

MICROPLÁSTICOS COMO INDICADORES DE POLUIÇÃO AMBIENTAL E SEUS EFEITOS SOBRE OS ORGANISMOS

Danila Soares Caixeta¹, Eduardo Beraldo de Moraes², Frederico César Caixeta³,
Isabella Maris Santos Caixeta⁴

¹ Professora/Pesquisadora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos/Universidade Federal de Mato Grosso-Cuiabá/MT-Brasil/danilacaixeta@gmail.com

² Professor/Pesquisador do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos/Universidade Federal de Mato Grosso-Cuiabá/MT-Brasil

³ Graduado em Medicina pela Universidade de Cuiabá-Cuiabá/MT-Brasil

⁴ Graduanda em Medicina pela Universidade Atenas-Paracatu/MG-Brasil

Recebido em: 15/05/2022 – Aprovado em: 15/06/2022 – Publicado em: 30/06/2022

DOI: 10.18677/EnciBio_2022B23

trabalho licenciado sob licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

RESUMO

O crescimento populacional aliado a um alto consumo de materiais duráveis e não duráveis, tem como consequência uma grande produção de resíduos, que por sua vez nem sempre são tratados ou descartados, de maneira adequada. Os resíduos plásticos tem despertado a atenção de pesquisadores a nível mundial, pois permanecem no ambiente por décadas a séculos, causando danos diretos e indiretos, em todo o ecossistema. Esse estudo teve como objetivo realizar uma pesquisa sobre fontes e efeitos dos microplásticos no ambiente. Para tal, foi realizada uma busca em periódicos, publicados nos últimos 11 anos. Os resultados revelaram que os microplásticos estão presentes em todos os ambientes, sendo provenientes, de fontes diversas e, quando disponíveis, esses microplásticos podem ser inalados, ingeridos e ou transportados para os organismos, causando lhes danos irreversíveis, enquanto que no ambiente podem causar efeitos na funcionalidade e diversidade.

PALAVRAS-CHAVE: ambiente, poluentes emergentes, saúde ambiental.

MICROPLASTICS AS INDICATORS OF ENVIRONMENTAL POLLUTION AND THEIR EFFECTS ON ORGANISM

ABSTRACT

Population growth combined with a high consumption of durable and non-durable materials results in a large production of waste, which in turn is not always treated or disposed of properly. Plastic waste has attracted the attention of researchers worldwide, as it remains in the environment for decades to centuries, causing direct and indirect damage to the entire ecosystem. This study aimed to conduct research on sources and effects of microplastics in the environment. To this end, a search was carried out in journals published in the last 11 years. The results revealed that microplastics are present in all environments, coming from different sources and, when available, these microplastics can be inhaled, ingested and/or transported to organisms, causing irreversible damage, while in the environment they can cause adverse effects. in functionality and diversity.

KEYWORDS: environment, environmental health, emerging pollutants.

INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas, aliada a escassez de regulamentos e leis sobre a produção e uso consciente de plásticos, têm gerado uma quantidade excessiva de resíduos, que por sua vez, nem sempre são descartados e/ou tratados da maneira correta. Esses resíduos, definidos como mega, macro e mesoplásticos quando disponíveis no ambiente estão sujeitos a alterações, ocasionadas pela ação de fatores bióticos e abióticos, gerando partículas na escala micro e nano. As partículas de microplásticos são comumente definidas na literatura, como micropartículas de tamanho inferior a 5 mm e superior a 1 μm , podendo ser divididos em dois grupos, primário e secundário (TALBOT; CHANG, 2021).

Microplásticos primários são aqueles produzidos em escala micro, para aplicações em produtos de higiene pessoal, cosméticos, agentes de limpeza, dentre outros, enquanto que os secundários são provenientes dos processos de degradação (XIANG *et al.*, 2022).

Essas partículas de microplásticos, por sua vez, apresentam grande capacidade de dispersão no ambiente, podendo ser encontradas em água doce, salgada, salobra e subterrânea, áreas remotas e ainda no solo, ar e alimentos (AHMED *et al.*, 2022). No entanto, a quantidade e qualidade dos microplásticos em cada compartimento do ambiente, pode ser influenciada por fatores ambientais e até mesmo pelas características do polímero.

No ambiente, os microplásticos podem interagir com partículas e contaminantes, podendo afetar a funcionalidade do ecossistema, a atividade metabólica e saúde dos organismos. Assim, este estudo versa sobre os microplásticos nos diferentes ecossistemas e possíveis impactos na saúde de animais e humanos.

DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS

Os megaplásticos e macrolásticos quando disponíveis no ambiente estão expostos a radiação ultravioleta, temperatura, oxidação, biodegradação, agentes químicos e abrasão física, podendo gerar partículas menores denominadas de mesoplásticos, microplásticos e nanoplásticos (THUSHARI; SENEVIRATHNA, 2020).

O termo microplástico foi utilizado pela primeira vez, em 2004, por Thompson e colaboradores, para descrever fragmentos de plástico granular e fibroso, obtidos de sedimentos marinhos e coluna d'água, do mar no Reino Unido, com dimensão de aproximadamente 20 μm (SCHMID *et al.*, 2021). No ano de 2009, Arthur e colaboradores, propuseram o limite máximo dessas partículas, com tamanho inferior a 5 mm e em 2011 um Grupo Conjunto de Especialistas em Aspectos Científicos da Proteção Ambiental Marinha (GESAMP) definiram os microplásticos como partículas de diâmetro <5 mm (FRIAS; NASH, 2019).

Embora, ainda, apresente controvérsias na definição dos microplásticos, muitos consideram que são polímeros com tamanho entre 1 μm e 5 mm. Portanto, para chegar a essa definição é comumente aplicado o comprimento de sua dimensão mais longa ou as dimensões do diâmetro ou raio (O'BRIEN *et al.*, 2020).

Os nanoplásticos, por sua vez, são produzidos a partir da degradação de microplásticos ou são liberados de produtos plásticos, no entanto, a definição de nanoplástico ainda está sendo debatida e diferentes estudos estabeleceram o limite de tamanho entre 1000 nm (1 μm) e 100 nm (0,1 μm) (RAHMAN *et al.*, 2021).

A definição do tamanho das partículas dos plásticos é um aspecto altamente importante para a análise e pesquisa de microplásticos no ambiente, principalmente

na atmosfera, pois os resultados indicam que a quantidade de partículas microplásticas diminui com o aumento do tamanho (ZHANG *et al.*, 2020).

No Quadro 1 podem ser observadas as classificações dos plásticos, considerando a definição do tamanho, de acordo com diferentes autores.

QUADRO 1- Definição dos plásticos de acordo com as dimensões do tamanho

Definição	Tamanho	Citações
Megaplástico	> 50 cm	Lebreton <i>et al.</i> , (2018)
Macroplástico	Subdivisão em 6 categorias de tamanho: 2,5–5 cm / 5–10 cm / 10–20 cm / 20–30 cm / 30–50 cm / > 50 cm	Galgani <i>et al.</i> , (2013) González <i>et al.</i> , (2016) Khalid <i>et al.</i> , (2021)
Mesoplástico	5 e 20 mm 5 e 25 mm	Ter Halle <i>et al.</i> , (2017) González <i>et al.</i> , (2016) Khalid <i>et al.</i> , (2021)
Microplástico	1 µm a 5 mm 5 mm <5 mm 100 nm-5 mm	Huang <i>et al.</i> , (2020) Ter Halle <i>et al.</i> , (2017) Prata <i>et al.</i> , (2020) JI <i>et al.</i> , (2021) González <i>et al.</i> , (2016) Khalid <i>et al.</i> , (2021)
Nanoplástico	1 and 100 nm < 100nm < 5 µm < 1000 nm	Greven <i>et al.</i> , (2016) Jovanović, (2017) Khalid <i>et al.</i> , (2021) Ter Halle <i>et al.</i> , (2017) Huang <i>et al.</i> , (2020) Khalid <i>et al.</i> , (2021)

Além do tamanho, os microplásticos foram classificados em duas categorias: primários e secundários. Os microplásticos primários são aqueles produzidos na escala micro (<5 mm), para serem aplicados na fabricação de produtos industriais e domésticos, incluindo roupas e estofados, cosméticos, produtos de higiene pessoal e lavadores de jato de ar; enquanto que os secundários são partículas menores obtidas da degradação ou fragmentação de partículas maiores, sendo cerca de 80% obtidos de fontes terrestres (RAHMAN *et al.*, 2021).

Outro aspecto associado com as características dos microplásticos são os tipos, formas e cores. Os tipos e formas mais comumente reportados na literatura são os *pellets*, fragmentos e fibras, e em menor frequência os filmes, filamentos, esponjas, espumas e microesferas (FRIAS; NASH 2019), sendo essas formas e tipos dependentes das características dos microplásticos primários, processos de degradação e erosão da superfície das partículas de plástico e do tempo de residência no ambiente (ZHANG *et al.*, 2020). Assim, a forma dos microplásticos tem sido frequentemente usada para inferir sua origem e o transporte, visto que muitas formas são específicas de determinados produtos.

A cor, por sua vez, é útil para identificar fontes potenciais de resíduos plásticos, bem como contaminações potenciais, durante a preparação da amostra, sendo normalmente encontrados nas cores vermelho, laranja, amarelo, marrom, bege, *off white*, branco, cinza, azul e verde. No entanto, partículas escuras, brancas, transparentes ou translúcidas podem estar sub-representadas durante a inspeção visual (ZHANG *et al.*, 2020).

MICROPLÁSTICOS NO ECOSISTEMA

Os microplásticos são amplamente distribuídos por todo o planeta, podendo ser encontrados em praias, superfícies e colunas da água do mar, água doce, águas salobras, sedimentos, gelos, solos, ar e até mesmo nas regiões mais remotas, tais como em locais de altas altitudes e na região do Ártico e Antártica (O'BRIEN *et al.*, 2020).

A origem dos microplásticos no ambiente é diversa, podendo ser provenientes da degradação indireta de megaplásticos, macroplásticos e mesoplásticos ou diretamente de produtos manufaturados (DONG *et al.*, 2020), mas a concentração e deposição de microplásticos podem ser afetadas por condições meteorológicas (chuva, movimento do vento, neve e outros), densidade da população, atividade humana e atividades ambientais locais (CHEN *et al.*, 2020b). Os microplásticos, quando dispostos no ambiente apresentam alta capacidade de se movimentar entre os diferentes compartimentos do ecossistema, sendo esse evento denominado de “ciclo do microplástico” (LI *et al.*, 2021).

De acordo com Li *et al.* (2021) o ciclo dos microplásticos no ambiente, apontam três hipóteses. A primeira baseia-se nas grandes diferenças na exposição à poluição e nas propriedades físicas e químicas dos diferentes ambientes, sendo a hipótese de que a composição da comunidade de microplásticos seria significativamente diferente entre os diferentes ambientes; a segunda hipótese sugere que existem ligações entre as comunidades de microplásticas em diferentes ambientes, e quanto mais próxima for a distância geográfica, mais semelhante será a composição da comunidade; e a terceira hipótese baseia-se na forma, na cor e nos tipos de polímero dos microplásticos, que não mudam significativamente a curto prazo, após serem descarregados no ambiente. Assim especula-se que quando a forma, cor ou os tipos de polímero de microplásticos são mais diversos, eles podem ter mais fontes, ou seja, o índice de diversidade de microplásticos pode indicar o número de fontes de poluição.

Chen *et al.* (2020b) corroboram que a identificação do polímero pode ser um bom indicador da origem dos microplásticos, sendo encontrado, comumente, nas partículas do ar, o polipropileno (PP), polietileno (PE), poliestireno (PS) e polietileno de tereftalato (PET).

Dessa maneira, para que os microplásticos possam chegar as diferentes localidades, os mesmos podem se locomover por meio de influência do vento, água, dentre outros, além de poderem agregar-se a outras partículas, mais densas, que são dispersas pelo transporte vertical. Em suma, o acúmulo de microplásticos no ambiente está relacionado à entrada de resíduos plásticos, características topográficas e condições hidrológicas.

Um vez disponíveis no ambiente e em função da grande área de superfície específica e hidrofobicidade, os microplásticos podem adsorver poluentes de forma eficiente, como metais pesados, dicloro-difenil-tricloroetano (DDTs), bifenilos policlorados (PCBs), éteres difenílicos polibromados (PBDEs), alquilfenóis, bisfenol A (BPA) e pesticidas, além de microrganismos, formando assim contaminação sinérgica e exacerbando os impactos negativos sobre os organismos expostos e ao ecossistema (LI *et al.*, 2021; KHALID *et al.*, 2021). De acordo com Wang *et al.* (2020), dependendo da cinética e equilíbrio de sorção/dessorção desses componentes no microplástico, a toxicidade, biocumulação, degradação e transporte podem ser afetados.

Estudo realizado por Godoy *et al.* (2019) revelou uma adsorção significativa de chumbo, cromo e zinco em microplásticos, especialmente em polietileno e cloreto

de polivinil. Guo *et al.* (2018) verificaram que a capacidade de sorção de tilosina (pureza maior que 95%) nos microplásticos, seguiu a ordem de PE (polietileno), PP (polipropileno, PS (poliestireno) e PVC (policloreto de vinila).

MICROPLÁSTICOS NO SOLO

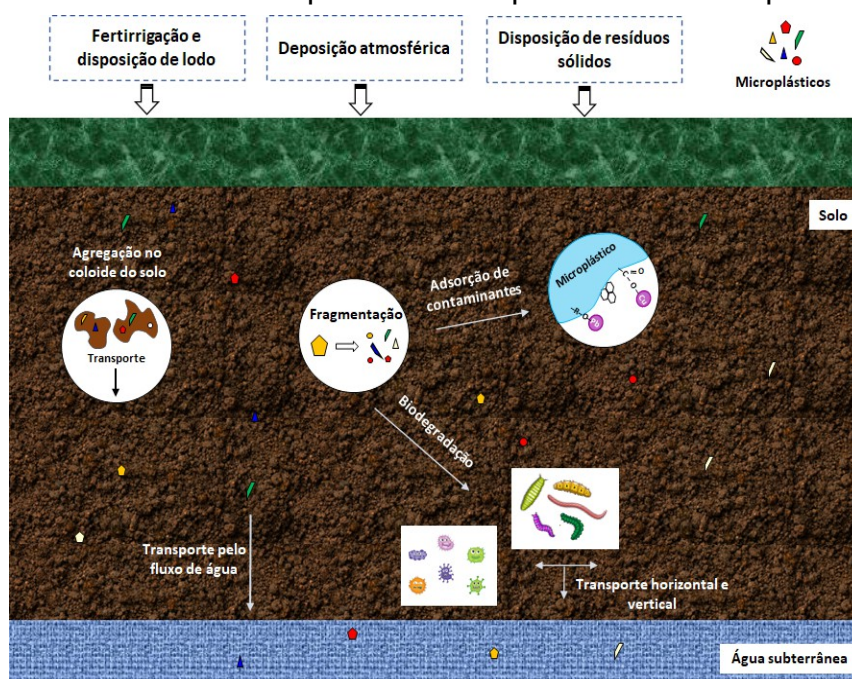
O solo é considerado um ecossistema de grande importância, pois abriga grande diversidade de organismos e variedade de vegetação, promove a decomposição e ciclagem da matéria orgânica, realiza trocas gasosas e sequestro de carbono e, ainda é um local de alta produção de alimentos, dentre outros (HATFIELD *et al.*, 2017). No entanto, devido as atividades antrópicas, esse ecossistema encontra-se severamente comprometido, uma vez que muitos poluentes e contaminantes são lançados diariamente em sua superfície, comprometendo a funcionalidade e diversidade.

Os microplásticos podem entrar no solo por meio de aterros, películas de cobertura agrícola, irrigação com águas residuárias, inundação, bioturbação, deposição atmosférica difusa, aplicação de composto e excesso de lodo e resíduos de pneus de automóveis (Figura 1) (HUANG *et al.*, 2020; REN *et al.*, 2021).

Os microplásticos que entram no solo podem ser transportados por processos verticais ou horizontais (Figura 1). Práticas convencionais de preparo do solo, como a aragem, bem como a colheita do rizoma e a atividade da fauna, além das propriedades físicas e químicas do solo, como porosidade, heterogeneidade da superfície, matéria orgânica natural e conteúdo mineral, também podem facilitar diretamente o movimento dos microplásticos no solo. Logo, a bioturbação e práticas agrícolas, promovem o movimento a curtas distâncias, enquanto que o escoamento superficial e erosão do solo, a longas distâncias (REN *et al.*, 2021).

Por outro lado, o transporte de partículas microplásticas no solo pode ser afetado pela bioturbação, ação da fauna do solo; comunidades microbianas, propriedades do solo, como macroporos (poros > 75 µm) e agregação e fissuras do solo, tipos e propriedades da superfície dos microplásticos, dentre outros (REN *et al.*, 2021).

FIGURA 1 - Entrada e transporte de microplásticos nos compartimentos do solo



Fonte: Modificado de Ren *et al.* (2021).

A concentração de microplásticos no solo varia conforme região. Dahl *et al.* (2021) avaliaram a concentração de microplásticos em solos expostos a diferentes níveis de pressões antrópicas: Roquetas (alto distúrbio) e Água Amarga (médio distúrbio) em Almería, sudoeste de Espanha, e Santa Maria (Parque Nacional, protegido, baixo distúrbio) na Ilha de Cabrera (Ilhas Baleares), sudoeste de Maiorca. Os resultados revelaram que as maiores concentrações de microplásticos foram encontradas nos solos superficiais (0-1 cm) de Água Amarga, com 3.819 microplástico kg^{-1} e em Roquetas, com 2.173 microplásticos kg^{-1} , enquanto que em Santa Maria a concentração foi de 68-362 microplásticos kg^{-1} (DAHL *et al.*, 2021). As fibras são consideradas um dos tipos de microplásticos mais abundantes no solo e, devido à sua forma linear, tamanho e flexibilidade, podem afetar a dinâmica e funcionalidade do solo (LOZANO *et al.*, 2021).

De modo geral, a presença de microplásticos no solo, pode afetar os processos biogeoquímicos e as comunidades microbianas, visto que microrganismos podem interagir com essas partículas, diminuindo a fertilidade e ainda promovendo alterações na funcionalidade (FENG *et al.*, 2020). Outrossim, podem afetar as estruturas físicas e densidades do solo, e ainda alterar o ciclo da água, visto que podem aumentar a escassez de água e consequentemente interferir na migração de poluentes para as camadas profundas, reduzindo severamente a qualidade do solo (GUO *et al.*, 2020; QADEER *et al.*, 2021).

Os microplásticos também podem afetar os vegetais, quando entram no corpo da planta têm o potencial de danificar a membrana celular, o ciclo celular, a clorofila e as moléculas intracelulares (QADEER *et al.*, 2021). Além dos impactos ocasionados diretamente na funcionalidade dos solos, os microplásticos presentes nesse ambiente, podem migrar para o meio circundante, como o ar e a água, por meio de fenômenos naturais ou humanos, como vento, poeira, erosão e escoamento superficial, representando riscos substanciais para o ecossistema (GUO *et al.*, 2020).

MICROPLÁSTICOS NO AR

Microplásticos são encontrados em todos os ambientes e no ar estão presentes em grandes quantidades. Contudo, a concentração de microplásticos aerotransportados está associada a atividades antrópicas, densidade populacional, níveis de industrialização e condições meteorológicas, tais como chuva, neve e vento (CHEN *et al.*, 2020b; HUANG *et al.*, 2021).

Logo, para melhor compreensão das fontes de microplásticos atmosféricos dois fatores devem ser levados em consideração: o primeiro envolve as características ambientais, destino e comportamento dos microplásticos atmosféricos, enquanto que o segundo envolve o papel do transporte atmosférico, para a deposição de microplásticos. Em relação a primeira, várias questões, por exemplo, em relação aos tamanhos, formas e tipos característicos de microplásticos atmosféricos e as relações dessas características com os parâmetros meteorológicos, a vida útil dos microplásticos na atmosfera e a distância de transporte mais longa para microplásticos atmosféricos, devem ser elaboradas tanto em áreas urbanas quanto remotas (ZHANG *et al.* 2019).

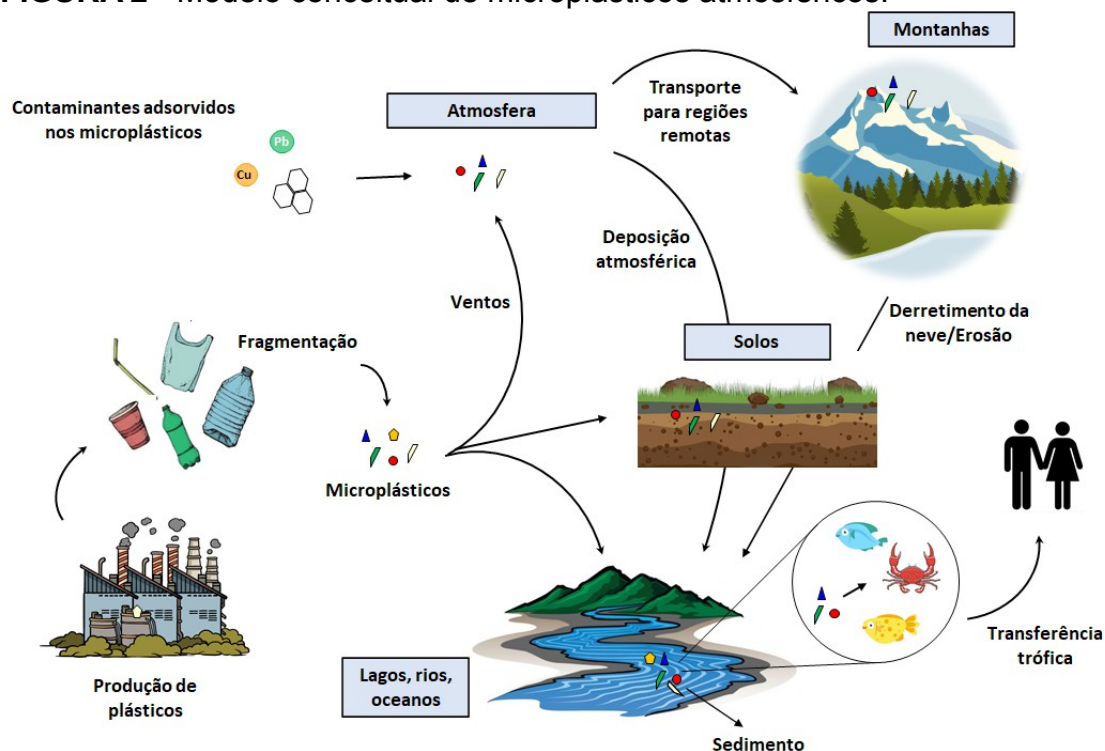
Enquanto que para investigar a segunda questão, interações entre microplásticos com outros componentes (por exemplo, mercúrio ou hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs)) na atmosfera, processos de fracionamento de microplásticos atmosféricos (mudanças em tamanhos, formas, cores, componentes

durante processos de deposição seca e úmida) e a extensão de tal transporte atmosférico para microplásticos, deve ser estudada completa e intensamente (ZHANG *et al.* 2019).

Em geral, a liberação e concentração de microplásticos na atmosfera está associada a diversas fontes, incluindo degradação de grandes plásticos, os tecidos sintéticos de roupas, abrasão de pneus de borracha, desgaste dos freios, pintura de estradas e ruas, ressuspensão de fragmentos de polímero em poeira urbana, ressuspensão de sujeira depositada de automóveis, objetos domésticos, materiais de construção, lodo de esgoto, resíduos em aterros ou incineração, emissões industriais, transporte eólico, pós abrasivos, e impressão 3D (Figura 2) (AMATO-LOURENÇO *et al.*, 2020; CHEN *et al.*, 2020a; SHIDHARAN *et al.*, 2021; BEAUREPAIRE *et al.*, 2021).

Em ambientes internos, microplásticos são resultantes de atrito, aquecimento, iluminação ou desgaste de materiais plásticos, incluindo móveis e utensílios domésticos, e ainda, tintas de parede ou acabamentos de piso (KACPRZAK; TIJING, 2022), no entanto, a maioria dos microplásticos do ar interior são provenientes de roupas sintéticas, devido aos danos que podem ocorrer durante o uso, lavagem e secagem, (TORRES-AGULLO *et al.*, 2021).

FIGURA 2 - Modelo conceitual de microplásticos atmosféricos.



Fonte: Modificado de Zhang *et al.* (2020).

Por consequência, os microplásticos comumente encontrados no ar são as fibras, fragmentos e filamentos, identificados como nylon de poliamida (PA), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PET), cloreto de polivinila (PVC), poliuretano (PUR) e poliácrlonitrila (PAN) (SRIDHARAN *et al.*, 2021). Prata *et al.* (2020) apontam ainda, que a maioria das fibras transportadas pelo ar são de origem natural, como exemplo o algodão, enquanto que o poliéster, também conhecido como tereftalato de polietileno (PET) é um dos tipos de fibras sintéticas mais comumente encontradas.

A maioria dos estudos sobre microplásticos no ar, tem sido realizado em centros urbanos, suburbanos e áreas remotas, com objetivo de analisar a abundância, tamanho, forma e componentes absorvidos (ZHANG *et al.*, 2020). Wright *et al.* (2020) mencionam que as trajetórias de massa de ar sugeriram que os microplásticos foram transportados por uma distância de até 95 km, atingindo áreas escassamente habitadas.

Estima-se que 1,21 toneladas de microplásticos são transportados do ambiente terrestre para o marinho, a cada ano, pela ação do vento (HUANG *et al.*, 2021). Contudo a deposição de microplásticos atmosféricos pode ser influenciada pela velocidade e direção do vento, precipitação, dentre outros (HUANG *et al.*, 2021).

MICROPLÁSTICOS EM AMBIENTES AQUÁTICOS

Em virtude do mal gerenciamento dos resíduos plásticos, uma quantidade significativa de microplásticos tem sido detectada no solo, ar e ainda nos rios, sedimentos, reservatórios, oceanos, águas subterrâneas e até mesmo nas regiões mais remotas. Segundo Chu *et al.* (2022) há estimativa de que 1,5 milhão de toneladas de microplásticos primários são despejados na água, todos os anos. Contudo, a ocorrência e distribuição espacial dos microplásticos em ambientes aquáticos é afetada por vários fatores, dentre estes a densidade populacional e a proximidade com os centros urbanos (ELIZALDE-VELÁZQUEZ; GÓMEZ-OLIVÁN, 2021).

Em geral, os microplásticos que estão presentes na água são provenientes de uma ampla variedade de fontes, como: terrestres, redes de drenagem municipal, pesca, construção naval e turismo, dentre outras. A fonte primária de descarga de microplásticos em água doce é via efluente da estação de tratamento de águas residuárias, ademais, degradação de megaplásticos e macropelásticos, tais como embalagens descartáveis, pneus, fibras de tecidos sintéticos e partículas de tinta rodoviária, bem como escoamentos superficiais e agrícolas ou disposição direta de resíduos como resultado de uma gestão deficiente de resíduos, contribuem para a entrada de microplásticos no ambiente de água doce (Figura 3) (WONG *et al.*, 2020; RODRÍGUEZ-NARVAEZ *et al.*, 2021).

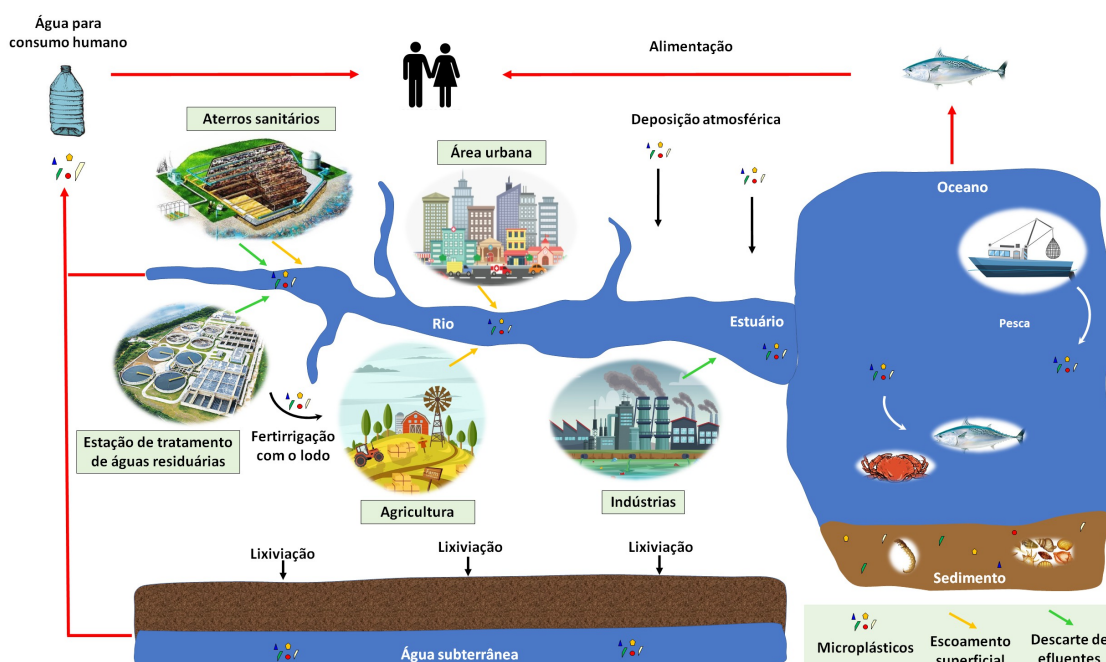
Segundo Miri *et al.* (2022), os métodos de tratamento físico, tais como sedimentação e filtração separam os microplásticos, mas não os eliminam, completamente, permanecendo uma fração nas estações de tratamento de águas residuais e no lodo drenando. Estima-se que, entre 73% a 79% de partículas de microplásticos são removidos durante o tratamento do efluente, sendo o remanescente ficando entre 220.000-1,5 milhões (RODRÍGUEZ-NARVAEZ *et al.*, 2021). Por outro lado, Enfrin *et al.* (2019) estimam que a eficiência de remoção possa chegar a 99%.

O sedimento é geralmente considerado como sumidouro final para os microplásticos, sendo que os de densidade superior à água têm maior probabilidade de afundar e ser incorporado ao sedimento, enquanto os mais leves do que a água também podem ser depositados após a bioincrustação, ingestão por animais aquáticos e egestão nas fezes e agregação com materiais biogênicos (JI *et al.*, 2021).

Em ambientes marinhos, as fontes mais comuns de microplásticos podem ser de efluentes de esgoto, sistemas de drenagem municipais, desgastes de pneus, resíduos de plástico mal gerenciado ou sendo descartados diretamente na praia (HUANG *et al.*, 2020; KHALID *et al.*, 2021), além da fragmentação de itens de mega

e microplásticos que entram nos rios, escoamento, marés, ventos e eventos catastróficos, juntamente com fontes no mar, incluindo carga perdida, pesca e artes de aquicultura (WU *et al.*, 2019). Segundo Elizalde-Velpazquez e Gomes-Oliván (2021), 80% dos detritos marinhos têm origem em fontes terrestres e o restante, em atividades marítimas.

FIGURA 3 - Fontes de entrada de microplásticos no ambiente aquático



Fonte: Modificado de Wu *et al.* (2019).

De acordo com Wu *et al.* (2019) os tipos de microplásticos encontrados em água doce se diferem dos de ambiente marinho, devido às diferenças nas fontes de poluição, localização e condições hidrodinâmicas, sendo os tipos mais comumente encontrados o polipropileno e o polietileno. Em ambiente de água doce, o transporte de microplásticos é fortemente afetado pela densidade, forma, textura e características hidrológicas, tais como as propriedades físicas de um corpo d'água, como velocidade do fluxo de água, profundidade da água, topografia do fundo e variação sazonal do fluxo de água (ELIZALDE-VELÁZQUEZ; GÓMEZ-OLIVÁN, 2021; WONG *et al.*, 2020).

Além da densidade, as condições de baixo fluxo e variação na profundidade ou velocidade do rio, podem levar a um aumento da deposição de material particulado, além de levar à formação de biofilme nas superfícies dos microplásticos que favorecem o seu assentamento, enquanto que, fatores hidrodinâmicos mais fortes, como condições de alta velocidade, podem resultar na mobilização de partículas previamente sedimentadas e subsequente liberação de contaminantes do corpo d'água para outros ambientes. A propósito, a variação sazonal, o ciclo das marés, tempestades, inundações, vegetação e atividade antropogênica podem afetar o transporte de microplásticos (WONG *et al.*, 2020).

Embora a precipitação atmosférica seja considerada um canal para a distribuição de microplásticos perto de áreas urbanas, a grande maioria das evidências apontam, a água como principal meio pelo qual essas partículas se dispersam no ambiente (ZURIER; GODDARD, 2021).

MICROPLÁSTICOS EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A água subterrânea é uma importante fonte de água doce, porém pode ser contaminada com uma ampla variedade de poluentes emergentes relacionados às atividades antropogênicas. Em águas subterrâneas, dados sobre a detecção de microplásticos são escassos, porém devido à vulnerabilidade e as constantes ameaças sofridas, nos últimos anos, esse compartimento tem sido alvo de várias pesquisas (PANNO *et al.*, 2019 ; SU *et al.*, 2021; SAMANDRA *et al.*, 2022).

As principais fontes de contaminação das águas subterrâneas incluem fossas sépticas, vazamento de canos de esgoto, efluentes de águas residuais, lixiviados de aterros ou lixões, reutilização de biossólidos e atividades industriais (LUO *et al.*, 2021; SAMANDRA *et al.*, 2022).

Samandra *et al.* (2022) investigaram a presença de microplásticos em águas subterrâneas em Victoria, Austrália, e constataram a presença de polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) e policloreto de polivinila (PVC). Su *et al.* (2021) detectaram apenas fibras nas águas subterrâneas da Península de Jiaodong, na China. Panno *et al.* (2019) detectaram a presença de microplásticos, como fibra, fragmento, espuma, cordão e filmes de diferentes cores, em amostras de águas subterrâneas no Planalto de Salem e na Área Driftless, do estado de Illinois, Estados Unidos.

EFEITOS DOS MICROPLÁSTICOS NO AMBIENTE E SAÚDE

As propriedades físicas e químicas dos microplásticos desempenham um papel importante na saúde humana, visto que a toxicidade pode estar associada a (1) Lixiviação de componentes químicos tóxicos, incluindo constituintes e aditivos (inorgânicos e orgânicos); (2) Como vetores químicos ou biológicos, devido a adsorção de substâncias estranhas nocivas; (3) Danos físicos diretos, ocasionados pela obstrução em vários órgãos, devido as partículas ingeridas (YANG *et al.*, 2022). Ademais, os microplásticos podem ser transportados para o interior do organismo pelo contato direto, ou seja, contato dérmico, ingestão, inalação e transferência através da cadeia alimentar (SAMANDRA *et al.*, 2022)

Segundo Chu *et al.* (2022) aproximadamente 74.000 a 113.000 microplásticos entram no corpo humano anualmente por meio de ingestão calórica e inalação. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) partículas de fibra com diâmetro menor que 3 µm e comprimento maior que 5 µm, com relação comprimento/diâmetro de 3:1 ou mais, são definidas como fibras respiráveis, contudo, estudos têm demonstrado que a toxicidade das fibras está relacionada ao comprimento das fibras e não é específica do tipo de fibra mineral (LI *et al.*, 2020). Kacprzak e Tijing (2022) citam que a exposição aos microplásticos em ambientes interiores, resulta na inalação em média de 26 a 272 partículas diárias.

A inalação crônica de fibras aerotransportadas, em altas concentrações, podem entrar nas vias aéreas centrais e no pulmão distal e podem induzir lesões inflamatórias no sistema respiratório, além de causar hipersensibilidade, resposta imunológica, danos ao DNA, danos celulares, estresse oxidativo, inflamação, secreção de citocinas, distúrbios imunológicos, inflamação e neurodegeneração (PRATA *et al.*, 2020; SRIDHARAN *et al.*, 2021). Além disso, existem evidências de toxicidade pulmonar, permeabilidade celular e teratogenicidade de microplásticos transportados pelo ar (SRIDHARAN *et al.*, 2021).

Torres-Agullo *et al.* (2021) citam que o estresse oxidativo é produzido quando os microplásticos interagem com o indivíduo ou transportam espécies oxidantes, tais como metais adsorvidos, gerando assim, espécies reativas de oxigênio, tendo como

consequência a liberação de citocinas pró-inflamatórias e mediadores fibrogênicos, como resultado da saturação da resposta protetora antioxidante. Outrossim, o aumento da permeabilidade do tecido, ocasionado pela inflamação, pode propiciar a translocação (dependendo da hidrofobicidade) dos microplásticos e atingir a circulação, além disso a remoção ineficiente de partículas pelos macrófagos, danos ao DNA causados pelo estresse oxidativo, evasão da detecção pelo sistema imunológico e mutação gênica favorecem a formação e progressão de células malignas (TORRES-AGULLO *et al.*, 2021).

Embora os efeitos dos microplásticos em humanos ainda sejam desconhecidos, há evidências emergentes de que os efeitos tóxicos da exposição aos microplásticos incluem inflamação, estresse oxidativo, apoptose e homeostase metabólica (SAMANDRA *et al.*, 2022). Estudos realizados por Amato-Lourenço *et al.* (2021), identificaram 31 partículas de polímeros sintéticos e fibras, de 13 amostra de tecidos de pulmões, obtidos de autópsia, sendo o polipropileno o predominante, seguido de polietileno, algodão, cloreto de polivinil, acetato de celulose, poliamida, dentre outros. No ambiente aquático os microplásticos podem ser facilmente ingeridos por organismos aquáticos e um acúmulo de microplásticos pode afetar negativamente os tecidos, órgãos e trato intestinal (KHALID *et al.*, 2021).

Em organismos aquáticos, tais como peixes, invertebrados e bivalves, a ingestão de microplásticos pode limitar o crescimento e desenvolvimento, aumentar a mortalidade, alterar as funções metabólicas, alterar a expressão gênica, enquanto que outros organismos, mesmo ingerindo um alta concentração desses poluentes, não afetam sua sobrevivência (HUANG *et al.*; 2020). A ingestão de microplásticos por organismos de água doce, pode ainda, causar bloqueio imediato ou entupimento do sistema digestivo, sendo que algumas espécies podem excretar ou ejetar microplásticos rapidamente, enquanto outras espécies podem ser incapazes de fazê-lo, retendo e acumulando microplásticos em seus sistemas (WONG *et al.*, 2020).

No solo, a maioria da ingestão de microplásticos é acidental, dessa maneira, a ingestão de microplásticos pode causar falsa saciedade, o que reduz a ingestão de biomassa de carbono, levando ainda mais ao esgotamento de energia, diminuição do crescimento e até morte, além disso, os microplásticos também podem causar danos mecânicos ao esôfago, obstrução intestinal, diminuição da reprodução e respostas bioquímicas, como diminuição da resposta imunológica, distúrbios do metabolismo, etc. Por outro lado, microplásticos aderidos à superfície externa dos organismos podem dificultar diretamente a mobilidade (GUO *et al.*, 2020).

Em síntese, a ingestão de microplásticos pelos organismos, pode causar vários sintomas físicos e fisiológicos, incluindo obstrução, inflamação, redução nas taxas de crescimento, estresse oxidativo e complicações no processo de reprodução, ademais, contaminantes, tais como metais e outros compostos químicos, além de microrganismos podem ser adsorvidos na superfície dos microplásticos, causando efeitos adversos na saúde dos organismos (CHEN *et al.*, 2020a).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os microplásticos podem entrar e serem transportados no ambiente de várias maneiras e como consequência podem ser encontrados no solo, água, ar, alimentos e até mesmo em animais.

Os danos causados ao ecossistema, bem como aos organismos vivos são inestimáveis, porém ainda há muitas lacunas na literatura sobre os reais efeitos e consequências na saúde dos animais, que precisam ser preenchidas.

Em suma, monitorar as concentrações de microplásticos no ambiente é de grande relevância, pois podem ser considerados indicadores de poluição ambiental e, ainda são capazes de impactar a saúde dos organismos.

REFERÊNCIAS

AHMED, R.HAMID, A. K.; KREBSBACH, S. A.; HE, J. Z. WANG, D. Critical review of microplastics removal from the environment. **Chemosphere**, v. 293, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133557>>. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.133557

AMATO-LOURENÇO, L. F.; GALVÃO, L. S.; WEGER, L. A.; HIEMSTRA, P. S.; VIJIVER, M. G.; MAUAD, T. An emerging class of air pollutants: Potential effects of microplastics to respiratory human health? **Science of the Total Environment**, v. 749, n. 20, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141676>>. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141676

BEAUREPAIRE, M.; DRIS, R.; GASPERI, J.; TASSIN, B. Microplastics in the atmospheric compartment: a comprehensive review on methods, results on their occurrence and determining factors. **Current Opinion in Food Science**, v. 41, p. 159-168, 2021. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.04.010>>. doi: 10.1016/j.cofs.2021.04.010

CHEN, G.; FENG, Q.; WANG, J. (a). Mini-review of microplastics in the atmosphere and their risks to humans. **Science of the Total Environment**, v. 703, n. 10, 2020a. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135504>>. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135504

CHEN, G.; FU, Z.; YANG, H.; WANG, J. (b) An overview of analytical methods for detecting microplastics in the atmosphere. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 130, 2020b. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115981>>. doi: 10.1016/j.trac.2020.115981

CHU, X.; ZHENG, B.; LI, Z.; CAI, C.; PENG, Z.; *et al.*; Occurrence and distribution of microplastics in water supply systems: In water and pipe scales. **Science of the Total Environment**, v. 803, n. 10, 2022. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150004>>. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150004

DAHL, M.; BERGMAN, S.; BJORK, M.; ALMELA, E. D.; GRANBERG, M.; *et al.*; A temporal record of microplastic pollution in Mediterranean seagrass soils. **Environmental Pollution**, v. 273, n. 15, 2021. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116451>>. doi: 10.1016/j.envpol.2021.116451

DONG, C. D.; CHEN, C. W.; CHEN, Y. C.; CHEN, H. H.; LEE, J. S.; LIN, C. H. Polystyrene microplastic particles: In vitro pulmonary toxicity assessment. **Journal of Hazardous Materials**, v.385, 2020. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121575>>. doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121575

ELIZALDE-VELÁZQUEZ, G. Z.; GÓMEZ-OLIVÁN, L. M. Microplastics in aquatic environments: A review on occurrence, distribution, toxic effects, and implications for human health. **Science of the Total Environment**, v.780, 2021. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146551>>. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146551

ENFRIN, M.; DUMÉE, L. E.; LEE, J. Nano/microplastics in water and wastewater treatment processes – Origin, impact and potential solutions. **Water Research**, v. 161, n. 15, p. 621-638, 2019. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.06.049>>. doi: 10.1016/j.watres.2019.06.049

FENG, S.; LI, H. TIAN, P.; XUE, Y.; LU, J.; *et al.*; Analysis of microplastics in a remote region of the Tibetan Plateau: Implication for natural environmental response to human activities. **Science of the Total Environment**, v. 739, 2020. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140087>>. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140087

FRIAS, J. P. G. L.; NASH, R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. **Marine Pollution Bulletin**, v. 138, p. 145-147, 2019. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>>. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.11.022

GALGANI, F.; HANKE, G.; WERNER, S.; DE VREES, L. Marine litter within the European Marine Strategy Framework Directive. **ICES Journal of Marine Science**, V. 70, N. 6, p. 1055-1064, 2013. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1093/icesjms/fst122>>. doi: 10.1093/icesjms/fst122

GONZÁLEZ, D.; HANKE, G.; WEEHUYSEN, G.; BELLERT, B.; HOLZHAUER, M.; *et al.*; **Riverine Litter Monitoring - Options and Recommendations**, 2016. 52p.

GREVEN, C.; MERK, T. KAROGOZ, F.; KLAPPER, M.; JOVANOVIĆ, B.; PALIC, D. Polycarbonate and polystyrene nanoplastic particles act as stressors to the innate immune system of fathead minnow (*Pimephales promelas*). **Environment Toxicology Chemistry**, v. 35, n. 12, p. 3093-3100, 2016. Disponível em:<<http://doi.org/10.1002/etc.3501>>. Doi: 10.1002/etc.3501

GODOY, V.; BLAZQUEZ, G.; CALERO, M.; QUESADA, L. MARTIN-LA M. A. The potential of microplastics as carriers of metals. **Environmental Pollution**, v. 255, 2019. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113363>>. doi: 10.1016/j.envpol.2019.113363

GUO, J. J.; HUANG, X. P.; XIANG, L.; WANG, Y. Z.; LI, Y. W.; *et al.*; Source, migration and toxicology of microplastics in soil. **Environment International**, v. 137, 2020. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105263>>. doi: 10.1016/j.envint.2019.105263

GUO, X.; PANG, J.; CHEN, S.; JIA, H. Sorption properties of tylosin on four different microplastics. **Chemosphere**, v. 209, p. 240-245, 2018. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.100>>. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.06.100

HATFIELD, J.; SAUER, T. J.; CRUSE, R. M. Chapter One - Soil: The Forgotten Piece of the Water, Food, Energy Nexus. **Advances in Agronomy**, v. 143, p. 1 -46, 2017. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.02.001>>. Doi: 10.1016/bs.agron.2017.02.001

HUANG, Y.; HE, T.; YAN, M.; YANG, L.; GONG, H.; WANG, W.; *et al.*; Atmospheric transport and deposition of microplastics in a subtropical urban environment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 416, 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126168>>. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126168

HUANG, D.; TAO, J.; CHENG, M.; DENG, R.; CHE, S.; *et al.*; Microplastics and nanoplastics in the environment: Macroscopic transport and effects on creatures. **Journal of Hazardous Materials**, v. 29, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124399>>. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124399

JI, X.; MA, Y.; ZENG, G.; XU, X.; MEI, K.; *et al.*; Transport and fate of microplastics from riverine sediment dredge piles: Implications for disposal. **Journal of Hazardous Materials**, v. 404, 2021. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124132>>. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124132

JOVANOVIĆ, B. Ingestion of microplastics by fish and its potential consequences from a physical perspective. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 13, n. p. 510-515, 2017. Disponível em:<<http://doi.org/10.1002/ieam.1913>>. doi: 10.1002/ieam.1913

KACPRZAK, S.; TIJING, L. D. Microplastics in indoor environment: Sources, mitigation and fate. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 2, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107359>>. doi: 10.1016/j.jece.2022.107359

KHALID, N.; AGEEL, M.; NOMAN, A.; HASHEM, M.; MOSTAFA, Y. S. *et al.*; Linking effects of microplastics to ecological impacts in marine environments. **Chemosphere**, v. 264, n. 2, 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128541>>. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128541

LEBRETON, L.; SLAT, B.; FERRARI, F.; SAINTE-ROSE, B.; AITKEN, J.; *et al.*; Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic.

Scientific Reports, v. 8, 2018. Disponível em:<[http://doi.org/ 10.1038/s41598-018-22939](http://doi.org/10.1038/s41598-018-22939)>. doi: 10.1038/s41598-018-22939

LI, C. C.; GAN, Y.; ZHANG, C.; HE, H.; GANG, J.H.; *et al.*; “Microplastic communities” in different environments: Differences, links, and role of diversity index in source analysis. **Water Research**, v. 188, 2021. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116574>>. doi: 10.1016/j.watres.2020.116574

LI, Y.; SHAO, L.; WANT, W.; ZHANG, M.; FENG, X.; *et al.*; Airborne fiber particles: Types, size and concentration observed in Beijing. **Science of the Total Environment**, v. 705, 2020. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135967>>. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135967

LOZANO, Y.M.; GUILAR-TRIGUEROS, C. A.; ONANDIA, G.; MAAB, S.; ZHAO, T.; RILLING, M. C. Effects of microplastics and drought on soil ecosystem functions and multifunctionality. **Journal of Applied Ecology**, v. 58, n. 5, p. 988-996, 2021. Disponível em: <<https://doi-org.ez52.periodicos.capes.gov.br/10.1111/1365-2664.13839>>. doi: 10.1111/1365-2664.13839

LUO, Z.; ZHU, J.; YU, L.; YIN, K. Heavy metal remediation by nano zero-valent iron in the presence of microplastics in groundwater: Inhibition and induced promotion on aging effects. **Environmental Pollution**, v. 287, 2021. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117628>>. doi: 10.1016/j.envpol.2021.117628

MIRI, S.; SAINI, R.; DAVOODI, S. M.; PULICHARIA, R.; BRAR, S. K.; MAGDOULI, S. Biodegradation of microplastics: Better late than never. **Chemosphere**, v. 286, 2022. Disponível em:< <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131670>>. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131670

O'BRIEN, S.; OKOFFO, E. D.; O'BRIEN, J. W.; RIBEIRO, F.; WANG, X.; *et al.*; Airborne emissions of microplastic fibres from domestic laundry dryers. **Science of The Total Environment**, v. 747, 2020. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141175>>. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141175

PANNO, S.V.; KELLY, W. R.; SCOTT, J.; ZHENG, W.; MCNEISH, R. E.; *et al.*; Microplastic Contamination in Karst Groundwater Systems. **Groundwater**, v. 57, n. 2, p. 189-196, 2019. Disponível em:<<https://doi-org.ez52.periodicos.capes.gov.br/10.1111/gwat.12862>>. doi: 10.1111/gwat.12862

PRATA, J. C.; CASTRO, J. L.; COSTA, J. P.; DUARTE, A. C.; ROCHA-SANTOS, T.; *et al.*; The importance of contamination control in airborne fibers and microplastic sampling: Experiences from indoor and outdoor air sampling in Aveiro, Portugal. **Marine Pollution Bulletin**, v. 159, 2020. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111522>>. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111522

QADEER, A.; AJMAL, Z.; USMAN, M.; ZHAO, X.; CHANG S. Agricultural plastic mulching as a potential key source of microplastic pollution in the terrestrial

ecosystem and consequences. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 175, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105855>>. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105855

RAHMAN, A.; SARKAR, A.; YADAY, O. P.; ACHARI, G.; SLOBODNIK, J. Potential human health risks due to environmental exposure to nano- and microplastics and knowledge gaps: A scoping review. **Science of The Total Environment**, v. 757, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143872>>. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143872

REN, Z.; GUI, X.; XU, X.; ZHO, L.; QUIU, H.; CAO, X. Microplastics in the soil-groundwater environment: Aging, migration, and co-transport of contaminants – A critical review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 419, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126455>>. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126455

RODRÍGUEZ-NARVAEZ, O. M. GOONETILLEKE, A.; PEREZ, L.; BANDALA, E. R. Engineered technologies for the separation and degradation of microplastics in water: A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 414, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.128692>>. doi: 10.1016/j.cej.2021.128692

SAMANDRA, S.; JOHNSTON, J. M. JAEGER, J. E.; SYMONS, B.; XIE, S.; *et al.*; Microplastic contamination of an unconfined groundwater aquifer in Victoria, Australia. **Science of The Total Environment**, v. 802, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149727>>. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149727

SCHMID, C.; COZZARINI, L.; ZAMBELLO, E. Microplastics story. **Marine Pollution Bulletin**, v. 162, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111820>>. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111820

SHIDHARAN, S.; KUMAR, M.; SINGH, L.; BOLON, N.S.; SAHA, M. Microplastics as an emerging source of particulate air pollution: A critical review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 418, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126245>>. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126245

SU, S.; ZHOU, S.; LIN, G. Existence of microplastics in soil and groundwater in Jiaodong Peninsula. **Environmental Ecological Analysis and Sustainable Development Research**, v. 251, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125102045>>. doi: 10.1051/e3sconf/202125102045

TALBOT, R.; CHANG, H. Microplastics in freshwater: A global review of factors affecting spatial and temporal variations. **Environmental Pollution**, v. 19, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118393>>. doi: 10.1016/j.envpol.2021.118393

TER HALLE, A.; JEANNEAU, L.; MARTIGNAC, M.; JARDÉ, E.; PEDRONO, B.; *et al.*; Nanoplastic in the North Atlantic Subtropical Gyre. **Environment Science e Technology**, v. 51, n. 23, p. 13689-13697, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03667>>. doi: 10.1021/acs.est.7b03667

THUSHARI, G. G. N.; SENEVIRATHNA, J. D. M. Plastic pollution in the marine environment. **Helyion**, v. 6, n. 8, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>>. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04709

TORRES-AGULLO, A.; KARANASIOU, A.; MORENO, T.; LACORTE, S. Overview on the occurrence of microplastics in air and implications from the use of face masks during the COVID-19 pandemic. **Science of the Total Environment**, v. 800, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149555>>. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149555

WANG, T.; WANG, L.; CHEN, Q.; KALOGERAKIS, N.; JI, R.; MA, Y. Interactions between microplastics and organic pollutants: effects on toxicity, bioaccumulation, degradation, and transport. **Science of the Total Environment**, v. 748, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142427>>. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142427

WONG, J. K. H.; LEE, K. K.; TANG, K. H. D.; YAP, P. S. (b). Microplastics in the freshwater and terrestrial environments: Prevalence, fates, impacts and sustainable solutions. **Science of The Total Environment**, v. 719, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137512>>. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137512

WRIGHT, S. L.; ULKE, J.; FONT, A.; CHAN, L. A.; KELLY, F. J. Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport. **Environment International**, v. 136, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105411>>. doi: 10.1016/j.envint.2019.105411

WU, P.; HUANG, J.; ZHENG, Y.; YANG, Y.; ZHANG, Y.; HE, F.; CHE, H.; QUAN, G.; YAN, J.; LI, T.; GAO, B. Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 184, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109612>>. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109612

XIANG, Y.; JIANG, L.; ZHOU, Y. Z.; LUO, Z.; ZHI, D.; YANG, J.; LAM, S. S. Microplastics and environmental pollutants: Key interaction and toxicology in aquatic and soil environments. **Journal of Hazardous Materials**, v. 422, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126843>>. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126843

YANG, X.; MAN, Y. B.; WONG, M. H.; OWEN, R. B.; CHOW, K. L. Environmental Health impacts of microplastics exposure on structural organization levels in the human body. **Science of The Total Environment**, v. 825, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154025>>. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154025

ZHANG, Y.; KANG, S.; ALLEN, S.; ALLEN, D.; GAO, T.; SILANPAA, M. Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. **Earth-Science Reviews**, v. 203, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103118>>. doi: 10.1016/j.earscirev.2020.103118

ZHANG, Y.; GAO, T.; KANG, S.; SILANPAA, M. Importance of atmospheric transport for microplastics deposited in remote areas. **Environmental Pollution**, v. 254, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.121>>. doi: 10.1016/j.envpol.2019.07.121

ZURIER H. S; GODDARD, J. M, Biodegradation of microplastics in food and agriculture. **Current Opinion in Food Science**, v. 37, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.09.001>>. doi: 10.1016/j.cofs.2020.09.001