

ANÁLISE DE MICROPLÁSTICOS ATMOSFÉRICOS MP_{2,5} EM ÁREAS DE ALTA MOVIMENTAÇÃO HUMANA: UMA REVISÃO DE MÉTODOS DE COLETA E CARACTERIZAÇÃO POR INFRAVERMELHO POR IMAGEM (FTIR), 2020–2025

Lincoln Lucilio Romualdo*

Raffael Bernardes de Carvalho Silvestre e Serino*

Vinicius Cassol da Silva*

Resumo

A poluição por microplásticos (MP) na atmosfera, especialmente na fração respirável MP_{2,5}, representa um risco potencial à saúde humana devido à possibilidade de inalação e acúmulo nos tratos respiratórios. Em grandes centros urbanos e áreas turísticas, a intensa movimentação humana e o desgaste de materiais plásticos ampliam a emissão dessas partículas, tornando urgente a compreensão de seus mecanismos de dispersão e caracterização. Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica com o objetivo de analisar o estado da arte (2020–2025) das metodologias de coleta e caracterização de microplásticos atmosféricos. O foco recai sobre a técnica de Espectroscopia de Infravermelho por Imagem (μ FTIR *Imaging*), reconhecida como principal ferramenta para a identificação polimérica dessas partículas. A revisão abrange a evolução das estratégias de amostragem (ativas e passivas), os protocolos de preparo de amostras voltados à fração MP_{2,5} e os avanços recentes na automação e resolução analítica da μ FTIR. O estudo busca mapear as práticas mais eficazes para o monitoramento de MP em ambientes de alta movimentação no Brasil, contribuindo para futuras pesquisas de avaliação de risco à saúde e para o aprimoramento de políticas públicas ambientais.

Palavras-chave

Microplásticos atmosféricos; Material particulado fino (MP_{2,5}); FTIR *Imaging*; Poluição atmosférica; Saúde ambiental.

^{1*}Instituto de Química da UFCAT: lincolnromualdo@ufcat.edu.br, raffaelbernardesoficial@gmail.com, viniciuscassol@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

A crescente presença de microplásticos no ambiente tem despertado a atenção da comunidade científica em razão de seus potenciais impactos ecológicos e riscos à saúde humana. Inicialmente associados a ambientes aquáticos, esses contaminantes vêm sendo progressivamente identificados na atmosfera, especialmente vinculados a partículas inaláveis de pequeno diâmetro, como o material particulado fino ($MP_{2,5}$), ampliando o debate sobre novas rotas de exposição humana e os processos de dispersão ambiental desses polímeros (DUIS; COORS, 2016; DRIS *et al.*, 2017).

Estudos recentes indicam que os microplásticos atmosféricos podem ter origem em diferentes fontes antrópicas, incluindo o desgaste de tecidos sintéticos, a fragmentação de resíduos plásticos e a abrasão de pneus. Uma vez suspensos no ar, esses fragmentos podem ser transportados por longas distâncias e depositar-se em ambientes urbanos, rurais e naturais, o que evidencia a abrangência do problema e a necessidade de investigações mais aprofundadas (SHRUTI *et al.*, 2022; HUANG *et al.*, 2022).

Diante desse cenário, o desenvolvimento e a aplicação de técnicas analíticas avançadas, como a espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier com imagem (μ FTIR *Imaging*), têm possibilitado maior precisão na identificação e caracterização de microplásticos em amostras ambientais, especialmente aquelas associadas ao material particulado fino ($MP_{2,5}$), contribuindo para maior confiabilidade nos estudos ambientais (ERNI-CASSOLA *et al.*, 2017; RAHMAN *et al.*, 2021).

Do ponto de vista da saúde humana, embora os efeitos dos microplásticos inalados ainda não estejam completamente elucidados, a literatura aponta para potenciais riscos associados à inflamação pulmonar, ao estresse oxidativo e à atuação dessas partículas como vetores de substâncias químicas e microrganismos (RAHMAN *et al.*, 2021). Além disso, a diversidade de polímeros e aditivos presentes

nos microplásticos amplia a complexidade de sua avaliação toxicológica, exigindo abordagens analíticas robustas e confiáveis (MONTAGNER et al., 2021).

Diante desse cenário, o desenvolvimento e o aprimoramento de metodologias analíticas capazes de identificar e caracterizar microplásticos atmosféricos tornaram-se essenciais. A coleta dessas partículas apresenta desafios específicos, sobretudo quando se busca a fração MP_{2,5}, que demanda técnicas de amostragem capazes de evitar contaminações e perdas analíticas (DRIS et al., 2017). Paralelamente, a caracterização química dos microplásticos requer métodos que permitam a identificação precisa dos polímeros, mesmo em partículas de dimensões micrométricas.

Nesse contexto, a Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier por Imagem (μ FTIR *Imaging*) tem se destacado como uma das principais ferramentas para a identificação de microplásticos ambientais. Essa técnica possibilita a análise simultânea de múltiplas partículas, associando informação espacial e espectral, o que representa um avanço significativo em relação às abordagens convencionais de FTIR pontual (ERNI-CASSOLA et al., 2017). Além disso, a μ FTIR apresenta elevada confiabilidade na identificação polimérica, sendo amplamente utilizada em estudos recentes sobre microplásticos atmosféricos (THERMO FISHER SCIENTIFIC, 2023).

Apesar dos avanços metodológicos observados nos últimos anos, ainda há lacunas importantes relacionadas à padronização dos protocolos de coleta, preparo de amostras e análise de microplásticos na atmosfera, especialmente no contexto brasileiro. Estudos realizados em grandes cidades internacionais demonstram a ubiquidade dessas partículas no ar urbano, mas evidenciam também diferenças significativas nos métodos empregados, o que dificulta a comparação entre resultados (SHRUTI et al., 2022). No Brasil, a produção científica sobre microplásticos atmosféricos ainda é incipiente, reforçando a necessidade de revisões sistematizadas que consolidem o conhecimento disponível.

Além dos impactos ambientais diretos, a problemática dos microplásticos também se relaciona com debates mais amplos sobre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável. Estudos indicam que a substituição gradual de

materiais plásticos convencionais por alternativas biodegradáveis pode contribuir para a redução da geração de resíduos persistentes no ambiente, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (CARVALHO; SALUM; VALADARES, 2022). Embora tais estratégias não eliminem imediatamente a presença de microplásticos, elas representam um caminho complementar às ações de monitoramento e mitigação da poluição ambiental.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica do estado da arte, no período de 2020 a 2025, sobre as metodologias de coleta e caracterização de microplásticos atmosféricos na fração $MP_{2,5}$ com ênfase na aplicação da técnica de μ FTIR *Imaging*. O foco recai sobre estudos desenvolvidos em áreas de alta movimentação humana, buscando identificar práticas consolidadas, limitações metodológicas e perspectivas futuras para o monitoramento desses contaminantes. Ao reunir e analisar criticamente a literatura recente, este estudo pretende contribuir para o avanço das pesquisas na área de análises químicas ambientais e para o embasamento de ações voltadas à avaliação de riscos à saúde humana e ao aprimoramento de políticas públicas ambientais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Microplásticos: definição, origem e comportamento ambiental

Os microplásticos são definidos como partículas sólidas de origem polimérica com tamanho inferior a 5 mm, resultantes tanto da fabricação intencional em escala microscópica quanto da fragmentação de resíduos plásticos maiores ao longo do tempo. A literatura científica aponta que essa fragmentação ocorre por processos físicos, químicos e biológicos, como abrasão mecânica, exposição à radiação ultravioleta e variações térmicas, sem que haja completa degradação do material (DUIS; COORS, 2016). Esse caráter persistente torna os microplásticos contaminantes ambientais de difícil remoção.

Segundo Duis e Coors (2016, p. 2), “microplásticos são partículas sólidas sintéticas com tamanho inferior a 5 mm, caracterizadas por sua elevada persistência no ambiente, uma vez que não sofrem biodegradação completa, apenas fragmentação progressiva”.

A classificação dos microplásticos em primários e secundários auxilia na compreensão de suas fontes e dinâmicas ambientais. Microplásticos primários incluem partículas produzidas diretamente em pequena escala, enquanto os secundários resultam da degradação de objetos plásticos maiores descartados inadequadamente (DUIS; COORS, 2016). Essa distinção é relevante, pois os microplásticos secundários representam a maior parcela encontrada no ambiente, refletindo o padrão de consumo e descarte da sociedade contemporânea.

Uma das principais preocupações associadas aos microplásticos refere-se à sua elevada resistência à degradação natural. Polímeros sintéticos como polietileno, polipropileno e poliestireno apresentam estruturas químicas estáveis, que dificultam sua decomposição completa no ambiente (MONTAGNER *et al.*, 2021). Como consequência, essas partículas podem permanecer por longos períodos em diferentes compartimentos ambientais, acumulando-se progressivamente.

Além da persistência, os microplásticos apresentam grande diversidade de formas, cores e densidades, o que influencia diretamente seu comportamento ambiental. Fibras, fragmentos e películas respondem de maneira distinta aos processos de transporte, deposição e ressuspensão, podendo migrar entre solos, corpos d’água e atmosfera (POMPÊO *et al.*, 2022). Essa mobilidade amplia a complexidade de sua avaliação ambiental.

Outro aspecto relevante diz respeito à capacidade dos microplásticos de interagir com outras substâncias presentes no ambiente. Sua superfície pode adsorver contaminantes químicos, como metais pesados e compostos orgânicos persistentes, além de microrganismos, potencializando seus impactos ecotoxicológicos (MONTAGNER *et al.*, 2021). Dessa forma, os microplásticos não atuam apenas como poluentes físicos, mas também como vetores de outros agentes nocivos.

No contexto brasileiro, pesquisas recentes têm evidenciado a presença de microplásticos em diferentes compartimentos ambientais, incluindo regiões costeiras e áreas de intensa atividade humana. Embora a maior parte dos estudos ainda se concentre em ambientes aquáticos, essas investigações contribuem para a compreensão integrada da circulação dos microplásticos entre os sistemas naturais, reforçando a necessidade de abordagens que considerem a atmosfera como via relevante de transporte e deposição dessas partículas (ARAÚJO; AGUIAR; HARKOT, 2024).

2.2 Microplásticos atmosféricos e a fração MP_{2,5}

A presença de microplásticos na atmosfera tem sido cada vez mais documentada, ampliando a compreensão de que esse compartimento ambiental desempenha papel relevante no transporte e na deposição dessas partículas. Estudos demonstram que microplásticos atmosféricos podem ser transportados por correntes de ar e depositados a grandes distâncias de suas fontes de origem, inclusive em regiões remotas (DRIS *et al.*, 2017). Esse fenômeno evidencia o caráter global da poluição por plásticos.

No contexto da qualidade do ar, a associação dos microplásticos ao material particulado em suspensão é particularmente preocupante. A fração MP_{2,5} corresponde às partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 µm, capazes de penetrar profundamente no sistema respiratório humano (RAHMAN *et al.*, 2021). A identificação de microplásticos nessa fração reforça a relevância do tema do ponto de vista da saúde pública.

De acordo com Rahman *et al.* (2021, p. 1255), “microplásticos presentes na fração MP_{2,5} podem ser inalados profundamente, alcançando regiões inferiores do trato respiratório, o que levanta preocupações quanto a possíveis efeitos inflamatórios e ao transporte de contaminantes adsorvidos”.

Pesquisas realizadas em ambientes urbanos indicam que fibras sintéticas constituem a forma predominante de microplásticos atmosféricos, refletindo o uso intensivo de tecidos sintéticos e materiais poliméricos no cotidiano (DRIS *et al.*, 2017). Essas fibras apresentam dimensões compatíveis com a fração respirável, aumentando a probabilidade de inalação contínua pela população exposta.

A exposição humana aos microplásticos atmosféricos ocorre de maneira involuntária e constante, especialmente em áreas densamente povoadas. Embora os efeitos à saúde ainda não estejam completamente esclarecidos, estudos sugerem que partículas inaláveis podem desencadear processos inflamatórios e atuar como veículos de contaminantes adsorvidos (RAHMAN *et al.*, 2021). Esses aspectos reforçam a necessidade de aprofundamento das pesquisas nessa área.

Além disso, a identificação e quantificação de microplásticos na fração MP_{2,5} apresentam desafios metodológicos específicos, exigindo técnicas analíticas sensíveis e rigorosos protocolos de controle de contaminação (SHRUTI *et al.*, 2022). A ausência de padronização entre estudos dificulta a comparação dos resultados e evidencia lacunas no conhecimento científico atual.

2.3 Ambientes de alta movimentação humana como fontes emissoras

Ambientes com intensa movimentação humana são reconhecidos como importantes fontes emissoras de microplásticos atmosféricos. A concentração elevada de pessoas, veículos e atividades comerciais favorece a liberação contínua de partículas plásticas no ar (SHRUTI *et al.*, 2022). Esse cenário é comum em centros urbanos, áreas turísticas e regiões metropolitanas.

O tráfego veicular constitui uma das principais fontes de microplásticos atmosféricos, especialmente em função do desgaste de pneus e componentes automotivos. Essas partículas podem ser ressuspensas pelo movimento dos veículos e incorporadas ao material particulado atmosférico (DRIS *et al.*, 2017). A intensidade do tráfego, portanto, está diretamente relacionada ao aumento da concentração de microplásticos no ar.

Outro fator relevante é o uso generalizado de tecidos sintéticos, que liberam fibras microscópicas durante o uso cotidiano. Essas fibras podem ser transportadas pelo vento e se acumular em ambientes internos e externos, contribuindo significativamente para a carga de microplásticos atmosféricos (SHRUTI *et al.*, 2022). Ambientes fechados com grande circulação de pessoas também podem atuar como reservatórios dessas partículas.

Em áreas turísticas, a sazonalidade do fluxo populacional pode influenciar temporariamente os níveis de microplásticos no ar. Eventos, temporadas de férias e atividades recreativas intensificam o consumo e o descarte de materiais plásticos, ampliando a emissão dessas partículas (HUANG *et al.*, 2022). Esse aspecto reforça a importância de considerar o contexto socioeconômico nas avaliações ambientais.

A presença de vegetação urbana tem sido apontada como um possível fator mitigador da dispersão de microplásticos atmosféricos. Estudos sugerem que folhas e superfícies vegetais podem atuar como barreiras físicas, interceptando partículas suspensas (HUANG *et al.*, 2022). No entanto, a eficiência desse processo, especialmente em relação à fração $MP_{2,5}$, ainda demanda investigações mais aprofundadas.

Estudos realizados em ambientes terrestres também demonstram que os microplásticos não se restringem a ecossistemas aquáticos, estando presentes em solos e organismos associados a esses ambientes. Pesquisas indicam que partículas plásticas podem ser incorporadas à biota terrestre, evidenciando potenciais impactos ecotoxicológicos e ampliando a compreensão sobre as múltiplas rotas de dispersão desses contaminantes no ambiente (LUQUE *et al.*, 2019).

2.4 Métodos de coleta de microplásticos atmosféricos

A coleta de microplásticos atmosféricos representa uma etapa crítica nos estudos sobre esse contaminante emergente. A diversidade de tamanhos, formas e densidades das partículas exige métodos capazes de capturar eficientemente a fração de interesse, especialmente quando se trata do $MP_{2,5}$ (RAHMAN *et al.*, 2021). A escolha inadequada da metodologia pode comprometer a representatividade dos resultados.

Os métodos de amostragem ativa são amplamente utilizados em estudos atmosféricos, pois permitem o controle do volume de ar analisado por meio da aspiração forçada através de filtros específicos. Essa abordagem é particularmente adequada para a investigação da fração respirável, sendo compatível com equipamentos tradicionais de monitoramento da qualidade do ar (DRIS *et al.*, 2017).

A amostragem passiva, por sua vez, baseia-se na deposição natural das partículas ao longo do tempo em superfícies coletoras. Embora apresente menor custo operacional, esse método pode sofrer influência significativa de variáveis ambientais, como vento e precipitação, além de apresentar limitações na caracterização da fração $MP_{2,5}$ (RAHMAN *et al.*, 2021).

Independentemente da estratégia adotada, a prevenção de contaminações é um desafio constante. A presença de fibras sintéticas no ambiente laboratorial e nos próprios equipamentos pode introduzir artefatos nos resultados, exigindo protocolos rigorosos de controle de qualidade (DRIS *et al.*, 2017). Esses cuidados são fundamentais para garantir a confiabilidade dos dados obtidos.

Outro aspecto relevante refere-se ao preparo das amostras após a coleta. Processos de digestão de matéria orgânica e separação das partículas devem ser cuidadosamente conduzidos para evitar perdas ou alterações nas características dos microplásticos (RAHMAN *et al.*, 2021). Essas etapas influenciam diretamente a eficiência da posterior caracterização química.

2.5 Métodos de caracterização: FTIR *Imaging* (μ FTIR)

A caracterização química dos microplásticos é essencial para a identificação dos polímeros presentes e para a compreensão de suas possíveis fontes emissoras. Entre as técnicas disponíveis, a espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier por imagem (μ FTIR *Imaging*) destaca-se pela capacidade de analisar simultaneamente um grande número de partículas (ERNI-CASSOLA *et al.*, 2017).

A principal vantagem da μ FTIR reside na combinação de informações espaciais e espectrais, permitindo a identificação automatizada de polímeros em partículas microscópicas. Essa característica torna a técnica particularmente adequada para estudos ambientais, nos quais a diversidade e a quantidade de partículas analisadas são elevadas (MONTAGNER *et al.*, 2021).

Além da eficiência analítica, a μ FTIR apresenta elevada confiabilidade na identificação dos principais polímeros encontrados em microplásticos ambientais. A comparação dos espectros obtidos com bibliotecas de referência permite a distinção

entre diferentes tipos de materiais plásticos, mesmo em partículas de dimensões reduzidas (THERMO FISHER SCIENTIFIC, 2023).

Apesar de suas vantagens, a aplicação da μ FTIR também apresenta limitações. Partículas muito pequenas ou com baixa resposta espectral podem não ser detectadas adequadamente, e o preparo inadequado das amostras pode comprometer a qualidade dos resultados (ERNI-CASSOLA *et al.*, 2017). Esses aspectos exigem atenção na interpretação dos dados obtidos.

Ainda assim, a literatura aponta a μ FTIR como uma das técnicas mais robustas atualmente disponíveis para a caracterização de microplásticos ambientais. Seu uso tem contribuído significativamente para o avanço do conhecimento sobre a composição, a distribuição e as possíveis fontes de microplásticos atmosféricos, consolidando-se como ferramenta central em estudos recentes (MONTAGNER *et al.*, 2021).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão bibliográfica narrativa, fundamentada na análise crítica de publicações científicas relacionadas à presença de microplásticos atmosféricos associados ao material particulado fino ($MP_{2,5}$). A busca e seleção das fontes foram realizadas em bases de dados científicas reconhecidas, priorizando estudos publicados entre 2020 e 2025, conforme recomendações metodológicas para revisões narrativas na área ambiental (MONTAGNER *et al.*, 2021).

A delimitação temporal da pesquisa compreendeu o período entre 2020 e 2025, buscando contemplar os avanços mais recentes relacionados às metodologias de coleta e caracterização de microplásticos na atmosfera. Esse recorte temporal foi definido com base no crescimento significativo do número de publicações sobre o tema a partir da década de 2020, especialmente aquelas que abordam a aplicação de técnicas espectroscópicas para identificação polimérica (MONTAGNER *et al.*, 2021).

A busca pelos estudos foi realizada em bases de dados científicas amplamente reconhecidas, incluindo Scopus, Web of Science, ScienceDirect e Google Scholar. Foram utilizados descritores em português e inglês, tais como “microplásticos atmosféricos”, “airborne microplastics”, “PM2.5”, “FTIR *imaging*” e “μFTIR”, combinados por meio de operadores booleanos. Essa estratégia permitiu ampliar o alcance da busca e garantir a inclusão de estudos relevantes publicados em diferentes contextos geográficos (DRIS *et al.*, 2017).

Como critérios de inclusão, consideraram-se artigos científicos, revisões, capítulos de livros e trabalhos apresentados em eventos que abordassem explicitamente a coleta, a preparação de amostras ou a caracterização de microplásticos atmosféricos, com destaque para a fração MP_{2,5} ou para partículas potencialmente inaláveis. Foram priorizados estudos publicados em periódicos revisados por pares e documentos técnicos reconhecidos. Por outro lado, foram excluídos trabalhos que tratavam exclusivamente de microplásticos em ambientes aquáticos ou terrestres, sem relação direta com o compartimento atmosférico (SHRUTI *et al.*, 2022).

Após a seleção, os estudos foram analisados de forma comparativa, considerando aspectos como tipo de amostragem, preparo das amostras, limitações metodológicas e técnicas de identificação polimérica empregadas. A espectroscopia de infravermelho por imagem (μFTIR *Imaging*) foi adotada como eixo central da análise, devido ao seu amplo reconhecimento como técnica robusta para a identificação química de microplásticos em matrizes ambientais complexas (ERNI-CASSOLA *et al.*, 2017). A caracterização química dos microplásticos foi fundamentada nos princípios da espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier com imagem em escala microscópica (μFTIR *Imaging*), técnica amplamente consolidada para a identificação polimérica de partículas ambientais. Nessa abordagem, cada polímero apresenta um espectro vibracional característico, permitindo sua identificação por comparação com bibliotecas espectrais de referência. A utilização de detectores do tipo *focal plane array* (FPA) possibilita a aquisição simultânea de milhares de espectros em uma única varredura, associando informações espaciais e espectrais e reduzindo o viés associado à pré-seleção visual das partículas (LÖDER *et al.*, 2015; PRIMPKE *et al.*, 2017). A aplicação da

μ FTIR *Imaging* à análise de microplásticos associados ao material particulado fino ($MP_{2,5}$) apresenta vantagens metodológicas relevantes, sobretudo pela capacidade de identificar partículas micrométricas depositadas em filtros de amostragem atmosférica. Estudos clássicos demonstram que o uso de sistemas FPA-FTIR, aliado a rotinas automatizadas de processamento espectral e análise de imagens, permite a identificação robusta de polímeros, bem como a quantificação do número e do tamanho das partículas, mesmo em matrizes ambientais complexas (PRIMPKE *et al.*, 2017). Essa abordagem tem se consolidado como referência metodológica para estudos contemporâneos de microplásticos ambientais, incluindo aqueles voltados à fração respirável do aerossol atmosférico. Por fim, reconhece-se que, por se tratar de uma revisão narrativa, os resultados refletem a interpretação crítica dos autores a partir da literatura analisada, o que constitui uma limitação inerente a esse tipo de estudo, mas não compromete sua relevância científica (RAHMAN *et al.*, 2021).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A literatura analisada evidencia a complexidade inerente à identificação e caracterização de microplásticos atmosféricos, especialmente em função da diversidade de polímeros e da sobreposição com outras partículas presentes no ar. Técnicas analíticas como o μ FTIR *Imaging* destacam-se por permitir a análise simultânea de múltiplas partículas, contribuindo para maior robustez e confiabilidade dos resultados obtidos (ERNI-CASSOLA *et al.*, 2017; RAHMAN *et al.*, 2021).

No que se refere às estratégias de coleta, os estudos analisados indicam uma predominância da amostragem ativa quando o objetivo é investigar a fração $MP_{2,5}$. Essa escolha está associada à possibilidade de controle do volume de ar amostrado e à compatibilidade com filtros tradicionalmente utilizados em estações de monitoramento da qualidade do ar (DRIS *et al.*, 2017). No entanto, alguns autores destacam que a adaptação desses sistemas para a análise de microplásticos exige cuidados adicionais, especialmente no controle de contaminações e na escolha de materiais não poliméricos para os equipamentos.

A comparação entre ambientes de alta movimentação humana revela que áreas urbanas densamente povoadas e regiões com intenso tráfego veicular apresentam concentrações mais elevadas de microplásticos atmosféricos, sobretudo na forma de fibras sintéticas. Esses resultados reforçam a associação entre atividades antrópicas cotidianas e a emissão contínua dessas partículas no ar (SHRUTI *et al.*, 2022). Além disso, estudos conduzidos em áreas turísticas indicam variações sazonais significativas, sugerindo que o fluxo temporário de pessoas pode influenciar diretamente os níveis de microplásticos atmosféricos (HUANG *et al.*, 2022).

No que diz respeito à caracterização química, a espectroscopia de infravermelho por imagem (μ FTIR *Imaging*) se destaca como a técnica mais empregada nos estudos recentes. A literatura aponta que essa metodologia permite a identificação automatizada de polímeros com elevado grau de confiabilidade, além de possibilitar a análise simultânea de um grande número de partículas (ERNI-CASSOLA *et al.*, 2017). Ainda assim, limitações relacionadas à resolução espacial e à detecção de partículas muito pequenas são frequentemente mencionadas, indicando a necessidade de contínuos aprimoramentos tecnológicos.

Outro ponto amplamente discutido nos estudos analisados refere-se à ausência de protocolos padronizados para a análise de microplásticos atmosféricos. A variabilidade nos procedimentos de preparo de amostras, nos critérios de identificação e na forma de expressar os resultados compromete a comparabilidade entre pesquisas conduzidas em diferentes regiões (MONTAGNER *et al.*, 2021). Diante desse cenário, a literatura converge para a necessidade de esforços colaborativos visando à harmonização metodológica, especialmente considerando o potencial impacto dos microplásticos inaláveis sobre a saúde humana.

5. CONCLUSÕES

A partir da análise da literatura científica, observa-se que os microplásticos atmosféricos representam um desafio emergente no campo das ciências ambientais, especialmente quando associados ao material particulado fino. A aplicação de técnicas analíticas avançadas, como o μ FTIR *Imaging*, tem contribuído significativamente para o aprimoramento da detecção e caracterização dessas partículas, embora ainda persistam limitações metodológicas, conforme apontado por diferentes estudos recentes (MONTAGNER *et al.*, 2021; SHRUTI *et al.*, 2022).

Ao longo da análise, observou-se que ambientes urbanos e turísticos se destacam como importantes fontes emissoras de microplásticos atmosféricos, especialmente em função do intenso tráfego veicular, do desgaste de materiais sintéticos e do uso generalizado de tecidos poliméricos. Esses fatores contribuem para a liberação contínua de partículas com dimensões compatíveis com a fração MP_{2,5}, reforçando a relevância do tema no contexto da qualidade do ar e da saúde pública.

No que se refere às metodologias de coleta, identificou-se que a amostragem ativa é a estratégia mais frequentemente empregada para a investigação da fração respirável, principalmente por possibilitar maior controle do volume de ar analisado. Entretanto, constatou-se que a ausência de protocolos padronizados e os riscos de contaminação durante as etapas de coleta e preparo das amostras ainda representam desafios significativos para a confiabilidade e a comparabilidade dos resultados apresentados na literatura.

Quanto à caracterização química dos microplásticos, verificou-se que a espectroscopia de infravermelho por imagem (μ FTIR *Imaging*) se consolidou como a técnica mais utilizada nos estudos recentes. A capacidade dessa metodologia de identificar automaticamente os polímeros presentes nas amostras reforça sua importância para o avanço das pesquisas na área. Ainda assim, observou-se que limitações técnicas persistem, especialmente no que diz respeito à detecção de partículas muito pequenas e à dependência de bibliotecas espectrais de referência.

Por fim, conclui-se que, embora avanços relevantes tenham sido alcançados nos últimos anos, ainda existem lacunas importantes no conhecimento sobre microplásticos atmosféricos, sobretudo no contexto brasileiro. Ressalta-se a necessidade do desenvolvimento de estudos que integrem monitoramento ambiental, padronização metodológica e avaliação de riscos à saúde humana, de modo a subsidiar futuras pesquisas e contribuir para o aprimoramento de políticas públicas ambientais.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Marlise; AGUIAR, Aline; HARKOT, Paulo (org.). *Contaminação por microplásticos em ecossistemas costeiros do Rio de Janeiro: desafios e oportunidades*. Rio de Janeiro: Instituto Mar Adentro; Associação Brasileira de Combate ao Lixo no Mar, 2024. E-book.

CARVALHO, L.; SALUM, T.; VALADARES, L. *As contribuições dos materiais biodegradáveis para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Brasília: EMBRAPA, 2022.

DRIS, R. *et al.* A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution*, v. 221, p. 453–458, 2017. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.11.013.

DUIS, K.; COORS, A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe*, v. 28, n. 1, p. 2, 2016. DOI: 10.1186/s12302-016-0071-7.

ERNI-CASSOLA, G. *et al.* Lost, but found with Nile Red: a novel method for detecting and quantifying small microplastics (1 mm to 20 µm) in environmental samples. *Environmental Science & Technology*, v. 51, n. 23, p. 13641–13648, 2017. DOI: 10.1021/acs.est.7b04512.

HUANG, X. *et al.* Are we ignoring the role of urban forests in intercepting atmospheric microplastics? *Journal of Hazardous Materials*, v. 436, p. 129096, 2022. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.129096.

LUQUE, Sandro; BALSAMO, Paulo José; SANTOS, Vitória; IRAZUSTA, Silvia Pierre. Possíveis impactos da presença de microplásticos em ambiente terrestre. In: SIMPÓSIO DOS PROGRAMAS DE MESTRADO PROFISSIONAL, 15., 2019, [S.I.]. *Desafios de uma sociedade digital nos sistemas produtivos e na educação*. [S.I.]: CEETEPS, 2019. p. 1079–1086.

LÖDER, M. G. J. *et al.* Focal plane array detector-based micro-Fourier-transform infrared imaging for the analysis of microplastics in environmental samples. *Environmental Chemistry*, v. 12, n. 5, p. 563–581, 2015. DOI: 10.1071/EN14205.

MONTAGNER, Cassiana C.; DIAS, Mariana Amaral; PAIVA, Eduardo Maia; VIDAL, Cristiane. Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. *Química Nova*, v. 44, n. 10, p. 1328–1352, 2021. DOI: 10.21577/0100-4042.20170791.

POMPÊO, Marcelo; RANI-BORGES, Bárbara; PAIVA, Teresa Cristina Brazil de (org.). *Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções*. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2022. ISBN 978-65-88234-11-2.

PRIMPKE, S.; LORENZ, C.; RASCHER-FRIESENHAUSEN, R.; GERDTS, G. An automated approach for microplastics analysis using focal plane array (FPA) FTIR microscopy and image analysis. *Analytical Methods*, v. 9, p. 1499–1511, 2017. DOI: 10.1039/C6AY02476A.

RAHMAN, Luna; MALLACH, Gary; KULKA, Ryan; HALAPPANAVAR, Sabina. Microplastics and nanoplastics science: collecting and characterizing airborne microplastics in fine particulate matter. *Nanotoxicology*, v. 15, n. 9, p. 1253–1278, 2021. DOI: 10.1080/17435390.2021.2018065.

SHRUTI, V. *et al.* Occurrence and characteristics of atmospheric microplastics in Mexico City. *Science of The Total Environment*, v. 847, p. 157601, 2022. DOI:

10.1016/j.scitotenv.2022.157601. THERMO FISHER SCIENTIFIC. *Guide to the identification of microplastics by FTIR and Raman spectroscopy*. Waltham, MA: Thermo Fisher Scientific, 2023. (White Paper WP53077).