

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

Microplástico: um contaminante invisível

Victor Carrera Pinhatti

SÃO CARLOS -SP
2022

Microplástico: um contaminante invisível

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. José Augusto Marcondes Agnelli

São Carlos-SP
2022

RESUMO

Os microplásticos são partículas plásticas de tamanho pequeno, oriundas principalmente pela quebra de plásticos maiores. Eles são considerados contaminantes onipresentes no ambiente e se encontram em praticamente todas as matrizes ambientais, desde fossas oceânicas até no alto das montanhas, inclusive em produtos que nós consumimos e no ar que respiramos. Animais e humanos estão constantemente expostos aos microplásticos e essas interações trazem diversos malefícios à saúde. Esse trabalho de revisão aborda questões relevantes sobre a temática de microplásticos – a respeito da classificação; de suas fontes; a incidência em matrizes ambientais e seu impacto em organismos; desafios analíticos nos estudos e as principais iniciativas e soluções que visam combater esse tipo de contaminação; traz também um estudo de percepção da população em relação ao tema.

Palavras-chave: Microplásticos. Poluição plástica. Contaminantes ambientais.

ABSTRACT

Microplastics are small-sized plastic particles that primarily arise by the breakdown of larger plastics. They are considered ubiquitous contaminants in the environment and are found in the most diverse environmental matrices, from ocean trenches to the top of mountains, even in products that we consume and in the air we breathe. Animals and humans are constantly exposed to microplastics and these interactions bring many health hazards. This review addresses relevant issues on the subject of microplastics – regarding classification; its sources; the incidence on environmental matrices and their impact on organisms; analytical challenges; the main initiatives and solutions that aim to fight this type of contamination; and a study regarding population perception about the subject.

Keywords: Microplastics. Plastic pollution. Environmental contaminants.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Produção global anual de plástico em milhões de toneladas.....	2
Figura 2 – Maiores produtores de resíduos plásticos no mundo, em milhões de toneladas ao ano.....	3
Figura 3 –Número de publicações por ano sobre o tema microplásticos. Consulta realizada na base “ <i>Science Direct</i> ” utilizando a palavra-chave “microplastic”. Dados de 2022 referem-se aos meses de janeiro a agosto completos.....	5
Figura 4 – Classificação de tamanho de plásticos segundo a norma (ISO/TR 21960:2020).7	
Figura 5 – Microplásticos coletados em águas superficiais na Baía de Guanabara – RJ.....	8
Figura 6 – Gráfico da quantidade de pessoas entrevistadas por faixa etária.....	22
Figura 7 – Gráfico das pessoas entrevistadas por nível de escolaridade.....	22
Figura 8 – Gráfico das pessoas entrevistadas por estado em que reside.....	23
Figura 9 – Gráfico das pessoas entrevistadas pela área profissional ou de estudos.....	24
Figura 10 – Gráfico correspondente às respostas da pergunta 5 do questionário - “Você conhece o termo “microplástico?”.....	24
Figura 11 – Gráfico correspondente às respostas da pergunta 6 do questionário – “De que forma tomou conhecimento sobre microplásticos?”.....	25
Figura 12 - Gráfico correspondente às respostas da pergunta 7 do questionário – “Você acha que seu lixo gera microplásticos que afetam o meio ambiente?”.....	26
Figura 13 – Gráfico correspondente às respostas das perguntas 8 e 9 do questionário, respectivamente – “Existe coleta seletiva na região onde você mora?” e “Em sua residência, você separa o lixo comum do reciclável?.....	26
Figura 14 – Gráfico correspondente às respostas da pergunta 10 do questionário – “Você acha que deveriam existir mais ações e políticas de conscientização e combate aos microplásticos”.....	27
Figura 15 – Respostas das pessoas da área ambiental a respeito das perguntas 5 e 9 do questionário.....	28
Figura 16 – Respostas à pergunta 5 do questionário de acordo com a faixa etária.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NOAA	Agência Nacional Atmosférica e Oceanográfica dos Estados Unidos
PNCLM	Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar
SCBD	Secretariat of the Convention on Biological Diversity
WWF	World Wildlife Fund
PP	Polipropileno
PE	Polietileno
PS	Poliestireno
PET	Polietileno tereftalato
PMMA	Polimetilmetacrilato

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objetivos.....	6
1.2	Metodologia.....	6
2	UM POUCO MAIS A RESPEITO DOS MICROPLÁSTICOS.....	7
2.1	Principais fontes de microplásticos.....	9
3	OS MICROPLÁSTICOS NO AMBIENTE.....	13
3.1	Preocupações em relação aos microplásticos.....	14
3.2	Interações com organismos.....	15
3.3	Microplásticos e a saúde humana.....	16
3.4	Desafios analíticos.....	17
4	O COMBATE À CONTAMINAÇÃO DOS MICROPLÁSTICOS.....	19
5	A PERCEPÇÃO AMBIENTAL RELACIONADA AOS MICROPLÁSTICOS...21	
5.1	Resultados e discussões.....	21
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
	REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje os materiais plásticos estão presentes no cotidiano de bilhões de pessoas, caso elas percebam ou não. Eles estão em todo lugar: na construção civil, em automóveis, embalagens, celulares e até mesmo nas roupas que vestimos, mas nem sempre foi assim: até meados do século XX, os plásticos tinham aplicações ainda bastante limitadas e ocupavam pouco espaço no mercado. Foi graças a estudos na área e avanços tecnológicos que eles ganharam mais notoriedade e foram substituindo outros materiais como metais e vidros, praticamente tornando-se o símbolo do capitalismo e da sociedade que conhecemos hoje (Atlas do Plástico, 2020).

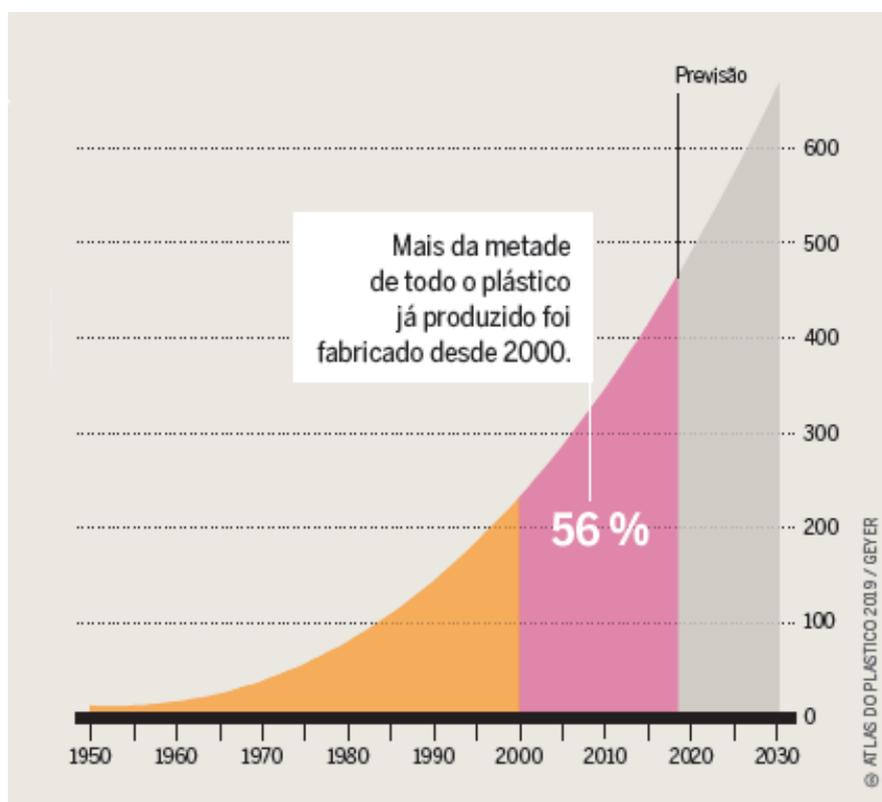
Os polímeros são materiais naturais ou sintéticos compostos por unidades estruturais repetitivas, unidas por ligações covalentes formando macromoléculas. Os polímeros são produzidos através de reações de polimerização que combina monômeros, em sua maioria, derivados de petróleo ou gás natural; eles são os principais ingredientes dos plásticos, que geralmente também levam em sua composição aditivos que alteram determinadas propriedades, como plastificantes, antioxidantes, retardantes de chama, entre outros (Cole et al, 2011).

Os plásticos possuem características que os tornam excelentes candidatos para uma gama de aplicações. Em geral eles são leves, podem ser mais flexíveis ou rígidos, são fáceis de conformar, duráveis, possuem ótimas propriedades em relação à densidade e são bastante versáteis. Dessa forma, seu uso se faz muito presente ao nosso redor. Os plásticos representam cerca de 15% do peso de carros modernos e em torno de 50% em volume; eles compõem os assentos, estofamento, painel, para-choques, entre outras peças (IEA, 2019). Outro exemplo é de plásticos de engenharia, podendo ter excelentes propriedades mecânicas, ser capazes de suportar temperaturas extremas ou de resistir à corrosão química e assim são muito empregados na indústria aeroespacial. Apesar de eles poderem ter características excepcionais, hoje em dia são utilizados principalmente para aplicações de uso único, como embalagens, e logo são descartados – 40% dos produtos plásticos cumprem sua função e são descartados em menos de um mês. As garrafas de refrigerante que antes eram de vidro, passaram a ser de PET; fraldas de pano foram substituídas por fraldas descartáveis; sacolas plásticas guardam compras de supermercado. Essa ascensão de produtos plásticos descartáveis foi impulsionado

pelos produtores por simplificar a cadeia de suprimento e por serem menos custosos em termos econômicos, pois no fim veremos que quem paga a conta é o meio ambiente (Atlas do Plástico, 2020).

Cerca de 9,2 bilhões de toneladas de plástico foram produzidas mundialmente entre 1950 e 2017, sendo que mais da metade de todo esse montante foi fabricado desde o ano 2000 (Figura 1) – o que mostra como esse crescimento tem se intensificado nos últimos anos. Atualmente estima-se que são produzidas mais de 400 milhões de toneladas por ano em todo o mundo, sendo o Brasil o 4º país que mais produz (Atlas do Plástico, 2020).

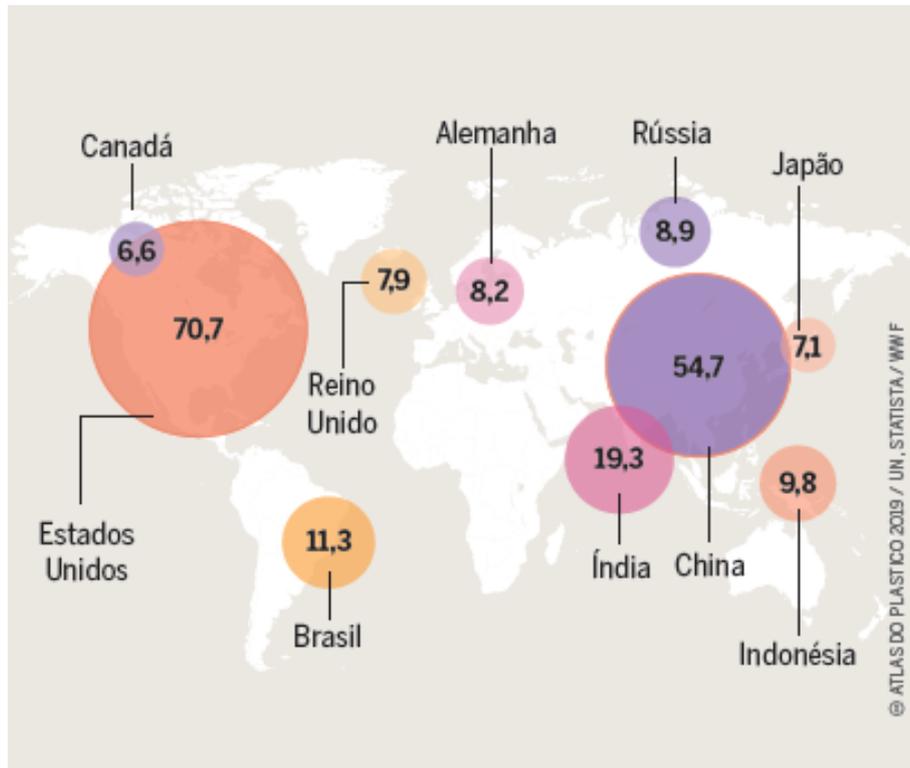
Figura 1 – produção global anual de plástico em milhões de toneladas



Fonte: Atlas do Plástico, 2020.

A questão é que essa crescente produção de plástico no mundo vem acompanhada de outra preocupação: os rejeitos plásticos. Das 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos que o Brasil produz anualmente, 13,5% são plásticos - o equivalente a 11,3 milhões de toneladas de rejeito plástico todos os anos – dessa forma o Brasil também é o 4º país no mundo que mais gera resíduos plásticos no mundo (Figura 2) (Atlas do Plástico, 2020).

Figura 2 – maiores produtores de resíduos plásticos no mundo, em milhões de toneladas ao ano



Fonte: Atlas do Plástico, 2020.

No mundo, cerca de 6,3 bilhões de toneladas de resíduos plásticos foram gerados entre a década de 50 e 2015 – de tudo isso, apenas 9% foi reciclado – o restante foi incinerado (12%) e despejado em aterros ou diretamente no ambiente (79%), o que demonstra as deficiências no controle de resíduos sólidos e saneamento ao redor do planeta (Geyer et al, 2017). Um fator que dificulta a reciclagem dos plásticos é o fato de que eles perdem propriedades ao serem reciclados, de forma que eles podem ser reciclados apenas um determinado número de vezes até irem para aterros ou serem incinerados; e depois de reciclados, normalmente cumprem funções “menos nobres” – embalagens de comida recicladas podem virar galões de produtos de limpeza, por exemplo. Além disso muitas vezes há certa dificuldade e custos envolvidos na separação e lavagem de produtos a serem reciclados (Atlas do Plástico, 2020; Hale, 2020).

Thompson (2006) estima que até 10% dos resíduos plásticos gerados entrarão nos oceanos. Toneladas e toneladas de resíduos são, em grande parte, carregadas por correntes marítimas e acabam se acumulando em vórtices

oceânicos – existem hoje 5 grandes ilhas de plástico flutuando nos oceanos (Hale, 2020). Um estudo realizado por Eriksen et al (2014) estimou que havia mais de 5 trilhões de pedaços de plástico flutuando nos oceanos, número esse que hoje pode ser até mais elevado; esses plásticos são constantemente degradados através de mecanismos de fotodegradação, termo-oxidação, etc. e são quebrados em pedaços cada vez menores, dando origem a outro problema que nos últimos anos vem ganhando atenção da mídia e de instituições de cunho ambiental: os microplásticos (Andrady, 2011).

Os microplásticos podem surgir com a quebra de plásticos maiores ou podem ser produzidos intencionalmente, utilizados por exemplo como abrasivo em produtos de higiene pessoal. Existem distintas fontes de microplásticos e de diversas formas eles encontram caminhos para o meio ambiente. Eles são encontrados em praticamente todas as matrizes ambientais – desde praias (de Carvalho e Neto, 2016); lagos (Eriksen et al, 2013); rios (Zhang et al, 2017); no solo (Lwanga et al, 2017); nas mais profundas fossas oceânicas (Jamieson et al, 2019); até na neve da montanha mais alta do mundo, o Monte Everest (Napper et al, 2020).

Seu pequeno tamanho facilita interações prejudiciais à biota marinha e terrestre – são comumente ingeridos por diversas espécies de animais, como pássaros ou invertebrados, podendo bloquear o intestino, impedir o crescimento, a reprodução do organismo, entre outros diversos problemas que eles podem gerar (Lusher, 2015).

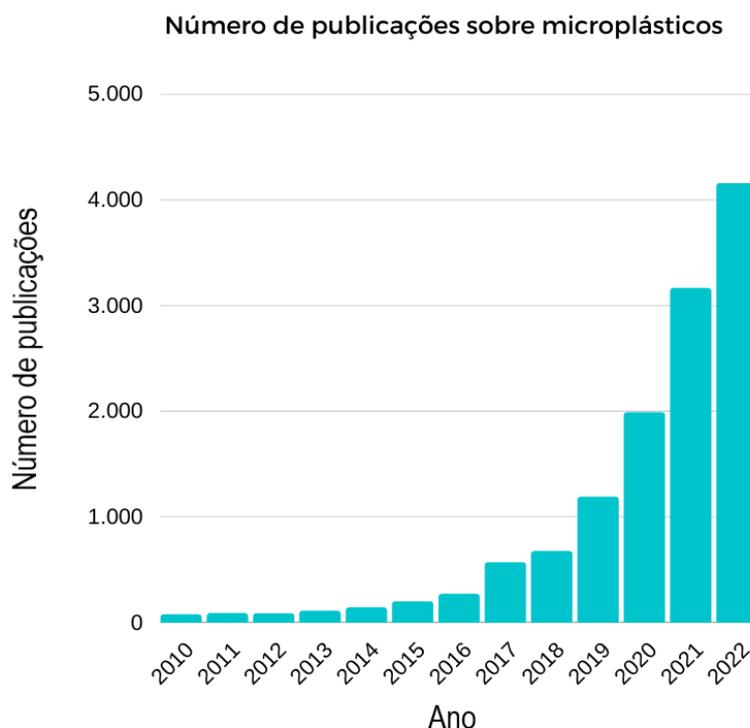
Além de matrizes ambientais, os microplásticos também já foram encontrados em diversos produtos de consumo, como cerveja, sal de cozinha e até nas águas engarrafadas. Estudos descobriram que em média uma pessoa pode ingerir 5 g de plástico por semana, o equivalente a um cartão de crédito (WWF, 2019). Além disso, os microplásticos são capazes de adsorver poluentes orgânicos persistentes (POPs) (Teuten et al, 2009) e sua entrada em níveis tróficos inferiores na cadeia alimentar é motivo de preocupação, pois dessa forma podem potencialmente acarretar processos de biomagnificação e bioacumulação (Rochman, 2015). Atualmente, os microplásticos são considerados onipresentes e classificados como contaminantes emergentes (Richardson, 2016).

Devido a essas e outras preocupações, a comunidade científica e órgãos governamentais têm prestado mais atenção aos plásticos e microplásticos, assim

como seus possíveis efeitos de contaminação. Um exemplo vem do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), juntamente do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) publicaram um edital para apoiar projetos com o objetivo de desenvolver estratégias tecnológicas para combater a poluição em ambientes marinhos causadas por plásticos e seus subprodutos, assim como promover ações de educação, popularização e divulgação científica a respeito do tema em consonância com o Plano Nacional de Combate ao Lixo do Mar (CNPq/MCTI-FNDCT CT-Petro N°43/2022).

Uma consulta utilizando o termo “microplastic” na base de dados “*Science Direct*” mostra como publicações relacionadas ao tema vêm crescendo nos últimos anos. Em 2010, foram publicados 75 artigos; em 2021 foram 3.164 artigos publicados; em 2022 até o dia 31 de agosto, o número de publicações já ultrapassou o ano anterior, totalizando 4.155 artigos (Figura 3), números esses que reforçam a relevância do tema.

Figura 3 – número de publicações por ano sobre o tema microplásticos. Consulta realizada na base “*Science Direct*” utilizando a palavra-chave “microplastic”. Dados de 2022 referem-se aos meses de janeiro a agosto completos



Fonte: Autor

1.1 Objetivos

O objetivo desse trabalho de revisão é abordar questões relevantes e agrupar os conhecimentos sobre a temática de microplásticos – a respeito da classificação; quais são as maiores fontes; abordar a incidência deles em matrizes ambientais e seu impacto em organismos; quais são os desafios analíticos nos estudos e as principais iniciativas e soluções que visam combater esse tipo de contaminação.

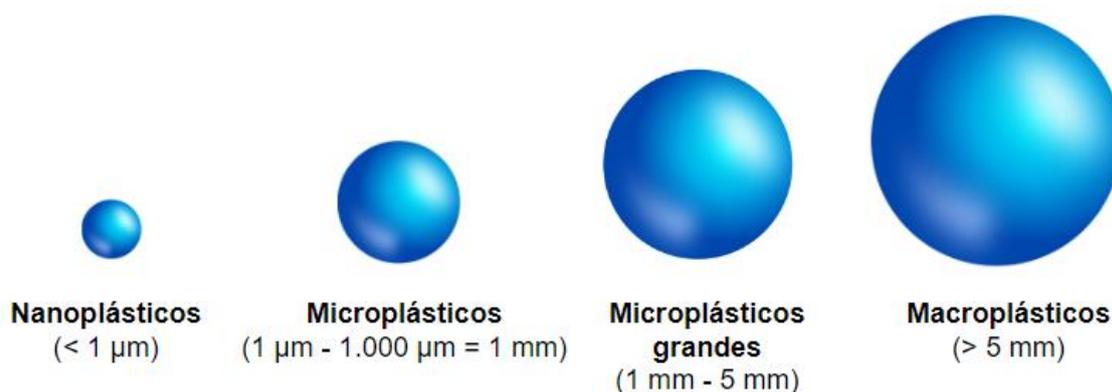
1.2 Metodologia

Este estudo se trata de uma revisão bibliográfica realizada entre junho e agosto de 2022. A coleta de dados baseou-se em consulta de artigos, livros e leis publicados entre 2004 e 2022, disponíveis em língua portuguesa ou inglesa, nas bases eletrônicas *Science Direct*, *Research Gate*, Periódicos CAPES e Google Acadêmico; bem como a busca de autores e artigos mais citados nos trabalhos encontrados. As palavras-chave utilizadas para as consultas foram: “microplásticos”, “microplásticos no ambiente”, “microplásticos poluição”, “efeitos dos microplásticos”; além das consultas dos termos em inglês: “*microplastics*”, “*microplastics pollution*”, “*microplastics enviroment*”, “*effects of microplastics*”.

2 UM POUCO MAIS A RESPEITO DOS MICROPLÁSTICOS

O termo “microplástico” foi utilizado pela primeira vez por Thompson et. al. (2004) para descrever fragmentos plásticos de tamanhos próximos a 20 μm em diâmetro encontrados em sedimentos de regiões costeiras em Plymouth, no Reino Unido; desde então diversos autores propuseram diferentes classificações de microplásticos baseados em seu tamanho (Olivatto, 2018). Em 2008, foi sediado pela Agência Nacional Atmosférica e Oceanográfica (NOAA) dos Estados Unidos o primeiro Workshop Internacional de Microplásticos em Washington, onde determinou-se a definição do termo “microplásticos” como sendo partículas plásticas menores que 5 mm (Arthur et. al. 2009), definição utilizada por grande parte dos autores. Mais recentemente, foi publicada a norma “Plastics – Environmental aspects – State of Knowledge and Methodologies” (ISO/TR 21960:2020), que define o termo “microplásticos” como qualquer partícula plástica insolúvel em água de dimensões entre 1 μm e 1000 μm ; o termo “microplástico grande” como tendo entre 1 mm e 5 mm e macroplásticos como partícula ou objeto plástico insolúvel com dimensões acima de 5 mm. A classificação segundo a norma foi utilizada nesse presente trabalho e está representada na Figura 4.

Figura 4 – classificação de tamanho de plásticos segundo a norma (ISO/TR 21960:2020)

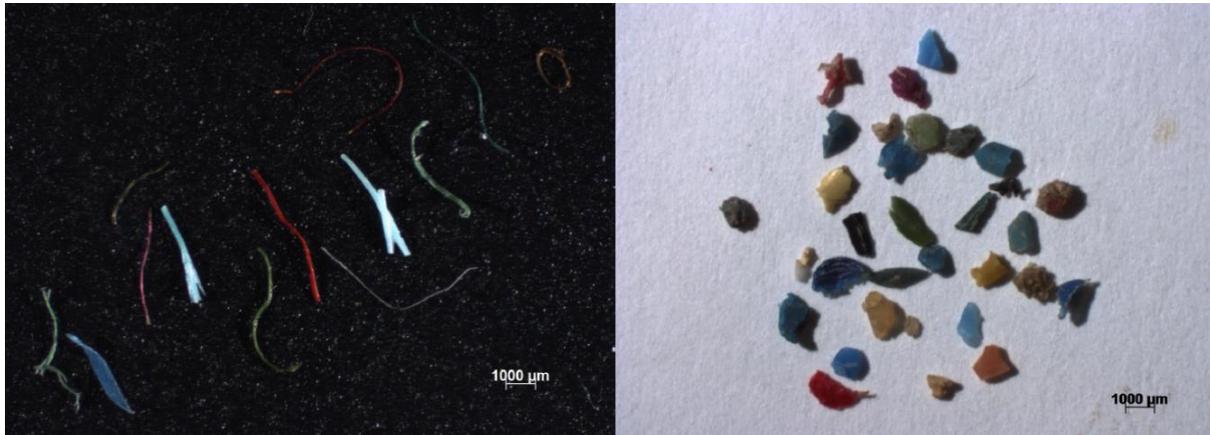


Fonte: Autor

Os microplásticos presentes no ambiente são encontrados com diferentes cores, tamanhos, texturas e em diversos formatos, desde fibras e esferas até fragmentos irregulares; e essas características podem mudar quando são expostos

ao ambiente (Thompson, 2015). Alguns exemplos encontram-se na Figura 5.

Figura 5 – microplásticos coletados em águas superficiais na Baía de Guanabara - RJ.



Fonte: Olivatto, 2018

Além da classificação dos microplásticos quanto ao seu tamanho, alguns autores os classificam também como primários ou secundários em relação à sua origem. Os microplásticos primários são aqueles produzidos intencionalmente em tamanhos pequenos (<5 mm), utilizado por exemplo em produtos cosméticos em diversos países, e que encontram caminhos para se alojar no meio ambiente. Entretanto, a maior parte dos microplásticos presentes no ambiente são os classificados como secundários, que são aqueles formados pela fragmentação de materiais plásticos maiores em fragmentos pequenos. Estes podem ter diversas origens, como pela degradação de rejeitos plásticos despejados em águas oceânicas ou pela lavagem de roupas feitas de materiais sintéticos (Thompson, 2015).

O processo de degradação de plásticos maiores em microplásticos é descrito por Andrady (2011, 2017) como sendo função de diversos fatores do próprio plástico, como cristalinidade, estrutura molecular e presença de aditivos, mas também dependem de fatores ambientais aos quais os plásticos estão expostos: presença de oxigênio no meio e temperatura (termo-oxidação), abrasão do plástico com outros objetos e partículas, ação de determinados microorganismos (biodegradação), presença de água (hidrólise) e pela incidência de raios UV provenientes do sol (fotodegradação); sendo este último mecanismo o mais relevante, principalmente em plásticos e microplásticos na superfície em ambientes terrestres e em águas superficiais onde a incidência da luz solar é maior.

A degradação causa a quebra das cadeias poliméricas e conseqüentemente a diminuição do seu peso molecular. Dessa forma, os microplásticos se fragmentam em vários pedaços cada vez menores, até chegarem a um tamanho em que são classificados como nanoplásticos (<1 µm) de acordo com a norma ISSO/TR 21960:2020. Ou seja, os microplásticos de certa forma são partículas num estado de transição entre rejeitos plásticos maiores e rejeitos em escala nanométrica (Hale et al, 2020).

2.1 Principais fontes de microplásticos

Diversas práticas podem gerar e lançar, de maneira proposital ou não, resíduos microplásticos no ambiente. Microplásticos produzidos intencionalmente, por exemplo, estão presentes em formato de microesferas em diversos produtos cosméticos e de higiene pessoal, como em cremes dentais, sabonetes e protetores solares. Dados do Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP, 2015) mostra que as concentrações de microesferas em produtos de higiene pessoal podem atingir até 50 mil partículas por grama de produto. Essas por sua vez acabam caindo na rede de esgoto e podem chegar a diversos compartimentos ambientais. Microesferas também são utilizadas em agentes de limpeza e em fluidos de perfuração usados por exemplo, mas não somente, na indústria petrolífera (Hale, 2020). Outra fonte de microplásticos primários no meio ambiente ocorrem de perdas no transporte e armazenamento de *pellets* (Pereira, 2014). Estima-se que 0,01 a 0,1% do total de produção seja perdido (OSPAR, 2017). Em certos países, como os Estados Unidos em 2015, houve a proibição da produção e venda de produtos de enxaguar que contenham microplásticos (Public Law 114-114, 2015). Nota-se que essa lei afeta por exemplo pastas de dente, porém outros produtos de higiene pessoal como protetores solares ainda podem conter microesferas; apesar de esse ser um passo para diminuir a poluição de microplásticos, os maiores contribuintes para o problema são na verdade as fontes secundárias (Thompson, 2015).

Uma grande parte dos microplásticos, tanto em ambientes terrestres como aquáticos, vem do desgaste de pneus. Autores estimam uma geração de 4,7 kg/ano de microplásticos por pessoa nos Estados Unidos, contribuindo com 5 a 10% em massa do plástico indo para o oceano e que estima-se que componham de 3 a 7% das partículas PM_{2,5} presentes no ar das cidades, que são um tipo de partícula fina menores que 2,5 µm e considerados indicadores da qualidade do ar (Kole et al,

2017).

Pinturas e recobrimentos utilizados em estruturas e sinalizações na rua também podem conter polímeros e muitas vezes estão expostos à luz solar, sofrendo degradação e liberando microplásticos (Hale, 2020).

A maior parte dos rejeitos plásticos, cerca de 79%, vão para aterros sanitários ou são lançados diretamente no ambiente (Geyer, 2017). A parcela que fica no ambiente, seja ele aquático ou terrestre, acaba sofrendo degradação e liberando micropartículas. Os aterros podem ser abertos ou fechados; os últimos estão mais sujeitos à ação da luz solar e podem liberar microplásticos no ambiente terrestre (Thompson, 2015). Destroços de construção e demolição também podem conter grandes quantidades de plásticos e podem estar sujeitos à degradação; nos Estados Unidos, foram geradas em torno de 610 a 780 milhões de toneladas de detritos de construção e demolição em 2002, comparadas à 214 milhões de toneladas de rejeitos sólidos municipais (Powell, 2015).

É válido ressaltar que mesmo os microplásticos lançados em ambiente terrestre podem encontrar caminhos para ambientes aquáticos, por meio da ação do vento – sob a qual as partículas menores podem percorrer maiores distâncias – e também das chuvas, que pode carregar as partículas de diversas fontes – de aterros sanitários, do desgaste de pneus, de tintas, etc. – até as redes de esgoto ou faz com que penetrem no solo. (Hale, 2020).

Plásticos podem entrar em ambientes aquáticos por meio de atividades de pesca e aquicultura, que utilizam redes, linhas, armadilhas que por muitas vezes podem conter polímeros e fibras sintéticas; e até mesmo a pintura de barcos e navios, que apesar de serem feitas para resistir à degradação pela luz solar, podem degradar com o tempo (Hale, 2020).

Roupas e tecidos produzidos com fibras sintéticas, como poliéster, poliuretano ou nylon, liberam grandes quantidades de microfibras quando são sujeitos à lavagem – experimentos realizados por Browne (2011) utilizando máquinas de lavar roupas domésticas demonstraram que uma única peça de roupa é capaz de liberar mais de 1.900 pedaços de fibra por lavagem. Um estudo realizado em lavanderias têxteis industriais em Goiânia estimou que em média, uma lavanderia pode liberar na rede de esgoto cerca de 30 milhões de fragmentos de fibras num único dia, a depender da quantidade de peças lavadas (Silva et al, 2021).

Como mencionado, algumas atividades como o desgaste de pneus, lavagem de tecidos sintéticos ou produtos contendo microplásticos primários fazem com que grandes quantidades dessas partículas acabem caindo na rede de esgoto; esse por sua vez pode ser em alguns casos lançado diretamente no ambiente, levando consigo essas partículas, ou tratado em estações de tratamento de esgoto (ETEs). As ETEs normalmente não são projetadas para reter microplásticos, que podem permanecer no efluente em altas concentrações após o tratamento (Jiang et al, 2019). Esses efluentes muitas vezes são despejados em corpos d'água e acabam contaminando-os. Além disso, a outra parcela dos microplásticos fica retida no lodo de esgoto, que é comumente utilizado como adubo para agricultura, contaminando o solo. Outras práticas agrárias também utilizam materiais plásticos – cerca de 6,5 milhões de toneladas por ano no mundo (Atlas do Plástico, 2020) - que liberam micropartículas no solo; esses por sua vez são capazes de penetrar e alcançar camadas mais baixas por ação da chuva, de organismos ou se o solo for arado, podendo até mesmo contaminar corpos d'água subterrâneos (Thompson, 2015).

Os estudos a respeito dos microplásticos avançaram bastante desde as últimas décadas, porém o conhecimento sobre a contribuição de cada fonte de microplásticos ainda é bastante limitada, sendo difícil determinar quais são mais impactantes em algumas matrizes ambientais (Thompson e Law, 2014). Entretanto, acredita-se que o desgaste de pneus, despejo de plásticos e a degradação de tintas sejam, respectivamente, os três maiores contaminantes de microplásticos em águas superficiais (OSPAR, 2017).

3 OS MICROPLÁSTICOS NO AMBIENTE

Os microplásticos são considerados onipresentes e parecem contaminar todas as matrizes ambientais do planeta, sejam terrestres ou aquáticas. Os mecanismos de transporte de partículas microplásticas, pela ação dos ventos, das chuvas e de correntes marítimas faz com que elas cheguem a locais distantes de suas fontes e da própria ação humana (Hale, 2020).

É bastante comum utilizar a inspeção visual, com ou sem microscópio, para caracterizar os microplásticos quanto ao seu tamanho, forma, e cor, devido ao baixo custo e praticidade desse método. É possível quantificar os fragmentos microplásticos analisando uma pequena parte da amostragem e realizando métodos estatísticos para determinar sua abundância por volume de água em matrizes aquáticas ou por massa de solo em matrizes terrestres, por exemplo. Utilizam-se também diversas técnicas de caracterização química a fim de determinar a composição dos fragmentos microplásticos coletados; as mais comuns são técnicas por espectroscopia vibracional – como espectroscopia no infravermelho ou Raman; outras técnicas utilizadas são o teste de ponto de fusão (*hot-stage melting* ou *hot needle*), pirólise, análise termogravimétrica, entre outras. A escolha da técnica de caracterização é de extrema importância e leva em consideração o contexto dos estudos realizados – o compartimento ambiental analisado, os instrumentos aos quais os pesquisadores têm acesso, os objetivos do estudo, etc.

É válido ressaltar que as características físicas dos polímeros plásticos, principalmente sua densidade, influenciam em sua distribuição na coluna d'água; dessa forma, as partículas são encontradas em diferentes profundidades no oceano e por isso interagem com diversos ecossistemas e espécies de animais marinhos – peixes, baleias, tartarugas, organismos bentônicos, entre outros (Lusher, 2015).

Matrizes ambientais no Brasil e em diversos países foram amplamente estudadas pela comunidade científica a fim de avaliar a incidência e impactos da contaminação por microplásticos. Um estudo coletou amostras de sedimentos em praias na Baía da Guanabara, no Rio de Janeiro, onde encontraram concentrações de microplásticos variando entre 12 e 1300 partículas/m²; microplásticos totalizaram 56% do total de rejeitos, sendo fragmentos de isopor (26,7%), pellets (9,9%) e fibras (7,2%) os mais comuns (de Carvalho e Neto, 2016).

Outro estudo também buscou avaliar a incidência de microplásticos em sedimentos na praia de Paranapuã, que fica numa área de proteção. Foram

coletadas 127 amostras de sedimentos durante um ano, entre fevereiro de 2014 e fevereiro de 2015; e apesar de ser um local com acesso restrito à população, todas as amostras coletadas continham microplásticos, em sua maioria fragmentos de PE e PP (Pena et al, 2016).

Em ambientes de água doce, Eriksen et al (2013) verificaram a quantidade de microplásticos presentes nos Grandes Lagos da América do Norte e os encontraram em concentrações médias de 43.000 partículas/km²; ademais, amostras coletadas em regiões próximas a duas grandes cidades as concentrações chegaram a 466.000 partículas/km². Estudos realizados por Zhang et al (2017) encontraram concentrações entre $0,55 \times 10^5$ e 342×10^5 partículas microplásticas/km² em águas superficiais do Rio Xiangxi, na China; foram analisadas também amostras de sedimentos próximos ao rio, cujas concentrações de microplásticos variaram entre 80 e 864 partículas/m². Dentre as partículas, as mais abundantes eram de PE, PP e PS nas águas superficiais e PE, PP e PET nos sedimentos.

Em ambientes terrestres, Fuller e Gautam (2016) analisaram amostras de solo em regiões industriais em Sydney, na Austrália; eles encontraram aproximadamente 4g/kg de solo. Bergmann et al (2019) analisaram amostras de neve em duas regiões: uma remota, nos Alpes Suíços, e outra em áreas populosas, em Bremen, na Bavaria. Na última, eles encontraram maiores concentrações de microplásticos, entre $0,191 \times 10^3$ e 154×10^3 partículas/L; na neve dos Alpes, as concentrações variaram entre 0 e $14,4 \times 10^3$. Mais de 80% das partículas eram menores que 25 µm e as mais abundantes foram de borracha, PE e PA. Um estudo realizado por Napper et al (2020) encontrou microplásticos, em sua maioria poliésteres, em amostras de neve do monte Everest em concentrações variando de 3 a 119 partículas/L. Esses estudos destacam a onipresença dos microplásticos e como os impactos da ação humana conseguem alcançar até mesmo áreas remotas.

3.1 Preocupações em relação aos microplásticos

Existe preocupação relacionada ao fato de os microplásticos serem capazes de adsorver compostos tóxicos como poluentes orgânicos persistentes (POPs) – dicloro difenil tricloroetano (DDT), bifenilos policlorados, entre outros – (Teuten et al, 2009) e até mesmo metais, como cádmio, cobre e chumbo (Holmes et al, 2014). De acordo com Andrady (2011), POPs ocorrem universalmente em águas oceânicas em concentrações muito baixas, mas por causa de sua hidrofobicidade e também

pela elevada área superficial de microplásticos, suas concentrações nessas partículas podem superar em várias ordens de grandeza as concentrações encontradas nas águas. Além de compostos tóxicos adsorvidos, os microplásticos também podem conter aditivos prejudiciais à saúde. Estudos realizados em animais relataram danos a seus sistemas imune e endócrino quando expostos à aditivos comumente utilizados em plásticos – ftalatos, bisfenol A (BPA), éteres difenílicos polibromados (PBDE) e tetrabromobisfenol (TBBPA) (Talsness et al, 2009). Outro estudo realizou ensaios ecotoxicológicos numa espécie de mexilhão utilizando pellets virgens e de microplásticos coletados em sedimentos de praia. Os pellets virgens apresentaram toxicidade significativamente inferior em relação às partículas coletadas, possivelmente devido à presença de compostos tóxicos adsorvidos; entretanto, ambas afetaram o desenvolvimento embriolarval do mexilhão, o que poderia colocar em risco sua população (Pena, 2016).

3.2 Interações com organismos

Devido a seu pequeno tamanho e por estarem presentes em diversas matrizes ambientais, os microplásticos são capazes de interagir com espécies de diferentes níveis tróficos - organismos filtradores, peixes, tartarugas, entre outros (Wright et al, 2013); dessa forma, existe a possibilidade de bioacumulação e biomagnificação das próprias partículas e de compostos nocivos como aditivos e POPs em diversas espécies; bioacumulação se refere ao acúmulo de uma substância num organismo pela ingestão ou respiração; a bioacumulação e subsequente transferência de contaminantes pode resultar em biomagnificação, definida pelo aumento da concentração de contaminantes em um organismo se comparado a suas presas (Miller e Kroon, 2020). Quanto a transferência de partículas na cadeia alimentar, Lwanga et al (2017) avaliaram a presença de microplásticos no solo, em minhocas e nas fezes de galinhas em quintais no México. As análises mostraram que a concentração de partículas aumentou próximo de 10 vezes entre solo (0,87 partículas/g), minhocas (14,8 partículas/grama) e fezes de galinha (130 partículas/g), reforçando os potenciais efeitos de biomagnificação dos microplásticos; ademais, a presença de microplásticos em solos pode alterar a respiração microbiana residente e processos enzimáticos (Yang et al, 2018).

A ingestão é a interação mais provável dos microplásticos com organismos vertebrados, podendo causar bloqueio do trato digestivo, úlceras, causar perda das

capacidades reprodutivas, impedir ou dificultar a alimentação, contaminar tecidos e possivelmente até a morte (Gregory, 2009). Em organismos invertebrados, interações com microplásticos podem causar diminuição da alimentação, redução do crescimento, contaminar tecidos e prejudicar a reprodução (Galgani et al, 2010).

Existem diversos estudos que relatam as interações de microplásticos com organismos, especialmente em ambientes marinhos. Segundo relatório da Secretaria da Convenção sobre Diversidade Biológica e Assessoria Científica e Técnica todas as espécies de tartarugas conhecidas e 20% das espécies de aves marinhas foram afetadas por emaranhamento ou ingestão de resíduos, sendo que 80% dos impactos foram associados com resíduos plásticos (SCBD, 2012). Em outro estudo, foram analisados anfípodes da família *Lysianassoidea* em 6 profundas fossas oceânicas ao redor da costa do pacífico; 72% dos organismos continham microplásticos em seus tratos digestórios, em sua maioria de nylon ou poliamida, PE e PA (Jamieson et al, 2019). Embora os riscos associados aos microplásticos foram recentemente reconhecidos, seus múltiplos impactos nos ecossistemas ainda são pouco compreendidos, dada a sua grande complexidade (Löder e Gerdts, 2015).

3.3 Microplásticos e a saúde humana

Seres humanos estão expostos à microplásticos de muitas formas – seja comendo organismos contaminados, como mexilhões ou crustáceos, através de produtos de consumo, da água e até mesmo ao respirar – simplesmente não há como escapar.

Estudo realizado por Yang et al (2015) analisaram 15 diferentes marcas de sal de cozinha na China, as quais todas continham microplásticos. Marcas que utilizam sais do mar mostraram maiores concentrações de microplásticos, entre 550 e 681 partículas/kg; já em sais que vem de pedras as concentrações variaram entre 7 e 204 partículas/kg; partículas de PET e PE foram as mais abundantes. No Equador, foram analisadas amostras de mel, leite, cerveja e de outras bebidas; em todas as amostras analisadas havia presença de microplásticos, em sua maioria PE, PP e poliacrilamida; as concentrações variaram entre 10 e 100 partículas/L, com média de 40 partículas/L (Diaz-Basantes et al, 2020).

Um estudo realizado no Brasil, analisou amostras de água bruta e potável no Rio dos Sinos, que fica no Rio Grande do Sul e abastece os lares de 1,3 milhões de habitantes, aproximadamente. As concentrações encontradas em amostras de água

bruta foram em média de 330,2 partículas/L, contra 105,8 partículas/L em amostras de água potável – uma redução de quase 70% (Ferraz et al, 2020).

Outros estudos avaliaram a presença de microplásticos no ar. Dris et al (2016) observaram uma precipitação média de 110 partículas/m² por dia em regiões urbanas na França, em sua maioria de fibras sintéticas e naturais em proporções parecidas. Na China, foram analisadas amostras de poeira em ambientes dentro de casas e ao ar livre em cidades e determinou-se que a exposição nos ambientes fechados é superior. Também se estimou que o número de partículas inaladas pelas pessoas variava entre 64,1 e 889 partículas/kg de peso corporal por dia, variando principalmente de acordo com o tempo em que as pessoas passam em ambientes fechados. Dessa forma, o estudo mostra que bebês e crianças são os mais expostos aos microplásticos por passarem a maior parte do tempo em casa (Liu et al, 2019).

Outro estudo recente encontrou nanoplásticos e microplásticos (> 700 nm) na corrente sanguínea de humanos. Ao todo, amostras de 22 voluntários foram analisadas, das quais 17 continham microplásticos – o equivalente a 77% das amostras. Os polímeros buscados foram PMMA, PP, PS, PE e PET – o PET foi o polímero mais encontrado (em 50% de todas as amostras), seguido por PS (36%), PE (23%) e PMMA (5%); PP não foi medido em nenhuma amostra (Leslie et al, 2022). Além disso, segundo estudos realizados pela WWF (2019), uma pessoa pode ingerir em média 5 g de plásticos em uma semana, o equivalente a um cartão de crédito. Esses estudos demonstram o nível em que estamos expostos à ingestão e à inalação de microplásticos sem nem sabermos.

Por fim, embora exista claras evidências da exposição de humanos aos contaminantes microplásticos, seus impactos à saúde humana ainda não foram plenamente compreendidos (Rochman, 2016).

3.4 Desafios analíticos

Existem diversos desafios analíticos que permeiam os estudos da temática dos microplásticos. Um deles está relacionado à dificuldade na coleta de amostras, uma vez que os microplásticos estão presentes no ar e a contaminação cruzada é extremamente facilitada (Hale, 2020). Além disso, nota-se também a falta, até mais recentemente, de protocolos e métodos oficiais para a coleta e análise de amostras de microplásticos em matrizes ambientais; embora já existissem algumas diretrizes

não oficiais, como por exemplo as fornecidas pela NOAA em 2015 (Masura et al, 2015). Dessa forma, existe dificuldade na comparação de resultados entre estudos. Apenas em 2020, com a publicação da norma ISO/TR 21960:2020, que os métodos de detecção, análise e amostragem foram oficialmente protocolados – porém a norma tem como principal incumbência tratar de matrizes aquáticas. Isso nos leva a outra questão – os estudos até então foram bastante focados em ambientes de água, especialmente marinhos (Hale, 2020). Isso acaba sendo um problema, uma vez que ambientes terrestres podem potencialmente ser mais prejudicados pela contaminação de microplásticos; a respeito disso, o Atlas do Plástico (2020) aponta que a poluição plástica no solo pode ser de 4 a 23 vezes maior que nos mares.

4 O COMBATE À CONTAMINAÇÃO DOS MICROPLÁSTICOS

Tendo em vista a crescente utilização de produtos plásticos ao redor do mundo, especialmente de uso único, e que trazem consigo impactos imensuráveis a diversos ecossistemas e à saúde humana e de animais, existem hoje uma série de iniciativas, públicas e privadas, nacionais e internacionais, que visam combater a contaminação de plásticos e microplásticos em nosso planeta e atuam sob diversos escopos. A começar por algumas iniciativas direcionadas a contaminação de plásticos de uma maneira geral, o CNPq em conjunto com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações recentemente publicou em 2022 um edital com a proposta de apoiar projetos de pesquisa que visem contribuir para o desenvolvimento científico e tecnológico e a inovação em consonância com o Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar (PNCLM). Os objetivos centrais do edital são dois:

1. “Desenvolver diagnóstico e estratégias tecnológicas para combater a poluição no mar e ambientes marinhos causada pelo plástico e seus subprodutos em consonância com o Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar – PNCLM.”
2. “Promover ações de educação, popularização e/ou divulgação científica para diferentes tipos de público, alcançando amplos setores da sociedade em articulação com especialistas, grupos e instituições que atuam nas áreas de educação formal e não formal.”

O edital demonstra a preocupação de órgãos públicos e de fomento à pesquisa com a contaminação de plásticos e reforça a importância não somente de

estratégias tecnológicas, mas também da conscientização e divulgação pública sobre a temática (CNPq/MCTI-FNDCT CT-Petro Nº43/2022).

Outro exemplo de iniciativa é representado pela fundação sem fins lucrativos “The Ocean Cleanup”, cujo propósito é o de desenvolver tecnologias em larga escala a fim de eliminar a contaminação de plásticos do oceano. O objetivo central da organização é ambicioso: remover 90% dos plásticos flutuantes no oceano até 2040. Segundo eles, isso seria possível pois as correntes marítimas movem os plásticos presentes na superfície, gerando pontos de concentração ou “*hot spots*”, possíveis de serem localizados através de modelamento computacional. Utilizando uma enorme rede puxada por dois barcos, eles capturariam esses resíduos plásticos, desde objetos grandes até pequenos, com poucos milímetros, para posterior reciclagem. Protótipos em grande escala já estão em funcionamento e foram capazes de remover dezenas de toneladas de plástico do oceano (The Ocean Cleanup; Yahoo News, 2022).

Outras iniciativas se baseiam mais especificamente a redução da contaminação por microplásticos, como a empresa “Environmental Enhancements” que comercializa filtros destinados a reter microfibras em máquinas de lavar domésticas (Environmental Enhancements); outro é o programa “Operation Clean Sweep”, que promove boas práticas e diretrizes em parceria com empresas do setor plástico de forma a mitigar perdas de *pellets* durante toda a cadeia produtiva (Operation Clean Sweep).

Com a crescente preocupação ao redor da temática de microplásticos, vários países vêm banindo nos últimos anos a fabricação e comercialização de produtos com microplásticos primários, em especial de produtos cosméticos e de higiene pessoal, como cremes dentais e sabonetes esfoliantes; exemplos de países que tomaram essas medidas foram o Japão (Phys.org, 2018); o Reino Unido (Gov.uk, 2018) e os Estados Unidos (Public Law 114-114, 2015). O estado do Rio de Janeiro foi o primeiro e único estado brasileiro que até então implementou medidas nessa linha, com a aprovação do projeto de Lei 8.090/18, proibindo a produção, distribuição, comercialização e descarte de qualquer produto cosmético, de higiene pessoal e de limpeza que contenham microesferas de plástico; na esfera federal, por outro lado, ainda não há nenhuma lei que estabeleça limites nesse sentido. Outras medidas incluem o banimento por alguns estados e municípios brasileiros de

canudos e sacolas plásticas (Globo, 2020). Embora essas medidas estejam no caminho certo, nota-se que todas estão relacionadas aos microplásticos primários, que diz respeito a apenas uma pequena parcela das fontes desse tipo de contaminante no ambiente e dessa forma demonstram-se insuficientes para conter seu avanço.

5 A PERCEPÇÃO AMBIENTAL RELACIONADA AOS MICROPLÁSTICOS

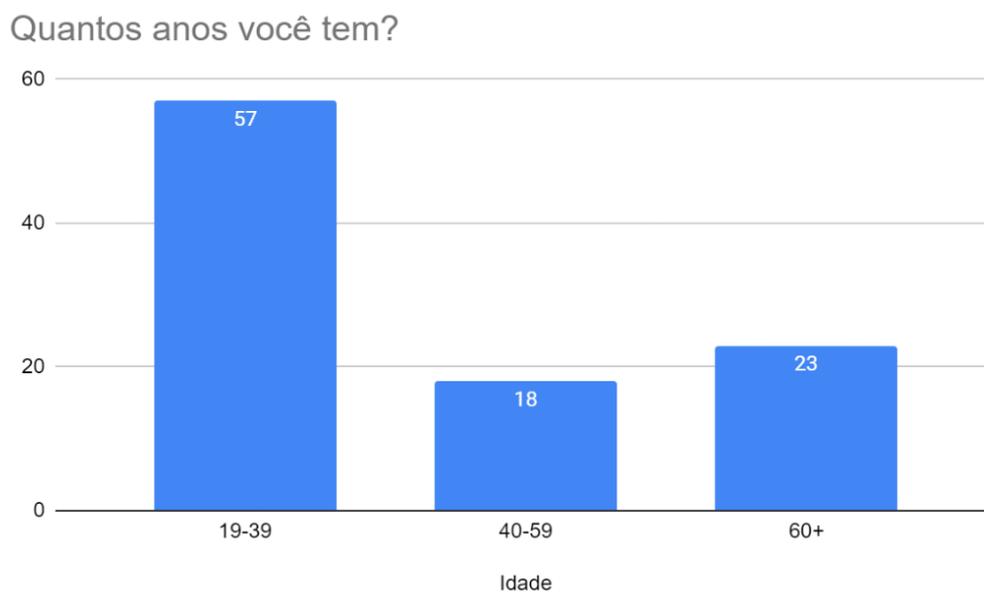
A percepção ambiental é um instrumento essencial na reconstrução de valores e desperta a consciência das pessoas, de forma a movimentar ações frente a problemas ambientais (Palma, 2005). Sob essa perspectiva, foi realizada uma pesquisa *online* com o objetivo de avaliar a percepção da população quanto a temática dos microplásticos. A coleta de dados foi feita entre agosto e setembro de 2022, através da ferramenta “*Google Forms*”; o questionário continha 10 perguntas fechadas, descritas abaixo:

1. Quantos anos você tem?
2. Qual seu nível de escolaridade?
3. Em que cidade/estado você mora?
4. Qual a sua área de atuação profissional ou de estudos?
5. Você conhece o termo “microplástico”?
6. Se sim, de que forma tomou conhecimento sobre microplásticos?
7. Você acha que seu lixo gera microplásticos?
8. Existe coleta seletiva na região onde você mora?
9. Em sua residência, você separa o lixo comum do reciclável?
10. Você acha que deveriam existir mais ações e políticas de conscientização e combate aos microplásticos?

5.1 Resultados e discussões

Foram coletadas ao total 98 respostas ao questionário. A maior parte do público entrevistado tinha entre 19 e 39 anos (58,2%); seguido por mais de 60 anos (23,4%) e por fim entre 40 e 69 anos (18,3%) (Figura 6)

Figura 6 – gráfico da quantidade de pessoas entrevistadas por faixa etária

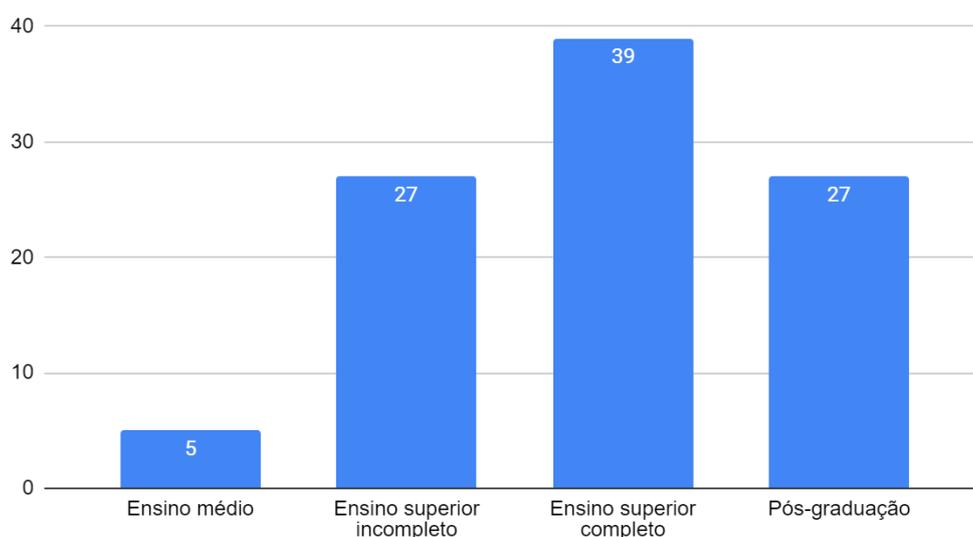


Fonte: Autor.

Quanto ao nível de escolaridade, 5% completaram até o ensino médio; 27,5% responderam ensino superior incompleto; 39,8% possuem ensino superior completo; 27,6% responderam ter pós-graduação (Figura 7)

Figura 7 – gráfico das pessoas entrevistadas por nível de escolaridade

Qual seu nível de escolaridade?

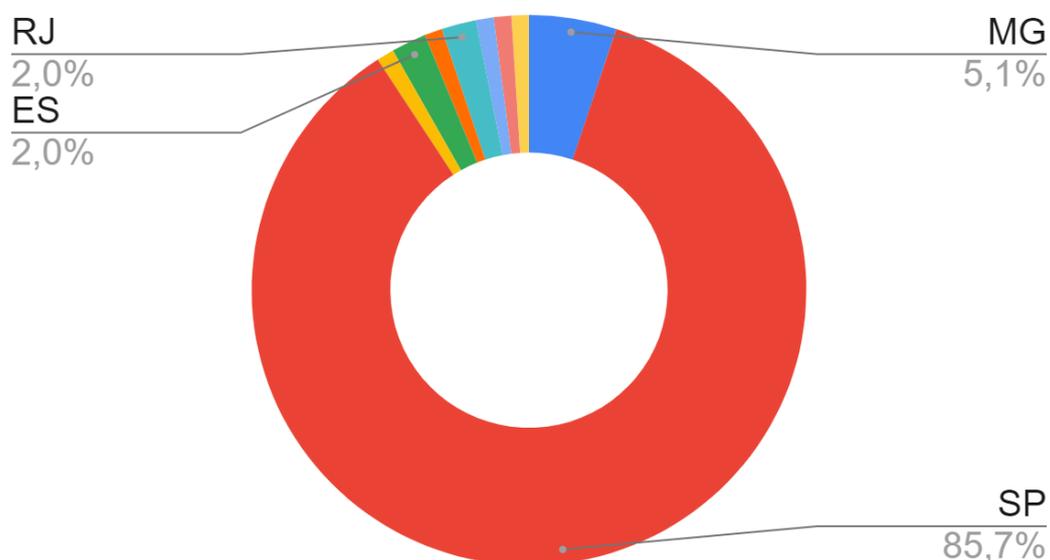


Fonte: Autor.

Sobre a região onde moram, a grande maioria é do estado de São Paulo (85,7%), seguido de Minas Gerais (5,1%) e em seguida outros estados (Figura 8).

Figura 8 – gráfico das pessoas entrevistadas por estado em que residem

Em que cidade/estado você mora?



Fonte: Autor.

A respeito da área de atuação profissional ou de estudos, 23,5% são da área de exatas; 15,3% da área ambiental; 15,3% da área de humanas; 17,3% são da área de tecnologia; 5,1% da área da saúde e 23,5% são de outras áreas (Figura 9).

Figura 9 – gráfico das pessoas entrevistadas pela área profissional ou de estudos



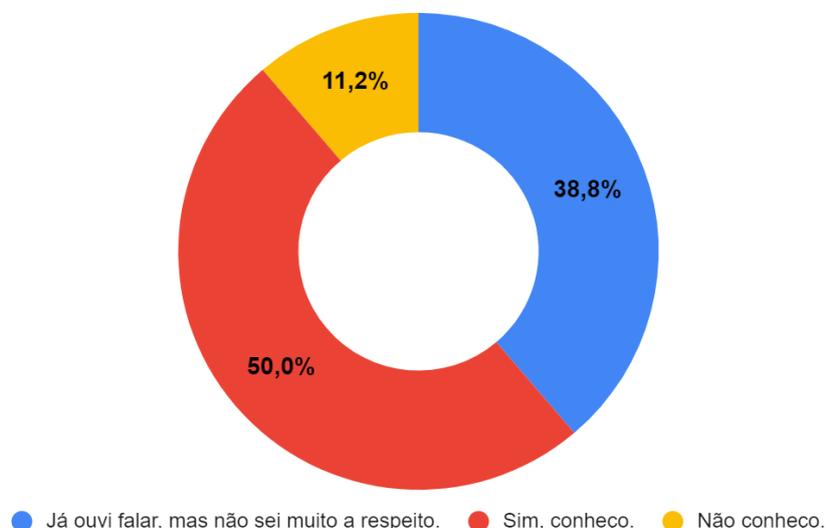
Fonte: Autor.

Metade das pessoas que responderam dizem conhecer o termo “microplástico”; 38,8% já ouviram falar, mas não conhecem muito a respeito – esses números mostram que o tema é bastante conhecido, embora em alguns casos de maneira superficial; por fim 11,2% dizem não conhecer o termo (Figura 10).

Figura 10 – gráfico correspondente às respostas da pergunta 5 do questionário -

“Você conhece o termo “microplástico?”

Você conhece o termo "microplástico"?



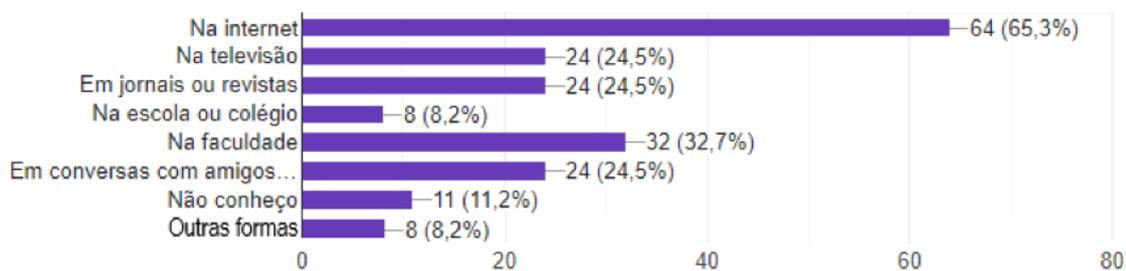
Fonte: Autor.

Quanto a pergunta “De que forma você tomou conhecimento dos microplásticos”, os participantes poderiam marcar mais de uma resposta.

O número de domicílios no Brasil com acesso à internet vêm crescendo nos últimos anos segundo a pesquisa sobre o uso das Tecnologias de Informação e Comunicação nos Domicílios brasileiros (TIC, 2021), de tal forma que esse se constitui como um dos mais influentes e efetivos meios de comunicação – nesse caso, 65,3% das pessoas souberam a respeito de microplásticos através da internet; 32,7% e 8,2% das pessoas ouviram falar na faculdade e colégio, respectivamente, o que mostra como os espaços formais de educação continuam sendo fundamentais na conscientização da população; 24,5% das pessoas também conheceram através de conversas com amigos e familiares; veículos de comunicação mais tradicionais, como a televisão, jornais e revistas ficaram no mesmo patamar, também com 24,5% das respostas (Figura 11).

Figura 11 – gráfico correspondente às respostas da pergunta 6 do questionário – “De que forma tomou conhecimento sobre microplásticos?”

De que forma tomou conhecimento sobre microplásticos?

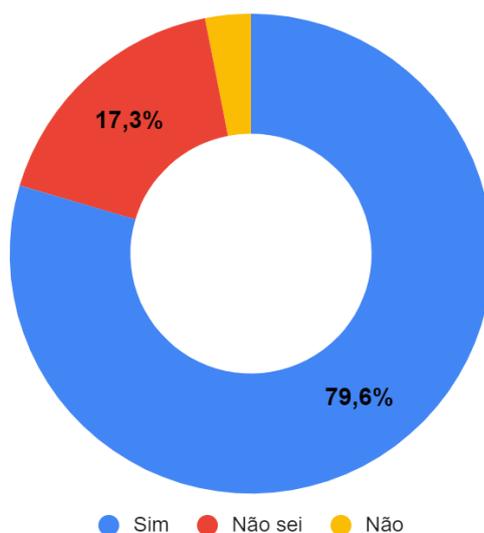


Fonte: Autor.

Sobre as pessoas acharem que seu lixo gera microplásticos que afetam o meio ambiente, a maioria respondeu positivamente (79,5%), mostrando que têm consciência disto; 17,3% das pessoas não sabem e 3% dizem que não (Figura 12).

Figura 12 - gráfico correspondente às respostas da pergunta 7 do questionário – “Você acha que seu lixo gera microplásticos que afetam o meio ambiente?”

Você acha que seu lixo gera microplásticos que afetam o meio ambiente?



Fonte: Autor.

73,5% das pessoas dizem haver coleta seletiva na região onde moram, 26,5% dizem que não há; a grande maioria das pessoas separa o lixo comum do reciclável (87,8%), reforçando a consciência ambiental dos entrevistados; enquanto apenas 12,2% não separam o lixo (Figura 13).

Figura 13 – gráfico correspondente às respostas das perguntas 8 e 9 do questionário, respectivamente – “Existe coleta seletiva na região onde você mora?” e “Em sua residência, você separa o lixo comum do reciclável?”

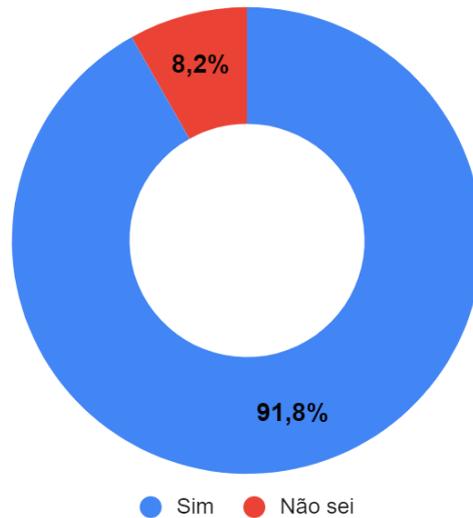


Fonte: Autor.

91,8% das pessoas acreditam que deveriam existir mais ações e políticas de conscientização e combate aos microplásticos, enquanto 8,2% não sabem (Figura 14).

Figura 14 – gráfico correspondente às respostas da pergunta 10 do questionário – “Você acha que deveriam existir mais ações e políticas de conscientização e combate aos microplásticos”

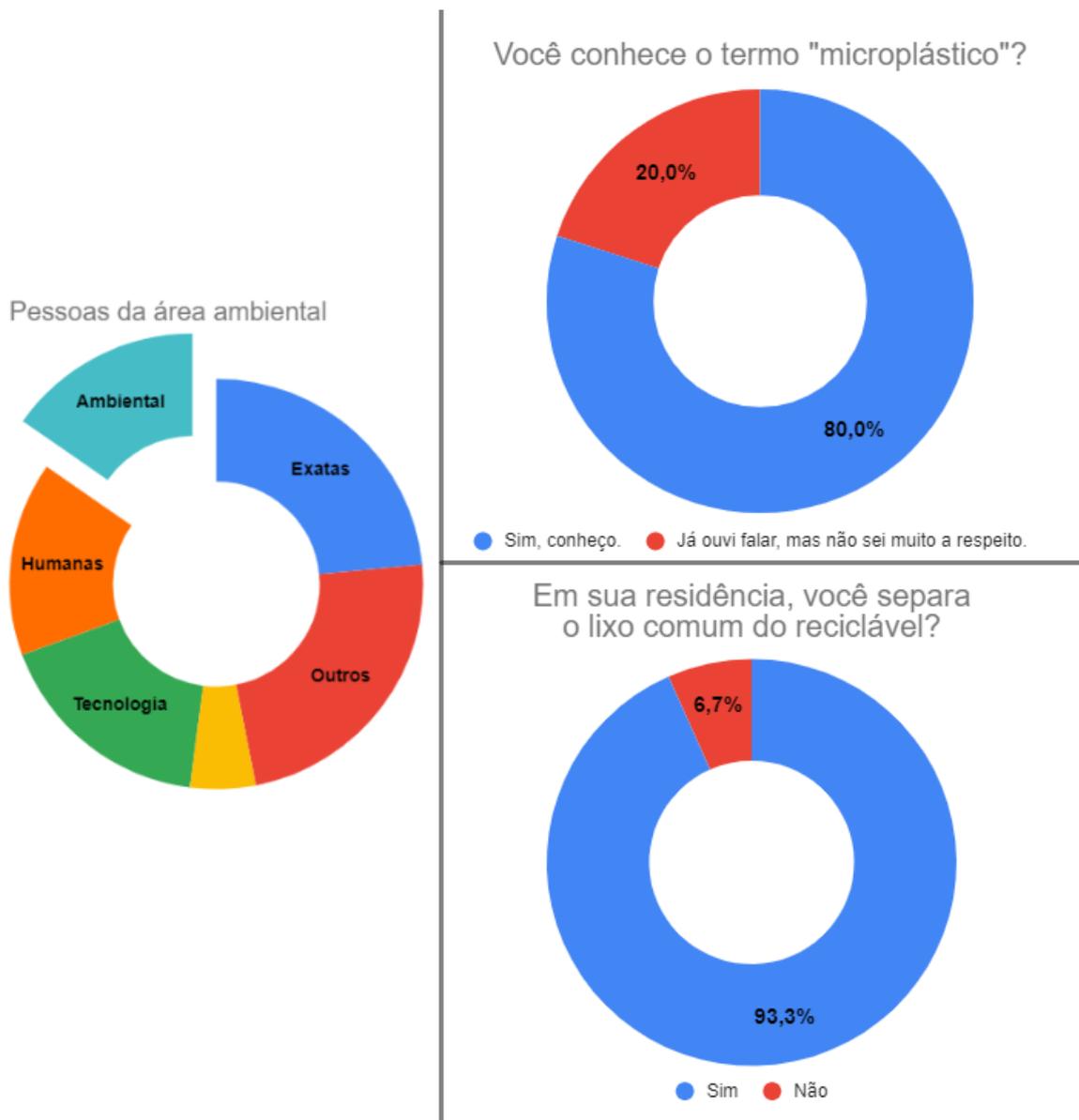
Você acha que deveriam existir mais ações e políticas de conscientização e combate aos microplásticos?



Fonte: Autor.

A respeito das pessoas relacionadas à área ambiental, as quais se imagina que tenham mais consciência em relação ao meio ambiente, todas conhecem (80%) ou ao menos já ouviram falar sobre microplásticos (20%); além disso, a grande maioria separa o lixo comum do reciclável (93,3%), apenas 6,7% não separam (Figura 15).

Figura 15 – respostas das pessoas da área ambiental a respeito das perguntas 5 e 9 do questionário

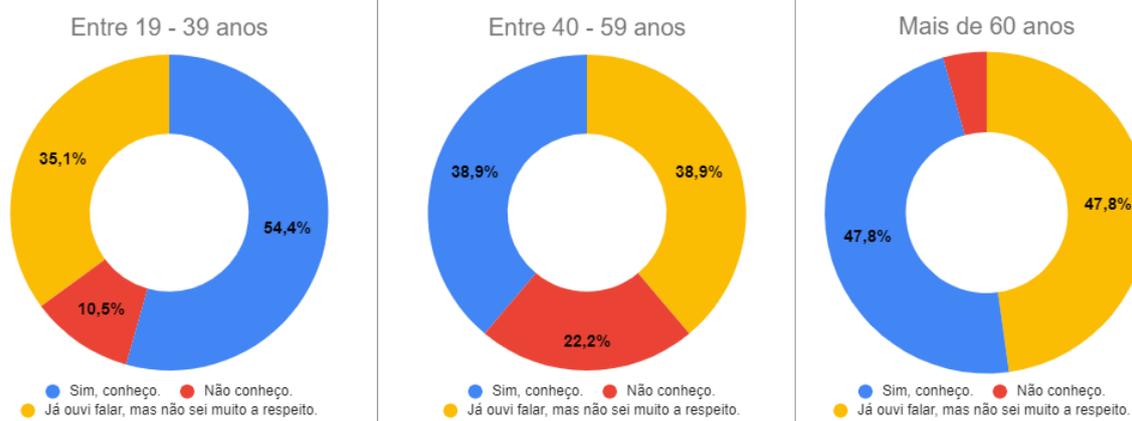


Fonte: Autor.

Por fim, observando mais detalhadamente sobre o conhecimento a respeito do termo “microplástico” de acordo com a idade dos participantes, nota-se que a proporção entre as respostas não variou de maneira significativa, evidenciando que o conhecimento a respeito do tema, por quaisquer meios de comunicação, está sendo difundido de maneira quase homogênea e chega até pessoas de diferentes faixas etárias. (Figura 16)

Figura 16 – respostas à pergunta 5 do questionário de acordo com a faixa etária

Em resposta à pergunta: Você conhece o termo "microplástico"?



Fonte: Autor.

Em suma, nota-se que a grande maioria dos entrevistados conhece ou ao menos já ouviu falar de microplásticos, com 88,8% dos entrevistados, e também faz a separação do lixo comum do reciclável (87,8%) – números que demonstram certo nível de consciência ambiental nos entrevistados, não só a respeito do conhecimento em si, mas também de maneira prática. Outro dado que reforça essa ideia é de que a maioria dos entrevistados acredita que deveriam existir mais ações e políticas de conscientização e combate aos microplásticos (91,8%).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A temática dos microplásticos como contaminantes e seus efeitos sobre o

planeta trouxeram um enorme reconhecimento da comunidade científica e da sociedade como um todo nos últimos anos, demonstrado pelo aumento no número de publicações científicas e pela ampla divulgação a respeito do tema em diversos meios de comunicação como a internet, televisão, jornais e revistas. Atualmente, os microplásticos são considerados contaminantes onipresentes – se encontram em praticamente todas as matrizes ambientais, diversos produtos que consumimos e até no ar que respiramos, de maneira que eles representam como a ação humana é capaz de causar efeitos numa escala global.

Nós vivemos hoje numa sociedade bastante dependente dos plásticos e é irrealista pensar que isso poderia ser mudado facilmente. As iniciativas contra a contaminação plástica se mostram insuficientes, uma vez que o volume de plástico produzido e de resíduos plásticos que atingem o ambiente não para de crescer. Através da conscientização ambiental devemos, como sociedade, repensar a nossa relação com esse material de maneira que se torne mais sustentável – utilizando menos produtos descartáveis, desenvolvendo sustentáveis, reinserindo os resíduos na cadeia produtiva, impulsionando iniciativas de larga escala e estruturando medidas mais rígidas e compatíveis com o problema que estamos lidando.

No futuro, os estudos relacionados aos microplásticos devem se concentrar para entender algumas questões que hoje não são plenamente elucidadas: avaliar as complexas interações deles com os ecossistemas e seus impactos, em especial em ambientes terrestres onde os estudos não estão tão avançados e por potencialmente haver mais contaminação; entender os efeitos da exposição dos microplásticos à saúde humana; entender melhor as fontes e mecanismos de transporte dos microplásticos a fim de mitigar sua contaminação; e por fim compreender melhor os mecanismos de degradação para saber o que acontece com os microplásticos – se eles persistem indefinidamente no ambiente ou se eles se tornam mais vulneráveis à degradação biológica e física a medida que se quebram e aumentam sua área superficial, sendo ao final extinguidos do ambiente.

REFERÊNCIAS

Teles, D. B.; Vianna, M.; Montenegro, M. Atlas do Plástico, Rio de Janeiro, 2020, p

1-60. Disponível em: <https://br.boell.org/pt-br/2020/11/29/atlas-do-plastico>. Acesso em 30 de julho de 2022.

Cole, M.; Lindeque, P.; Halsband, C.; Galloway, T. S. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review, em *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 62, Issue 12, pp. 2588–2597). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>. Acesso em 15 de agosto de 2022.

IEA. World Energy Outlook, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>. Acesso em 26 de agosto de 2022.

Geyer, R.; Jambeck, J. R.; Law, K. L.; Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 2017, vol. 3. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1700782>>. Acesso em 30 de julho de 2022.

Thompson, R. C. Plastic debris in the marine environment: Consequences and solutions. *Marine Nature Conservation in Europe*, vol. 1, p. 107–115. Alemanha, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/278328811_Marine_Nature_Conservation_in_Europe_2006_Proceedings_of_the_Symposium_May_2006>. Acesso em 30 de julho de 2022.

Hale, R. C., Seeley, M. E., la Guardia, M. J., Mai, L., & Zeng, E. Y. A Global Perspective on Microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 125, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2018JC014719>>. Acesso em 27 de junho de 2022.

Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., et al. Plastic pollution in the world's oceans: More than 5 Trillion plastic pieces

weighing over 250,000 tons afloat at sea. PLoS ONE, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/269396691_Plastic_Pollution_in_the_World's_Oceans_More_than_5_Trillion_Plastic_Pieces_Weighing_over_250000_Tons_Afloat_at_Sea>. Acesso em 25 de Agosto de 2022.

Andrady, A. L. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 62, Issue 8, p. 1596–1605, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>>. Acesso em 30 de julho de 2022.

de Carvalho, D. G.; Neto, J. A. B.; Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil. *Ocean & Coastal Management* 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096456911630059X?via%3Dihub>>. Acesso em 25 de agosto de 2022.

Eriksen M.; Mason S.; Wilson, S.; Box C.; Zellers A.; Edwards W.; Farley H.; Amato. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 77, p 177-182, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X13006097>>. Acesso em 25 de Agosto de 2022.

Zhang, K., Xiong, X., Hu, H., Wu, C., Bi, Y., Wu, Y., et al. Occurrence and characteristics of microplastic pollution in Xiangxi Bay of Three Gorges Reservoir, China. *Environmental Science & Technology*, vol. 51, 3794–3801, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00369>>. Acesso em 23 de agosto de 2022.

Jamieson, A. J., Brooks, L. S. R., Reid, W. D. K., Piertney, S. B., Narayanaswamy, B. E., & Linley, T. D. Microplastics and synthetic particles ingested by deep-sea

amphipods in six of the deepest marine ecosystems on Earth. *Royal Society Open Science*, vol. 6, p. 1–11, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1098/rsos.180667>>. Acesso em 24 de agosto de 2022.

Napper, I. E.; Bakir, A.; Rowland, S. J.; Thompson, R. C. Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 99, p. 178, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332220305509>>. Acesso em 22 de julho de 2022.

Richardson, S.; Kimura, S. Water analysis: emerging contaminants and current issues. *Analytical Chemistry*, vol. 92, p. 473-505, 2016. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.analchem.5b04493?casa_token=FAldpe9kX4AAAAA:qIXZmKnLo7T_Dns7bSTXv3LjCjb5Mo3MPO2A2wpdutTNabwJVavffLZJS2EwkNzNp7_s755oYF7e2jA>. Acesso em 22 de julho de 2022.

Powell, J. T., Jain, P., Smith, J., Townsend, T. G., & Tolaymat, T. M. Does disposing of construction and demolition debris in unlined landfills impact groundwater quality? Evidence from 91 Landfill Sites in Florida. *Environmental Science and Technology*, vol. 49, p. 9029–9036, 2015. Disponível em: <<http://doi.org/10.1021/acs.est.5b01368>>. Acesso em 30 de julho de 2022.

Andrady, A. L. The plastic in microplastics: A review. Em *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 119(1), p. 12–22, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/316453454_The_plastic_in_microplastics_A_review>. Acesso em 02 de agosto de 2022.

Arthur, C., Baker, J. & Bamford, H. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Micro-plastic Marine Debris,

September 9–11, NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30, 2009. Disponível em: <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/2509/noaa_2509_DS1.pdf>. Acesso em 30 de julho de 2022.

Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E. L., Tonkin, A., & Galloway, T., et al. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science and Technology*, 45, 9175–9179. Disponível em: <https://www.plasticsoupfoundation.org/wp-content/uploads/2015/03/Browne_2011-EST-Accumulation_of_microplastics-worldwide-sources-sinks.pdf>. Acesso em 20 de julho de 2022.

Chamada CNPq/MCTI-FNDCT CT-Petro Nº 43/2022 - Combate à poluição no mar e ambientes marinhos causada pelo plástico e seus subprodutos. Disponível em: <https://www.gov.br/cnpq/pt-br/assuntos/noticias/cnpq-em-acao/cnpq-e-mcti-lancam-edital-para-selecionar-projetos-de-combate-a-poluicao-no-mar>. Acesso em 22 de julho de 2022.

Galgani, F., Fleet, D., Van Franeker, J., Katsanevakis, S., Maes, T., Mouat, J., Oosterbaan, L., Poitou, I., Hanke, G., Thompson, R., Amato, E., Birkun, A., Janssen, C., 2010. In: Zampoukas, N. (Ed.), *Marine Strategy Framework Directive, Task Group 10 Report, Marine Litter*. EUR 24340 EN e 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/230736735_Marine_Strategy_Framework_Directive_Task_Group_10_Report_Marine_litter>. Acesso em 02 de agosto de 2022.

Globo. Sacolas de plástico são banidas em apenas sete estados do país, 2020. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Brasil/noticia/2020/01/sacolas-de-plastico-sao-banidas-em-apenas-sete-estados-do-pais.html>> Acesso em 25 de agosto de 2022.

Gov.uk. World-leading microbeads ban takes effect, 2018. Disponível em: <<https://www.gov.uk/government/news/world-leading-microbeads-ban-takes-effect>> Acesso

em 25 de agosto de 2022.

Yahoo News, Ocean Cleanup removes 100,000kg of plastic from gigantic pile of rubbish in Pacific, 2022. Disponível em: <https://uk.news.yahoo.com/ocean-cleanup-pacific-ocean-plastic-great-pacific-garbage-patch-152458625.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAFmj6CNpMoWal-uGunsOxRhRvRq4zT-pWr_XVBBpTNL7T5f6HItJK31gkyKfSZqilhr-fVeGI9WpHmXoP2ZYv67Lei8Vy5 - p9IRY0SWakMRdqclD_yiflhbHLusVFL8b6M846sv1_x92u4P7WkrSzmhkJDeYIkCMwP9NGhskoZ> Acesso em 25 de agosto de 2022.

Gregory, M.R., 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings e entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences 364 (1526), 2013e2025. Disponível em:<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873013/>> Acesso em 25 de julho de 2022.

JIANG, C.; YIN, L.; LI, Z.; WEN, X.; LUO, X.; HU, S.; YANG, H.; LONG, Y.; DENG, B.; HUANG, L.; LIU, Y.. Microplastic pollution in the rivers of the Tibet Plateau. Environmental Pollution, v.249, p.91-98, 2019. Disponível em: <<http://agri.ckcest.cn/file1/M00/01/D4/Csgk0TsZoneAVrXoABkiwJsRr-A485.pdf>>. Acesso em 02 de agosto de 2022.

Kole, P. J., Lohr, A. J., van Belleghem, F., & Ragas, A. M. J. (2017). Wear and tear of tyres: A stealthy source of microplastics in the environment. International Journal of Environmental Research and Public Health, 14(10). Disponível em:<<http://doi.org/10.3390/ijerph14101265>> Acesso em 02 de agosto de 2022.

Lei 8090/18, 2018. Disponível em: <<https://gov-ri.iusbrasil.com.br/legislacao/620825134/lei-8090-18-rio-de-janeiro-ri>>. Acesso em 25 de

agosto de 2022.

Rochman, C. M. The Complex Mixture, Fate and Toxicity of Chemicals Associated with Plastic Debris in the Marine Environment. Em: Bergmann, M.; Gutow, L.; Klages, M. Marine Anthropogenic Litter. Springer Open, 2015, cap. 5. Disponível em: <<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-16510-3>>. Acesso em 02 de agosto de 2022.

Thompson, R. C. Microplastics in the Marine Environment: Sources, Consequences and Solutions. Em: Bergmann, M.; Gutow, L.; Klages, M. Marine Anthropogenic Litter. Springer Open, 2015, cap. 7. Disponível em: <<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-16510-3>>. Acesso em 26 de junho de 2022.

Lusher, A. Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects. Em: Bergmann, M.; Gutow, L.; Klages, M. Marine Anthropogenic Litter. Springer Open, 2015, cap. 10. Disponível em: <<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-16510-3>>. Acesso em 26 de junho de 2022.

Lwanga, E. H., Vega, J. M., Quej, V. K., Chi, J. A., Cid, L. S., Chi, C., et al. (2017). Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. Scientific Reports, 7(1), 14,071–14,077. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-017-14588-2>>. Acesso em 25 de agosto de 2022.

Löder, M. G. e Gerdt, G. Methodology Used for the Detection and Identification of Microplastics – A Critical Appraisal. Em: Bergmann, M.; Gutow, L.; Klages, M. Marine Anthropogenic Litter. Springer Open, 2015, cap. 8. Disponível em: <<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-16510-3>>. Acesso em 26 de junho de 2022.

Miller M. E., Hamann M., Kroon F. J. Bioaccumulation and biomagnification of

microplastics in marine organisms: A review and meta-analysis of current data. PLoS One. 2020 Oct 16;15(10):e0240792. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7567360/>>. Acesso em 02 de agosto de 2022.

Operation Clean Sweep. Disponível em: <<https://www.opcleansweep.org>>. Acesso em 26 de agosto de 2022.

OSPAR Commission. (2017). Assessment document of land-based inputs of microplastics in the marine environment. pp. 74. Disponível em: <<https://www.ospar.org/documents?v=38018>>. Acesso em 25 de agosto de 2022.

Palma, I. R. Análise da percepção ambiental como instrumento ao planejamento da educação ambiental, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7708/000554402.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 30 de agosto de 2022.

Pena, P., Silva, G. E., & Carlos, S. (2016). Contaminação e toxicidade de microplásticos em uma área de proteção marinha costeira. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, 2016. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-27092016-084059/pt-br.php>>. Acesso em 25 de agosto de 2022.

Pereira, F. C. (2014). Microplásticos no Ambiente Marinho: Mapeamento das fontes e identificação dos mecanismos de gestão para minimização da perda de pellets plásticos. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21134/tde-30032015-150240/pt-br.php#:~:text=Micropl%C3%A1sticos%20no%20ambiente%20marinho%3A%20mapeament%20o,e%20identifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20mecanismos...&text=Atualmente%2C%20a%20polui%C3%A7%C3%A3o%20marinha%20por,degrada%C3%A7%C3%A3o%20que%20estes%20materiais%20possuem.>> . Acesso em 30 de julho de 2022.

Phys.org, Japan passes anti-plastic law but with no sanctions. Disponível em: <<https://phys.org/news/2018-06-japan-anti-plastic-law-sanctions-polluters.html>>. Acesso em 25 de agosto de 2022.

Public Law 114-114, Estados Unidos, 2015. Disponível em: <<https://www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/1321/text>>. Acesso em 25 de agosto de 2022.

Rochman, C. M. (2016). The role of plastic debris as another source of hazardous chemicals in lower-trophic level organisms. In Hazardous chemicals associated with plastics in the marine environment (p. 281–295). Springer. Disponível em: <<https://rochmanlab.files.wordpress.com/2016/08/rochman-2016-springer-chapter.pdf>>. Acesso em 26 de julho de 2022.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity and Scientific and Technical Advisory Panel GEF. (2012). Impacts of marine debris on biodiversity: Current status and potential solutions (Vol. 67, p. 61). Montreal. Disponível em: <<https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-67-en.pdf>>. Acesso em 02 de agosto de 2022.

SILVA, A. B.; PIMENTA, S. M.; CAPANEMA, M. A.; ABREU, A. L. D.; VALVERDE, F. T. A.; LEMOS, G. M. C.. Análise do potencial de emissão de microplásticos por lavanderias têxteis em Goiânia e impactos potenciais. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.12, n.5, p.271-284, 2021. Disponível em: <<http://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/5581>>. Acesso em 02 de agosto de 2022.

Talsness CE, Andrade AJ, Kuriyama SN, Taylor JA, vom Saal FS. Components of plastic: experimental studies in animals and relevance for human health. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2009 Jul 27;364(1526):2079-96. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873015>>. Acesso em 25 de agosto de 2022.

Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R. U., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., et al. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364, 2027–2045. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/26293579_Transport_and_release_of_chemicals_from_plastic_to_the_environment_and_to_wildlife>. Acesso em 02 de agosto de 2022.

The Ocean Cleanup. Disponível em: <<https://theoceancleanup.com/oceans>>. Acesso em 25 de agosto de 2022.

Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., et al. (2004). Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, 304, 838. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/8575062_Lost_at_Sea_Where_Is_All_the_Plastic>. Acesso em 26 de junho de 2022.

Law, K. L., & Thompson, R. C. (2014). Microplastics in the seas. *Science*, 345, 144–145. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/263862112_Oceans_Microplastics_in_the_seas>. Acesso em 30 de julho de 2022.

UNEP Plastic in Cosmetics - Are we polluting the environment through our personal care?, 2015. Disponível em: <<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9664>>. Acesso em 24 de agosto de 2022.

Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013a). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178, 483–492. Disponível em: <<http://resodema.org/publications/publication9.pdf>>. Acesso em 30 de julho de 2022.

WWF. No Plastic in Nature: Assessing plastic ingestion from nature to people, 2019.

Disponível em:
<https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/plastic_ingestion_web_spreads.pdf>.

Acesso em 25 de agosto de 2022.

Yang, X., Bento, C. P. M., Chen, H., Zhang, H., Xue, S., Lwanga, E. H., et al. (2018). Influence of microplastic addition on glyphosate decay and soil microbial activities in Chinese loess soil. *Environmental Pollution*, 242(Pt A), 338–347. Disponível em: <<http://skl.iswc.cas.cn/zhxw/xslw/201811/P020181116567910872089.pdf>>. Acesso em 29 de julho de 2022.

Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kolandhasamy, P. (2015). Microplastic pollution in table salts from China. *Environmental science & technology*, 49(22), 13622-13627. Disponível em:
<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.5b03163?casa_token=96pcpDxQt1EAAAAA%3ABr5QiKob7zt45BL6Mb0hXz88HrBjniGyXYFNTTc6GhzZTvTR-URT-1kB1m4MXdhftNCg73qD5ia-vq8>. Acesso em 26 de agosto de 2022.

Bergmann, M., Mützel, S., Primpke, S., Tekman, M. B., Trachsel, J., & Gerdt, G. (2019). White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. *Science Advances*, 5(8). Disponível em: Disponível em:
<<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aax1157>>. Acesso em 01 de agosto de 2022.

Diaz-Basantes, M. F., Conesa, J. A., & Fullana, A. Microplastics in honey, beer, milk and refreshments in Ecuador as emerging contaminants, 2020. Disponível em:
<<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5514>>. Acesso em 25 de agosto de 2022.

Fuller, S., & Gautam, A. A Procedure for Measuring Microplastics using Pressurized Fluid Extraction, 2016. Disponível em:
<<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.6b00816>>. Acesso em 24 de agosto de 2022.

Holmes, L. A.; Turner, A.; Thompson, R. C. Interactions between trace metals and plastic production pellets under estuarine conditions, 2014. Disponível em:

<<https://civiclaboratory.files.wordpress.com/2017/07/holmes-et-al.pdf>>. Acesso em 22 de julho de 2022.

Liu, C., Li, J., Zhang, Y., Wang, L., Deng, J., Gao, Y., Yu, L., Zhang, J., & Sun, H. (2019). Widespread distribution of PET and PC microplastics in dust in urban China and their estimated human exposure. *Environment International*, 128, 116–124. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019301850>>. Acesso em 25 de agosto de 2022.

Olivatto, G. P., Carreira, R., Tornisielo, V. L., & Montagner, C. C. (2018). Microplastics: Contaminants of global concern in the Anthropocene. *Revista Virtual de Quimica*, 10(6), 1968–1989. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/330646563_Microplastics_Contaminants_of_Global_Concern_in_the_Anthropocene> . Acesso em 02 de agosto de 2022.

Masura, J.; Baker, J.; Foster, G.; Arthur, C. *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*. NOAA, 2015. Disponível em: <<https://repository.oceanbestpractices.org/handle/11329/1076>>. Acesso em 26 de julho de 2022.

Yahoo News. Ocean Cleanup removes 100,000kg of plastic from gigantic pile of rubbish in Pacific, 2022. Disponível em: <https://uk.news.yahoo.com/ocean-cleanup-pacific-ocean-plastic-great-pacific-garbage-patch-152458625.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAFmj6CNpMoWal-uGunsOxRhRvRq4zT-pWr_XVBBpTNL7T5f6HltJK31gkyKfSZqilhr-fVeGl9WpHmXoP2ZYv67Lei8Vy5-p9IRY0SWakMRdqcLd_yiflhbHLusVFL8b6M846sv1_x92u4P7WkrSzmhkJDeYIkCMwP9NGhskoZ>. Acesso em 30 de agosto de 2022.