

SOBRE AS PESQUISAS DE MICROPLÁSTICOS NA ATMOSFERA, O QUE SABEMOS?

About research on microplastics in the atmosphere, what do we know?

Taila Lorena de Souza¹

Mauro Parolin²

Jefferson de Queiroz Crispim³

RESUMO

Microplástico é toda partícula com diâmetro inferior a 5 mm composta por plástico, ou outros polímeros artificiais, dispersa no ambiente. O plástico e outros polímeros estão em praticamente toda a cadeia de produção industrial. O material tem alto potencial poluidor em todos os ecossistemas, pois não se degrada, apenas se fragmenta. Este estudo objetiva a divulgação científica sobre pesquisas de microplásticos na atmosfera, abordando os métodos e técnicas para a coleta e os principais protocolos laboratoriais utilizados. Foi feito um levantamento nos portais da CAPES e Google Acadêmico® na busca por pesquisas envolvendo microplásticos na atmosfera (artigos, teses e dissertações). As publicações disponíveis começaram a surgir no ano de 2015, distribuídas pelos continentes: doze na Ásia; dez na Europa e quatro nas Américas.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição atmosférica, Transporte atmosférico, Contaminação, Saúde humana.

ABSTRACT

Microplastic is any particle with a diameter of less than 5 mm composed of plastic, or other artificial polymers, dispersed in the environment. Plastic and other polymers are present in practically the entire industrial production chain. The material has a high polluting potential in all ecosystems, as it does not degrade, it only fragments.

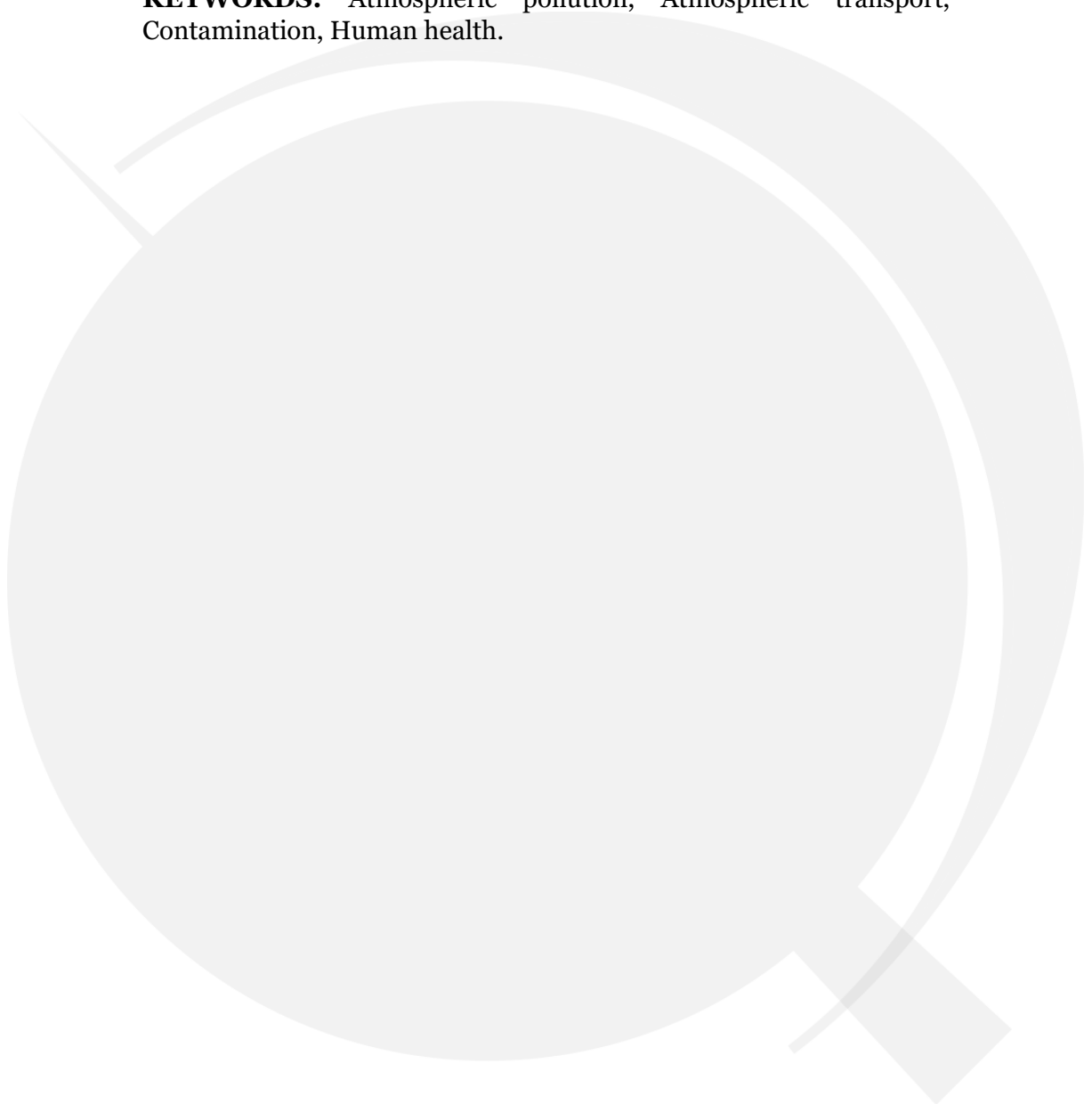
¹ Universidade Estadual de Maringá, Doutoranda em geografia do Programa de pós graduação em geografia, Maringá, PR, Brasil. E-mail: tailalorenasouza@gmail.com.

² Universidade Estadual de Maringá, Professor, Programa de pós graduação em geografia, Universidade Estadual de Maringá e Universidade Estadual do Paraná, Maringá, PR, Brasil. E-mail: mauro.parolin@ies.unespar.edu.br.

³ Universidade Estadual do Paraná, Professor, Colegiado de Geografia, Campo Mourão, PR, Brasil. E-mail: jeffersoncrispim@hotmail.com.

This study aims to disseminate science on research into microplastics in the atmosphere, addressing the methods and techniques for collection and the main laboratory protocols used. An extensive survey was carried out on the CAPES and Google Scholar® portals in the search for research involving microplastics in the atmosphere (articles, theses and dissertations). The available publications began to appear in 2015, distributed across continents: twelve in Asia; ten in Europe and four in the Americas.

KEYWORDS: Atmospheric pollution, Atmospheric transport, Contamination, Human health.



INTRODUÇÃO

Estudos que envolvem a investigação, quantificação e qualificação de microplástico são datados da década de 1970. Buchanan (1971) levantou a problemática a respeito da poluição marinha por fibras. Com o passar das décadas a preocupação quanto a esse tipo de material, principalmente em áreas costeiras, foi ampliada, bem como as pesquisas sobre a temática. Inicialmente, os estudos envolvendo microplásticos concentravam-se principalmente na área biológica, voltada à detecção do material no trato digestório de animais marinhos (Sanchez et al., 2014, Lusher et al., 2015, Campbel et al., 2017). As publicações sobre microplásticos foram evoluindo com investigações em distintos ambientes, como água de praia, mares e seus sedimentos (MACEDO 2020, MAYNARD et al., 2021).

É notório o aumento das notícias sobre microplásticos, que assumiram uma condição de problema ambiental global. Tornou-se cada vez mais comum encontrar manchetes envolvendo a questão dos microplásticos nos mais diversos meios de comunicação, como: microplásticos encontrados no corpo de seres humanos; microplásticos em fezes de bebês; partículas de microplásticos que podem passar da mãe para o feto; ingestão semanal de microplástico equivale a um cartão de crédito; microplásticos são encontrados no fundo dos oceanos, entre outras.

Quanto à investigação de microplásticos presentes na atmosfera, verificou-se que o tema está ganhando certo destaque nos últimos anos, no entanto longe de abarcar as diversas nuances do tema, como, por exemplo, estabelecer uma padronização dos protocolos laboratoriais. Assim, o trabalho objetivou, além da divulgação da temática científica, levantar os métodos utilizados nas coletas e na realização de protocolos laboratoriais para microplásticos presentes na atmosfera. Foi feito um levantamento das publicações disponibilizadas na internet (artigos, teses e dissertações) sobre o assunto, mostrando de uma forma generalizada a quantidade de publicações sobre o tema.

DESENVOLVIMENTO

Tendo como principal questionamento compreender a forma em que é investigado e trabalhado com microplástico na atmosfera em distintas partes do mundo em frente a uma falta de padronização e manuais de trabalho, foi realizado um levantamento sistemático bibliográfico baseado em consulta de artigos, dissertações e

teses disponíveis nos bancos de dados eletrônicos: Periódicos CAPES e Google Acadêmico®. Foram utilizadas as palavras chaves: microplásticos; microplásticos na atmosfera; microplastics; microplastics in the atmosphere. Devido ao montante de resultados obtidos com as palavras chaves, foi aplicado como critério de inclusão os trabalhos que possuem como objetivo principal a avaliação de microplástico na atmosfera, pautados em amostragem passivas e ativas em distintos ambientes (rural, urbano e remoto). Sendo descartados os artigos dos quais não possuem como foco principal a avaliação de microplástico na atmosfera.

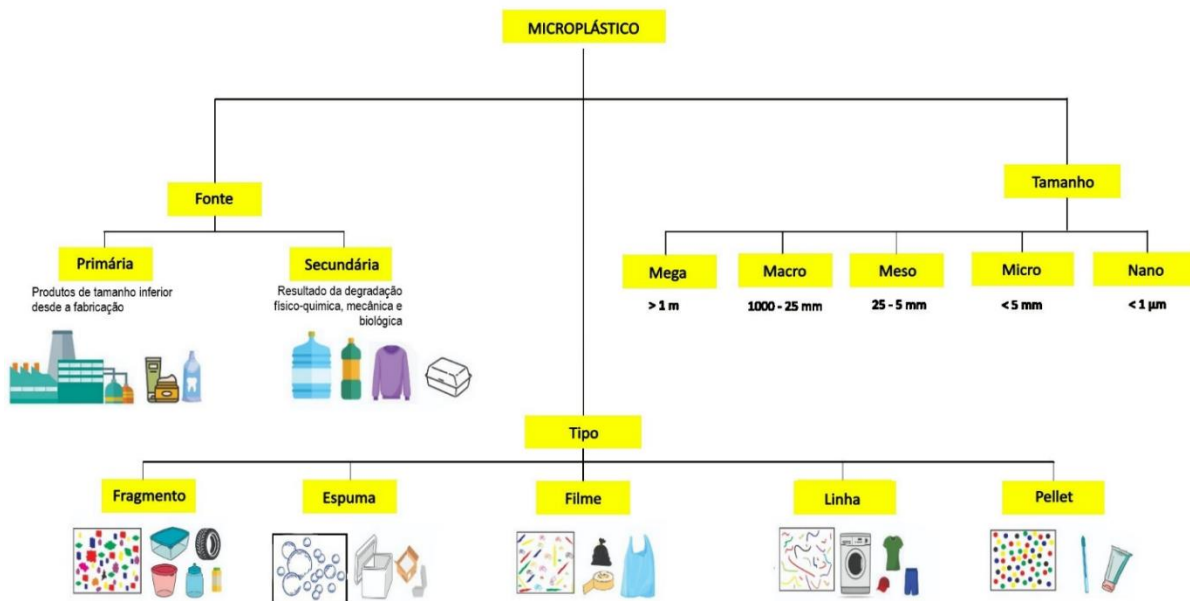
Em uma primeira análise foram localizados cerca de 156.000 artigos dos quais foram filtrados a partir dos critérios supracitados. Foram analisados 26 trabalhos, entre artigos publicados em periódicos (24), uma tese (1) e uma dissertação (1).

O que são microplásticos?

Quanto à definição, os primeiros autores a utilizar o termo microplástico foram Thompson et al. (2004), que os definiram como toda partícula de detritos antropogênicos com diâmetro inferior a 5 mm. Atualmente, com os avanços dos estudos na área, considera-se que os microplásticos variam de forma e tamanho, diversificando também sua nomenclatura em nanoplástico ($> 1 \mu\text{m}$), microplástico ($> 1 \mu\text{m}$ e $< 5\text{mm}$) e macropelástico ($> 5\text{mm}$) (GESAMP, 2019, ARTHUR et al., 2009, BROWNE et al., 2009).

Os microplásticos são classificados conforme sua origem em primários e secundários (Fig. 1). As partículas que possuem tamanho inferior desde a sua produção são consideradas como primárias; suas formas e tamanhos variam de acordo com sua aplicabilidade pois compõem distintos produtos como cosméticos e partículas abrasivas. No caso de material secundário, considera-se que a partícula de microplástico é resultado de processos erosivos de desgaste e fragmentação de macropelásticos quando expostos ao ambiente, estes passam por processos de deformação mecânica (erosão, abrasão), processos físico-químicos (foto-oxidação, temperatura, corrosão) e processos biológicos (degradação por microrganismos) fragilizando suas estruturas, o que gera sua fragmentação conforme o tempo de exposição aos agentes erosivos naturais (COLE et al., 2011, GESAMP 2019, HORTON et al., 2017, OLIVATTO et al., 2018).

Figura 1. Classificação dos microplásticos



Fonte: Adaptado de GESAMP, 2019

Para uma melhor classificação, são levados em consideração os constituintes dos microplásticos: a composição química divide-os em fragmentos, filamentos, filmes plásticos, espuma de plástico, isopor e pellets (Gesamp, 2013). A Norma ABNT NBR 13230 identifica os polímeros mais comuns com números em sete produtos comerciais, sendo eles PET (Politereftalato de Etileno), PEAD (Polietileno de Alta Densidade), PVC (Policloreto de Vinil), PEBD (Polietileno de Baixa Densidade), PP (Polipropileno), PS (Poliestireno) e outros (ABS/SAN, EVA, PA etc.).

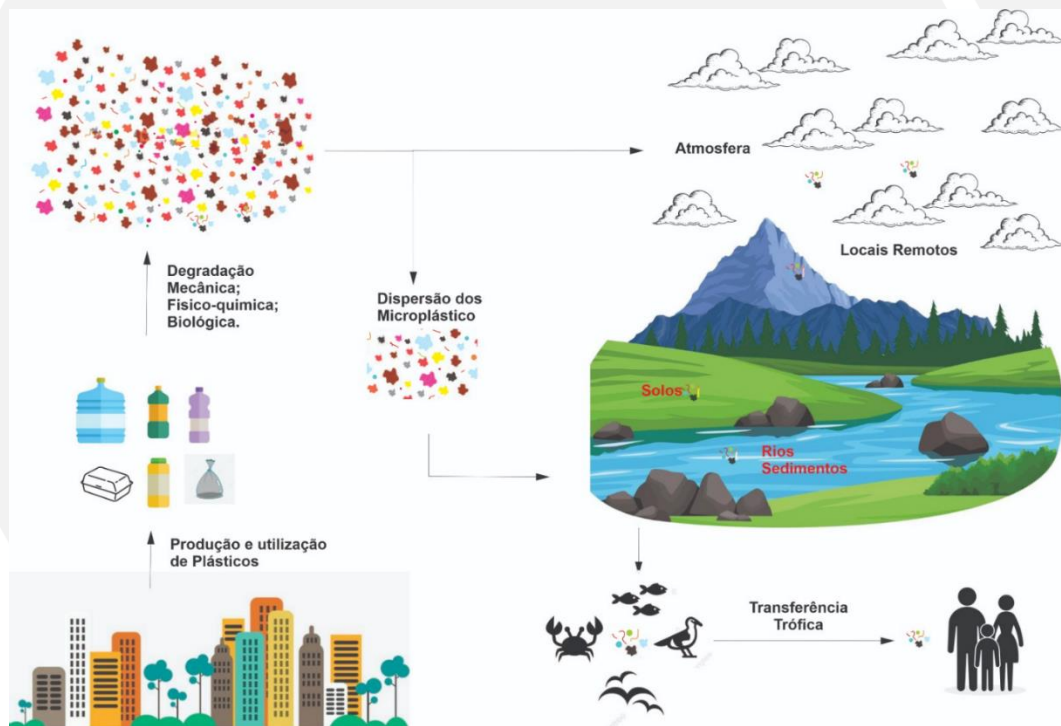
A produção de plástico tem crescido significativamente, de 1,5 milhões de toneladas em 1950 para mais de 300 milhões de toneladas em 2017. Estima-se que o consumo de plásticos acompanhe o crescimento da população que provavelmente atingirá o contingente de 9,2 bilhões de habitantes em 2050, fator que ampliará também a quantidade de microplásticos no ambiente (Horton et al., 2017). O Atlas do Plástico (2020) esclarece que são produzidas mais de 400 milhões de toneladas por ano em todo o mundo, produção que apresenta incremento notável com o passar das décadas: 9,2 bilhões de toneladas de plástico foram produzidas entre 1950 e 2017. Das 11 milhões de toneladas de lixo plástico produzidas anualmente no país, somente 145 mil são recicladas, 2,4 milhões são descartadas de forma irregular, 7,7 milhões são destinadas a aterros sanitários e mais de 1 milhão não é recolhida (FERRAZ, 2022).

A título de exemplo muitos trabalhos localizaram quantidades significativas de microplástico em distintos ambientes como em sedimentos (Rio Amazonas, Brasil, Gerolin et al., 2020), lagos (Lago Guaíba, Porto Alegre, RS, Bertoldi, 2022), solos (hortas domésticas do México, Lwanga et al., 2017), fossas oceânicas (Oceano Pacífico, Japão, Jamieson et al., 2019), água das torneiras (Rio Grande do Sul, Ferraz et al., 2020) e corrente sanguínea humana (LESLIE et al., 2022).

Resultados: Publicações sobre microplásticos na atmosfera

Por serem leves, os microplásticos podem ser transportados pelo vento a longas distâncias, inserindo-se nos mais diversos ambientes (Fig. 2).

Figura 2. Dispersão dos microplásticos no ambiente



Fonte: Os autores, (2024)

Na busca operada, detectou-se que as publicações voltadas a esta problemática disponíveis na internet iniciam-se no ano de 2015, e é investigada em três dos seis continentes (Tab. 1).

Tabela 1. Síntese das publicações encontradas sobre microplásticos na atmosfera.

Publicação	Localidade	AM	Objetivo. Detecção de microplásticos em:	TA	MC	PL	Resultados
Abbasi et al. (2023)	Ahvaz, Irã	U	Áreas urbanas e industriais.	T	AT	SD, CF, QMO.	Foram registrados MP do tipo PE, PA, PP maior parte foram fibras. Houve pouca variação do material entre o verão e inverno e locais amostrados.
Asrin & Dipareza, (2019)	Surabaya City, Indonésia	U	Ruas da cidade.	T	AT	CF, CQ	Foram registrados MP do tipo polímeros de PES, PET como celofane e fibras, as quais foram dominantes. Houve variação na quantia encontrada entre as ruas <i>Urip Sumoharjo</i> (maior quantia) <i>Mayjend Sungkono</i> (menor quantia).
Cai et al. (2017)	Dongguan city, China	U	Precipitação atmosférica seca e única.	T	PS	CF, CQ	Foram encontrados quatro tipos de MP no estudo: espuma, fragmento, filme e fibra que é a forma dominante. Houve variação considerável entre as amostragens entre os MP fibrosos e não fibrosos.
Cui et al. (2022)	Yangzhou, Jiangsu, China	U	20 residências.	T	AT	CQ	Mostram, por meio de comparação entre os cômodos das casas que as quantias de MP estão associadas ao tempo de uso limpeza e idade dos seus ocupantes. Foram registrados MP do tipo PA, PU e PE.
Huang et al. (2021)	Guangzhou, China	U	Área urbana do município.	T	PS	CQ	Ao analisar no período de um ano a deposição úmida e seca dos MP na atmosfera da cidade, observou-se a variação de fragmentos, filmes, microesferas e principalmente fibras, dos quais, possuem como componente produtos petroquímicos do tipo PET e PES.
Kaya et al. (2018)	Sacária, Turquia	U	Área urbana (Terminal e Universidade).	T	AT	SD, CF, QMO.	Por meio da comparação entre os dados de MP coletados em dois pontos urbanos reportou a variação de fibras e fragmentos, onde o primeiro é abundante, sua variação é atribuída a hábitos de consumo, status socioeconômico, trânsito, urbanização e estação do ano.
Li et al. (2019)	Pequim, China	U	Poeira de construção em universidade.	F	PS	CF, CQ	Classificaram-se as fibras presentes na atmosfera de Pequim em duas categorias: orgânica e inorgânica. Dentre estas, a segunda é mais comum de ser encontrada com tamanho inferior a 20 µm.
Liu et al. (2019a)	Xangai, China	U	Prédio comercial de área urbana.	T	AT	CF, CQ	Com investigação de MP suspensos na atmosfera no decorrer de um mês, localizou-se variedade considerável de MP em que 67% foram microfibras, 30% fragmentos e 3% grânulos. A partir da análise química obteve-se a sua composição: PET, PE, PES, PAN, RY, EVA, EP e ALK. Considerou-se que parte considerável de partículas suspensas tem roupas como fonte.
Liu et al. (2019b)	Xangai, China	U	Ponto fixo próximo a praia.	T	PS	CF, CQ	Por meio da avaliação no intervalo de um mês em 2019, constatou-se que 91% do material obtido tratava-se de fibras, sendo localizados também microesferas (9%), compostos por PET, EP, PE, ALK, RY, PP, PA, PS.
Truong et al. (2021)	Ho Chi Min city, Vietnã	U, R	Área urbana do município.	T	PS	CF, CQ	Com avaliação anual de MP em precipitação atmosférica, observou-se variação entre os pontos analisados com densidade e ocupação do solo distinta. A maior parte dos registros

							foram de fibras e ocasionalmente fragmentos. Constatou-se que a deposição não apresentou variação temporal com precipitação, intensidade e direção do vento.	
	Wang et al. (2020)	Mar da China Meridional e Oceano Índico Oriental	M	Atmosfera do mar e estuário.	T	AT	CF	Com base em levantamento com 21 transectos no mar, constatou-se que as partículas transportadas pela atmosfera são levadas a grandes distâncias - > 1000 km da costa.
	Zhu et al. (2021)	Região de Beijing, China	U	Atmosfera	T	PS	CF, CQ, QMO	Realizou-se a comparação entre as quantidades de MP suspensos na atmosfera em cinco grandes cidades: Beijing, Tianjin, Nanjing, Shanghai e Hangzhou. Foi constatado que não houve relação entre a concentração de MP no ar e os índices socioeconômicos.
Europa	Allen et al. (2019)	Cordilheira dos Pireneus	A. R	Atmosfera de região montanhosa remota.	T	PS	CF, CQ, QMO	Análise de MP atmosféricos por cinco meses sobre a montanha de Pirineus, foi registrado a presença de MP do tipo fibras e fragmentos com variações de tamanho de 750 a 300 µm. Evidenciando o transporte dos MP em distâncias de até 95 km atingindo regiões remotas.
	Dris et al. (2016)	Paris, França	U	Área urbanizada e pouco urbanizada.	F	PS	CF, CQ, SD	Com a investigação comparativa a respeito da precipitação atmosférica entre dois bairros de Paris (área central e subúrbio), constatou-se o elevado nível de MP do tipo fibra na área central em relação ao subúrbio. Foi quantificado que aproximadamente que de 3 a 10 toneladas de fibras são depositadas por precipitação atmosférica em Paris todos os anos.
	Dris, et al. (2017)	Paris, França	U, IR	Atmosfera no interior de dois apartamentos e um escritório.	F	PS	CF	Por meio da comparação sobre a concentração de fibras em ambiente interno e externo constatou-se que a parte interna das residências possuem maior carga de MP suspensos. Quanto a composição dos materiais registrados, verificou-se que 67% são de origem natural e 33% produtos petroquímicos. As fibras localizadas possuem grandes proporções, fator que dificulta sua inalação.
	Duarte, (2019)	Porto - Portugal	IR	Uma unidade de separação de resíduos.	T	AT	CQ	Com o estudo constatou-se que a quantidade de partículas suspensas no ar de um centro de triagem encontra-se de acordo com os valores limites a legislação Portuguesa. As partículas de MP localizadas possuíam o tamanho médio de 7,38 µm.
	Gonzalez-pleiter et al. (2020)	Alcalá de Henares a Guadalajara - Espanha	U, R	Em trajeto aéreo entre as cidades.	T	AT	CF, CQ	Foi realizado a quantificação e qualificação dos MP presentes na baixa troposfera, a partir desta compreendeu-se que os MP podem ser transportados por mais de 1000 km antes de se depositarem potencial transporte de longa distância. Foi contabilizado quantias de MP maiores em áreas urbanas em relação às rurais.
	Kernchen, et al. (2022)	Kassel, Bremerhaven, weserbergland, solling, Wasserkuppe - Alemanha	U, R	Atmosfera, água e sedimentos da área de drenagem do Rio Weser.	T	AT, PS	CF, CQ, SD, QMO	Por meio de seis pontos de amostragens no decorrer da área de drenagem do rio Weser foi realizado o levantamento da quantidade de MP dispersos na atmosfera, com avaliações em ambientes rurais, suburbanos, urbanos e estações de tratamento de águas residuais objetivando localizar as possíveis fontes do material.

	Klein & Fischer (2019)	Hamburgo - Alemanha	R	Detecção e comparação de microplásticos entre áreas rurais e em uma universidade.	T	PS	CF, CQ, QMO	Evidenciando a onipresença das partículas, constatou-se quantias significativas do material mesmo em áreas rurais e florestadas. Observou-se maior quantia, principalmente de fibras e fragmentos, nas áreas rurais em relação a urbana devido à proximidade da área de coleta as rodovias da região.
	Prata et al. (2020)	Aveiro - Portugal	IR	Ambiente interno e externo de uma residência.	F	AT	CF, SD, QMO	A avaliação constatou concentrações superiores de fibras sintéticas no ambiente externo em relação ao interno. Com variações de características de acordo com o período de amostragem. O estudo alerta a respeito da contaminação de amostras, devido a captura de outros tipos de MP além das fibras.
	Szewc et al. (2021)	Mar Báltico - Polônia	M	Atmosfera da zona costeira do mar Báltico.	T	PS	CQ	As amostragens realizadas no decorrer de um ano investigaram a relação entre a deposição de MP com os fatores meteorológicos. Observou-se a predominância de fibras, com tamanhos variados de 5.000 a 5 µm, de material PES e PP. Frente aos resultados, constatou-se maior deposição de MP de fonte terrestre e menor marinha.
	Wright et al. (2020)	Londres - Inglaterra	U	Atmosfera em área urbanizada	T	PS	CF, CQ	Foram encontradas quantias consideráveis de MP em todas as coletas realizadas no centro urbano e Londres. O tipo fibra com maior quantidade, sendo estes de base petroquímica. Seus resultados foram associados a dependência do vento, com diferentes áreas de origem que transportam os MP para distintas localidades.
América	Amato-lourenço et al. (2021)	São Paulo (SP)	U	Microplásticos contaminados por SARS-CoV-2 nas proximidades de um hospital.	T	PS	CF, CQ, SD.	O trabalho detectou partículas de MP contaminadas, destas PES foi o polímero mais frequente. Constatou-se que os materiais podem ser um facilitador da entrada do vírus no corpo humano uma vez que sua presença não está associada a variáveis climáticas.
	Amato-lourenço et al. (2022)	São Paulo (SP)	U, IR	Área interna e externa de residência.	T	PS	CF, CQ, SD	Frente a comparação da quantidade de MP, observou-se maior no interior da residência amostrada em relação a sua área externa, com destaque ao tipo fibra as quais possuem PES, PE e PP.
	Ferraz (2022)	São Carlos (SP)	U, IR	Área interna e externa de escola.	T	AT, PS	CF, SD, QMO	Ao quantificar e caracterizar os MP atmosféricos da cidade de São Carlos, obteve-se como resultado uma variação considerável de fibras e fragmentos, em ambiente interno e externo dos quais possuem como componente o PET, EVA, PE e PEBD.
	Shruti et al. (2022)	Cidade do México, México	U	Área urbana.	T	AT	CF	A partir das amostragens em sete estações de monitoramento (urbanas, residenciais e industriais) durante o período seco e estações chuvosas de 2020 foram detectados MP em todas as amostras examinadas com maior abundância em locais próximos de áreas industriais e centros urbanos.

Fonte: elaborada pelos autores.

Códigos: AM – Área de amostragem (R – Rural; U – Urbana; IR – Interior de residência; M – Mar; AR– Área Remota)

CF – Classificação Física

CQ – Classificação Química

MC – Método de coleta (AT – ativo; PS – passivo)

MP – Microplásticos

PL – Protocolo laboratorial (SD – separação por densidade)

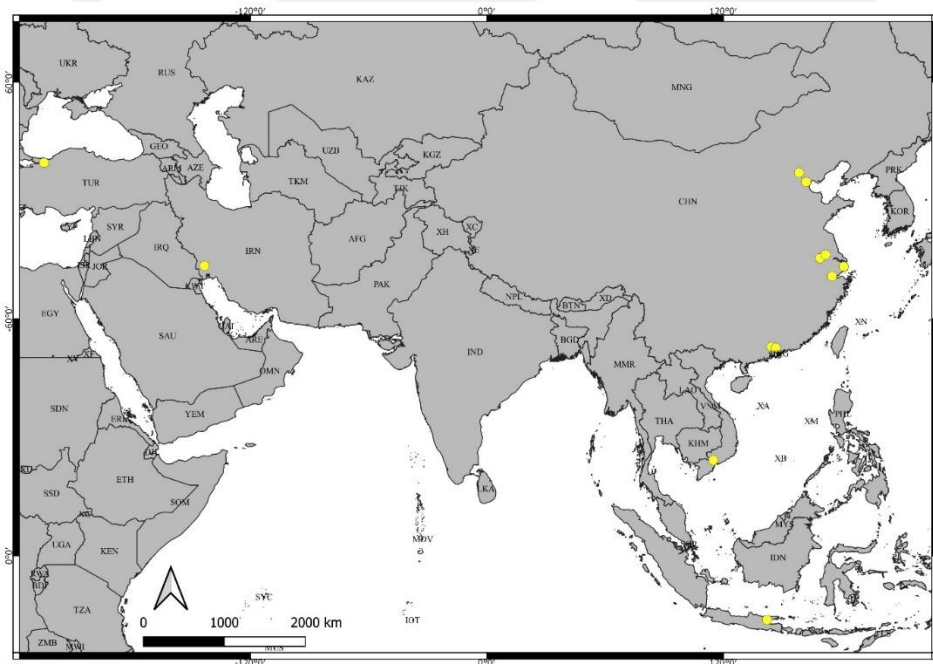
QMO – Queima da Matéria Orgânica

TA – Tipo de amostra (F – Fibra; T – Todas).

Abreviações: Polietileno Tereftalato (PET), Poliéster (PES), Polietileno de Alta Densidade (PEAD), Polietileno (PE) Etileno Acetato de Vinila (EVA), Polietileno Cloreto de Vinila (PVC), Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), Polipropileno (PP), Resina Epóxi (EP), Resina Alquídica (ALK), Poliamida (PA),

Em se tratando das publicações sobre microplásticos na atmosfera, foram encontradas, neste trabalho, 12 no continente asiático; 10 no continente europeu e 4 no continente americano (Fig. 3;4;5). A maior parte das publicações possuem como foco as pesquisas nas áreas urbanas (16 publicações), com destaque para o continente asiático (10 publicações).

Figura 3. Localização das publicações envolvendo microplásticos na atmosfera no continente asiático



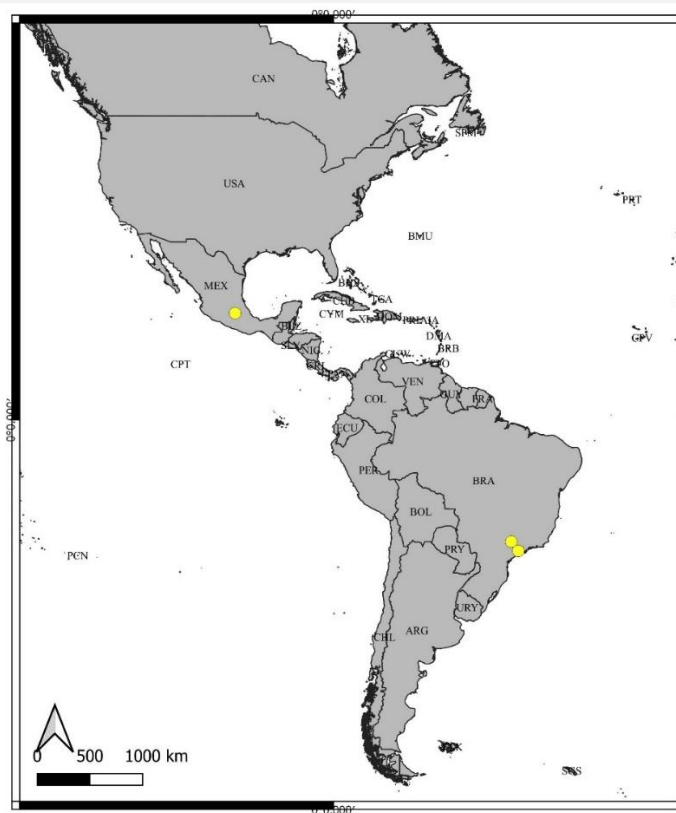
Fonte: Openstreetmap (2024)

Figura 4. Localização das publicações envolvendo microplásticos na atmosfera no continente Europeu



Fonte: Openstreetmap (2024)

Figura 5. - Localização das publicações envolvendo microplásticos na atmosfera no continente americano



Fonte: Openstreetmap (2024)

A China é país do continente asiático com maior quantidade de publicações sobre a temática. No continente Europeu a França possui maior número de publicações. No continente americano destaca-se o Brasil.

Associa-se a diferenciação entre a quantidade de publicações dos países a preocupação quanto as fontes de poluição plástica. O continente europeu e asiático adota práticas sustentáveis de reaproveitamento e substituição de produtos plásticos a décadas, ampliando a abordagem e preocupação quanto sua dispersão no ambiente. Tais abordagem são refletidas a partir a aprovação de emendas, leis e medidas protetivas contra a produção e consumo exacerbado de plástico. Quanto ao continente americano é perceptível através da falta de medidas protetivas assim como leis e estudos em fase inicial que tal problemática está em fase introdutória.

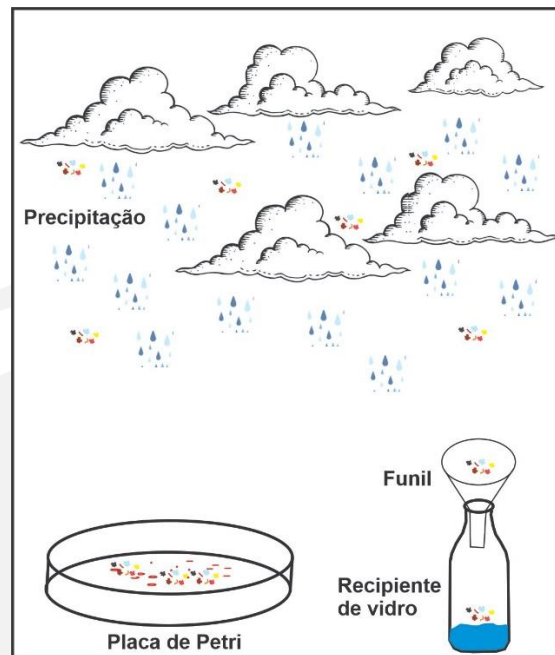
Constatou-se a utilização de duas principais formas de coleta, com amostradores passivos (45%) e ativos (46%). A grande problemática envolvendo tais estudos é a falta de padronização, pois, geralmente são adaptados de acordo com sua localização e aspectos físicos.

METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM DE MICROPLÁSTICO NA ATMOSFERA:

Coleta de amostras

Os amostradores passivos fornecem uma indicação específica do local coletado e da quantidade de microplástico suspenso na atmosfera, trata-se de amostradores depositados em pontos estratégicos que se baseiam na deposição gravitacional das partículas nos amostradores os quais podem ser secos, sedimentação de partículas secas na atmosfera, ou úmidos (Fig. 6), por meio da precipitação (KNOBLOCH et al., 2021).

Figura 6 – Amostragem passiva úmida



Fonte: Os Autores, (2024)

Utilizam-se coletores passivos para detecção de partículas de microplástico na atmosfera, principalmente devido ao baixo custo e facilidade de acesso aos equipamentos. A técnica foi aplicada nos estudos de Allen et al. (2019), Amato-Lourenço et al. (2022), Cai et al. (2017), Dris et al. (2017), Dris et al. (2016), Huang et al. (2021), Klein & Fischer (2019), Li et al. (2020), Szewc et al. (2021), Troung et al. (2021), Wright et al. (2020), Zhu et al. (2021). O material que compõe os amostradores passivos adapta-se de acordo com a pesquisa realizada, sendo utilizados principalmente amostradores de vidro e alumínio. Tal composição é escolhida com o objetivo de evitar contaminação durante a coleta. Garrafas de vidro e do tipo Becker com funil acoplado serviram como amostradores nas pesquisas de Amato-Lourenço et al. (2022), Cai et al. (2017), Dris et al. (2017), Dris et al. (2016), Szewc et al. (2021), Troung et al. (2021), Wright et al. (2020). A utilização de placas de Petri como amostradores está presente em Cui et al. (2022). Baldes e frascos foram utilizados por Allen et al. (2019), Zhu et al. (2021), Huang et al. (2021). Na pesquisa de Klein & Fischer (2019), tem-se uma estrutura a base de PVC para a coleta. Todos os equipamentos, mesmo que de distintos materiais, possuíam como complemento um filtro dentro ou em sua superfície para a fixação dos materiais suspensos.

Os amostradores ativos (figura 7), possui como principal objetivo a realização de amostragem em períodos específicos e locais pré-determinando, onde é comum a utilização de bomba a vácuo (Abbasi et al., 2023, Amato-Lourenço et al., 2021, Asrin & ipareza 2019, Cui et al., 2022, Duarte, 2019, Liu et al., 2019a,b, Kaya et al., 2018, Shruti et al., 2022, Prata et al., 2020). Porém, distintos autores adaptaram o tipo de coleta ativa e utilizaram diferentes meios para conduzir o ar ao filtro como Wang et al. (2020) que acoplaram o equipamento sobre o casco de um navio e González-Pleiter et al. (2020) que instalaram um equipamento de amostragem em um avião.

Figura 7 –Amostragem ativa em ambiente interno



Fonte: Os Autores, (2024)

Atualmente é recomendada a integração de ambos os métodos de amostragem, ativa e passiva, que possibilitam uma amostragem completa do microplástico na atmosfera do local de estudo. Ferraz (2022) utilizou esta abordagem para a amostragem na área interna e externa de um colégio localizado no município de São Carlos (SP) e Kernchen et al. (2022) realizaram uma análise integrada de microplástico sobre a área de drenagem do rio Weser na Alemanha.

Trabalho Laboratorial

Após as coletas as amostras são encaminhadas aos laboratórios onde passam por três principais processos: queima da matéria orgânica, separação por densidade e classificação visual e química.

Queima da matéria orgânica

Algumas amostras podem possuir carga de matéria orgânica e necessitam de um tratamento inicial de queima para posterior separação por densidade. Para a realização deste processo é utilizado o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (Allen et al., 2019, Abbasi et al., 2023, Kaya et al., 2018, Prata et al., 2020 e Zhu et al., 2021) e o reagente Fenton ($FeSO_4+H_2O_2$) (Ferraz, 2022, Kernchen et al., 2022) em ambos os casos o processo pode ser acelerado via aquecimento.

Separação por densidade

Objetivando separar os fragmentos plásticos dos demais detritos da amostra, utiliza-se uma solução hipersalina para a separação por densidade, existe certa variação entre os autores quanto aos reagentes químicos utilizados. O componente mais comum utilizado é o cloreto de zinco ($ZnCl_2$ – densidade entre 1,5 e 1,7 g/cm^3) (Allen et al., 2019, Abbasi et al., 2023, Dris et al., 2016, Kaya et al., 2018 e Kernchen et al., 2022), iodeto de sódio (NaI) (Ferraz 2022 e Prata et al., 2020). O hipoclorito de sódio ($NaClO$) (KLEIN & FISCHER, 2019).

Avaliação Química

São utilizados métodos termo-analíticos, baseados na espectrometria para a análise dos componentes dos microplásticos. A análise auxilia na melhor compreensão da composição dos fragmentos detectados. Objetiva-se possuir uma amostra representativa do material, descrita por meio de seus componentes, possibilitando a correta identificação e classificação do material localizado.

A espectrometria, fornece informações a respeito dos grupos funcionais da amostra possibilitando a diferenciação de sua natureza em orgânicos ou inorgânicos. É obtida por meio da absorção na região do infravermelho, causada por movimentos rotacionais e vibracionais dos grupos moleculares e ligações químicas das moléculas, com a absorção da radiação infravermelha ocorre a ampliação vibrações moleculares (MOTA et al., 2021).

Nas pesquisas que envolvem a avaliação de microplástico na atmosfera, é comum a aplicação de espectrometria baseada nas técnicas de Espectroscopia no

Infravermelho por Transformada de Furrier (FTIR) e Raman. Tais técnicas possuem um mesmo princípio de funcionamento, que é o fato de possuírem uma fonte de energia, geralmente luz, que mede o comportamento da matéria quando expostos.

Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Com a popularização do método da espectroscopia, a busca por técnicas relacionadas à medição de espectros vibracionais foi ampliada, uma das mais utilizadas é a FTIR. Na técnica ocorre a reflexão atenuada; o funcionamento se dá a partir da geração de um interferograma, gerado em equipamento que possui dois espelhos, fixo e móvel, e um divisor de feixe; este separa a radiação que é direcionada aos espelhos. A radiação, ao ser refletida, retorna ao divisor que a recombina e gera os espectros, obtidos por meio de cálculo da transformada de Fourier do interferograma (MIAW et al., 2018).

O processo baseia-se na comparação do comportamento das ondas infravermelhas quando a radiação atravessa a amostra e em sua ausência. O resultado é expresso no espectrômetro por meio da banda de absorção que apresenta os grupos funcionais das estruturas de acordo com sua interação, com as moléculas ou átomos, das amostras com a radiação eletromagnética em meio ao processo de vibração molecular (Miaw et al., 2018). Para a interpretação, leva-se em consideração o fato de que radiação no infravermelho faz com que átomos, e grupos de átomos, orgânicos vibrem com amplitude aumentada, em contrapartida quando se trata de compostos inorgânicos, o campo vibracional está relacionado a regiões de baixa energia espectral (SILVERSTEIN et al., 2005).

A técnica, aplicada em diversos estudos de investigação de microplástico, foi introduzida por Dris et al. (2016) e se popularizou (Amato-Lourenço et al., 2021, Amato-Lourenço et al., 2022, Asrin & Dipareza 2019, Cai et al., 2017, Cui et al., 2022, González-Pleiter et al., 2020, Huang et al. 2021, Liu et al., 2019, Szewc et al., 2021, Troung et al., 2021, Wright et al., 2020 e Zhu et al., 2021).

Espectroscopia Raman

A técnica de espectrometria Raman parte do mesmo princípio da FTIR, a qual possibilita a identificação das estruturas químicas das amostras por meio do espalhamento provocado por radiação após o contato com os materiais que as compõem. O equipamento possui uma fonte monocromática de luz que ao atingir a

amostra se dispersa. Sua dispersão, pode ocorrer de duas formas: i) mantendo a mesma intensidade que a fonte incidente, chamado espalhamento elástico, e ii) onde a luz é espalhada ou é dispersa com energia distinta a sua fonte, chamado espalhamento inelástico. São as informações obtidas a partir do espalhamento inelástico é que possibilita a compreensão da composição química dos objetos da amostra analisada (LACAPC, 2023).

No espalhamento inelástico são emitidos fótons com energia ligeiramente maior, ou menor, que a inicial, esta diferença de energia está relacionada à energia com que os átomos atingidos pela radiação estão vibrando, esta frequência de vibração que permite a identificação das ligações dos átomos, fornecendo informações sobre a geometria molecular do material (LACAPC 2023).

Vários estudos aplicaram a técnica Raman em suas pesquisas, para a análise de microplástico na atmosfera (ALLEN et al., 2019, ABBASI et al. 2023, DUARTE 2019, KERNCHEN et al. 2022, KLEIN e FISCHER 2019).

Ambas as técnicas (FTIR e Raman) são amplamente utilizadas, seu uso é recomendado pois os métodos de constatação visual não abrangem partículas inferiores, sua aplicação auxilia na classificação, caracterização e quantificação das partículas de uma amostra. Porém, para a sua aplicação é necessário o uso de equipamentos específicos, fator que demanda recursos, sendo desta forma, pouco acessível em relação a avaliação visual (ZHANG et al., 2020).

Parâmetros para a classificação visual dos microplásticos (forma, tamanho e cor)

Um dos primeiros fatores observados ao se analisar amostras de microplásticos a partir de seus aspectos físicos é quanto a sua forma. Apesar da falta de padronização, utiliza-se com frequência manuais que os diferenciam e classificam.

Atualmente um manual amplamente utilizado é *Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean* (GESAMP, 2019), que apresenta classificações e descrições a respeito de parâmetros e protocolos de avaliação de microplásticos, o manual é direcionado a amostras encontradas em ambientes costeiros, porém é utilizado também em estudos de ambientes de água doce e demais avaliações sobre o material.

A partir do manual, os microplásticos são classificados em 5 tipos, fragmento, espuma, filme, linha e Pellet (GESAMP 2019). Olivatto (2017) também classifica os

tipos de polímeros em Poli (tereftalato de etileno), Polietileno de alta densidade, Policloreto de Vinila, Polietileno de baixa densidade, Polipropileno, Poliestireno e outros.

O tipo fibra é considerado o mais abundante ao se tratar de microplástico na atmosfera, pois possui proporções mínimas e está inserido em malhas sintéticas do dia a dia de áreas urbanas que são facilmente transportadas pela atmosfera. Muitos autores avaliam apenas este tipo de microplástico em suas pesquisas (Dris et al., 2017; Dris et al., 2016; Kaya et al., 2018; Li et al., 2020 e Prata et al., 2020).

Em se tratando do tamanho dos microplásticos, quando do tipo secundário, é considerado que sua variação ocorre de acordo com seu material original, derivando de sua fragmentação. Leva-se em consideração que formas arredondadas correspondem a um material que está a um tempo considerável se fragmentando no ambiente, enquanto os fragmentos com pontas finas são recentes (ZHANG, 2020).

O tamanho das partículas de microplástico é um fator importante pois determina o tempo de interação do material no ambiente. Desde a classificação de Thompson, et al. (2004), considera-se que microplástico é classificado como todo material inferior a 5 mm no ambiente, porém, com o avanço das pesquisas novas classificações surgiram como do GESAMP, (2019) que consideram Megaplástico (>1 m), macro (25-1000mm), meso (5-25 mm), micro (1-5 mm) e nano (< 1 μ m).

Na análise da coloração dos microplásticos leva-se em consideração o potencial de toxicidade, uma vez que cada fragmento possui coloração artificial, normalmente derivada de pigmentação que pode conter elementos tóxicos.

Perspectivas de estudos futuros

A ampla e continua produção de compostos de plástico gera a dispersão de quantidades consideráveis de seus fragmentos em distintos ecossistemas. Levando em consideração o fato de que os ambientes estão interligados, o transporte das partículas é favorecido, o tornando onipresente (Zhang et al., 2020). Pesquisadores como Allen et al. (2019) e Zhang et al. (2019), alertam a respeito da possibilidade de a atmosfera ser um potencial vetor de transporte dos microplásticos, as massas de ar carregam e depositam as partículas, principalmente fibras, em ecossistemas terrestres e aquáticos ampliando sua dispersão e poluição.

Nas últimas décadas as pesquisas voltadas à detecção de microplástico em ambientes distintos ganharam certa notoriedade devido a sua importância e ao

problema que geram e ou podem gerar. No tocante às publicações sobre microplásticos na atmosfera, pode-se afirmar que ainda se encontram na fase inicial. Faz-se premente o fomento e o incentivo deste tipo de pesquisa. Vale destacar que nas publicações ora apresentadas muito se fez em relação à quantificação e qualificação, sendo necessária a complementação via modelagem e transporte atmosférico, podendo abrir perspectivas interessantes quanto a fonte e origem do material, podendo-se assim mitigar o problema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreende-se que os microplásticos são poluentes crônicos da atmosfera, além de serem importante e abundante fonte de contaminação dos ecossistemas pois encontram-se suspensos na atmosfera em distintos locais incluindo rios, áreas rurais, urbanas, regiões polares ou de grandes altitudes, fator que mostra seu potencial de transporte a distâncias consideráveis, dificultando a localização de suas possíveis fontes. A ação antrópica é a causa principal da dispersão do microplástico no ambiente, devido ao fato de que ele é introduzido em distintos produtos descartados de forma irregular no ambiente, considera-se também que fatores como o processo de escoamento superficial aliado a precipitação e as massas de ar contribuem para a sua dispersão. O tipo de microplástico mais frequente localizado na atmosfera são as fibras sintéticas, resultantes da fragmentação de produtos como malhas de roupas, emissões industriais e partículas liberadas por veículos (e.g. desgaste de pneus).

A quantidade de publicações envolvendo a temática microplásticos na atmosfera pode ser considerada pequena e ainda em fase inicial, indicando que os debates a respeito da problemática estão em fase introdutória frente aos problemas ambientais atuais, concentram-se principalmente no continente asiático e europeu, sendo poucos os estudos nas américas. O Brasil é o líder em número de publicações no continente latino-americano. A maioria das publicações possui como objetivo principal analisar o material de forma quantitativa e qualitativa avaliando-se forma, cor, tamanho e composição química. Evidencia-se assim a falta de trabalhos focadas em modelagem e circulação atmosférica.

Um problema observado nos estudos refere-se aos protocolos de coleta e análises laboratoriais, já que inexistente uma padronização. Os pesquisadores tendem a adaptar metodologias já utilizadas, fator que dificulta a comparação entre os estudos e uma análise integrada. Faz-se necessária a padronização dos métodos de amostragem

e análise de microplásticos atmosféricos, que certamente levará a dados mais precisos para confecção de modelos e avaliações de riscos ambientais.

A pesquisa mundial sobre variações espaciais e temporais da deposição de microplásticos atmosféricos necessita ser aprimorada. Estudos são necessários para melhor compreensão sobre a ação dos microplásticos atmosféricos aos ecossistemas e para a saúde humana.

Agradecimentos

A primeira autora agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de doutorado. O segundo autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade (Processo 308093/2023-2).

REFERÊNCIAS

De acordo com as normas ABNT.

ABBASI, Sajjad; JAAFARZADEH, Neamatollah; ZAHEDI, Amir; RAVANBAKHS, Maryam; ABBASZADEH, Somayeh; TURNER, Andrew. Microplastics in the atmosphere of Ahvaz City, Iran. **Journal Of Environmental Sciences**, [S.L.], v. 126, p. 95-102, abr. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2022.02.044>. Acesso em: 02/2024.

ALLEN, Steve; ALLEN, Deonie; PHOENIX, Vernon R.; ROUX, Gaël Le; JIMÉNEZ, Pilar Durántez; SIMONNEAU, Anaëlle; BINET, Stéphane; GALOP, Didier. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. **Nature Geoscience**, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 339-344, 15 abr. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>. Disponível em: 10.1038/s41561-019-0335-5. Acesso em: 20 fev. 2024.

AMATO-LOURENÇO, Luís Fernando; GALVÃO, Luciana dos Santos; WEGER, Letty A. de; HIEMSTRA, Pieter S.; VIJVER, Martina G.; MAUAD, Thais. An emerging class of air pollutants: potential effects of microplastics to respiratory human health?. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 749, p. 141676, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141676>. Disponível em: 10.1016/j.scitotenv.2020.141676. Acesso em: 05 jan. 2024

AMATO-LOURENÇO, Luís Fernando; GALVÃO, Luciana dos Santos; WIEBECK, Hélio; CARVALHO-OLIVEIRA, Regiani; MAUAD, Thais. Atmospheric microplastic fallout in outdoor and indoor environments in São Paulo megacity. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 821, p. 153450, maio 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153450>. Acesso em: 25 jan. 2024.

AMATO-LOURENÇO, Luís Fernando; GALVÃO, Luciana dos Santos; WIEBECK, Hélio; CARVALHO-OLIVEIRA, Regiani; MAUAD, Thais. Atmospheric microplastic

fallout in outdoor and indoor environments in São Paulo megacity. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 821, p. 153450, maio 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153450>. Acesso em: 06 fev. 2024.

ARTHUR, Courtney; BAKER, Joel. E; BAMFORD, Holly. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris; **NOAA Marine Debris Program**, p. 530. 2009. Disponível em: <https://marinedebris.noaa.gov/microplastics/proceedings-international-research-workshop-microplastic-marine-debris>. Acesso em abril 2024.

SYAFEI, Arie Dipareza; NURASRIN, Nurul Rizki; ASSOMADI Abdu Fadli, BOEDISANTOSO Rachmat. Microplastics in Ambient Air Case Study: Urip Sumoharjo Street and Mayjend Sungkono Street of Surabaya City, Indonesia. **Journal For Advanced Research In Applied Sciences**, 6, 54-57. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.12944/CWE.14.2.13>. Acesso em 26 mar. 2024.

MONTENEGRO, Marcelo; VIANNA, Manoela; TELES, Daisy Bispo (ed.). **Atlas do Plástico: fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos**. Rio de Janeiro: Creative Commons, 2020. 60 p. Disponível em: <https://br.boell.org/pt-br/2020/11/29/atlas-do-plastico>. Acesso em: 01 abr. 2024.

BERTOLDI, Crislaine Fabiana. **Distribuição espaçotemporal, abundância e caracterização de microplásticos em águas superficiais do Lago Guaíba**. 2022. 177 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - Rs, 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/235554>. Acesso em: 22 mar. 2024

BROWNE, Mark A.; GALLOWAY, Tamara; THOMPSON, Richard. Microplastic—an emerging contaminant of potential concern? **Integrated Environmental Assessment And Management**, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 559-561, out. 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ieam.5630030412>. Acesso em: 22 mar. 2024

BUCHANAN, J.B.. Pollution by synthetic fibres. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 23, fev. 1971. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0025-326x\(71\)90136-6](http://dx.doi.org/10.1016/0025-326x(71)90136-6). Acesso em: 11 mar. 2024.

CADORE, Solange; MATOSO, Érika; SANTOS, Mirian Cristina. A espectrometria atômica e a determinação de elementos metálicos em material polimérico. **Química Nova**, [S.L.], v. 31, n. 6, p. 1533-1542, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422008000600044>. Acesso em: 18 fev. 2024.

CAI, Liqi; WANG, Jundong; PENG, Jinping; TAN, Zhi; ZHAN, Zhiwei; TAN, Xiangling; CHEN, Qiuqiang. Characteristic of microplastics in the atmospheric fallout from Dongguan city, China: preliminary research and first evidence. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 24, n. 32, p. 24928-24935, 16 set. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-0116-x>. Acesso em: 25 mar. 2024.

CAMPBELL, Samantha H.; WILLIAMSON, Patrick R.; HALL, Britt D.. Microplastics in the gastrointestinal tracts of fish and the water from an urban prairie creek. **Facets**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 395-409, 1 maio 2017. Canadian Science Publishing.

<http://dx.doi.org/10.1139/facets-2017-0008>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1139/facets-2017-0008>. Acesso em: 03 abr. 2024.

COLE, Matthew; LINDEQUE, Pennie; HALSBAND, Claudia; GALLOWAY, Tamara S.. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 62, n. 12, p. 2588-2597, dez. 2011. Disponível em: [10.1016/j.marpolbul.2011.09.025](http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025). Acesso em: 06 fev. 2024

CUI, Jiawen; CHEN, Chen; GAN, Quan; WANG, Tongfei; LI, Wei; ZENG, Wen; XU, Xiaowen; CHEN, Gang; WANG, Li; LU, Zhaogeng. Indoor microplastics and bacteria in the atmospheric fallout in urban homes. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 852, p. 158233, dez. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158233>. Acesso em: 01 abr. 2024.

DRIS, Rachid; GASPERI, Johnny; MIRANDE, Cécile; MANDIN, Corinne; GUERROUACHE, Mohamed; LANGLOIS, Valérie; TASSIN, Bruno. A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 221, p. 453-458, fev. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013>. Acesso em: 15 mar. 2024.

DRIS, Rachid; GASPERI, Johnny; SAAD, Mohamed; MIRANDE, Cécile; TASSIN, Bruno. Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment?. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 104, n. 1-2, p. 290-293, mar. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>. Acesso em: 06 abr. 2024.

Duarte, J. P. (2019). **Caracterização de microplástico suspenso no ar na unidade de separação de resíduos, LIPOR**. 2019. p. 60. Dissertação (mestrado) - Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente - Riscos: Avaliação e Gestão Ambiental Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto - PT.

FERRAZ, Gabriel Marcondes. **Quantificação e caracterização de microplásticos na atmosfera de São Carlos – SP**. 2022. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/17419>. Acesso em: 23 mar. 2024.

FERRAZ, Marlon; BAUER, Amanda Leticia; VALIATI, Victor Hugo; SCHULZ, Uwe Horst. Microplastic Concentrations in Raw and Drinking Water in the Sinos River, Southern Brazil. **Water**, [S.L.], v. 12, n. 11, p. 3115, 6 nov. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/w12113115>. Acesso em: 24 mar. 2024.

GEROLIN, Cristiano Rezende et al. **Microplastics in sediments from Amazon rivers, Brazil**. *Science of The Total Environment*, v. 749, p. 141604-, 2020 Tradução .. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141604>. Acesso em: 23 abr. 2024.

GONZÁLEZ-PLEITER, Miguel; EDO, Carlos; AGUILERA, Ángeles; VIÑEYRA-MOREIRAS, Daniel; PULIDO-REYES, Gerardo; GONZÁLEZ-TORIL, Elena; OSUNA,

Susana; DIEGO-CASTILLA, Graciela de; LEGANÉS, Francisco; FERNÁNDEZ-PIÑAS, Francisca. Occurrence and transport of microplastics sampled within and above the planetary boundary layer. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 761, p. 143213, mar. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143213>. Acesso em: 18 mar. 2024.

GROUP OF EXPERTS ON THE SCIENTIFIC ASPECTS OF MARINE ENVIRONMENTAL PROTECTION (GESAMP). **Guidelines or the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean**. 1 ed. [S.I]: UNEP. p.130. 2019. Disponível em: <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean>. Acesso em 05. Mar. 2024.

HALE, Robert; SEELEY, Meredith Evans; GUARDIA, Mark La. MAI, Lei; ZANG, Ed. A Global Perspective on Microplastics. **Journal of Geophysical Research: Oceans**. [S.l.], v. 125, n. 1, p. 1-12, jan. 2020 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/2018jc014719>. Acesso em 22mar. 2024.

HORTON, Alice A.; SVENDSEN, Claus; WILLIAMS, Richard J.; SPURGEON, David J.; LAHIVE, Elma. Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK – Abundance, sources and methods for effective quantification. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 114, n. 1, p. 218-226, jan. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.004>. Acesso em: 19 fev. 2024.

HUANG, Yumei; HE, Tao; YAN, Muting; YANG, Lian; GONG, Han; WANG, Wenjing; QING, Xian; WANG, Jun. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a subtropical urban environment. **Journal Of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 416, p. 126168, ago. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126168>. Acesso em: 06 abr. 2024.

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**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 180667-180687, fev. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.180667>. Acesso em: 6 mar. 2024.

KAYA, Ahmet Tunahan; YURTSEVER, Meral; BAYRAKTAR, Senem Çiftçi. Ubiquitous exposure to microfiber pollution in the air. **The European Physical Journal Plus**, [S.L.], v. 133, n. 11, p. 1-25, nov. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1140/epjp/i2018-12372-7>. Acesso em: 14 mar. 2024

KERNCHEN, Sarmite; LÖDER, Martin G.J.; FISCHER, Franziska; FISCHER, Dieter; MOSES, Sonya R.; GEORGI, Christoph; NÖLSCHER, Anke C.; HELD, Andreas; LAFORSCH, Christian. Airborne microplastic concentrations and deposition across the Weser River catchment. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 818, p. 151812, abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151812>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1140/epjp/i2018-12372-7>. Acesso em: 19 mar. 2024

KLEIN, Malin; FISCHER, Elke K.. Microplastic abundance in atmospheric deposition within the Metropolitan area of Hamburg, Germany. **Science Of The Total**

Environment, [S.L.], v. 685, p. 96-103, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.405>

KNOBLOCH, Ella; RUFFELL, Helena; AVES, Alex; PANTOS, Olga; GAW, Sally; REVELL, Laura E. Comparison of Deposition Sampling Methods to Collect Airborne Microplastics in Christchurch, New Zealand. **Water, Air, & Soil Pollution**, [S.L.], v. 232, n. 4, p. 1-17, 25 mar. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-021-05080-9>. Acesso em: 10 abr. 2024.

LABORATÓRIO DE ARQUEOMETRIA E CIÊNCIAS APLICADAS AO PATRIMÔNIO CULTURAL DO IFUSP (São Paulo). **Espectroscopia Raman**. 2024. Disponível em: <https://portal.if.usp.br/arqueometria/pt-br/node/347>. Acesso em: 01 abr. 2024.

LESLIE, Heather A.; VAN VELZEN, Martin J.M.; BRANDSMA, Sicco H.; VETHAAK, A. Dick; GARCIA-VALLEJO, Juan J.; LAMOREE, Marja H.. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. **Environment International**, [S.L.], v. 163, p. 107199, maio 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>. Acesso em: 19 mar. 2024.

LI, Yaowei; SHAO, Longyi; WANG, Wenhua; ZHANG, Mengyuan; FENG, Xiaolei; LI, Wenjun; ZHANG, Daizhou. Airborne fiber particles: types, size and concentration observed in Beijing. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 705, p. 135967, fev. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135967>. Acesso em: 24 mar. 2024.

LIU, Kai; WANG, Xiaohui; FANG, Tao; XU, Pei; ZHU, Lixin; LI, Daoji. Source and potential risk assessment of suspended atmospheric microplastics in Shanghai. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 675, p. 462-471, jul. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.110>. Acesso em: 17 mar. 2024.

LIU, Kai; WANG, Xiaohui; WEI, Nian; SONG, Zhangyu; LI, Daoji. Accurate quantification and transport estimation of suspended atmospheric microplastics in megacities: implications for human health. **Environment International**, [S.L.], v. 132, p. 105127, nov. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2019.105127>. Acesso em: 22 abr. 2024.

LUSHER, Amy L.; HERNANDEZ-MILIAN, Gema; O'BRIEN, Joanne; BERROW, Simon; O'CONNOR, Ian; OFFICER, Rick. Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: the true's beaked whale mesoplodon mirus. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 199, p. 185-191, abr. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.023>. Acesso em: 09 fev. 2024.

LWANGA, Esperanza Huerta; VEGA, Jorge Mendoza; QUEJ, Victor Ku; CHI, Jesus de Los Angeles; CID, Lucero Sanchez del; CHI, Cesar; SEGURA, Griselda Escalona; GERTSEN, Henny; SALÁNKI, Tamás; PLOEG, Martine van Der. Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 1-22, 26 out. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-14588-2>. Acesso em: 14 mar. 2024.

MACEDO, Andrea Viana. **A influência da dinâmica e dos diferentes usos na distribuição e origem de microplásticos no litoral da Ilha Grande, Angra dos Reis (RJ)**. 2020. 132 f. Dissertação (Mestrado em Geografia - Faculdade de Formação de Professores (FFP) - Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2020. Disponível em: <http://www.bdtd.uerj.br/handle/1/16482>. Acesso em: 22 Mar. 2024.

MAYNARD, Isabella Ferreira Nascimento; BORTOLUZZI, Pamela Cunha; NASCIMENTO, Luciana Machado; MADI, Rubens Riscala; CAVALCANTI, Eliane Bezerra; LIMA, Álvaro Silva; JERALDO, Verônica de Lourdes Sierpe; MARQUES, Maria Nogueira. Analysis of the occurrence of microplastics in beach sand on the Brazilian coast. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 771, p. 144777, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144777>.

MIAW, Carolina Sheng Whei; ASSIS, Camila; SILVA, Alessandro Rangel Carolino Sales; CUNHA, Maria Luísa; SENA, Marcelo Martins; SOUZA, Scheilla Vitorino Carvalho de. Determination of main fruits in adulterated nectars by ATR-FTIR spectroscopy combined with multivariate calibration and variable selection methods. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 254, p. 272-280, jul. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.015>. Acesso em: 09 mar. 2024.

MORE: Mecanismo online para referências, versão 2.0. Florianópolis: UFSC Rexlab, 2013. Disponível em: <<https://more.ufsc.br>>. Acesso em: 11. Mar. 2024.

MOTA, Gabrielle Andrade; BATISTA, Leônia Maria; CUNHA, Cláudia de Oliveira. Impactos dos microplásticos na saúde aquática e humana. **Archives Of Health**, Curitiba, v. 2, n. 4, p. 1105-1108, jul. 2021. ISSN 2675-4711. Disponível em: <https://ojs.latinamericanpublicacoes.com.br/ojs/index.php/ah/article/view/574/548>. Acesso em: 14 abr. 2024.

OLIVATTO, Glaucia Peregrina. **Estudo sobre Microplásticos em águas superficiais na porção oeste da Baía de Guanabara**. 2017. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.17771/PUCRio.acad.29926>. Acesso em: 19 mar. 2024.

OLIVATTO, Glaucia P.; CARREIRA, Renato; TORNISIELO, Valdemar Luiz; MONTAGNER, Cassiana C.. Microplásticos: contaminantes de preocupação global no antropoceno. **Revista Virtual de Química**, Niterói - Rj, v. 6, n. 10, p. 1968-1989, 17 out. 2018. Disponível em: <https://rvq.s bq.org.br/pdf/v10n6a16>. Acesso em: 28 mar. 2024.

PRATA, Joana C.; CASTRO, Joana L.; COSTA, João P. da; DUARTE, Armando C.; ROCHA-SANTOS, Teresa; CERQUEIRA, Mário. The importance of contamination control in airborne fibers and microplastic sampling: experiences from indoor and outdoor air sampling in aveiro, portugal. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 159, p. 111522, out. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111522>. Acesso em: 18 mar. 2024

SANCHEZ, Wilfried; BENDER, Coline; PORCHER, Jean-Marc. Wild gudgeons (Gobio gobio) from French rivers are contaminated by microplastics: preliminary study and

first evidence. **Environmental Research**, [S.L.], v. 128, p. 98-100, jan. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2013.11.004>. Acesso em: 19 mar. 2024.

SHRUTI, V.C.; KUTRALAM-MUNIASAMY, Gurusamy; PÉREZ-GUEVARA, Fermín; ROY, Priyadarsi D.; MARTÍNEZ, I. Elizalde. Occurrence and characteristics of atmospheric microplastics in Mexico City. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 847, p. 157601, nov. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157601>. Acesso em: 03 abr. 2024.

SZEWIC, Karolina; GRACA, Bożena; DOŁĘGA, Anna. Atmospheric deposition of microplastics in the coastal zone: characteristics and relationship with meteorological factors. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 761, p. 143272, mar. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143272>. Acesso em: 16 mar. 2024.

THOMPSON, R. C; OLSEN, Y; MITCHELL, R. P; DAVIS, A; ROWLAND, S. J; JOHN, A. W. G; MCGONIGLE, D. RUSSELL. A. E. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? Science. Plymouth, England. v. 304, p. 838, 2004. Disponível em: <<https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/science.1094559>>. Acesso em mar. 2024.

THOMPSON. R. C. Plastic debris in the marine environment: consequences and solutions. J.C. Krause, H. von Nordheim, S. Bräger (Eds.), Marine Nature Conservation in Europe, Federal Agency for Nature Conservation, Stralsund, Germany. p. 107-115, 2006. Disponível em: <http://naturathlon.eu/fileadmin/MDB/documents/themen/meeresundkuestenschutz/downloads/Fachtagungen/Marine-Nature-Conservation-2006/Proceedings-Marine_Nature_Conservation_in_Europe_2006.pdf#page=111>. Acesso em mar. 2024.

TRUONG, Tran-Nguyen-Sang; STRADY, Emilie; KIEU-LE, Thuy-Chung; TRAN, Quoc-Viet; LE, Thi-Minh-Tam; THUONG, Quoc-Thinh. Microplastic in atmospheric fallouts of a developing Southeast Asian megacity under tropical climate. **Chemosphere**, [S.L.], v. 272, p. 129874, jun. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129874>. Acesso em: 16 mar. 2024.

WANG, Xiaohui; LI, Changjun; LIU, Kai; ZHU, Lixin; SONG, Zhangyu; LI, Daoji. Atmospheric microplastic over the South China Sea and East Indian Ocean: abundance, distribution and source. **Journal Of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 389, p. 121846, maio 2020. Elsevier. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121846>. Acesso em: 05 mar. 2024.

WRIGHT, S.L.; ULKE, J.; FONT, A.; CHAN, K.L.A.; KELLY, F.J.. Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport. **Environment International**, [S.L.], v. 136, p. 105411, mar. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2019.105411>. Acesso em: 09 mar. 2024.

ZHANG, Yulan; KANG, Shichang; ALLEN, Steve; ALLEN, Deonie; GAO, Tanguang; SILLANPÄÄ, Mika. Atmospheric microplastics: a review on current status and perspectives. **Earth-Science Reviews**, [S.L.], v. 203, p. 103118, abr. 2020.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscorev.2020.103118>. Acesso em: 13 mar. 2024.

ZHU, X, HUANG, W, FANG, M, LIAO, Z, WANG, Y, XU, L, MU, Q, SHI, C, LU, C, DENG, H, DAHLGREN, R, SHANG, X. Airborne Microplastic Concentrations in Five Megacities of Northern and Southeast China. **Environmental Science & Technology**. v.55, p.12871–128810. 2021. Disponível em:10.1021/acs.est.1c03618. Acesso em 10 mar. 2024.

