL, P.; FERREIRA, A. M. Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 60, n. 11, p. 1988-1992, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X1000336X>. Acesso em: 10 mar. 2023.

GATIDOU, G.; ARVANITI, O. S.; STASINAKIS, A. S. Review on the occurrence and fate of microplastics in Sewage Treatment Plants. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 367, p. 504-512, 2019.

GOUVEIA, R. J. dos S. **Eficiência de remoção de microplásticos em quatro ETAR portuguesas**. 2018. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2018. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/50893/1/Gouveia_2018.pdf. Acesso em: 10 mar. 2023.

GÜNDOĞDU, S. *et al.* Microplastics in municipal wastewater treatment plants in Turkey: a comparison of the influent and secondary effluent concentrations. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 190, p. 1-10, Oct. 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-018-7010-y>. Acesso em: 10 mar. 2023.

HORTON, A. A. *et al.* Microplastics in freshwater and terrestrial environments: evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 586, p. 127-141, May 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717302073>. Acesso em: 10 mar. 2023.

JAMIESON, A. J. *et al.* Microplastics and synthetic particles ingested by deep-sea amphipods in six of the deepest marine ecosystems on Earth. **Royal Society Open Science**, London, v. 6, n. 2, p. 180667, Feb. 2019. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsos.180667>. Acesso em: 10 mar. 2023.

KARLSSON, T. M. *et al.* Screening for microplastics in sediment, water, marine invertebrates and fish: method development and microplastic accumulation. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 122, n. 1/2, p. 403-408, Sept. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X17305799>. Acesso em: 10 mar. 2023.

KIM, S. W. *et al.* Effects of different microplastics on nematodes in the soil environment: tracking the extractable additives using an ecotoxicological approach. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 54, n. 21, p. 13868-13878, 2020. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.0c04641>. Acesso em: 10 mar. 2023.

LANDIM, A. P. M. *et al.* Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, São Carlos, v. 26, p. 82-92, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/Mnh695j5cVys99xsSSx54WM/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

LI, J.; LIU, H.; CHEN, J. P. Microplastics in freshwater systems: a review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. **Water Research**, Oxford, v. 137, p. 362-374, June 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135417310515>. Acesso em: 10 mar. 2023.

LÖDER, M. G. J.; GERDTS, G. Methodology used for the detection and identification of microplastics: a critical appraisal. *In*: BERGMANN, M.; GUTOW, L.; KLAGES, M. (ed.). **Marine anthropogenic litter**. Cham: Springer, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_8.

MAGNI, S. *et al.* The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 652, p. 602-610, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.269>.

MAGNUSSON, K.; NORÉN, F. **Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant**. Stockholm: Swedish Environmental Research Institute, 2014. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:773505/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023.

MAI, L. *et al.* A review of methods for measuring microplastics in aquatic environments. **Environmental Science and Pollution Research**, London, v. 25, p. 11319-11332, Mar. 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-1692-0>. Acesso em: 10 mar. 2023.

MAK, C. W. *et al.* Microplastics from effluents of sewage treatment works and stormwater discharging into the Victoria Harbor, Hong Kong. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 157, p. 111181, 2020.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. São Paulo: Blucher, 2001.

MARTINEZ, E.; MAAMAATUAIAHUTAPU, K.; TAILLANDIER, V. Floating marine debris surface drift: convergence and accumulation toward the South Pacific subtropical gyre. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 58, n. 9, p. 1347-1355, Sept. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X09001787>. Acesso em: 10 mar. 2023.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa CERH-MG nº 65, de 18 de junho de 2020**. Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52040>. Acesso em: 10 mar. 2022.

MÖLLER, J. N.; LÖDER, M. G. J.; LAFORSCH, C. Finding microplastics in soils: a review of analytical methods. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 54, n. 4, p. 2078-2090, 2020. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.9b04618>. Acesso em: 10 mar. 2023.

MONTAGNER, C. C. *et al.* Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 44, p. 1328-1352, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/VJ58TBjHVqDZsvWLckcFbTQ/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

MOTTA, O. *et al.* Um estudo sobre a aplicabilidade do substrato de sílica impregnado com acetato de zinco na coleta de sulfeto de hidrogênio por amostragem ativa. **Talanta**, London, v. 128, p. 268-272, 2014.

MURPHY, F. *et al.* Wastewater Treatment Works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. **Environmental Science and Technology**, Easton, v. 50, p. 5800-5808, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05416>.

NAPPER, I. E. *et al.* Reaching new heights in plastic pollution: preliminary findings of microplastics on Mount Everest. **One Earth**, Gurugram, v. 3, n. 5, p. 621-630, Nov. 2020. Disponível em: [https://www.cell.com/one-earth/pdf/S2590-3322\(20\)30550-9.pdf](https://www.cell.com/one-earth/pdf/S2590-3322(20)30550-9.pdf). Acesso em: 10 mar. 2023.

NIZZETTO, L. *et al.* A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments. **Environmental Science: processes & impacts**, Easton, v. 18, n. 8, p. 1050-1059, 2016. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/em/c6em00206d/unauth>. Acesso em: 10 mar. 2023.

NUNES, C. **Reciclagem**. Disponível em: <https://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/infantil/reciclagem.htm>. Acesso em: 10 dez. 2022.

OLIVATTO, G. P. **Estudo sobre microplásticos em águas superficiais na porção oeste da Baía de Guanabara**. 2017. 155 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

PEREIRA, T. da C.; ARAÚJO, D. B.; BILA, D. M. Microplásticos em estação de tratamento de esgoto: uma revisão. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica**, Ciudad de México, v. 14, n. 2, p. 917-932, 2021. DOI: <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.2.75496>.

PICÓ, Y.; BARCELÓ, D. Analysis and prevention of microplastics pollution in water: current perspectives and future directions. **ACS Omega**, Washington, DC, v. 4, n. 4, p. 6709-6719, 2019.

PINTO FILHO, H. L. C. **Caracterização e avaliação do aproveitamento de resíduos sólidos do tratamento preliminar da estação de tratamento de esgoto de uma instituição de ensino**. 2023. 73 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/56845>. Acesso em: 10 mar. 2023.

PIRONTI, C. *et al.* Microplastics in the environment: intake through the food web, human exposure and toxicological effects. **Toxics**, Basel, v. 9, p. 224, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics9090224>.

PLASTICS EUROPE. **Plastics: the facts 2021: an analysis of European latest plastics production, demand and waste data**. Brussels: Plastics Europe, 2021. Disponível em: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/>. Acesso em: 10 mar. 2022.

POMPÊO, M.; RANI-BORGES, B.; PAIVA, T. C. B. de. **Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções**. São Paulo: EDUSP, 2022.

PRATA, J. C. *et al.* Environmental exposure to microplastics: an overview on possible human health effects. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 702, p. 134455, Feb. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719344468>. Acesso em: 10 mar. 2023.

QUEIROZ, L. G. Microplásticos: uma abordagem introdutória. *In*: POMPÊO, M.; RANI-

BORGES, B.; PAIVA, T. C. B. de (org.). **Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções**. São Paulo: EDUSP, 2022. cap. 1, p. 1-7.

RAGUSA, A. *et al.* Raman microspectroscopy detection and characterisation of microplastics in human breastmilk. **Polymers**, Basel, v. 14, n. 13, p. 2700, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/13/2700>. Acesso em: 10 mar. 2023.

RUMMEL, C. D. *et al.* Impacts of biofilm formation on the fate and potential effects of microplastic in the aquatic environment. **Environmental Science & Technology Letters**, London, v. 4, n. 7, p. 258-267, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00164>.

RYAN, P. G. *et al.* Monitorando a abundância de detritos plásticos no ambiente marinho. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: biological sciences**, London, v. 364, p. 1999-2012, 2009.

SOUZA, B. S. de. **Metodologia para identificação de microplásticos em curso d'água de uma microbacia urbana**. 2021. 61 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias e Inovações Ambientais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.

SUL, J. A. I. do; SPENGLER, Â.; COSTA, M. F. Here, there and everywhere: small plastic fragments and pellets on beaches of Fernando de Noronha (Equatorial Western Atlantic). **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 58, n. 8, p. 1236-1238, Aug. 2009. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19486997/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2004.

TEUTEN, E. L. *et al.* Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: biological sciences**, London, v. 364, p. 2027-2045, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>.

THOMPSON, R. *et al.* Lost at sea: where is all the plastic. **Science**, New York, v. 304, p. 838, 2004.

TOURINHO, P. S. *et al.* Partitioning of chemical contaminants to microplastics: Sorption mechanisms, environmental distribution and effects on toxicity and bioaccumulation. **Environmental Pollution**, Barking, v. 252, p. 1246-1256, Sept. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749118356744>. Acesso em: 10 mar. 2023.

TURNER, A.; ARNOLD, R.; WILLIAMS, T. Weathering and persistence of plastic in the marine environment: lessons from LEGO. **Environmental Pollution**, Barking, v. 262, p. 114299, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114299>.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Legal limits on single-use plastics and microplastics: a global review of national laws and regulations**. 2018. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/legal-limits-single-use-plastics-and-microplastics>. Acesso em: 10 dez. 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **PNUMA - Programa das Nações**

Unidas para o Meio Ambiente. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/about-un-environment>. Acesso em: 10 dez. 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **UNEP/EA.5/Res. 14:** acabar com a poluição plástica: rumo a um instrumento internacional juridicamente vinculativo. Nairobi: UNEP, 2022. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39764/END%20PLASTIC%20POLLUTION%20%20TOWARDS%20AN%20INTERNATIONAL%20LEGALLY%20BINDING%20INSTRUMENT%20-%20English.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 dez. 2022.

VAN CAUWENBERGHE, L. *et al.* Microplastics in sediments: a review of techniques, occurrence and effects. **Marine Environmental Research**, Barking, v. 111, p. 5-17, Oct. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141113615000938>. Acesso em: 10 mar. 2023.

VAN SEBILLE, E. *et al.* A global inventory of small floating plastic debris. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 10, n. 12, p. 124006, 2015. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/12/124006&xid=17259,1500004,15700023,15700186,15700190,15700248,15700252>. Acesso em: 10 mar. 2023.

WAGNER, M.; LAMBERT, S. **In the handbook of environmental chemistry**. New York: Springer International, 2018.

WESCH, C. *et al.* No microplastics in benthic eelpout (*Zoarces viviparus*): an urgent need for spectroscopic analyses in microplastic detection. **Environmental Research**, San Diego, v. 148, p. 36-38, July 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935116300986>. Acesso em: 10 mar. 2023.

WRIGHT, S. L. *et al.* Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms. **Current Biology**, London, v. 23, n. 23, p. R1031-R1033, 2013.

WU, P. *et al.* Adsorption mechanisms of five bisphenol analogues on PVC microplastics. **Science of the Total Environment**, Easton, v. 650, p. 671-678, Feb. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718334739>. Acesso em: 10 mar. 2023.

WU, R. T. *et al.* Occurrence of microplastic in livestock and poultry manure in South China. **Environmental Pollution**, Barking, v. 277, p. 116790, May 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749121003705>. Acesso em: 10 mar. 2023.

XUEMIN, L. *et al.* Microplastics in a municipal wastewater treatment plant: fate, dynamic distribution, removal efficiencies, and control strategies. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 225, p. 579-586, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.321>.

YAN, Z. *et al.* An efficient method for extracting microplastics from feces of different species. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 384, p. 121489, Feb. 2020.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389419314438>. Acesso em: 10 mar. 2023.

ZHANG, Y. *et al.* Importance of atmospheric transport for microplastics deposited in remote areas. **Environmental Pollution**, Barking, v. 254, p. 112953, Nov. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119325175>. Acesso em: 10 mar. 2023.

ZHANG, Z.; CHEN, Y. Effects of microplastics on wastewater and sewage sludge treatment and their removal: a review. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne, v. 382, p. 122955, 2020.

ZHOU, Y.; LIU, X.; WANG, J. Characterization of microplastics and the association of heavy metals with microplastics in suburban soil of central China. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 694, Dec. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719337398>. Acesso em: 10 mar. 2023.