



SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO

**ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL DE PRAIA GRANDE
TÉCNICO EM QUÍMICA INTEGRADO AO MÉDIO**

CAROLINA GOMES MORALES
JENNIFER BARBOSA VIEIRA
LUANNA DOS SANTOS FIRMINO
THÁISSA CAMILLY DE ALMEIDA CUNHA

**ANÁLISE TEÓRICA DOS IMPACTOS DO MICROPLÁSTICOS NA
BIODIVERSIDADE MARINHA**

3º ANO DE QUÍMICA

**PRAIA GRANDE - SP
DEZEMBRO/2024**

CAROLINA GOMES MORALES
JENNIFER BARBOSA VIEIRA
LUANNA DOS SANTOS FIRMINO
THAÍSSA CAMILLY DE ALMEIDA CUNHA

**ANÁLISE TEÓRICA DOS IMPACTOS DO MICROPLÁSTICOS NA
BIODIVERSIDADE MARINHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Etec de Praia Grande, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paulo Souza, como requisito para a obtenção do diploma Técnico em Química sob a orientação da professora Irinete Ferreira e Thaís Leocadio de PDTCC, no 3º ano do curso de química integrado ao ensino médio, da ETEC de Praia Grande.

**PRAIA GRANDE - SP
DEZEMBRO/2024**

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por nos guiar e fortalecer ao longo de todo o processo de desenvolvimento deste trabalho, permitindo-nos concluir dentro do prazo estipulado e nos dando assim forças e fé. Expressamos também nossa gratidão à professora Thaís Correa, da ETEC de Praia Grande, pela orientação constante, fornecendo valiosas informações, ensinamentos e sugestões que enriqueceram a qualidade do projeto.

Agradecemos aos professores e orientadores da instituição da ETEC de Praia Grande, em especial, às professoras Sergiana dos Passos Ramos, Noemi Lourenço Gil e às orientadoras de PTCC, por suas contribuições essenciais que permitiram um excelente desempenho e orientações de grande relevância ao longo de todas as fases do trabalho.

Agradecemos ainda às nossas famílias pelo apoio contínuo e encorajamento durante o desenvolvimento do projeto, e aos amigos mais próximos por suas compreensões e incentivos.

Por fim, expressamos nosso reconhecimento à equipe de integrantes deste trabalho, que se dedicou com comprometimento e profissionalismo, bem como à instituição ETEC de Praia Grande, por proporcionar os recursos e a credibilidade necessários para a realização e conclusão do trabalho.

"A natureza fez o homem feliz e bom, mas a sociedade deprava-o e torna-o miserável."

Jean-Jacques Rousseau.

RESUMO

A presente pesquisa analisa os impactos dos microplásticos na biodiversidade marinha, enfatizando a formação, fontes e os efeitos adversos decorrentes do descarte inadequado de plásticos. A pesquisa destaca a necessidade de compreensão dos malefícios que os microplásticos causam ao ecossistema marinho e à saúde humana, visando a conscientização sobre a poluição plástica e suas consequências. A relevância do estudo reside na capacidade de futuros profissionais de meio ambiente e biologia de propor soluções práticas para mitigar os danos causados pelos microplásticos, promovendo uma gestão ambiental mais eficaz e sustentável.

Palavras-chaves: *Microplásticos, oceano, biodiversidade, plástico, meio-ambiente.*

ABSTRACT

This research analyzes the impacts of microplastics on marine biodiversity, emphasizing the formation, sources and adverse effects resulting from the improper disposal of plastics. The research highlights the need to understand the harm that microplastics cause to the marine ecosystem and human health, aiming to raise awareness about plastic pollution and its consequences. The relevance of the study lies in the ability of future environmental and biological professionals to propose practical solutions to mitigate the damage caused by microplastics, promoting more effective and sustainable environmental management.

Keywords: *Microplastics, ocean, biodiversity, plastic, environment.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	09
1.1 JUSTIFICATIVA.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	11
1.2.1 Objetivo geral.....	11
1.2.2 Objetivo específico.....	11
1.4 HIPÓTESES.....	12
1.5 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTOS SUSTENTÁVEL (ODS).....	13
1.5.1 ODS Inspiradoras.....	13
1.5.1.1 ODS 11.....	14
1.5.1.2 ODS 12.....	14
1.5.1.3 ODS 13.....	14
1.5.1.4 ODS 14.....	15
1.6 METODOLOGIA.....	16
2. PLÁSTICO E MICROPLÁSTICO: ORIGEM E IMPACTOS AMBIENTAIS.....	17
2.1 A história e o histórico da produção do plástico.....	17
2.1.1 A origem dos plásticos.....	17
2.1.1.1 A era pós-guerra.....	18
2.1.2 Tipos de plástico.....	20
2.1.2.1 Polietileno Tereftalato (PET).....	20
2.1.2.2 Polietileno (PE).....	20
2.1.2.3 Poliestireno (PS).....	21
2.1.2.4 Poliamida (Nylon).....	21
2.1.2.5 Polipropileno (PP).....	21
2.1.2.6 Poliéster (PS).....	21
2.1.2.7 Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (PEUAPM).....	22
2.1.2.8 Polietileno de Alta Densidade (PEAD).....	22
2.1.2.9 Polietileno de Baixa Densidade (PEBD).....	22
2.1.2.10 Policloreto de Vinila (PVC).....	22
2.1.2.11 Poliuretanos (PU) e Poliacetato de Etileno Vinil (EVA).....	22
2.1.3 O uso do plástico em nossa sociedade.....	23
2.1.3.1 Indústria e construção.....	23
2.1.3.2 Embalagens.....	23
2.1.3.3 Saúde e medicina.....	23
2.1.3.4 Transporte.....	23
2.1.3.5 Eletrônicos.....	23
2.1.4 Persistência e degradação de plásticos no ambiente marinho.....	24
2.1.4.1 Origem do plástico: A dependência de combustíveis fósseis.....	25
2.1.4.2 Fontes de resíduos plásticos: Uma análise dos vazamentos.....	25
2.1.4.3 Principais contribuintes para a poluição marinha.....	26
2.1.4.4 Produtos descartáveis: Um crescimento acelerado.....	26
2.1.4.5 Desempenho da reciclagem: Uma realidade alarmante.....	26

2.1.4.6 A direção para lixões marinhos.....	27
2.2 Microplásticos.....	27
2.2.1 Fontes primárias.....	29
2.2.2 Fontes secundárias.....	30
2.3 Processo de dispersão do microplástico.....	31
3. INTERAÇÃO DOS MICROPLÁSTICOS COM A BIODIVERSIDADE MARINHA.....	33
3.1 Ingestão de Microplásticos pela População Marinha.....	33
3.1.1 Efeitos em Organismos Marinhos.....	34
3.1.2 Ingestão de Peixes Contaminados.....	35
3.2 Impactos Ambientais e Econômicos do Microplástico.....	35
4. IMPACTOS NOS PRINCIPAIS GRUPOS DE ORGANISMOS.....	37
4.1 Impactos na Fauna Bentônica e Corais.....	37
4.2 Impactos em Organismos Filtradores.....	37
4.2.1 Moluscos e Crustáceos.....	38
4.2.1.1 Moluscos.....	38
4.2.1.2 Crustáceos.....	39
4.3 Impactos em Peixes e Mamíferos Marinhos.....	39
4.4 Impactos em aves marinhas.....	42
5. CONSEQUÊNCIAS ECOLÓGICAS DOS MICROPLÁSTICOS.....	44
5.1 Alterações nos Ciclos Biogeoquímicos.....	44
5.1.1 Efeitos na Predação.....	44
5.1.2 Efeitos na Reprodução.....	44
5.2 Perda de Biodiversidade e Efeitos nos Ecossistemas.....	45
5.3 Desequilíbrios nas Interações Ecológicas.....	45
6. ASPECTOS LEGISLATIVOS E POLÍTICAS PÚBLICAS.....	46
6.1 Legislações Ambientais.....	46
6.2 Ações para redução do uso do plástico.....	48
7. POSSÍVEIS SOLUÇÕES.....	49
7.1 Tecnologias de Remoção no Ambiente Marinho.....	49
7.2 Bioplástico: Alternativa Eficiente para Evitar o Microplástico?.....	49
7.2.1 Produção do Plástico Verde.....	50
7.3 Outras Estratégias Sustentáveis.....	50
8. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

A poluição por microplásticos (MPs) têm se consolidado como um dos principais desafios ambientais das últimas décadas, em função do aumento expressivo da produção de plásticos e do descarte inadequado desses materiais (Thompson et al., 2004). Microplástico (MPs) são partículas plásticas com dimensões inferiores a 5 milímetros, resultantes da fragmentação de materiais plásticos maiores devido a processos físicos, químicos e mecânicos, como a radiação solar e a ação das ondas (Andrady, 2011). Essas partículas são encontradas em praticamente todos os ambientes aquáticos, incluindo oceanos, rios, estuários e lagos, e até mesmo em regiões remotas, como o Ártico e a Antártida (Barnes et al., 2009; Obbard et al., 2014).

A presença onipresente dos microplásticos nos ambientes marinhos é atribuída à sua elevada durabilidade e à dispersão facilitada por correntes marítimas e ventos, que transportam essas partículas por longas distâncias (Cózar et al., 2014). Além de serem altamente persistentes, os microplásticos atuam como veículos de transporte para poluentes orgânicos persistentes (POPs), como pesticidas, metais pesados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), substâncias com potencial bioacumulativo e de elevada toxicidade para organismos marinhos (Koelmans et al., 2016). A adsorção desses poluentes pelos microplásticos amplifica os efeitos adversos sobre a fauna aquática, já que facilita sua disseminação por grandes áreas dos oceanos e sua incorporação nas cadeias alimentares (Zarfl et al., 2011).

Entre os principais impactos ecológicos da poluição por microplásticos, destaca-se a sua ingestão por uma ampla gama de organismos marinhos. Espécies de diferentes níveis tróficos, desde zooplâncton até grandes mamíferos, têm sido encontradas com microplásticos em seus sistemas digestivos (Wright et al., 2013; Lusher et al., 2015). A ingestão dessas partículas pode ocasionar bloqueios intestinais, lesões nos tecidos, inflamações e, em casos extremos, a morte dos animais (Wright et al., 2013). Além disso, os microplásticos podem atuar como vetores para a bioacumulação de substâncias tóxicas ao longo das cadeias

alimentares, representando um risco à saúde humana por meio do consumo de produtos marinhos contaminados (Galloway et al., 2017).

Do ponto de vista socioeconômico, os efeitos da poluição por microplásticos são igualmente preocupantes. A contaminação de produtos da pesca com microplásticos e seus poluentes associados gera prejuízos econômicos ao setor pesqueiro e representa uma ameaça à segurança alimentar (Van Cauwenberghe & Janssen, 2014). Além disso, a presença desses materiais em praias e zonas costeiras compromete a qualidade estética e recreativa desses ambientes, impactando negativamente o turismo e as atividades econômicas relacionadas (Browne et al., 2011).

1.1 JUSTIFICATIVA

A justificativa para a presente pesquisa é multifacetada, abrangendo motivos teóricos e práticos que ressaltam sua importância. O aumento alarmante na presença de microplásticos destaca a urgência de entender e mitigar esse problema ambiental global.

Além do impacto ambiental, a presença deles nos oceanos representa uma ameaça para a saúde humana, pois essas partículas podem conter substâncias químicas tóxicas que podem ser liberadas quando ingeridas por animais marinhos e, eventualmente, chegar aos humanos através da cadeia alimentar. Dados estatísticos em frutos do mar consumidos por humanos reforçam a importância de entender e mitigar esse risco à saúde pública.

A poluição por estes tipos de resíduos também é mais um desafio global que requer uma resposta coordenada em níveis internacional, nacional e local. As concentrações estão aumentando em todas as regiões oceânicas, independentemente do desenvolvimento econômico, destacando a necessidade de colaboração e pesquisa multidisciplinar para desenvolver soluções eficazes.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Identificar as problemáticas do descarte incorreto de resíduos plásticos e como isso afeta o meio ambiente através de um estudo amplo, visando entender a problemática do microplástico e seus riscos à biodiversidade marinha.

1.2.2 Objetivo específico

Conscientizar as pessoas quanto aos riscos relacionados ao microplástico, que representam uma ameaça à biodiversidade marinha e à saúde humana, além de desenvolver possíveis soluções para a presente questão.

1.3 PROBLEMATIZAÇÃO

Os MPs, por serem pequenas partículas de plásticos dissolvidos por diversos fatores ambientais, estão presentes em diversos locais, assim como em ambientes aquáticos.

Os MPs que estão presentes na água são provenientes de várias fontes, como redes de drenagem municipal, pesca, construção naval, turismo, descarte indevido dos plásticos, entre outras. Além da questão da poluição causada, os MPs de densidade inferior que a densidade da água, ou seja, os que são mais leves que ela, também podem ser ingeridos por animais aquáticos.

Em ambientes marinhos, as fontes mais comuns de MPs podem ser de efluentes de esgoto, sistemas de drenagem municipais, desgastes de pneus, resíduos de plástico mal gerenciado ou sendo descartados diretamente na praia, além da fragmentação de itens de macrolásticos que entram nos rios por via de escoamento, marés, ventos e eventos catastróficos, juntamente com fontes já presentes no mar, incluindo carga perdida, pesca e artes de aquicultura. Segundo Elizalde-Velpazquez e Gomes-Oliván (2021), 80% dos detritos marinhos têm origem em fontes terrestres e o restante, em atividades marítimas.

1.4 HIPÓTESES

A problemática do descarte inadequado de plásticos, que culmina na geração de MPs e na consequente poluição dos oceanos, tem suas raízes em uma combinação complexa de fatores socioeconômicos, comportamentais e tecnológicos. A ampla produção e consumo de plásticos convencionais são aspectos centrais desse problema. A falta de conscientização ambiental entre a população, bem como a escassez de alternativas viáveis e acessíveis para a redução do uso de plásticos e o correto descarte dos resíduos, intensificam cada vez mais a poluição marinha, ameaçando a biodiversidade dos ecossistemas oceânicos.

Uma possível solução para esse problema reside na redução da produção de plásticos convencionais e na promoção de plásticos biodegradáveis que causem menos impacto ao meio ambiente, visando a implementação de políticas públicas e

investimentos econômicos que incentivem a pesquisa e o desenvolvimento de materiais mais sustentáveis.

Paralelamente, a popularização do conhecimento sobre o descarte correto de plásticos é uma medida crucial. Através de campanhas educativas e programas de conscientização ambiental, é possível capacitar a população para adotar práticas adequadas de descarte, reduzindo a quantidade de plásticos que chegam aos oceanos e, conseqüentemente, a geração de microplásticos. A educação ambiental, aliada a políticas de reciclagem eficientes, emerge como uma estratégia vital para mitigar os impactos negativos dos MPs e preservar a biodiversidade marinha.

1.5 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTOS SUSTENTÁVEL (ODS)

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram criados pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015 e consistem em um conjunto de 17 metas a serem atingidas até 2030. Seu objetivo é promover um apelo global pela erradicação da pobreza, proteção do meio ambiente e garantia de paz e prosperidade para a população mundial.

Essas ODS exercem uma influência bastante significativa no cotidiano e nas atividades de diversas instituições, especialmente em cenários onde questões sociais e ambientais se entrelaçam com as operações comerciais. Ao considerar a adoção das ODS 11, 12, 13 e 14, é possível progredir em direção a um futuro mais sustentável, enfrentando os desafios impostos pelos microplásticos na biodiversidade marinha. A conscientização sobre esses efeitos é fundamental para assegurar a saúde dos ecossistemas aquáticos e promover ações que preservem a vida marinha para as gerações futuras.

1.5.1 ODS Inspiradoras

Para este trabalho, foram escolhidas as ODS 11, 12, 13 e 14, que fundamentam a importância da análise dos impactos dos MPs na biodiversidade marinha, trazendo uma perspectiva integrada sobre a sustentabilidade e a proteção ambiental.

1.5.1.1 ODS 11

Figura 1: ODS 11 - Cidades e comunidades sustentáveis.



Fonte: ONU, 2015.

Esta ODS propõe reduzir o impacto ambiental negativo das cidades, com foco na gestão de resíduos. A poluição marinha por MPs é frequentemente resultado do manejo inadequado de resíduos sólidos urbanos. Portanto, promover a gestão eficaz de resíduos nas áreas urbanas é fundamental para evitar que plásticos entrem nos oceanos, contribuindo assim para a conservação da biodiversidade marinha.

1.5.1.2 ODS 12

Figura 2: ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis.



Fonte: ONU, 2015.

Este tipo de ODS enfatiza a importância de assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis, a produção excessiva e o descarte inadequado de plásticos são responsáveis pela proliferação de MPs nos oceanos. É essencial promover alternativas sustentáveis, como por exemplo materiais biodegradáveis e práticas de reciclagem, a fim de reduzir a geração de MPs e suas consequências prejudiciais aos ecossistemas marinhos.

1.5.1.3 ODS 13

Figura 3: ODS 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima.



Fonte: ONU, 2015.

As mudanças climáticas e a poluição marinha estão interligadas, afetando gravemente os ecossistemas marinhos. Os MPs podem agravar os impactos das mudanças climáticas, como a acidificação dos oceanos, que prejudica a biodiversidade marinha. Medidas urgentes para reduzir a emissão de plásticos e proteger os oceanos são essenciais para mitigar esses efeitos e preservar a vida marinha.

1.5.1.4 ODS 14

Figura 4: ODS 14 – Vida na Água.



Fonte: ONU, 2015.

Este tipo de ODS está diretamente relacionado à proteção dos oceanos e à vida marinha. A presença de MPs nos oceanos representa uma ameaça bastante significativa para a biodiversidade, afetando assim espécies marinhas e também ecossistemas.

A análise dos impactos dos MPs destaca a necessidade de ações concretas para reduzir a poluição marinha e promover a saúde dos oceanos, assegurando assim um ambiente aquático saudável para as gerações futuras.

1.6 METODOLOGIA

Ao longo do estudo, foram utilizadas informações obtidas através de pesquisas bibliográficas, incluindo livros, artigos científicos e matérias jornalísticas como principais instrumentos de análise. Essas fontes serviram para embasar teoricamente o estudo e fornecer um estudo mais amplo.

2. PLÁSTICO E MICROPLÁSTICO: ORIGEM E IMPACTOS AMBIENTAIS

2.1 A história e o histórico da produção do plástico

A história do plástico é uma narrativa rica e cheia de inovação e transformação que se estende desde o século XIX até os dias atuais. Os plásticos, amplamente utilizados em diversas aplicações, não apenas impulsionaram o desenvolvimento industrial, mas também levantaram questões críticas sobre sustentabilidade e impacto ambiental.

2.1.1 A origem dos plásticos

A trajetória do plástico começou em 1862, quando Alexander Parkes apresentou a parkesina na Grande Exposição Internacional de Londres. A parkesina, um material orgânico derivado da celulose, é descrita por Parker (1960) como impermeável, flexível e moldável quando aquecida. Apesar de suas propriedades promissoras, o alto custo de produção impediu que a parkesina se tornasse um sucesso comercial imediato.

Em 1869, John Wesley Hyatt fez uma contribuição crucial ao aperfeiçoar a parkesina, criando o celuloide, que se tornaria o primeiro polímero sintético amplamente reconhecido. Baer (2009) detalha que Hyatt desenvolveu o celuloide em resposta a um prêmio de US\$10.000 oferecido por uma empresa nova-iorquina em busca de um substituto para o marfim, que estava se tornando escasso devido à caça excessiva de elefantes. O celuloide, embora inflamável, foi uma inovação significativa, dando origem a uma nova era de plásticos que se tornaram fundamentais em diversas aplicações, incluindo fotografia, brinquedos e produtos de consumo.

A descoberta do processo de vulcanização da borracha por Charles Goodyear, em 1839, também desempenhou um papel fundamental na evolução dos plásticos, a vulcanização, que envolve a adição de enxofre à borracha, melhora suas propriedades, tornando-a mais durável e resistente ao calor (Fenichell, 1996). Essa técnica não apenas revolucionou a indústria da borracha, mas também estabeleceu um paradigma de desenvolvimento de materiais que seria seguido na criação de plásticos.

No início do século XX Jacques Brandenberger desenvolveu o celofane em 1905, uma película protetora impermeável, destacando-se em aplicações que exigiam proteção e durabilidade, especialmente em embalagens (Mossman, 1990). A busca por materiais que combinasse funcionalidade e versatilidade foi uma constante na evolução do plástico.

Em 1907, Leo Hendrik Baekeland introduziu a baquelite, considerada a primeira resina sintética à base de fenol-formaldeído. Meikle (1995) ressalta que a baquelite foi uma inovação marcante, celebrada por sua versatilidade, resistência ao calor e durabilidade. Seu uso se estendeu a produtos elétricos, utensílios domésticos e componentes automotivos, estabelecendo a baquelite como um ícone da indústria do plástico.

Entre as décadas de 1930 e 1950, a indústria do plástico experimentou um progresso sem precedentes. O desenvolvimento de novos métodos de polimerização resultou no surgimento de uma gama diversificada de polímeros, como neoprene, poliestireno expandido (EPS), policloreto de vinila (PVC), poliuretano, nylon, polietileno tereftalato (PET), teflon, silicone e polipropileno (Freinkel, 2011). Esses materiais se tornaram essenciais em setores variados, desde a construção civil até a indústria de eletroeletrônicos.

Durante a Segunda Guerra Mundial, a demanda por plásticos aumentou consideravelmente, levando a indústria a se adaptar rapidamente para produzir materiais vitais para aplicações militares e de defesa. Os plásticos foram amplamente utilizados em equipamentos, uniformes e suprimentos, demonstrando sua importância na logística e na eficiência das operações militares.

2.1.1.1 A era pós-guerra

No período pós-guerra, a produção de plásticos foi redirecionada para o mercado consumidor, estabelecendo o plástico como um componente essencial da vida cotidiana. A década de 1950 marcou o início da popularização de produtos plásticos, como utensílios domésticos, embalagens e brinquedos. A versatilidade dos plásticos permitiu a criação de itens acessíveis e funcionais, transformando o mercado e a experiência do consumidor (Thompson et al., 2009).

Durante as décadas de 1960 a 1980, a indústria continuou a inovar, introduzindo novas resinas e aditivos que melhoram as propriedades dos plásticos, como resistência, durabilidade e flexibilidade. Neste período também viu o surgimento das primeiras iniciativas de reciclagem, embora ainda em estágios iniciais, começando a abordar a crescente preocupação com o desperdício e a sustentabilidade.

No início do século XXI, a crescente conscientização sobre os impactos ambientais dos plásticos tornou-se uma questão premente. O acúmulo de resíduos plásticos nos oceanos e a poluição ambiental geraram um clamor por práticas sustentáveis na produção e descarte de plásticos. A indústria começou a explorar alternativas, como plásticos biodegradáveis, compostáveis e recicláveis, buscando minimizar os impactos ambientais (PlasticsEurope, 2019).

2.1.2 Tipos de plástico

Como mencionado anteriormente, os plásticos são materiais poliméricos que têm revolucionado diversos setores da indústria, graças à sua versatilidade, durabilidade e eficiência. Abaixo, são discutidos os principais tipos de plásticos, suas características específicas, processos de produção e aplicações comuns.

2.1.2.1 Polietileno Tereftalato (PET)

O Polietileno Tereftalato (PET) foi desenvolvido na Inglaterra em 1941 e é amplamente reconhecido por suas propriedades como leveza, transparência e resistência à umidade. Esse plástico é especialmente utilizado em embalagens de bebidas, alimentos e produtos têxteis, como garrafas e fibras sintéticas. Segundo Andrady e Neal (2009), o PET possui um ciclo de vida favorável, sendo um dos plásticos mais recicláveis, o que contribui para a redução de resíduos no meio ambiente.

2.1.2.2 Polietileno (PE)

O Polietileno (PE), criado em 1933, é um dos plásticos mais versáteis e produzidos globalmente. Inicialmente utilizado para isolar cabeamento de radar, seu uso se expandiu rapidamente para incluir embalagens, sacolas, brinquedos e componentes industriais. Peacock (2000) ressalta que o PE é classificado em várias

densidades, incluindo alta (PEAD) e baixa (PEBD), cada uma com propriedades adequadas a diferentes aplicações. O PEAD, por exemplo, é conhecido por sua resistência a impactos e produtos químicos, enquanto o PEBD se destaca pela flexibilidade.

2.1.2.3 Poliestireno (PS)

Criado na década de 1930, o Poliestireno (PS) é um plástico com grande versatilidade, utilizado em aplicações que variam desde embalagens até produtos descartáveis. Hodge (1995) menciona que o PS pode ser encontrado em formas expandidas, como o isopor, amplamente utilizado em isolamento e embalagens. Sua capacidade de ser moldado em diferentes formas e tamanhos o torna valioso em uma variedade de setores, incluindo a construção civil e a eletrônica.

2.1.2.4 Poliamida (Nylon)

A Poliamida, popularmente conhecida como nylon, foi inventada em 1938 e rapidamente se tornou um material revolucionário na indústria da moda e têxtil. Brown (2011) destaca que o nylon é valorizado por sua resistência, elasticidade e durabilidade, sendo utilizado em roupas, acessórios e até em cordas de alta resistência. Sua capacidade de ser facilmente tingido e moldado também o torna um material atrativo para designers e fabricantes.

2.1.2.5 Polipropileno (PP)

Introduzido em 1954, o Polipropileno (PP) é amplamente utilizado em aplicações que exigem resistência química e térmica. É comumente encontrado em embalagens alimentares, utensílios domésticos e componentes médicos, como seringas e bolsas de sangue. Rosato (2000) aponta que a versatilidade do PP se deve a sua capacidade de ser moldado em diferentes formas e sua resistência ao calor, tornando-o ideal para o uso em micro-ondas e outros ambientes exigentes.

2.1.2.6 Poliéster (PS)

O Poliéster (PES) surgiu no ano de 1950, é um plástico amplamente utilizado na indústria têxtil e em aplicações de engenharia, Wallenberg e Weston (2004) ressaltam que os poliésteres são conhecidos por sua resistência ao desgaste,

estabilidade dimensional e resistência a produtos químicos, o que os torna ideais para tecidos, revestimentos e materiais compósitos.

2.1.2.7 Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (PEUAPM)

O Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (PEUAPM) é conhecido por suas excepcionais características mecânicas, incluindo alta resistência à tração, impacto e abrasão. Jancar (1999) explica que suas propriedades tornam o PEUAPM ideal para aplicações que exigem materiais de alta performance, como em componentes de equipamentos de proteção e em sistemas de transmissão.

2.1.2.8 Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

O Polietileno de Alta Densidade (PEAD) é utilizado em diversas aplicações, como mangueiras, recipientes e embalagens para produtos químicos e cosméticos. Billmeyer (1984) destaca que o PEAD é valorizado por sua resistência a impactos, à umidade e à maioria dos produtos químicos, sendo um material de escolha em indústrias que exigem robustez e segurança.

2.1.2.9 Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)

O Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) é amplamente utilizado em sacos plásticos, embalagens e rótulos de produtos. Comumente escolhido por sua flexibilidade e leveza, Stevens (2002) indica que o PEBD é fácil de processar e se moldar, tornando-o uma escolha popular para aplicações de embalagem que exigem alta eficiência e baixo custo.

2.1.2.10 Policloreto de Vinila (PVC)

O Policloreto de Vinila (PVC) é um plástico versátil utilizado em uma variedade de aplicações, incluindo tubos, garrafas e revestimentos de fios elétricos. Fisher (2003) observa que o PVC é conhecido por sua durabilidade e resistência à umidade, tornando-o essencial em projetos de construção e em aplicações elétricas, onde a segurança e a confiabilidade são cruciais.

2.1.2.11 Poliuretanos (PU) e Poliacetato de Etileno Vinil (EVA)

Os Poliuretanos (PU) e o Poliacetato de Etileno Vinil (EVA) são utilizados em uma variedade de aplicações, desde componentes eletroeletrônicos até utensílios de cozinha. Oertel (1993) destaca que essas resinas oferecem uma combinação de flexibilidade, resistência e durabilidade, permitindo sua utilização em produtos que exigem conforto e segurança, como calçados, estofados e materiais de proteção.

2.1.3 O uso do plástico em nossa sociedade

2.1.3.1 Indústria e construção

Na indústria da construção, o plástico se destaca como um material fundamental. Materiais como o PVC e o PE são amplamente utilizados em tubulações, revestimentos e sistemas de isolamento.

Como afirmado por PlasticsEurope (2019), "os plásticos contribuem significativamente para a eficiência energética de edifícios, devido à sua baixa condutividade térmica e resistência à umidade." A durabilidade desses materiais não apenas prolonga a vida útil das estruturas, mas também reduz os custos de manutenção.

2.1.3.2 Embalagens

O setor de embalagens é, indubitavelmente, o maior consumidor de plásticos, com cerca de 40% da produção global destinada a este segmento (Freinkel, 2011). As embalagens plásticas são essenciais para a proteção e conservação de alimentos, reduzindo o desperdício e prolongando a vida útil dos produtos. A conveniência e leveza dos plásticos facilitam o transporte, tornando-os uma escolha preferida em uma economia globalizada. Contudo, a utilização massiva de embalagens plásticas também é a principal fonte de poluição, levando a um crescente clamor por alternativas sustentáveis.

2.1.3.3 Saúde e medicina

Os plásticos têm uma aplicação vital no setor de saúde, onde são utilizados na fabricação de uma variedade de equipamentos médicos, como seringas, tubos, e dispositivos de diagnóstico. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS,2020), "o uso de plásticos descartáveis em ambientes clínicos ajudou a minimizar o risco de infecções, proporcionando uma barreira eficaz contra patógenos."

A capacidade dos plásticos de serem moldados em formas específicas e a facilidade de esterilização são fatores que contribuem para sua prevalência no setor médico.

2.1.3.4 Transporte

Na indústria de transporte, os plásticos são cruciais para a fabricação de componentes leves e duráveis. A utilização de materiais como fibra de carbono e plásticos de engenharia não apenas reduz o peso dos veículos, mas também melhora a eficiência do combustível. Como observado por Thompson et al. (2009): "A leveza e a resistência dos plásticos têm sido fundamentais para o avanço de tecnologias que visam diminuir as emissões de carbono no setor de transporte."

2.1.3.5 Eletrônicos

No setor eletrônico, os plásticos são essenciais para a fabricação de componentes, carcaças e circuitos impressos. Sua resistência à corrosão, leveza e versatilidade tornam os plásticos a escolha ideal para dispositivos que exigem alta performance. Conforme destacado por Baer (2009): "Os plásticos possibilitam a miniaturização de componentes eletrônicos, o que é essencial na era da tecnologia portátil."

2.1.4 Persistência e degradação de plásticos no ambiente marinho

Observando a Terra a partir do espaço, está se destaca como uma esfera azul, marcada por nuvens brancas dispersas. Esta coloração azul é atribuída à vasta cobertura hídrica do planeta, que abrange aproximadamente três quartos de sua superfície, incluindo rios, lagos, mares, e outras formas de água. No entanto, ao se

aproximar, um observador notará que essa beleza azul é severamente comprometida pela presença de resíduos plásticos, resultando na contaminação dos oceanos, que se assemelham a grandes lixeiras flutuantes.

O plástico representa a fração mais significativa e nociva dos resíduos gerados pelo ser humano que afetam os ecossistemas marinhos, correspondendo a cerca de 85% do total, conforme um relatório elaborado em 2021 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), que envolveu a colaboração de mais de 70 cientistas. Estima-se que aproximadamente 11 milhões de toneladas de plástico são introduzidas nos oceanos anualmente, com previsões de que esse volume triplique até o ano de 2040. Se esse plástico fosse distribuído uniformemente pelas costas do mundo, equivaleria a 50 kg de resíduos plásticos por metro de litoral.

2.1.4.1 Origem do plástico: A dependência de combustíveis fósseis

Quase 98% da produção global de plásticos é derivada de combustíveis fósseis. Este fato é corroborado pelo pesquisador Andrés Arias, do Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Técnica (Conicet), que enfatiza que o uso predominante de plásticos se concentra em itens de uso único ou com vida útil extremamente curta. A disparidade entre a vida útil que atribuímos a esses produtos e a durabilidade real deles no meio ambiente é alarmante; plásticos podem persistir por mais de 200 a 600 anos nas condições ambientais, como evidenciado pelo exemplo das máscaras descartáveis, que são compostas integralmente por plástico e permanecem no ambiente por séculos após seu descarte.

2.1.4.2 Fontes de resíduos plásticos: Uma análise dos vazamentos

O problema do vazamento de plástico no meio ambiente é crítico, sendo classificado como um "vazamento" em um sistema linear que deveria, idealmente, ser inexistente. A transição para um modelo de economia circular, que prioriza práticas de produção, distribuição e consumo sustentáveis, poderia mitigar consideravelmente esse problema. Embora haja implementações da economia circular em setores como moda sustentável, os sinais em relação ao plástico permanecem desanimadores.

De acordo com dados do PNUMA, anualmente são produzidas cerca de 400 milhões de toneladas de plástico, com 36% dessa produção destinada a embalagens. Destaca-se que 85% do plástico produzido globalmente acaba em aterros sanitários ou como resíduos não regulamentados, posteriormente introduzindo-se nos ecossistemas marinhos.

2.1.4.3 Principais contribuintes para a poluição marinha

Atividades como pesca, aquicultura, navegação e turismo marítimo são fontes primordiais de resíduos plásticos nos ecossistemas aquáticos. O Mar do Caribe, por exemplo, exemplifica a pressão do turismo sobre esses ecossistemas, onde não apenas embalagens descartáveis, mas também microfibras resultantes de lavagem de roupas, impactam significativamente o ambiente marinho. Estima-se que anualmente, meio milhão de toneladas de microfibras sejam liberadas nos oceanos, o que equivale a 3 milhões de barris de petróleo.

2.1.4.4 Produtos descartáveis: Um crescimento acelerado

Entre os resíduos plásticos, as garrafas apresentam a maior taxa de crescimento, com um aumento anual de 15%. Os copos descartáveis também estão em ascensão, levando a inovações como a proposta de Jerónimo Batista Bucher, que desenvolveu copos biodegradáveis a partir de algas marinhas, em resposta ao uso excessivo de copos plásticos.

2.1.4.5 Desempenho da reciclagem: Uma realidade alarmante

Os plásticos, caracterizados por serem materiais baratos, leves e versáteis, dominam a economia moderna. No entanto, de acordo com a Fundação Ellen MacArthur, apenas 14% das embalagens plásticas são recicladas após o uso, resultando em uma perda econômica que varia entre 80 a 120 bilhões de dólares anualmente. Um dado ainda mais preocupante sugere que, se a tendência atual persistir, até 2050 haverá mais plástico do que peixe nos oceanos, em termos de peso. Das 400 milhões de toneladas de plástico produzidas anualmente, apenas 9% é coletado para reciclagem, evidenciando a subavaliação dos custos associados à degradação dos ecossistemas marinhos.

2.1.4.6 A direção para lixões marinhos

O aumento do lixo marinho se dá por uma combinação de descuidos, erros e omissões, resultando em volumes crescentes de resíduos ao longo das costas e estuários, além de grandes correntes no meio oceano e regiões remotas. A dispersão dos plásticos afeta todas as formas de vida marinha, conforme destacado pelo relatório do PNUMA, que alerta para a presença de resíduos plásticos em profundidades oceânicas, desde as regiões polares até as trincheiras abissais.

Esses resíduos são submetidos a processos de intempéries, ou seja, são afetados por uma série de processos físicos, químicos e biológicos. A degradação dos plásticos é complexa e preocupante, pois fatores como a radiação ultravioleta, além de variações de temperatura e pressão, provocam alterações na estrutura dos plásticos, fragmentando-os em partículas diminutas, conhecidas como microplásticos (MPs) e nanopartículas (nm), que são praticamente invisíveis ao olho humano.

2.2 Microplásticos

Os microplásticos, conhecidos também por MPs, são definidos como partículas que variam entre 1 e 5.000 μm , ganharam destaque global após a divulgação de estudos que identificaram vastas “manchas de lixo” acumuladas nos giros oceânicos. Esses eventos despertaram preocupações generalizadas sobre os possíveis impactos adversos dos MPs na vida marinha (FIGURA 6).

Figura 6: Um dos maiores problemas dos oceanos, a degradação do plástico.



Fonte: Green Match, 2024.

Embora a questão dos resíduos plásticos no meio ambiente seja, de fato, um problema global que afeta diversos ecossistemas, a atenção da mídia e da comunidade científica tem se concentrado predominantemente nos oceanos. Como

ressaltado por Cole et al. (2011), a abordagem "centrada no oceano" tem sido uma tendência comum nas discussões sobre MPs, devido à magnitude e visibilidade dos impactos marinhos.

Semelhante às mudanças climáticas e à poluição causada por compostos orgânicos persistentes, os resíduos plásticos representam um exemplo claro da capacidade humana de modificar o ambiente em escala global. Villarrubia-Gómez et al. (2018) argumenta que a contaminação marinha por plástico é uma condição irreversível e amplamente difundida, atendendo a dois dos três critérios necessários para que seja considerada uma ameaça ao limite planetário em termos de poluição química. O terceiro critério, que seria a demonstração de uma ruptura ecológica generalizada, está atualmente em fase de investigação.

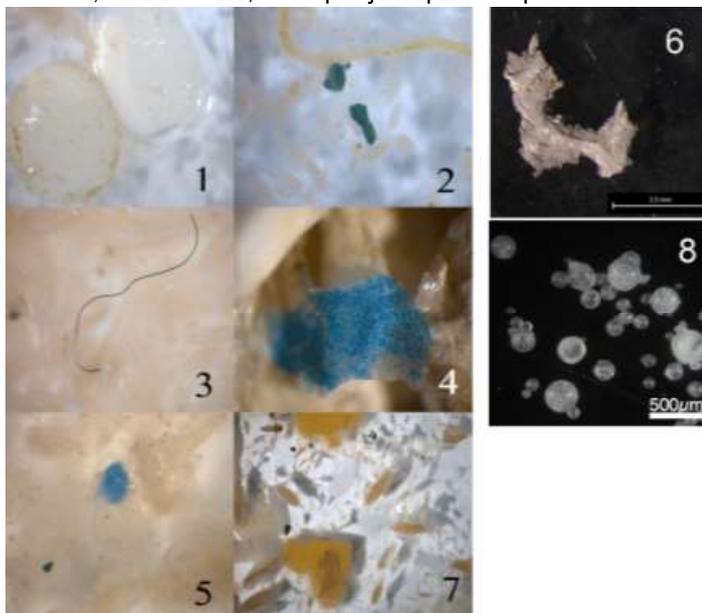
Estudos iniciais sobre essa possível ruptura estão ainda em andamento, e a questão se torna ainda mais urgente à medida que a contaminação por plásticos continua a aumentar exponencialmente. Koelmans et al. (2017) salientaram a necessidade de superar especulações e propuseram uma estrutura científica para avaliar de forma mais rigorosa os riscos toxicológicos associados aos MPs, indo além das preocupações meramente teóricas.

Os MPs podem se apresentar em diferentes formas, como esferas, fragmentos e fibras. A maioria dessas partículas, com exceção das microesferas que são fabricadas de forma intencional, resulta da fragmentação progressiva de plásticos maiores, conhecidos como macroplásticos. Esse processo de degradação leva à formação de fragmentos cada vez menores, que, com o tempo, se tornam nanos plásticos, com dimensões inferiores a 1 μm (Lambert & Wagner, 2016; Hartmann et al., 2019). Dessa forma, os MPs representam uma fase intermediária no contínuo de degradação dos plásticos, entre os macroplásticos e os nanos plásticos.

Estudos indicam que a fragmentação de MPs pode gerar uma quantidade imensurável de nanopartículas. Besseling et al. (2018), por exemplo, estimaram que a degradação de MPs esféricos poderia resultar em mais de 10^{14} nanopartículas. Para entender a dinâmica das fontes, do destino e dos impactos dos MPs no meio ambiente, é necessário considerar todo o espectro de tamanho dos materiais

plásticos, desde os macroplásticos, passando pelos MPs, até os nano plásticos (FIGURA 7).

Figura 7: Exemplos de formas de microplástico (1- Pellets, 2- Fragmentos, 3- Fibra, 4- Film, 5- Corda/Filamentos, 6- Borracha, 7- Esponja/espuma e por último 8- Microesfera.)



Fonte: BASEMAN, 2019 e Tanaka, et al. 2016.

Os MPs podem ser classificados entre primários e secundários, de acordo com sua origem e a forma como são introduzidos no meio ambiente. Essa categorização reflete se os MPs são intencionalmente fabricados nesse tamanho ou se são gerados a partir da degradação de plásticos maiores.

2.2.1 Fontes primárias

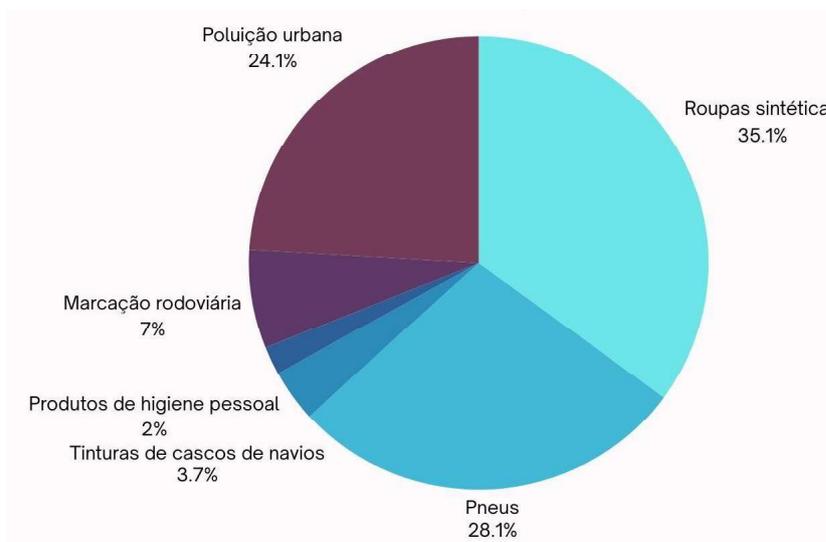
Para a fabricação de materiais plásticos, as indústrias utilizam resinas termoplásticas denominadas “pellets”. É possível categorizar esse componente como microplástico primário devido às diversas cores, formatos e tamanhos microscópicos. São usados na elaboração de produtos cosméticos e de higiene pessoal como, creme dental e sabonete esfoliante. Por ser utilizado em domicílios, esses produtos geralmente são conduzidos para cursos hídricos através de efluentes domésticos (BOUCHER, 2017).

A utilização de pellets na formulação de cosméticos foi proibida no Brasil em 2019 através da aprovação por unanimidade no Projeto de Lei Federal PL 6528/2016 (BRASIL, 2016). Além de proibir a manipulação e fabricação, a lei impede

a importação e comercialização de cosméticos que possuam microplásticos em todo o território nacional. Essas partículas plásticas podem alcançar ambientes marinhos facilmente, mediante perda acidental durante a locomoção ou descarte inapropriado em processos industriais, bem como através de erosão de pneus em contato com asfalto ou produtos têxteis sintéticos quando lavados. Geralmente, podem ser encontrados em complexos industriais ou em proximidades de portos (BOUCHER, 2017). Liberados diretamente no ambiente como pequenas partículas; Representam entre 15% e 31% dos microplásticos nos oceanos.

Suas principais fontes são lavagem de roupas sintéticas (35%), desgaste de pneus (28%), e microesferas em produtos de cuidados pessoais (2%) (Browne et al., 2011). Quase dois terços dessas partículas provêm da lavagem de têxteis sintéticos e da abrasão dos pneus. Fontes como pintura em navios, cosméticos e produtos de higiene pessoal não passam de 6%.

Figura 8: Principais fontes do microplástico, fontes primárias.



Fonte: IUCN, 2017.

2.2.2 Fontes secundárias

Os MPs secundários são partículas resultantes da fragmentação de plásticos maiores, frequentemente conhecidos como macroplásticos. Essa fragmentação ocorre quando os resíduos plásticos maiores, como embalagens, garrafas, redes de

pesca e outros materiais descartados, são expostos a condições ambientais adversas, como luz solar, calor, movimento da água e processos biológicos, esses agentes se degradam progressivamente os materiais plásticos, que se quebram em fragmentos menores até atingirem a escala dos MPs (Thompson et al., 2009).

Figura 9: Classificação do microplástico quanto à forma.

Forma	Textura	Polímeros mais comuns	Origem	Tipo
Fibra	Mole, maleável	PES, PET, PA, PU, PAC	Lavagem da roupa Texteis	Primário
Fragmento	Duro, rígido	PP, PE, PET	Fragmentação de plásticos de maiores dimensões	Secundário
Pellet	Duro, rígido	PE, PP, PS, PET, PVC	Paletes de plástico de pré-produção usadas na fabricação de produtos	Primário
Filme	Mole, maleável	PE, PP, PA, PVC	Fragmentação de sacos de plástico, embalagens, folhas e filmes	Secundário
Filamento	Mole, maleável	PA, PP	Equipamento de pesca (redes, cordas, boias)	Secundário
Microesfera	Duro, rígido	PE, PP, PLA, PS, PET	Produtos de higiene Cosméticos	Primário
Esonja/es-puma	Mole	PS, PU, PE, PP, EVA, PVC	Recipientes para alimentos e copos, material de empacotamento, material isolante, boias de espuma	Secundário
Borracha	Mole, maleável	SBR, Poliisopreno, Polibutadieno	Pneus	Primário

Fonte: Poerio et al. 2019; Helmberger et al. 2019; Wu et al. 2019.

2.3 Processo de dispersão do microplástico

O Brasil produz cerca de 80 milhões de toneladas de resíduos plásticos por ano (EBC, 2023), sendo 113 mil toneladas produzidas apenas na região sudeste do país (ABRELPE, 2021). De acordo com o Panorama dos resíduos sólidos no Brasil da ABRELPE, nove municípios são responsáveis por causar a maior parte dos resíduos plásticos mal descartados no país, sendo sua maioria localizada no litoral. São essas: São Paulo (2,8%), Rio de Janeiro (1,7%), Belém (1,5%), Fortaleza (1,4%), Brasília, Belo Horizonte e Salvador (ambos 1,2%). Dentre essas, cidades

não-litorâneas ainda podem contribuir com a poluição marinha devido ao descarte incorreto, onde o plástico se desloca até o oceano por meio de rios e afluentes. Nesse sentido, os rios em território brasileiro que são diretamente afetados pelo vazamento de lixo são: rio Amazonas, Tocantins, Paraná, Tietê e São Francisco (PACTO GLOBAL, 2022). Dentre eles, o rio Amazonas, Tocantins e São Francisco são os que contém grande potencial de vazamento de lixo para o mar.

Apenas o rio Amazonas abrange 45% do território nacional, presente em sete Estados: Amazonas, Acre, Roraima, Rondônia, Amapá, Mato Grosso e Pará. Sua nascente localiza-se nos andes peruanos e sua foz diretamente no Oceano Atlântico. O rio São Francisco está localizado em uma Região Hidrográfica que abrange cerca de 7,5% do território nacional. Sua nascente está localizada na Serra da Canastra, Minas Gerais, e percorre aproximadamente 2.800km. Este rio representa cerca de 9,8% da demanda hídrica nacional, sendo 77% das demandas para irrigação e 11% para as demandas urbanas (ANA, 2015).

O rio Tocantins tem sua nascente no Planalto de Goiás e é formado pelos rios das Almas e Maranhão e tem uma área de 10,8% do território nacional. Abrange estados como Tocantins, Pará, Goiás, Mato Grosso, Maranhão e Distrito Federal, apresentando extensão de 1.960 km e desemboca na Baía de Marajó (ANA, 2015). Os plásticos em sua maioria chegam nos oceanos por meio de sistemas ineficientes de tratamentos de efluentes urbanos e industriais e de gestão de resíduos ou de descargas inapropriadas ou ilegais em regiões costeiras intensamente urbanizadas (MOURA et al., 2023).

3. INTERAÇÃO DOS MICROPLÁSTICOS COM A BIODIVERSIDADE MARINHA

A interação entre os MPs e a biodiversidade marinha destaca-se como um dos fatores mais preocupantes no contexto da poluição ambiental, essas partículas de plástico permeiam todo o ecossistema aquático e são frequentemente ingeridas por diversas espécies marinhas, desde organismos microscópicos até grandes mamíferos, confundidas com partículas de alimentos (Lusher et al., 2017; Law & Thompson, 2014). Essa ingestão acidental é especialmente prejudicial devido à semelhança visual e sensorial entre os MPs e os alimentos naturais, expondo a biota marinha a riscos físicos e químicos, com efeitos que variam de problemas digestivos a desequilíbrios hormonais.

3.1 Ingestão de Microplásticos pela População Marinha

A presença de MPs nos ecossistemas aquáticos representa uma ameaça persistente e onipresente à saúde e à sustentabilidade da biota marinha. Diversos estudos mostram que peixes, aves, crustáceos, moluscos, copépodos e grandes vertebrados, como cetáceos e quelônios, ingerem essas partículas plásticas, seja direta ou indiretamente, ao longo da cadeia trófica (Lusher et al., 2017; Law & Thompson, 2014). Essa ingestão de MPs, que inclui microplásticos oriundos de sedimentos e da coluna d'água, leva a danos físicos, como lesões no trato gastrointestinal, que induzem uma falsa sensação de saciedade. Esse efeito reduz a taxa de alimentação dos organismos, comprometendo seu crescimento e capacidade de sobrevivência, e pode levar à morte por inanição (Cole et al., 2011).

Além dos danos físicos, há indícios de que a ingestão de MPs desencadeia uma resposta de estresse oxidativo, o que pode resultar em disfunções metabólicas e hormonais, afetando especialmente a reprodução dos organismos expostos (Gallo et al., 2018; Wright et al., 2013). No caso das tartarugas marinhas, por exemplo, a ingestão de MPs pode obstruir o trato digestivo, dificultando a absorção de nutrientes e, em casos graves, levando à morte prematura. Essa ameaça afeta populações já em risco de extinção, exacerbando os desafios de conservação dessas espécies.

3.1.1 Efeitos em Organismos Marinhos

A toxicidade dos MPs decorre tanto dos polímeros plásticos quanto dos aditivos químicos adicionados durante sua fabricação, como estabilizantes, plastificantes e retardantes de chama, além da capacidade dos MPs de adsorver poluentes do ambiente, como metais pesados e compostos orgânicos persistentes (Teuten et al., 2009; Rochman et al., 2013), quando ingeridos, esses compostos podem provocar uma série de efeitos adversos, incluindo processos inflamatórios e danos físicos ao sistema digestivo e reprodutivo. Em espécies como aves e peixes de pequeno porte, a ingestão crônica de MPs é associada à subnutrição e mortalidade precoce, uma vez que os MPs ocupam espaço no trato digestivo, reduzindo a capacidade de armazenamento de alimento e levando à morte por inanição (Provencher et al., 2019; Derraik, 2002).

A bioacumulação de MPs ao longo da cadeia trófica representa um risco ainda maior, com substâncias tóxicas sendo transferidas para níveis superiores, incluindo para o consumo humano. Em estudos realizados em áreas costeiras, foi observada uma elevada presença de MPs em organismos marinhos consumidos pela população humana, como peixes e crustáceos. Essa transferência de MPs para a dieta humana levanta preocupações de saúde pública, já que compostos como o bisfenol A (BPA), presentes nos MPs, têm propriedades disruptoras endócrinas, associadas a doenças metabólicas e reprodutivas (Setälä et al., 2014; Choy & Drazen, 2013).

Na imagem logo abaixo é possível observar-se filhotes de tartarugas-de-couro (*Dermochelys coriacea*) que são vistos enfrentando em um ambiente repleto de obstáculos enquanto realizam seu primeiro percurso até o oceano na praia de Matura, em Trinidad (FIGURA 10).

Figura 10: Filhotes de tartarugas-de-couro encontram garrafas plásticas e outros detritos enquanto rastejam pela praia de Matura, em Trinidad, para chegar ao oceano.



Fonte: Thomas P. Peschak, from NATIONAL GEOGRAPHIC, 2022.

3.1.2 Ingestão de Peixes Contaminados

A contaminação de organismos marinhos por MPs têm implicações para a segurança alimentar humana, especialmente considerando que diversas espécies de peixes consumidas regularmente pela população humana apresentam vestígios de MPs. Estudos como o realizado pelo Instituto Federal do Paraná (IFPR) destacam que cerca de 70% das tainhas (*Mugil spp.*) analisadas no litoral sul de São Paulo continham resíduos plásticos em seus tratos digestivos. Esses dados, publicados na **Biodiversidade Brasileira**, evidenciam que os MPs já estão presentes nas redes alimentares que conectam os ecossistemas aquáticos aos consumidores humanos (IFPR, 2024). A ingestão direta e indireta de MPs por humanos representa um risco à saúde pública, visto que compostos como bisfenol A (BPA) e outros aditivos plásticos presentes nos MPs possuem propriedades disruptoras endócrinas, capazes de provocar danos hormonais e até aumentar o risco de doenças metabólicas e reprodutivas (Smith et al., 2018).

3.2 Impactos Ambientais e Econômicos do Microplástico

A contaminação marinha por MPs também resulta em danos econômicos e sociais consideráveis. O descarte inadequado e a degradação de plásticos ao longo do tempo contribuem para uma disseminação extensa de MPs em diversos

ambientes, incluindo os ecossistemas terrestres, aéreos e marinhos (Barnes et al., 2009). Falando no contexto marinho, os efeitos danosos da ingestão de MPs se refletem na perda de biodiversidade, com impactos substanciais sobre as populações de espécies economicamente relevantes, como peixes e crustáceos, que sustentam a pesca comercial e artesanal.

A redução na quantidade e qualidade das capturas, devido à presença de MPs, impacta diretamente a segurança alimentar e compromete as economias locais, especialmente em comunidades costeiras que dependem da pesca para subsistência (Watkins et al., 2017; Barboza et al., 2018). Além disso, a presença de MPs na cadeia trófica representa uma ameaça crescente à saúde dos ecossistemas e à biodiversidade, intensificando a necessidade de medidas de mitigação e regulamentações mais rígidas sobre o uso, descarte e reciclagem de plásticos para reduzir a contaminação ambiental e proteger a saúde pública (Law et al., 2020; Jambeck et al., 2015).

4. IMPACTOS NOS PRINCIPAIS GRUPOS DE ORGANISMOS

4.1 Impactos na Fauna Bentônica e Corais

Atualmente, vivemos em uma era dominada pelo uso do plástico, material presente em diversas facetas do cotidiano humano, desde os transportes e comunicações até vestuário, calçados, embalagens alimentícias e outros. Embora sua utilidade seja inegável, o uso generalizado do plástico acarreta significativos problemas ambientais, sobretudo em virtude de sua alta resistência à degradação. Conforme reconhecido internacionalmente, o plástico representa uma grave ameaça ao meio ambiente (Gregory, 2009). Estima-se que o lixo marinho seja composto de 60 a 80% por plásticos (Derraik, 2002; Rios et al., 2007; Barnes et al., 2009). A concentração de detritos plásticos varia significativamente de acordo com a região e o tempo, com registros de densidades superiores a 100.000 objetos plásticos por metro quadrado em substratos costeiros (Barnes et al., 2009) e também cerca de 3.520.000 objetos por quilômetro quadrado na superfície oceânica (Yamashita & Tanimura, 2007).

Diversos estudos têm evidenciado que o emaranhamento e a ingestão de detritos plásticos constituem uma significativa causa de mortalidade entre organismos marinhos, abrangendo invertebrados, peixes, tartarugas, aves e mamíferos (Derraik, 2002; Gregory, 2009; Boerger et al., 2010; Choy & Drazen, 2013; Carson, 2013; de Carvalho et al., 2015). Além da mortalidade direta, os plásticos também apresentam o potencial de transferir substâncias tóxicas ao longo das cadeias tróficas (Teuten et al., 2009).

Os MPs, devido ao seu reduzido tamanho, podem ser ingeridos por organismos em diversos níveis tróficos, sendo essa exposição particularmente acentuada em áreas urbanizadas e industrializadas (Ivar do Sul & Costa, 2014).

4.2 Impactos em Organismos Filtradores

Organismos filtradores, como moluscos e crustáceos, atuam na depuração do ecossistemas aquáticos por meio da ingestão de partículas em suspensão, o que os tornam vulneráveis a contaminações. Metais pesados (como Chumbo e Mercúrio), MPs e produtos químicos presentes na água podem ser bioacumulares nesses

organismos, levando a uma série de desregulações fisiológicas e bioquímicas. Esses contaminantes comprometem funções celulares essenciais, provocando estresse oxidativo que causa danos ao DNA e às proteínas, impactando diretamente os sistemas imunológicos e endócrinos.

A bioacumulação de fontes interfere no crescimento e no desenvolvimento reprodutivo dos filtradores, diminuindo a eficiência na alimentação e, conseqüentemente, nas taxas de crescimento e sobrevivência. Os MPs ingeridos, além de ocuparem o trato digestivo, liberam aditivos tóxicos, como ftalatos e bifenilos policlorados (PCBs), que promovem toxicidade adicional. Esses efeitos podem prejudicar a estrutura das populações de moluscos e crustáceos, afetando as cadeias alimentares e a biodiversidade dos ecossistemas marinhos. No longo prazo, tais impactos tornam-se um risco para a manutenção da qualidade da água e para espécies que dependem desses organismos para a regulação ecológica.

A persistência dessas substâncias poluentes nos organismos filtradores ainda representa um risco potencial à saúde humana, uma vez que essas espécies frequentemente compõem dietas alimentares.

4.2.1 Moluscos e Crustáceos

4.2.1.1 Moluscos

Poluição por metais pesados e produtos químicos pode afetar diretamente a reprodução e o crescimento de moluscos, diminuindo a biodiversidade nas áreas afetadas. A contaminação por Cádmio, Mercúrio e Chumbo podem interferir na reprodução e no desenvolvimento das espécies de moluscos, taxas como de fecundidade e proteção das ovas é o que impacta diretamente na estrutura populacional da espécie. Além disso, as alterações emocionais afetam a expressão gênica, desregulando hormônios essenciais para processos como a gametogênese, o que pode causar disfunções no ciclo reprodutivo.

O acúmulo desses metais em tecidos, como brânquias e sistema digestivo, também desencadeando estresse oxidativo e danos ao DNA, afetando a longevidade e a resistência a doenças.

4.2.1.2 Crustáceos

Os crustáceos, especialmente em suas fases juvenis, são igualmente vulneráveis a compostos químicos e orgânicos que se acumulam nos tecidos, alterando processos fundamentais como a sua troca de carapaça e o desenvolvimento estrutural. Pesquisas indicam que hidrocarbonetos e organoclorados impactam diretamente a sinalização hormonal, essencial para o crescimento, resultando em deformidades e redução da taxa de crescimento.

Essas emissões comprometem também o comportamento alimentar e reprodutivo dos crustáceos, interferindo na busca por alimentos e promovendo a eficiência da digestão, fatores que resultam em menores taxas de sobrevivência e em colapsos populacionais em áreas altamente contaminadas. A longo prazo, essa exposição às substâncias contribui para a desestabilização das cadeias alimentares e afeta a produtividade de espécies de interesse econômico, comprometendo os ecossistemas marinhos e a segurança alimentar humana. A bioacumulação desses contaminantes químicos nos crustáceos representa um risco adicional para a saúde humana, visto que essas espécies são amplamente consumidas e podem transferir compostos tóxicos pela cadeia alimentar, impactando diretamente a saúde dos consumidores finais.

4.3 Impactos em Peixes e Mamíferos Marinhos

A ingestão de MPs pelos organismos aquáticos pode causar impactos negativos resultantes dos efeitos físicos e químicos dessas micropartículas, sendo que os efeitos químicos são influenciados pela presença de aditivos e produtos químicos orgânicos adsorvidos (Barboza et al., 2019).

Os peixes representam um importante indicador da presença de contaminação em seu forrageamento individual. Dessa forma, o entendimento de seu nicho trófico pode trazer uma melhor compreensão do processo de contaminação ambiental (Ferreira; Barletta; Lima, 2019). Características como tamanho, cor e flutuabilidade permitem uma fácil ingestão de MPs, e neste sentido, os peixes podem ingerir estas partículas de forma direta, quando confundida com

suas presas naturais ou de forma indireta, quando estas já estavam presentes ou associados ao organismo das presas (Jovanović, 2017).

Wu e colaboradores (2024) investigaram os efeitos tóxicos de MPs de poliestireno de diferentes tamanhos (80 nm, 800 nm, 8 µm e 80 µm) em exemplares de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) que é uma espécie mundialmente comercializada, e identificaram que MPs de poliestireno com tamanhos menores são mais propensos a se acumular no corpo do peixe através da exposição à água. A exposição à água de MPs de 80 nm pode causar graves danos às vilosidades intestinais, desequilíbrio da homeostase da flora intestinal, esteatose hepática e distúrbio do metabolismo lipídico (Wu et al., 2024).

Em relação às consequências causadas pela presença dos MPs para os peixes marinhos, as mais citadas foram a disrupção endócrina, peso anormal ou pior condição corporal dos indivíduos e estresse antropogênico. Adicionalmente, também foi citado o mal funcionamento de órgãos em consequência da obstrução intestinal e condições fisiológicas alteradas.

Figura 11: Principais problemas causados pelos MPs.

Consequências citadas	Autores/Ano de publicação
Obstrução intestinal em peixes menores	CARPENTER, Edward J. et al., 1972
Estresse antropogênico	AZAD, S. M. O et al., 2018
Varição nas condições fisiológicas, estresses ambientais e variações nutricionais e biológicas. Pior condição corporal dos indivíduos analisados	DANTAS, David V. et al., 2019
Potenciais efeitos sinérgicos	ARIAS, Andrés H et al., 2019
Dano oxidativo em brânquias e músculos, neurotoxicidade por dano de peroxidação lipídica e aumento da atividade da acetilcolinesterase (AChE)	BARBOZA, Luís Gabriel A. et al., 2020
Estresse oxidativo	ZITOUNI, Nesrine et al., 2020
Disrupção endócrina	CHENET, Tatiana et al., 2021
Reserva de energia deprimida, crescimento reduzido e funções endócrinas alteradas	GURJAR, Udai Ram et al., 2021
Bloqueio do trato digestivo, mal funcionamento de órgãos, deficiência na assimilação de alimentos, inanição, carcinogênese e disrupção endócrina	MESQUITA, Grazielly Campos et al., 2021
Peso anormal (espécies acima ou abaixo do peso ideal) e ameaça potencial em relação a adsorção de contaminantes associados (metais)	NEMATTOLLAHI, Mohammad Javad et al., 2021

Fonte: VICTOR, 2023.

As micropartículas de plástico podem ser potencialmente tóxicas para os peixes marinhos, o que significa que sua presença no organismo resulta em mudanças genômicas e alterações fisiológicas e bioquímicas, levando o animal a um quadro patológico (Alimba; Faggio, 2019).

Sobre as consequências em decorrência da ingestão de MPs pelos peixes marinhos mencionados, está a disrupção endócrina. Como todo plástico lixívia substâncias químicas disruptivas, esses compostos têm a capacidade de alterar, em vários níveis de organização, a reprodução dos peixes (Yang et al., 2011). A disrupção endócrina é observada em um precursor protéico mediado por estrogênio no sexo masculino (Tolussi et al., 2018).

Uma outra consequência citada é a desregulação do peso corporal dos peixes marinhos em decorrência da ingestão de MPs, podendo esses organismos apresentarem valores abaixo ou acima do ideal. Nematollahi e colaboradores (2021) demonstraram em seu estudo que, quando comparada a ingestão de MPs em três espécies diferentes de peixes marinhos, a condição corporal se mostrou abaixo do peso normal, representando uma ameaça à saúde dos animais, principalmente quando há contaminantes adsorvidos, como metais, uma vez que muitos desses elementos apresentam toxicidade e também são bioacumulados ao longo da cadeia alimentar. Adicionalmente, é observado que o Fator de Condição (FC) de um peixe pode ser avaliado pelas alterações fisiológicas, estresses ambientais e alterações nutricionais e biológicas (Jin et al., 2015). Nesta perspectiva, a presença de MPs pode fazer com que o animal se sinta saciado e pare de se alimentar, reduzindo, drasticamente o seu peso corporal.

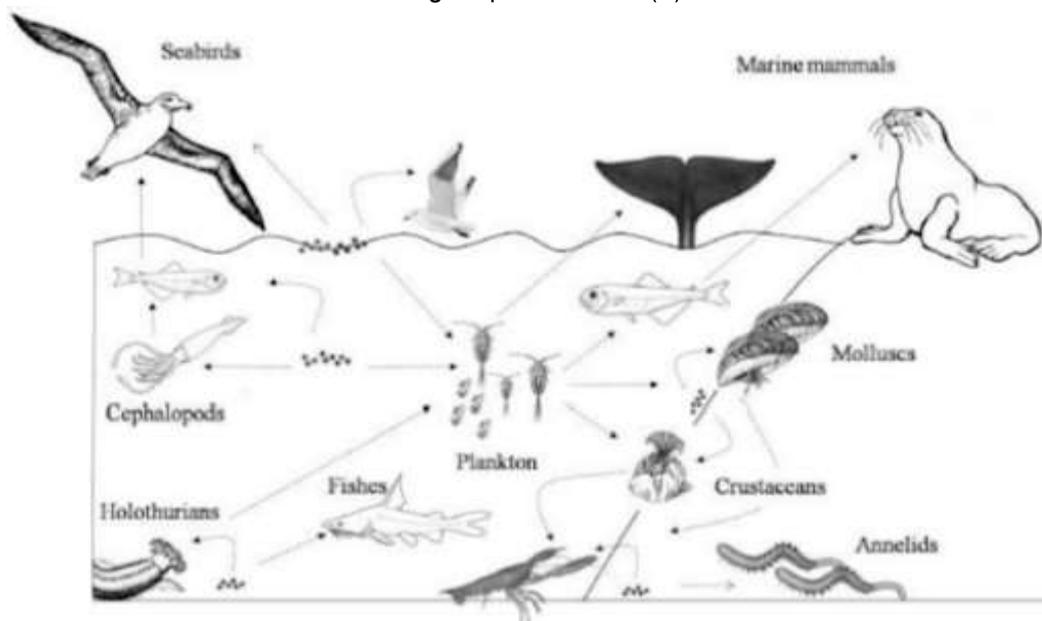
No estudo realizado por Barboza e colaboradores (2020) foi demonstrado que peixes contendo MPs em seu organismo tiveram níveis mais elevados de peroxidação lipídica no cérebro, brânquias e músculo dorsal, e maior atividade da acetilcolinesterase cerebral quando comparado com peixes que não apresentavam MPs. O estresse oxidativo foi outra consequência citada. Os MPs podem se acumular nas mitocôndrias e interromper a cadeia de transporte de elétrons mitocondrial, causar danos à membrana mitocondrial e perturbar o potencial da membrana mitocondrial ou ainda podem causar a despolarização das mitocôndrias (Amlan Das, 2023).

Esses problemas podem resultar na geração de diferentes tipos de radicais livres reativos, que por sua vez, podem induzir dano ao DNA, oxidação de proteínas, peroxidação lipídica e comprometimento da defesa antioxidante (Amlan Das, 2023).

4.4 Impactos em aves marinhas

A ingestão de MPs torna os indivíduos suscetíveis a perturbações físicas e à absorção de contaminantes que, de outra forma, não estariam acessíveis. Substâncias como ftalatos e BPA presentes nos MPs podem ser absorvidas pela corrente sanguínea dos animais, alcançando outros órgãos e provocando alterações fisiológicas, incluindo distúrbios 30 hormonais (Hu et al., 2009; Rochman et al., 2014) e imunológicos (Browne et al., 2008). Esses efeitos adversos podem ainda comprometer a reprodução e retardar o desenvolvimento dos indivíduos (Hu et al., 2009; Oehlmann et al., 2009). Diversos consumidores secundários, como aves e mamíferos, podem ingerir MPs diretamente, mas também indiretamente, por meio da ingestão de suas presas contaminadas (Ivar do Sul & Costa, 2014). Essas presas, por sua vez, podem consumir MPs tanto de maneira direta quanto indireta (Watts et al., 2014; 2015), demonstrando a transferência dessas partículas ao longo das cadeias tróficas (FIGURA 8). Os MPs podem, assim, impactar diversos níveis tróficos, desde os consumidores primários até os predadores de topo.

Figura 12: Propagação de MPs ao longo da cadeia trófica marinha. As partículas são representadas na figura pelo símbolo (●).



Fonte: Ivar do Sul & Costa, 2014.

Os estuários são reconhecidos como um dos ecossistemas mais produtivos do mundo (Bakir et al., 2014a), sustentando uma vasta gama de espécies de aves, mamíferos, peixes e invertebrados, muitas das quais são exploradas para consumo

humano, conferindo-lhes grande importância econômica e social. Contudo, a elevada produtividade que atrai tal biodiversidade também favorece a ocupação humana, atribuindo aos estuários uma relevância econômica significativa (Mitsch & Gosselink, 2000; Lee et al., 2006; Bakir et al., 2014a).

As aves limícolas usam os estuários durante a invernada e migração, sendo importantes predadores nas zonas intermareais (Moreira 1997). Essas aves atuam como bioindicadores da "saúde" dos estuários, conforme observado por Amat e Green (2010) e Zhang e Ma (2011). A distribuição das limícolas nas regiões estuarinas é determinada pela abundância e disponibilidade de invertebrados intertidais, que são sua principal fonte de alimento, bem como por fatores ambientais, como salinidade e tipo de substrato (Myers et al., 1980; Quammen, 1982; Goss-Custard & Yates, 1992; Yates et al., 1993; Austin & Rehfish, 2003). Dessa forma, mudanças nas condições ambientais dos estuários tendem a ser refletidas nas populações dessas aves e em seus padrões comportamentais (Piersma & Lindström, 2004).

Os MPs foram recentemente considerados como uma das ameaças a ter em conta para a conservação das zonas intermareais num futuro próximo (Sutherland et al. 2012), por isso torna-se essencial aprofundar o conhecimento sobre os padrões de ocorrência de MPs nessas áreas e o grau de sua incorporação nas cadeias tróficas.

5. CONSEQUÊNCIAS ECOLÓGICAS DOS MICROPLÁSTICOS

5.1 Alterações nos Ciclos Biogeoquímicos

Os MPs modificam a composição química e física das águas marinhas e podem atuar como vetores de substâncias químicas tóxicas, como pesticidas e metais pesados. A absorção dessas substâncias é significativa, pois, ao serem ingeridas por organismos, elas entram na cadeia alimentar, promovendo bioacumulação e biomagnificação de emissões nocivas em níveis tróficos superiores (PINTO et al., 2022; MOLINA et al., 2022). Além disso, a presença de MPs prejudica a circulação de nutrientes essenciais para a saúde do ecossistema, o que interfere nos ciclos biogeoquímicos marinhos (UNIVASF, 2024).

5.1.1 Efeitos na Predação

Organismos filtradores, como pequenos invertebrados, frequentemente confundem MPs com alimentos, o que leva à ingestão desses materiais e bloqueios intestinais, desnutrição e até morte. Esse impacto direto compromete a predação, pois os predadores de topo que consomem esses organismos acumulam MPs e contaminantes, ampliando os efeitos negativos na cadeia alimentar e na saúde marinha (AGUASUSTENTAVEL, 2024; MOLINA et al., 2022).

5.1.2 Efeitos na Reprodução

A presença de MPs em ambientes aquáticos tem revelado impactos significativos na reprodução de várias espécies. Dentre os efeitos adversos, destaca-se a influência dos aditivos químicos liberados por esses materiais, como o bisfenol A (BPA), reconhecido disruptor endócrino que interfere diretamente nos sistemas hormonais dos organismos aquáticos. Estudos apontam que a exposição ao BPA e a outros aditivos químicos presentes nos MPs pode resultar em disfunções hormonais, impactando processos reprodutivos, tais como a gametogênese e o desenvolvimento embrionário (PINTO et al., 2022; THOMPSON et al., 2009).

Além das alterações hormonais, os MPs também afetam os habitats utilizados para a reprodução, tornando-os inadequados ou até mesmo tóxicos para diversas espécies, o que compromete diretamente a taxa de fertilidade e a viabilidade das futuras gerações (UNIVASF, 2024). Essas partículas podem aderir a sedimentos e

formar barreiras físicas que interferem nos comportamentos de procriação e nos processos naturais de desova, alterando a qualidade do ambiente e dificultando o crescimento populacional das espécies marinhas (COLE et al., 2011).

Com o comprometimento dos habitats reprodutivos e as disfunções hormonais causadas pela presença de MPs e seus aditivos químicos, observa-se uma ameaça à sustentabilidade das populações marinhas. A continuidade e o equilíbrio desses ecossistemas estão em risco, especialmente considerando-se a persistência dos MPs no ambiente e sua capacidade de bioacumulação ao longo das cadeias tróficas (WRIGHT; KELLY, 2017).

5.2 Perda de Biodiversidade e Efeitos nos Ecossistemas

Diversos estudos têm evidenciado que o emaranhamento e a ingestão de detritos plásticos constituem uma significativa causa de mortalidade entre organismos marinhos, abrangendo invertebrados, peixes, tartarugas, aves e mamíferos (Derraik, 2002; Gregory, 2009; Boerger et al., 2010; Choy & Drazen, 2013; Carson, 2013; de Carvalho et al., 2015). Além da mortalidade direta, os plásticos também apresentam o potencial de transferir substâncias tóxicas ao longo das cadeias tróficas (Teuten et al., 2009).

A contaminação por MPs representa um risco para espécies sensíveis, causando prejuízo à diversidade genética e afetando a resiliência dos ecossistemas. Com a perda de biodiversidade, as funções ecológicas estão comprometidas, impactando a sustentabilidade dos ecossistemas e sua capacidade de adaptação às mudanças ambientais (AGUASUSTENTAVEL, 2024; MOLINA et al., 2022).

5.3 Desequilíbrios nas Interações Ecológicas

A introdução de MPs no ambiente marinho altera as relações ecológicas entre predadores e presas, criando um desbalanceamento nas comunidades. As espécies que ingerem MPs podem ter vantagens temporárias sobre aquelas que não o fazem, resultando em uma homogeneização dos ecossistemas e em potenciais extinções locais de espécies nativas (PINTO et al., 2022; UNIVASF, 2024).

6. ASPECTOS LEGISLATIVOS E POLÍTICAS PÚBLICAS

6.1 Legislações Ambientais

O Poder Público instituiu políticas visando reduzir o elevado índice de resíduos sólidos no Brasil, entre as quais se destacam a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a Lei de Saneamento Básico. A PNRS, estabelecida pela Lei n.º 12.305/2010, é uma das legislações mais relevantes no que tange à gestão de resíduos sólidos, abrangendo os plásticos. Esta legislação introduz a responsabilidade compartilhada entre o Poder Público, empresas e consumidores pelo ciclo de vida dos produtos, desde a produção até a destinação final. Assim, promove a implementação da logística reversa para as empresas, obrigando-as a recolher os produtos que fabricam, de forma que estas sejam responsáveis tanto pela produção quanto pelo descarte adequado de seus produtos, incentivando a reciclagem e a destinação ambientalmente correta dos resíduos gerados.

BRASIL. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências (Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 3 ago. 2010.)

Art. 6º São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos: I - prevenção e precaução; II - poluidor-pagador e protetor-recebido; III - visão sistêmica na gestão dos resíduos sólidos, considerando variáveis ambientais, sociais, culturais, econômicas, tecnológicas e de saúde pública; IV - desenvolvimento sustentável; V - ecoeficiência, com compatibilização entre o fornecimento de bens e serviços a preços competitivos que atendam às necessidades humanas e promovam qualidade de vida, reduzindo o impacto ambiental e o consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação do planeta; VI - cooperação entre as diferentes esferas do poder público, setor empresarial e demais segmentos da sociedade; VII - responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; VIII - reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania; IX - respeito às diversidades locais e regionais; X - direito da sociedade à informação e ao controle social; XI - razoabilidade e proporcionalidade.

Art. 33. Fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes dos seguintes produtos são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, com retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, independentemente do serviço público de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos: I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, conforme normas do Sisnama, SNVS e Suasa, ou em normas técnicas; II - pilhas e baterias; III - pneus; IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

§ 1º Os sistemas previstos serão estendidos, conforme regulamento ou acordos setoriais e termos de compromisso entre poder público e setor empresarial, a produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, considerando prioritariamente o impacto ambiental e à saúde pública dos resíduos gerados.

A Lei de Saneamento Básico, Lei n.º 11.445/2007, regulamenta o setor de saneamento básico, abrangendo a coleta e a gestão de resíduos sólidos, incluindo os plásticos. A legislação define diretrizes para que os municípios elaborem planos de gestão integrada de resíduos sólidos e incentiva o manejo adequado dos resíduos plásticos e o aumento de investimentos na ampliação das práticas de reciclagem.

Art. 18: A gestão dos resíduos sólidos deve ser realizada de forma integrada, observando-se as diretrizes e princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos, com o objetivo de reduzir a geração, reutilizar e reciclar materiais, e realizar a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2007).

6.1.2. Normas Ambientais Regionais

As prefeituras de alguns municípios também promulgam leis com o objetivo de reduzir os resíduos sólidos, onde os principais são estes:

A Lei Municipal n° 55.827/2015 da cidade de São Paulo proíbe a distribuição de sacolas plásticas gratuitamente em estabelecimentos comerciais e estimula o uso de sacolas reutilizáveis.

Art. 1º Fica proibida a distribuição gratuita ou a venda de sacolas plásticas aos consumidores para o acondicionamento e transporte de mercadorias adquiridas em estabelecimentos comerciais no Município de São Paulo, nos termos do artigo 1º da Lei nº 15.374, de 18 de maio de 2011.

Art. 2º Os estabelecimentos comerciais devem estimular o uso de sacolas reutilizáveis, assim consideradas aquelas que sejam confeccionadas com material resistente e que suportem o acondicionamento e transporte de produtos e mercadorias em geral.” (SÃO PAULO, 2015).

A Lei Estadual nº 8.006/2018 do Estado do Rio de Janeiro proíbe sacolas plásticas em estabelecimentos comerciais.

Art. 2º As sociedades comerciais e os empresários, de que trata o Art. 966 do Código Civil, titulares de estabelecimentos comerciais localizados no Estado do Rio de Janeiro, ficam proibidos de distribuírem (gratuitamente ou cobrando) sacos ou sacolas plásticas descartáveis, compostos por polietilenos, polipropilenos e/ou similares, devendo substituí-los em 18 (dezoito) meses, contados a partir da data de publicação da presente Lei, por sacolas reutilizáveis/retornáveis.” (RIO DE JANEIRO, 2018).

6.2 Ações para redução do uso do plástico

Além das leis para incentivar a redução do uso de plástico, existem também diversas ações realizadas pelo Poder Público para minimizar a utilização de plástico, e conseqüentemente o alto índice de resíduos plásticos.

Os incentivos à reciclagem são sempre a principal das ações feitas pelo Poder Público de cada região, como o que está prescrito na CONAMA sobre separar os resíduos e as cores referentes a cada tipo de resíduo (onde o plástico é selecionado pela cor vermelha). Separar os resíduos sólidos tanto em casa quanto em qualquer outro lugar (espaço público, escola, empresas e entre outros) é de extrema importância, pois facilita a gestão do resíduo e seu devido destino final.

Art.1º Estabelecer o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. (CONAMA nº 275, 2001).

A criação de ecopontos em vários locais nos municípios também é uma ação de alta contribuição para que o destino final seja de acordo com o resíduo em específico, os ecopontos contribuem para o conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, um dos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essa abordagem garante que fabricantes, distribuidores, consumidores e governos atuem em conjunto na gestão do descarte. Com a triagem inicial feita nos ecopontos, muitos resíduos que antes terminariam em aterros sanitários podem ser redirecionados para reciclagem ou para a logística reversa, minimizando impactos ambientais e incentivando o desenvolvimento de uma economia circular.

7. FUTURAS SOLUÇÕES

L7.1 Tecnologias de Remoção no Ambiente Marinho

O projeto The Ocean Cleanup, uma organização ambiental de engenharia atingiu seu objetivo, também estão bloqueando essa poluição diretamente nos rios, uma das maiores fontes de microplástico, visando evitar que chegue ao oceano e polua novamente. (THE OCEAN CLEANUP, 2024).

Com a atual tecnologia de limpeza oceânica realizada por eles, o System 03 (Sistema 03) tem com dissuasores, câmeras, auxílios de fuga e outros recursos para minimizar os riscos à vida marinha. A tecnologia também conta com observadores independentes treinados a bordo dos navios em cada viagem para monitorar quaisquer interações com espécies protegidas na área. Os dados de monitoramento do projeto comprovam que suas operações têm tido apenas efeitos mínimos no meio ambiente. (THE OCEAN CLEANUP, 2024).

7.2 Bioplástico: Alternativa Eficiente para Evitar o Microplástico?

Atualmente o plástico vem sendo cada vez mais frequentemente derivado do petróleo, uma fonte não renovável, o que agrava o problema ambiental de acúmulo de resíduos sólidos (PEREIRA, 2017). Por esse motivo, atualmente vem sendo desenvolvido o bioplástico, que provém de fontes renováveis e recicláveis.

Um dos exemplos de bioplástico é o plástico verde que utiliza o etanol da cana-de-açúcar como matéria-prima, e não contribui com o aquecimento global pelas emissões de gás carbônico na atmosfera. A constituição do plástico verde é igual a do plástico comum em quesito de propriedades, desempenho e versatilidade de aplicações, tendo sua única divergência na matéria-prima. (PEREIRA, 2017).

Entre todas as vantagens da troca do petróleo para a cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de plástico, é importante ressaltar que ele também não contribui com o acréscimo de gás carbônico (CO₂) na atmosfera, ou seja, mesmo quando incinerado, o polietileno do etanol da cana-de-açúcar permanece neutro em comparação com o CO₂. Desse modo, mesmo a incineração dos plásticos verdes descartados não faria mal algum ao meio-ambiente, tendo em vista que as

plantações até mesmo da própria cana-de-açúcar realizam fotossíntese, absorvendo o CO₂ da atmosfera. (PEREIRA, 2017).

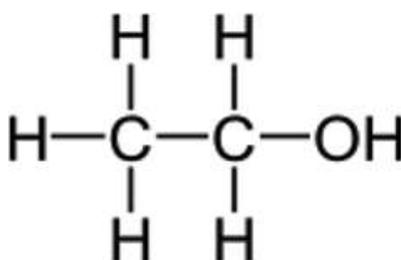
É importante destacar que o polietileno verde não é biodegradável, pois o termo “biodegradável” refere-se à uma matéria degradável na natureza por fungos. (FRANCHETTI et al., 2006).

A presente alternativa do plástico verde é favorável e não afetaria a produção de açúcar ou de etanol combustível, aliás, acredita-se que o avanço de novas tecnologias auxiliaria esse processo de produção, segundo produtores e estudiosos do caso. (PEREIRA, 2017).

7.2.1 Produção do Plástico Verde

O processo de produção do plástico verde, em suma, tem início na colheita da cana-de-açúcar que será levada para as usinas em diante, onde ela passará pelo processo comum de produção de álcool.

Figura 13: Molécula do etanol.



Fonte: ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2024.

Após a produção do álcool, o mesmo passa por um processo de desidratação para se obter o eteno. O eteno obtido, então, é polimerizado em unidades de produção para o polietileno. Após ter o polietileno pronto, o mesmo é transformado no produto desejado pela indústria. (PEREIRA, 2017).

7.3 Outras Estratégias Sustentáveis

Além das leis, ecopontos, CONAMA, leis regionais, tecnologias para limpeza dos oceanos e a proposta do plástico verde, ainda há muito a ser feito para que o oceano possa se ver livre dos problemas acarretados pelo plástico, e para que a biodiversidade marinha se veja livre dos problemas acarretados pelo microplástico.

Os MPs é um tema relativamente recente, que teve sua primeira pesquisa realizada em 1972 nos Estados Unidos, porém o assunto apenas teve a relevância que merece em 2004 quando este termo se popularizou. No entanto, apesar desses avanços na popularização do termo, há um desenvolvimento desigual de estudos no Brasil quando comparado a outros países (MORAES et al., 2024). Visto isso, é essencial que sejam abordados mais tópicos quanto a conservação ambiental e os maiores problemas que o meio-ambiente vêm enfrentando nas últimas décadas, de forma que esses estudos sejam passados por fontes científicas confiáveis e em linguagem acessível para todos os públicos. Não obstante, campanhas e ações de educação ambiental frequentes também são igualmente importantes para prorrogar a conscientização da população sobre o assunto, de modo a incentivar a sociedade a lutar contra a poluição plástica. É igualmente relevante ressaltar que intervenções educativas serem realizadas em escolas, universidades e qualquer espaço de educação para alcançar públicos diversos também é uma atitude interessante. Por exemplo, ações organizadas em grupo por uma instituição educacional para a limpeza da areia das praias que têm plásticos descartados incorretamente, entre outras coisas, visando a mudança de hábito e a divulgação dessa atitude.

Os setores de informação também não deixam de ser relevantes, pois são estes que, em sua maioria, têm a responsabilidade de influenciar as pessoas com opiniões e divulgando informações. Sendo assim, jornalistas, influenciadores digitais ou qualquer outro profissional público que trate dessa área ao realizar divulgações de informações e opiniões quanto a importância da limpeza dos resíduos de plástico no oceano, poderá ser um grande catalisador para a conscientização pública e mudança de hábito da sociedade nesse combate tão importante em favor da natureza.

8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo acerca da poluição por MPs nos ecossistemas marinhos evidencia uma complexa interação entre fatores ambientais, sociais e econômicos, contribuindo para o aumento dessas partículas em ambientes aquáticos. Esse padrão geográfico sugere que práticas de gestão de resíduos e o nível de conscientização ambiental são fatores determinantes na redução da poluição por MPs.

As análises indicam que os estes tipos de resíduos se manifestam em diferentes formas, como fragmentos, fibras e esferas, cada qual com características próprias em relação à origem e impacto ambiental. A fragmentação de plásticos maiores que ocorre por meio de processos físicos e químicos é uma das principais fontes de MPs, comprovada por estudos que demonstram a aceleração da degradação de plásticos expostos à radiação ultravioleta e à ação das ondas. Ainda, a presença dessas partículas em organismos marinhos aponta para o risco de bioacumulação e biomagnificação ao longo da cadeia alimentar, levantando preocupações sobre saúde humana e segurança alimentar.

As discussões levantadas na pesquisa reforçam a necessidade de uma abordagem integrada para enfrentar a poluição por MPs. A baixa conscientização ambiental e a ineficácia dos sistemas de gerenciamento de resíduos são fatores que agravam o problema, conforme mencionado pela literatura. Para enfrentar essa questão é essencial implementar políticas públicas que reduzam o uso de plásticos convencionais e incentivem alternativas biodegradáveis. A presente pesquisa destaca que a colaboração entre governos, setor industrial e sociedade civil é indispensável para o desenvolvimento de soluções eficazes e sustentáveis.

Além disso, a educação ambiental surge como uma estratégia fundamental para conscientizar a população a respeito do descarte correto e da redução de resíduos plásticos. Campanhas educativas e programas de sensibilização podem desempenhar papel crucial na mudança de comportamento, promovendo uma cultura de responsabilidade ambiental. A análise dos dados também destaca que sistemas de reciclagem eficientes podem reduzir significativamente a quantidade de

plásticos que chegam aos oceanos, enfatizando a importância de políticas que incentivem a reciclagem e a reutilização de materiais.

Os resultados ressaltam a urgência de uma resposta coordenada em nível internacional, nacional e local para combater a poluição por MPs. A preservação dos oceanos é essencial não só para a biodiversidade marinha, mas também para a sustentabilidade econômica de países que dependem de atividades como por exemplo a pesca e o turismo costeiro. A contaminação por MPs pode afetar a qualidade das praias e a saúde dos ecossistemas, gerando impactos econômicos que podem resultar em perdas significativas.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa nos revela a gravidade e a complexidade do problema acerca dos MPs na biodiversidade marinha. Ao longo do estudo foi possível identificar que a poluição por MPs resulta de uma cadeia de fatores sociais, econômicos e ambientais, que convergem para agravar a contaminação dos ecossistemas. A elevada resistência e a ampla disseminação desses materiais evidenciam os desafios para a mitigação do problema, além dos riscos para a biodiversidade, a segurança alimentar e a saúde pública.

Acerca de soluções sustentáveis, como por exemplo a adoção de bioplásticos e o fortalecimento das políticas de reciclagem, estejam ganhando espaço, os resultados indicam que a redução efetiva da poluição por microplásticos depende de uma abordagem integrada. Essa abordagem deve envolver a conscientização dos consumidores, a responsabilidade da indústria em reformular seus produtos e processos, além do compromisso governamental em implementar políticas rigorosas de gestão de resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arossa S, Martin C, Rossbach S and Duarte CM (2021) **Microplastics: Small Particles, Big Threat.** *Front. Young Minds.* 9:608621. doi: 10.3389/frym.2021.608621 Disponível em: [Microplastics: Small Particles, Big Threat.](#) Acesso em 05 abr. 2024.

ALI, S. S.; EL-MARAGHY, M. W. Microplastic pollutants: impact on ecosystems and human health. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 1, p. 1-12, 2020. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11191580/pdf/fpubh-12-1411389.pdf>. Acesso em 05 mai. 2024.

A. Vaksmaa, H. Vielfaure, L. Polerecky, MVM Kienhuis, MTJ van der Meer, T. Pflüger, M. Egger e H. Niemann **Biodegradation of polyethylene by the marine fungus Parengyodontium album | Scientific Publication | The Ocean Cleanup.** Disponível em: [Biodegradation of polyethylene by the marine fungus Parengyodontium album | Scientific Publication | The Ocean Cleanup.](#) Acesso em 13 ago. 2024.

BARRETT, J. et al. **Microplastic pollution in deep-sea sediments from the Great Australian Bight.** *Frontiers in Marine Science*, v. 7, p. 808, 2020. Disponível em: [Microplastic Pollution in Deep-Sea Sediments From the Great Australian Bight.](#) Acesso em 27 abr. 2024.

BARNES, D. K. A.; MILNER, P. E. **Drifting plastic and its consequences for a mobile species in the Pacific Ocean.** *Marine Environmental Research*,. 162, p. 105176, 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/ecology-and-evolution/articles/10.3389/fevo.2021.629756/full>. Acesso em 30 abr. 2024.

BATISTA, João Victor de Amorim; OLIVEIRA, Francisco Lidiano Guimarães; LIMA, Maria Nájela de Oliveira; NUNES, João Paulo de Andrade; VIEIRA, Ivinna Kariny da Costa; COSTA SEGUNDO, Hermógenes Pereira da; OLIVEIRA, Camila Tâmires Alves. **Consequências dos microplásticos para os peixes marinhos: uma**

revisão de literatura. In: **ZOOLOGIA: DIVULGANDO O CONHECIMENTO CIENTÍFICO**. 1. ed. Fortaleza: Universidade Estadual do Ceará, 2023. p. 82-93. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/consequencias-dos-microplasticos-para-os-peixes-marinhos-uma-revisao-de-literatura>. Acesso em: 26 ago. 2024.

BOLLAÍN PASTOR, C.VICENTE AGULLÓ, D. **Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública**. Revista Española de Salud Pública, v. 93, p. e201908064, 12 out. 2020. Acesso em 20 ago.2024.

BOUCHARD, C.; THIEBAUT, E.WILDERMUTH, R. M. **Socioeconomic drivers of marine plastic pollution**. *Environmental Research Letters*, v. 15, n. 9, p. 094029, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32907740/> Acesso em 31 abr. 2024.

CAIXETA, Danila et al. **Microplásticos como indicadores de poluição ambiental e seus efeitos sobre os organismos**. Enciclopédia biosfera, v. 19, n. 40, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/361660910_MICROPLASTICOS_COMO_INDICADORES_DE_POLUICAO_AMBIENTAL_E_SEUS_EFEITOS SOBRE OS ORGANISMOS Acesso em 19 de ago. de 2024.

DA CONCEIÇÃO, PEDRO ALEXANDRE COSTA. **MICROPLÁSTICO NO ESTUÁRIO DO MONDEGO E ÁREA MARINHA ADJACENTE**. 2021. Disponível em: https://run.unl.pt/handle/10362/411/browse?type=title&sort_by=1&order=ASC&rpp=45&etal=-1&null=&offset=731 Acesso em 20 ago. 2024.

ERIKSEN, M. et al. **Microplastics in global seafood: assessing the impacts on human health**. *Nature Sustainability*, v. 4, p. 145-152, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327055943_Microplastics_in_Seafood_and_the_Implications_for_Human_Health Acesso em 30 abr. 2024.

FIGUEIREDO, Jéssica de Macêdo. **Distribuição temporal da concentração de microplásticos na região marítima do Brasil**. Programa de Pós-Graduação

(Ciências Ambientais em Áreas Costeiras) – Instituto Federal do Rio de Janeiro, Arraial do Cabo - RJ, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifrj.edu.br/xmlui/handle/20.500.12083/686> Acesso em 24 ago. 2024.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. **Production, use, and fate of all plastics ever made.** *Science Advances*, v. 3, n. 7, e1700782, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28776036/> Acesso em 4 de Jul. de 2024.

HORTON, A. A.; DIXON, S. J. **Microplastics: an introduction to environmental transport processes.** *WIREs Water*, v. 7, n. 1, e1397, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322107763_Microplastics_An_introduction_to_environmental_transport_processes Acesso em 30 mai. 2024.

JAMBECK, J. R.; GEYER, R.; WILCOX, C.; SIEGLER, T. R.; PERRYMAN, M.; ANDRADY, A.; NARAYAN, R.; LAW, K. L. **Plastic waste inputs from land into the ocean.** *Science*, v. 347, n. 6223, p. 768-771, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25678662/> Acesso em 24 de Jul. de 2024.

LIMA, Raquel De Brida; PERFATTI, Yasmim Cidade. **Os Efeitos dos Microplásticos.** *Revista Científica FESA*, v. 3, n. 15, p. 17-28, 2024. Disponível em: <https://revistafesa.com/index.php/fesa/article/view/392> Acesso 10 de ago. de 2024.

LUQUE, Sandro et al. **Possíveis Impactos Da Presença De Microplásticos Em Ambiente Terrestre.** Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/VJ58TBjHVqDZsvWLckcFbTQ> Acesso em 27 de jul. de 2024.

NANO E MICROPLÁSTICOS NOS ECOSSISTEMAS: IMPACTOS AMBIENTAIS E EFEITOS SOBRE OS ORGANISMOS | ENCICLOPÉDIA BIOSFERA. www.conhecer.org.br, 12 ago. 2022. Acesso em 27 de jul. de 2024.

M, C. N. **Inclusão dos impactos dos resíduos plásticos no ambiente marinho em avaliação de ciclo de vida.** www.lbict.br, 2018. Acesso em: 26 out. 2024.

MOTA, G. A. .BATISTA, L. M. CUNHA, C. de O. **Impactos dos microplásticos na saúde aquática e humana: Impacts of microplastics on aquatic and human health.** Journal Archives of Health, [S. I.], v. 2, n. 4, p. 1105–1108, 2021. Disponível em: <https://ojs.latinamericanpublicacoes.com.br/ojs/index.php/ah/article/view/574>. Acesso em 26 out. 2024.

OCEAN CONSERVANCY. **Stemming the Tide: Land-based strategies for a plastic-free ocean.** Washington, DC: Ocean Conservancy, 2015. Acesso em 28 set. 2024. Disponível em: <https://oceanconservancy.org/ways-to-give/>

PINTO, L. J. L. B. et al. **Microplásticos no oceano: sob a perspectiva da economia azul.** www.repositório.ufc.br, 1 jan. 2022. Acesso em: 26 out. 2024.

SACCO, V. A.; SELINGER , A.; ZUANAZZI , N. R.; LEMUNIE, Érika S.; COMELLI, C. L.; DA COSTA , J. H. A.; GHISI , N. de C.; DELARIVA , R. L. **Padrões globais de ingestão de microplásticos por peixes: Uma revisão cienciométrica. International.** Journal of Environmental Resilience Research and Science, [S. I.], v. 5, n. 3, 2023. DOI: 10.48075/ijerrs.v5i3.32324. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/ijerrs/article/view/32324>. Acesso em 26 out. 2024.

SALDANHA, T. R. **Microplásticos na costa do Ceará (NORDESTE DO BRASIL): uma revisão.** Disponível em: www.repositorio.ufc.br 2022. Acesso em: 26 out. 2024.

SANTOS JUNIOR, Ricardo Aparecido dos. **Impacto ambiental gerado por microplásticos têxteis. 2023.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/33573/1/impactoambientalmicroplasticostexteis.pdf>; Acesso em 26 de ago. 2024.

UNEP. **From pollution to solution: a global assessment of marine litter and plastic pollution.** Nairobi: United Nations Environment Programme, 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution> Acesso em 05 abr. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DA VITÓRIA PAULA DE MELO SOUZA. **MICROPLÁSTICOS NO PLÂNCTON: uma poluição invisível**. VITÓRIA DE SANTO ANTÃO 2022. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/48832/1/Souza%2c%20Paula%20de%20Melo.pdf>>. Acesso em 09 ago. 2024.

VARGAS, J. et al. **MICROPLÁSTICOS: USO NA INDÚSTRIA COSMÉTICA E IMPACTOS NO AMBIENTE AQUÁTICO**. Química Nova, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/sr67Byx5TJHdDvdPzV8SRJd/> Acesso em 26 out. 2024.

WRIGHT, S. L.; KELLY, F. J. Plastic and human health: a micro issue? **Environmental Science & Technology**, v. 51, n. 12, p. 6634-6647, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28531345/> Acesso em 22 set. 2024.