

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**ANÁLISE DE MICROPLÁSTICOS NA ÁGUA DA CHUVA NO  
MUNICÍPIO DE HUMAITÁ-AM**

**LUÍSA BEATRIZ PAIXÃO LEITE**

Humaitá-AM  
2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

## **ANÁLISE DE MICROPLÁSTICOS NA ÁGUA DA CHUVA NO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ-AM**

**LUÍSA BEATRIZ PAIXÃO LEITE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

**Orientador:** Profa. Dra. JULIANE KAYSE ALBUQUERQUE DA SILVA  
QUERINO

**Coorientador:** Prof. Dr. JOÃO PAULO ASSIS GOBO

Humaitá-AM  
2026

### Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

---

L533a      Leite, Luísa Beatriz Paixão  
              Análise de microplásticos na água da chuva no município de  
              Humaitá-AM / Luísa Beatriz Paixão Leite. - 2026.  
              51 f. : il., color. ; 31 cm.

              Orientador(a): Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino.  
              Coorientador(a): João Paulo Assis Gobo.  
              Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa  
              de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Humaitá, 2026.

              1. Microplásticos . 2. Precipitação. 3. Amazônia. 4. Polímeros . I.  
              Querino, Juliane Kayse Albuquerque da Silva. II. Gobo, João Paulo Assis.  
              III. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em  
              Ciências Ambientais. IV. Título

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**ANÁLISE DE MICROPLÁSTICOS NA ÁGUA DA CHUVA NO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ-AM.**

(Linha de pesquisa 1: – Componentes e dinâmicas dos ecossistemas com ênfase no bioma amazônico)

**LUÍSA BEATRIZ PAIXÃO LEITE**

Dissertação defendida e aprovada em 06 de agosto de 2026, pela comissão julgadora:

Documento assinado digitalmente  
 JULIANE KAYSE ALBUQUERQUE DA SILVA QUERINO  
Data: 06/09/2026 14:09:57-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino  
PPGCA-IEAA/UFAM - Orientador / Membro Titular  
Interno

Documento assinado digitalmente  
 VIVIANE VIDAL DA SILVA  
Data: 03/09/2026 19:41:29-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Viviane Vidal da Silva  
PPGCA-IEAA/UFAM - Membro Interno

Documento assinado digitalmente  
 PAULA REGINA HUMBELINO DE MELO  
Data: 07/09/2026 08:19:21-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Paula Regina Humbelino de Melo  
IEAA/UFAM - Membro Externo

## DEDICATÓRIA

*Com gratidão, dedico este trabalho à Deus e à minha família, por serem minha força e meu alicerce em cada etapa desta jornada.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por me conceder força, sabedoria e coragem para superar os desafios e por me guiar durante toda esta jornada.

À minha família, pelo amor, incentivo, compreensão e apoio ao longo de toda a minha trajetória. Em especial, aos meus pais, Lucimar Alves e Luís Carlos, por acreditarem em mim e tornarem possível a realização dos meus sonhos.

Ao meu noivo, Samuel, pelo amor, companheirismo, incentivo e apoio ao longo desta caminhada.

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Juliane Querino, pela confiança, dedicação, paciência e ensinamentos compartilhados ao longo desta pesquisa.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. João Paulo, pelas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Grupo de Pesquisa BIOCLAM/UNIR, por integrar esta trajetória acadêmica.

Ao Prof. Dr. Carlos Querino, pela disponibilidade e contribuições durante o desenvolvimento desta pesquisa.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pela oportunidade de fazer a pós-graduação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pela concessão da bolsa durante o período de realização do projeto.

Ao Grupo de Pesquisa Interação Biosfera–Atmosfera (GPIBA), pelo suporte científico e pela oportunidade de aprendizado.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), pela infraestrutura disponibilizada para a realização das análises laboratoriais.

À equipe do Laboratório de Processos Ambientais e Contaminantes Emergentes (LAPACE), do Instituto de Química da UFRGS, pelo acolhimento e apoio durante as análises. Em especial, à Giulia Bertotti, pelo acompanhamento e compartilhamento de conhecimentos, e à Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andreia Fernandes, por abrir as portas do LAPACE, pelo acolhimento e contribuições científicas para o desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os professores, colegas, técnicos e amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa, meu sincero agradecimento.

# SUMÁRIO

|       |                                                                            |           |
|-------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.    | INTRODUÇÃO .....                                                           | 14        |
| 1.1   | Justificativa.....                                                         | 15        |
| 1.2   | Hipótese.....                                                              | 16        |
| 1.3   | Objetivos.....                                                             | 17        |
| 1.3.1 | Objetivo Geral.....                                                        | 17        |
| 1.3.2 | Objetivos Específicos .....                                                | 17        |
| 2.    | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                                                | 17        |
| 2.1   | Poluição Atmosférica: Características, Impactos e Novos Contaminantes..... | 17        |
| 2.2   | Produção de Plástico e Seus Impactos Ambientais .....                      | 18        |
| 2.3   | Definição e Origem dos Microplásticos .....                                | 19        |
| 2.4   | Principais Fontes de Microplásticos .....                                  | 20        |
| 2.5   | Fontes Atmosféricas de Microplásticos.....                                 | 21        |
| 2.6   | Transporte Atmosférico e Deposição Via Precipitação .....                  | 22        |
| 2.7   | Precipitação Atmosférica.....                                              | 23        |
| 2.7.1 | <b>Formação da Precipitação .....</b>                                      | <b>23</b> |
| 2.7.2 | <b>Tipos de Precipitação .....</b>                                         | <b>24</b> |
| 2.8   | Precipitação na Amazônia.....                                              | 24        |
| 3.    | METODOLOGIA DE PESQUISA.....                                               | 26        |
| 3.1   | Área de Estudo.....                                                        | 26        |
| 3.2   | Coleta de Dados.....                                                       | 26        |
| 3.3   | Análise dos Dados.....                                                     | 27        |
| 3.3.1 | <b>Cuidados para Evitar a Contaminação Cruzada.....</b>                    | <b>28</b> |
| 3.3.2 | <b>Limpeza dos Instrumentos que Foram Utilizados .....</b>                 | <b>29</b> |
| 3.3.3 | <b>Uso do “Branco” para Estimar Contaminação Cruzada .....</b>             | <b>29</b> |
| 3.4   | Digestão da Matéria Orgânica.....                                          | 29        |
| 3.5   | Separação por Densidade .....                                              | 30        |
| 3.6   | Composição Química, Quantificação e Medição das Partículas no FTIR .....   | 31        |
| 3.7   | Estatística Descritiva.....                                                | 32        |
| 4.    | RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                               | 32        |
| 4.1   | Caracterização Física dos Microplásticos na Área de Estudo .....           | 33        |
| 4.2   | Caracterização Química dos Microplásticos por MICRO-FTIR .....             | 38        |
| 4.3   | Comparação Entre as Áreas Urbana e Rural .....                             | 42        |
| 5.    | CONCLUSÃO .....                                                            | 44        |
| 6.    | REFERÊNCIAS.....                                                           | 46        |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1-</b> Mapa de localização do município de Humaitá-AM.....                                     | 26 |
| <b>Figura 2-</b> Mapa de localização onde estão instalados os pluviômetros. ....                         | 27 |
| <b>Figura 3-</b> Fluxograma das etapas de processamento e identificação de microplásticos.....           | 28 |
| <b>Figura 4-</b> Diagrama do processo empregado .....                                                    | 32 |
| <b>Figura 5-</b> Total de Microplásticos por tratamento .....                                            | 33 |
| <b>Figura 6-</b> Forma dos microplásticos .....                                                          | 35 |
| <b>Figura 7-</b> Tamanho dos microplásticos .....                                                        | 36 |
| <b>Figura 8-</b> Distribuição das cores.....                                                             | 37 |
| <b>Figura 9-</b> Distribuição de Microplásticos Identificados na Água da chuva: Área Urbana x Área Rural | 43 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Quadro 1-</b> Microplástico presente no mês de setembro na área urbana de Humaitá-AM..... | 39 |
| <b>Quadro 2-</b> Microplástico presente no mês de setembro na área rural de Humaitá- AM..... | 40 |

## LISTA DE ABREVIações

CO – Monóxido de carbono  
COVs – Compostos Orgânicos Voláteis  
GF/A – Filtro de Fibra de Vidro Whatman GF/A  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – Peróxido de hidrogênio  
AM – Amazonas  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
LAMAT – Laboratório Multiusuário de Análise Térmica  
MCE – Membrana de Acetato de Celulose  
MP – Material particulado  
MPs – Microplásticos  
NaI – Iodeto de sódio  
NO<sub>x</sub> – Óxidos de nitrogênio  
O<sub>3</sub> – Ozônio  
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável  
PA – Poluição atmosférica  
PES – Poliéster  
PET – Politereftalato de etileno  
POPs – Poluentes Orgânicos Persistentes  
PP – Polipropileno  
PS – Poliestireno  
UNEP – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environment Programme*)  
ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul  
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical  
μFTIR – Microespectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier

## LISTA DE SÍMBOLOS

% – Porcentagem

°C – Grau Celsius

g – Grama

g/cm<sup>3</sup> – Grama por centímetro cúbico

h – Hora

km<sup>2</sup> – Quilômetro quadrado

m – Metro

mL – Mililitro

mm – Milímetro

µm – Micrômetro

rpm – Rotações por minuto

S – Sul

W – Oeste

° – Grau

## RESUMO

LEITE, L.B.P. **Análise de microplásticos na água da chuva no município de Humaitá-AM**. Humaitá, 2026, 51f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente/ Universidade Federal do Amazonas, Humaitá- AM, 2026.

O aumento da produção e descarte inadequado de plásticos tem gerado preocupações em relação à poluição ambiental, especialmente com o surgimento dos microplásticos (MPs), partículas plásticas com menos de 5 mm. Esses contaminantes estão amplamente distribuídos em diversos compartimentos ambientais, incluindo a atmosfera, sendo transportados e depositados por meio da chuva. No contexto amazônico, onde o regime de chuvas desempenha papel crucial na manutenção dos ecossistemas, a identificação de MPs na água da chuva é ainda pouco explorada. Este estudo teve como objetivo identificar a presença de microplásticos na água da chuva coletada em áreas urbana e rural do município de Humaitá, Amazonas, bem como caracterizar essas partículas quanto à forma, cor, tamanho e composição polimérica. As amostras foram coletadas durante dois eventos de precipitação utilizando pluviômetros Ville de Paris. Após a filtração, as amostras foram submetidas à digestão da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$  35%) e à separação por densidade com solução de iodeto de sódio (NaI). A identificação química foi realizada por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier ( $\mu$ FTIR), com comparação espectral no software Open Specy. Foram identificadas 131 partículas com características compatíveis com microplásticos, predominando fibras, partículas de coloração branca/transparente e tamanhos entre 100 e 500  $\mu$ m. A caracterização química confirmou a presença dos polímeros polipropileno (PP), politereftalato de etileno (PET), poliéster (PES) e poliestireno (PS), sendo o PP o polímero mais frequente. Microplásticos foram identificados tanto na área urbana quanto na rural, indicando que a deposição atmosférica ocorre independentemente do grau de urbanização. Os resultados demonstram que a precipitação atmosférica atua como importante via de transporte e deposição desses contaminantes na região amazônica, contribuindo para ampliar o conhecimento sobre a contaminação atmosférica por microplásticos e fornecendo subsídios para futuras pesquisas e ações de monitoramento ambiental.

**Palavras- chave:** Microplásticos, precipitação, Amazônia, polímeros.

## ABSTRACT

LEITE, L.B.P. **Microplastics analysis in rainwater in the municipality of Humaitá-AM.** Humaitá, 2026, 51p. Dissertation (Master's in Environmental Sciences) – Institute of Education, Agriculture and Environment/Federal University of Amazonas, Humaitá-AM, 2026.

The increased production and improper disposal of plastics has generated concerns regarding environmental pollution, especially with the emergence of microplastics (MPs), plastic particles smaller than 5 mm. These contaminants are widely distributed in various environmental compartments, including the atmosphere, being transported and deposited by rain. In the Amazonian context, where rainfall patterns play a crucial role in maintaining ecosystems, the identification of MPs in rainwater is still poorly explored. This study aimed to identify the presence of microplastics in rainwater collected in urban and rural areas of the municipality of Humaitá, Amazonas, as well as to characterize these particles in terms of shape, color, size, and polymeric composition. Samples were collected during two precipitation events using Ville de Paris rain gauges. After filtration, the samples were subjected to digestion of organic matter with hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$  35%) and separation by density with sodium iodide (NaI) solution. Chemical identification was performed using Fourier transform infrared spectroscopy ( $\mu\text{FTIR}$ ), with spectral comparison using Open Specy software. A total of 131 particles with characteristics compatible with microplastics were identified, predominantly fibers, white/transparent particles, and sizes between 100 and 500  $\mu\text{m}$ . Chemical characterization confirmed the presence of polypropylene (PP), polyethylene terephthalate (PET), polyester (PES), and polystyrene (PS) polymers, with PP being the most frequent polymer. Microplastics were identified in both urban and rural areas, indicating that atmospheric deposition occurs independently of the degree of urbanization. The results demonstrate that atmospheric precipitation acts as an important transport and deposition pathway for these contaminants in the Amazon region, contributing to a broader understanding of atmospheric microplastic contamination and providing support for future research and environmental monitoring actions.

**Keywords:** Microplastics, precipitation, Amazon, polymers.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da sociedade, diversos materiais passaram a ser incorporados ao cotidiano, facilitando atividades rotineiras e atendendo as necessidades básicas. Entre esses materiais, destaca-se o plástico, um polímero sintético orgânico produzido a partir da polimerização de monômeros derivados do petróleo (Cole et al., 2011; Olivatto et al., 2019).

Devido à sua versatilidade, leveza, resistência e baixo custo, o plástico é amplamente utilizado em diferentes setores, incluindo embalagens descartáveis, medicina, engenharia, construção civil, entre outros (Boucher e Friot, 2017). Essas características tornaram o plástico indispensável à sociedade moderna. Contudo, o aumento expressivo de sua produção e uso tem trazido preocupações significativas quanto ao seu descarte inadequado e à consequente poluição ambiental.

Estima-se que mais de 320 milhões de toneladas de plásticos sejam produzidas anualmente em todo o mundo (Wright e Kelly, 2017). Esse volume expressivo, aliado à gestão ineficiente de resíduos, tem contribuído para a intensificação da poluição plástica, considerada atualmente um dos maiores desafios ambientais resultantes das atividades humanas (Queiroz et al., 2022).

Esse processo de degradação ambiental tem levado à formação de microplásticos, definidos como partículas plásticas com tamanho entre 0,1 mm e 5 mm, amplamente dispersas em diversos compartimentos ambientais (Pompêo et al., 2022). Os microplásticos primários são fabricados intencionalmente nesse tamanho reduzido para uso em cosméticos, cremes dentais, produtos de limpeza, entre outros. Já os microplásticos secundários resultam da fragmentação de plásticos maiores, como embalagens, pela ação de fatores físicos, químicos e biológicos (Napper et al., 2015; Browne et al., 2011; Barnes et al., 2009; Rocha-Santos e Duarte, 2015).

Nas últimas décadas, a intensificação da poluição plástica e a ampla presença de microplásticos em oceanos, rios, solos e, mais recentemente, na atmosfera, têm chamado a atenção da comunidade científica para novas rotas de transporte e contaminação (Geyer; Jambeck; Law, 2017; Jambeck et al., 2015; Bergmann et al., 2019). A identificação desses contaminantes emergentes em amostras de precipitação evidencia que o ciclo atmosférico desempenha papel relevante na dispersão global dessas partículas (Allen et al., 2019; Brahney et al., 2020).

A chuva, em especial, tem se mostrado um dos principais mecanismos de deposição

de microplásticos sobre a superfície terrestre, permitindo que essas partículas atinjam ambientes aquáticos e terrestres (Allen et al., 2022; Liu et al., 2023). Além disso, os microplásticos podem atuar como vetores de substâncias tóxicas e microrganismos patogênicos, agravando os riscos ecológicos e à saúde pública (Rochman et al., 2016; Naik et al., 2019).

No contexto amazônico, onde o regime de chuvas é intenso e essencial à regulação climática e à manutenção da biodiversidade (Marengo et al., 2018; Spracklen et al., 2018), o estudo da contaminação atmosférica por microplásticos torna-se relevante. O município de Humaitá-AM, localizado no sul do estado do Amazonas, apresenta características climáticas e ambientais que favorecem a investigação da presença de microplásticos na água da chuva, uma vez que o local ainda é carente de estudos sobre o tema.

Diante disso, a presente pesquisa analisa a ocorrência e a caracterização de microplásticos na água da chuva em Humaitá-AM, visando contribuir para o entendimento da dinâmica desses contaminantes na região amazônica. A pesquisa também está alinhada a diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como o ODS 6 (água potável e saneamento), ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), ODS 12 (consumo e produção responsáveis), ODS 13 (Ação contra mudança global do clima), ODS 14 (vida na água), ODS 15 (vida terrestre), reforçando a importância científica e socioambiental do tema.

## **1.1 Justificativa**

A presença de microplásticos no ambiente tem se tornado um tema de crescente preocupação, devido aos impactos ambientais e à saúde pública. Estes fragmentos de plástico, que possuem dimensões menores que 5 milímetros, têm se dispersado globalmente, sendo encontrados em ecossistemas marinhos, fluviais e terrestres, bem como em diversas fontes de água. No entanto, os microplásticos na água da chuva representam uma área de estudo recente e pouco explorada, especialmente em regiões pouco monitoradas, como o município de Humaitá-AM.

Além disso, Humaitá-AM, localizado no sul do estado do Amazonas, é um município com significativa importância ambiental, sendo parte da bacia hidrográfica do Rio Madeira, um dos maiores rios da Amazônia. A dinâmica atmosférica local, caracterizada por precipitações intensas e frequentes, pode funcionar como via de transporte e deposição de microplásticos, oriundos tanto de fontes locais quanto de áreas distantes, devido à atuação dos ventos e das correntes atmosféricas.

Nesse contexto, a investigação da concentração de microplásticos na água da chuva está diretamente alinhada com diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da

Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. Destaca-se, em especial, o ODS 6 (Água Potável e Saneamento), por meio das metas 6.3, que busca melhorar a qualidade da água reduzindo a poluição e o lançamento de substâncias perigosas no ambiente, e 6.6, que propõe a proteção e restauração de ecossistemas aquáticos, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos.

A pesquisa também se relaciona ao ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), por meio da meta 11.6, ao contribuir para a redução do impacto ambiental negativo das áreas urbanas, com ênfase na melhoria da qualidade do ar e na gestão adequada dos resíduos.

No âmbito do ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), o estudo atende às metas 12.4, que estabelece que, os países devem alcançar a gestão ambientalmente segura de produtos químicos e resíduos ao longo de todo o seu ciclo de vida, com vistas à redução significativa de sua liberação no ar, na água e no solo, e à meta 12.5, que propõe, até 2030, a redução substancial da geração de resíduos por meio da prevenção, reutilização, reciclagem e demais estratégias que promovam uma economia mais circular e sustentável.

Em relação ao ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), a pesquisa dialoga com as metas 13.1, que visa fortalecer a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos climáticos e desastres naturais, e 13.3, que busca ampliar a educação, a conscientização pública e a capacidade institucional para enfrentar os efeitos das mudanças climáticas.

Do ponto de vista ecológico, o estudo também se insere no escopo do ODS 14 (Vida na Água), especialmente pela meta 14.1, que propõe prevenir e reduzir significativamente a poluição marinha de todas as origens, inclusive a proveniente de fontes terrestres, como os resíduos plásticos. Por fim, a pesquisa se alinha ao ODS 15 (Vida Terrestre), por meio das metas 15.1 e 15.5, ao abordar a conservação dos ecossistemas terrestres e de água doce, e ao propor medidas para conter a degradação ambiental e a perda da biodiversidade.

Dessa forma, o presente estudo mostra-se relevante ao investigar a presença de microplásticos presentes na água da chuva, especialmente em uma região ainda pouco monitorada. Além disso, os resultados obtidos podem servir como subsídio importante para o monitoramento ambiental, bem como para a formulação de políticas públicas voltadas à redução da poluição plástica e à sensibilização da sociedade sobre os impactos associados à presença de microplásticos no ambiente.

## **1.2 Hipótese**

Estudos realizados em regiões montanhosas, cidades costeiras e até em áreas remotas demonstraram a presença de microplásticos na atmosfera, indicando um ciclo atmosférico ativo. No contexto amazônico, marcado por intensas chuvas sazonais e extensa

cobertura florestal, pressupõe-se que esses contaminantes também estejam presentes na precipitação. Sendo assim, a hipótese deste estudo é que a precipitação atmosférica atua como um vetor de deposição de microplásticos no município de Humaitá-AM, possibilitando a identificação dessas partículas na água da chuva tanto na área urbana quanto na área rural.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

- Identificar a presença de microplásticos em amostras de água da chuva coletadas em áreas urbana e rural do município de Humaitá-AM.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Detectar a presença de microplásticos em amostras de água da chuva;
- Caracterizar os microplásticos quanto à forma, tamanho, cor e composição polimérica;
- Comparar as características dos microplásticos entre as áreas urbanas e rural;
- Avaliar a influência dos diferentes tratamentos de digestão da matéria orgânica e separação por densidade na recuperação dos microplásticos.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Poluição Atmosférica: Características, Impactos e Novos Contaminantes**

A poluição atmosférica (PA) é um dos principais desafios ambientais da atualidade, com implicações diretas para a saúde humana, os ecossistemas e o equilíbrio climático do planeta (Dominutti et al., 2022). Ainda de acordo com os autores, a PA é caracterizada pela presença de substâncias ou partículas nocivas na atmosfera, resultantes tanto de fontes naturais quanto antrópicas, como emissões industriais, queima de combustíveis fósseis, atividades agrícolas e transporte veicular.

Entre os poluentes atmosféricos mais comuns estão o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), o monóxido de carbono (CO), o material particulado (MP), o ozônio troposférico (O<sub>3</sub>) e os compostos orgânicos voláteis (COVs). As concentrações e os efeitos desses poluentes variam de acordo com a região e com condições meteorológicas locais, como a temperatura do ar, direção e a intensidade dos ventos, umidade relativa,

estabilidade atmosférica, incidência solar e o regime de chuvas. Por exemplo, em dias com pouca ventilação e alta radiação solar, podem ocorrer acúmulo de poluentes e formação de ozônio troposférico, enquanto chuvas intensas tendem a remover parte desses compostos da atmosfera por meio da deposição úmida (Camillo et al., 2022).

Nos últimos anos, a preocupação com os impactos da poluição atmosférica sobre a saúde pública tem se intensificado. Estudos apontam que a exposição prolongada a poluentes atmosféricos pode levar ao agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares, ao aumento da mortalidade prematura e ao desenvolvimento de doenças crônicas, como asma e câncer de pulmão (WHO, 2021). Estima-se que cerca de 7 milhões de mortes prematuras ocorram anualmente devido à poluição do ar, sendo a maioria em países de baixa e média renda (WHO, 2021).

Recentemente, estudos vêm revelando a presença de contaminantes emergentes na atmosfera, como os microplásticos, que são transportados pelo ar e podem ser depositados por processos de precipitação ou sedimentação seca (Allen et al., 2019). Isso expande a complexidade da poluição atmosférica, mostrando que, além dos poluentes já conhecidos, novos contaminantes estão surgindo. Essa realidade exige uma atualização nos métodos de monitoramento e nas estratégias de controle.

## **2.2 Produção de Plástico e Seus Impactos Ambientais**

Os plásticos são materiais sintéticos extremamente versáteis: leves, impermeáveis e duradouros. Podem ser fabricados de várias formas, desde rígidos até flexíveis, transparentes ou coloridos, e tudo isso a um custo bastante acessível (Spinacé, 2005). Por essas qualidades, eles se tornaram indispensáveis em praticamente todos os setores da nossa vida moderna. No entanto, o descarte inadequado desses materiais trouxe um grande desafio ambiental, fazendo com que os plásticos se tornem contaminantes presentes em praticamente todos os cantos do planeta (Ivar do Sul e Costa 2014).

Desde que a produção de plásticos começou, em 1950, houve um crescimento impressionante ao longo das últimas seis décadas. Estima-se que, até hoje, já foram fabricadas cerca de 8,3 bilhões de toneladas de plástico para as mais diversas finalidades (Tourinho et al. 2019). No entanto, se o ritmo atual de produção continuar sem melhorias significativas na gestão de resíduos, calcula-se que, até 2050, aproximadamente 12 bilhões de toneladas de plásticos acabarão sendo descartadas no meio ambiente, agravando ainda mais o problema da poluição (Geyer; Jambeck; Law, 2017).

Os impactos ecológicos e ambientais causados pelo descarte inadequado de plásticos, somados aos prejuízos estéticos e econômicos, têm feito da poluição plástica um tema de

grande preocupação em várias áreas de pesquisa ao redor do mundo. Como o plástico é amplamente utilizado, é natural que ele componha uma grande parte dos resíduos sólidos gerados. Além disso, sabemos que a maior parte desses resíduos, cerca de 80%, vem de atividades em terra e, inevitavelmente, acaba sendo levada para os oceanos, onde se acumula e agrava ainda mais o problema (Kataoka et al. 2019; Jambeck et al. 2015).

Atualmente, como resultado desse acúmulo de resíduos, existem pelo menos cinco grandes ilhas de plástico espalhadas pelos oceanos. Essas enormes massas de plástico flutuante, levadas pelas correntes marítimas, se concentram nos vórtices oceânicos, causando danos imensuráveis ao ecossistema marinho. De acordo com o Panorama da Biodiversidade Global das Nações Unidas, esse fenômeno tem levado à morte de milhares de animais marinhos, afetando profundamente a vida nos oceanos (WHO, 2020).

### **2.3 Definição e Origem dos Microplásticos**

Os microplásticos (MPs) são partículas plásticas com dimensões inferiores a 5 mm, que podem ser classificados como primários ou secundários. Os microplásticos podem ser classificados como primários ou secundários, de acordo com sua fonte de origem (Cole et al., 2011; Crawford e Quinn, 2016).

Os microplásticos primários são materiais intencionalmente fabricados com dimensões inferiores a 5 mm para aplicações específicas em diversos setores, como o industrial, cosmético e farmacêutico. Eles são liberados diretamente no meio ambiente já nesse tamanho. Um exemplo comum são as microesferas microscópicas, frequentemente utilizadas em produtos de higiene pessoal, como esfoliantes, sabonetes, cremes dentais e cosméticos com glitter. Além disso, esses microplásticos também são empregados como abrasivos na fabricação de plásticos e em processos da indústria química em geral (Fendall e Sewell, 2009; Napper et al., 2015; Browne et al., 2011).

Já os microplásticos secundários se originam da fragmentação de plásticos maiores, como embalagens e utensílios descartados. Essa degradação ocorre por meio da ação de fatores ambientais, como intempéries, radiação ultravioleta, além de processos mecânicos e químicos, tanto em ambientes naturais quanto urbanos (Geyer; Jambeck; Law, 2017).

Com o crescimento exponencial da produção global de plástico, ultrapassando 400 milhões de toneladas anuais (Unep, 2023), o acúmulo e a degradação de plásticos no meio ambiente tornam-se inevitáveis. Os microplásticos, por seu tamanho reduzido e baixa densidade, são facilmente transportados por vento, pela água e até mesmo pela fauna. Isso faz com que eles cheguem a lugares bem distantes, como o Ártico e o alto das montanhas (Bergmann et al., 2019).

Os microplásticos (MPs) podem conter aditivos tóxicos. Os MPs, como os macroplásticos, são fabricados com diversos aditivos químicos que podem se lixiviar para o meio ambiente, incluindo substâncias como ftalatos, bisfenol A, nonilfenol, entre outros. Além disso, devido à sua elevada área superficial e propriedades hidrofóbicas, os MPs adsorvem contaminantes orgânicos persistentes (POPs) e patógenos microbiológicos (Rochman et al., 2019). Isso amplia seus riscos ecológicos e de saúde humana, uma vez que podem ser ingeridos por organismos em diversos níveis tróficos.

Além das vias aquáticas, estudos recentes destacam a importância da atmosfera como meio de transporte de microplásticos. A possibilidade de dispersão aérea evidencia que esses poluentes não estão restritos a zonas costeiras ou aquáticas, mas sim presentes em uma variedade de ecossistemas, inclusive urbanos, rurais e até em regiões desabitadas (Dris et al., 2016; Allen et al., 2019).

## **2.4 Principais Fontes de Microplásticos**

Várias práticas podem resultar na geração e liberação de resíduos microplásticos no meio ambiente. Um exemplo disso são as microesferas, que são microplásticos criados propositadamente e estão presentes em muitos produtos cosméticos e de higiene pessoal, como cremes dentais, sabonetes e protetores solares. Dados do Programa Ambiental das Nações Unidas mostra que as concentrações de microesferas em produtos de higiene pessoal podem atingir até 50 mil partículas por grama de produto. Essas por sua vez acabam caindo na rede de esgoto e podem chegar a diversos compartimentos ambientais (UNEP, 2015).

Diversas fontes contribuem para a presença de microplásticos no ambiente, tanto em meios terrestres quanto aquáticos. Um exemplo são as microesferas, que além de seu uso em produtos cosméticos e de higiene pessoal, também são aplicadas como agentes de limpeza e em fluidos de perfuração utilizados, por exemplo, na indústria petrolífera (Hale, 2020).

Outra fonte significativa de microplásticos é o desgaste de pneus, responsável por grande parte da liberação dessas partículas no ambiente. Estima-se que cada pessoa gere, em média, 4,7 kg de microplásticos por ano, o que corresponde de 5 a 10% da massa total de plásticos que chegam aos oceanos. Além disso, esses microplásticos também estão presentes na atmosfera urbana, compondo cerca de 3 a 7% das partículas finas PM<sub>2,5</sub>, que têm diâmetro inferior a 2,5 µm e são consideradas importantes indicadores da qualidade do ar (Kole et al., 2017).

As pinturas e recobrimentos aplicados em estruturas urbanas e sinalizações viárias

também contêm polímeros que, ao serem expostos à luz solar e intempéries, sofrem degradação, liberando microplásticos no meio ambiente (Hale et al., 2020).

A maior parte dos rejeitos plásticos, cerca de 79%, é destinada a aterros sanitários ou é descartada diretamente no meio ambiente (Geyer; Jambeck; Law, 2017). Aquela parte que permanece no ambiente, seja em áreas aquáticas ou terrestres, acaba se degradando e liberando micropartículas. Os aterros podem ser abertos ou fechados; os aterros abertos, em particular, estão mais expostos à ação da luz solar, o que pode resultar na liberação de microplásticos no solo (Thompson, 2015).

Vale ressaltar que os microplásticos despejados em ambientes terrestres podem acabar indo parar em ambientes aquáticos. Isso ocorre, por exemplo, devido à ação do vento, que pode fazer com que as partículas menores se espalhem por longas distâncias. Além disso, as chuvas podem carregar micropartículas provenientes de diversas fontes, como aterros sanitários, desgaste de pneus e tintas, para as redes de esgoto ou até mesmo fazer com que essas partículas penetrem no solo (Hale et al., 2020).

## **2.5 Fontes Atmosféricas de Microplásticos**

A presença de microplásticos na atmosfera é uma preocupação emergente. As principais fontes atmosféricas identificadas incluem a abrasão de pneus em vias urbanas, fibras liberadas de tecidos sintéticos durante o uso ou lavagem, fragmentação de materiais de construção (tintas, vernizes, selantes), partículas de plásticos industriais e poeiras suspensas provenientes de resíduos plásticos em aterros ou ao ar livre (Brahney et al., 2020; Abbasi et al., 2019).

Os MPs podem ser emitidos diretamente para o ar (via resuspensão) ou resultar de processos industriais e urbanos. As fibras têxteis, por exemplo, são uma das formas predominantes de MPs atmosféricos. Uma vez em suspensão, essas partículas podem ser transportadas por longas distâncias pela ação dos ventos, antes de se depositarem no solo, corpos d'água ou vegetação (Henry et al., 2019).

A presença de microplásticos na água da chuva ocorre principalmente por meio da deposição atmosférica. Esses fragmentos plásticos, com menos de 5 mm de diâmetro, são emitidos no ambiente por fontes urbanas, industriais e domésticas, sendo transportados pelo vento e pelas correntes atmosféricas. Entre as principais fontes estão a abrasão de pneus, desgaste de plásticos em áreas urbanas, liberação de fibras sintéticas de roupas, fragmentação de materiais plásticos maiores e a queima de resíduos (Dris et al., 2016; Allen et al., 2019).

Na atmosfera, os MPs permanecem em suspensão até serem incorporados às gotas

de água durante a formação de nuvens, por meio de processos como a varredura e a condensação. Esse processo resulta na chamada deposição úmida (wet deposition), pela qual as partículas são removidas do ar através da precipitação (Brahney et al., 2020).

Eventos de precipitação, variações de umidade e correntes atmosféricas contribuem para a deposição dos MPs através de dois mecanismos principais: deposição seca (sedimentação gravitacional e impacto direto) e deposição úmida (chuva, neblina, neve). A deposição úmida, em especial, tem recebido atenção crescente por sua eficiência em remover partículas suspensas do ar e levá-las ao solo ou corpos hídricos (Allen et al., 2022).

Estudos realizados em regiões montanhosas, cidades costeiras e até em áreas remotas demonstraram concentrações consideráveis de microplásticos na atmosfera, indicando um ciclo atmosférico ativo. Isso levanta preocupações adicionais sobre sua inalação por humanos e animais, além de contaminação indireta de fontes de água potável (Gasperi et al., 2018).

## **2.6 Transporte Atmosférico e Deposição Via Precipitação**

O transporte atmosférico de microplásticos e sua deposição por meio da chuva é um fenômeno recentemente caracterizado, mas que já demonstrou grande relevância ecológica. Partículas de MP podem permanecer em suspensão por longos períodos e serem transportadas a grandes distâncias pela ação dos ventos e correntes atmosféricas. A deposição úmida, especialmente pela chuva, tem se mostrado uma via eficiente de redistribuição desses contaminantes (Allen et al., 2019).

Brahney et al. (2020) identificaram que microplásticos presentes na chuva em áreas protegidas dos Estados Unidos provinham de fontes urbanas distantes, revelando a natureza ubíqua desses poluentes. A deposição via chuva é particularmente preocupante pois pode introduzir MPs em sistemas hídricos e solos agrícolas, além de atingir diretamente reservatórios de captação de água da chuva para consumo humano.

A composição química, densidade e forma das partículas influenciam diretamente sua capacidade de transporte. Fibras leves, por exemplo, são mais facilmente mantidas em suspensão e percorrem maiores distâncias. Já fragmentos mais densos tendem a se depositar com maior rapidez (Zhang et al., 2020).

Além disso, fatores meteorológicos como intensidade da chuva, vento, umidade relativa e temperatura afetam a taxa e a distribuição da deposição de MPs. Estudos comparativos entre períodos chuvosos e secos indicam que a concentração de MPs é significativamente maior durante eventos de precipitação, sugerindo uma relação direta com a deposição úmida (Liu et al., 2023).

Quando os microplásticos entram no meio ambiente, eles podem absorver contaminantes, aumentando os riscos para os organismos que podem ingeri-los acidentalmente. Nesse contexto, os problemas não se limitam apenas a efeitos físicos, como obstrução do trato digestivo, sufocamento e estresse. Eles também podem causar uma série de efeitos fisiológicos, como alterações hormonais, distúrbios na produção de enzimas e impactos na reprodução e crescimento que estariam correlacionados aos elevados níveis de degradação dos corpos de água aos quais os organismos estão expostos (Endo et al., 2005; Duis e Coors, 2016; Wrigth e Kelly, 2017).

Os microplásticos se comportam ainda como potenciais vetores de transporte de microrganismos, incluindo patógenos, através da formação de um biofilme na superfície do microplástico (Naik et al., 2019; Rummel et al., 2017; Kirstein et al., 2016). Espécies invasoras também podem ser transportadas por microplásticos, e os impactos que isso causa na biodiversidade dos ecossistemas ainda são desconhecidos, bem como os prejuízos relacionados à migração de espécies exóticas para outros habitats (Avio, 2017; Derraik, 2002).

## **2.7 Precipitação Atmosférica**

A precipitação é um dos principais componentes do ciclo hidrológico e desempenha papel fundamental na manutenção da vida e na regulação do clima terrestre. Ela ocorre quando o vapor d'água presente na atmosfera se condensa, formando nuvens, e, sob determinadas condições, as partículas de água condensada ou gelo tornam-se suficientemente pesadas para cair em direção à superfície terrestre (Nasa, 2024).

### **2.7.1 Formação da Precipitação**

A formação da precipitação depende de três etapas principais: a elevação do ar, o resfriamento do vapor d'água e a condensação. A elevação pode ocorrer por convecção (aquecimento da superfície), por efeito orográfico (passagem de massas de ar por elevações do relevo), ou por frentes atmosféricas (interação entre massas de ar com diferentes características de temperatura e umidade) (Nogueira et al., 2024).

O vapor d'água presente no ar atmosférico, ao se resfriar até atingir o ponto de orvalho, condensa-se em torno de núcleos de condensação, partículas microscópicas de poeira, sal marinho, fuligem ou mesmo microplásticos presentes na atmosfera (Aeschlimann et al., 2022). À medida que a gota de água cresce pela união com outras menores ou por cristalização, no caso de precipitação sólida, ela adquire massa suficiente para superar as correntes ascendentes de ar e precipitar-se em direção ao solo.

### **2.7.2 Tipos de Precipitação**

A precipitação pode ocorrer em diferentes formas, dependendo das condições atmosféricas e da temperatura ao longo do perfil vertical da atmosfera:

- **Chuva:** É a forma mais comum de precipitação, composta por gotas de água líquida que se formam em nuvens e caem quando atingem tamanho suficiente para vencer a resistência do ar. Wallace e Hobbs (2006) explicam que a chuva se forma quando gotículas de nuvem colidem e coalescem, formando gotas maiores que caem devido à gravidade.
- **Chuvisco:** Consiste em gotículas muito pequenas de água líquida, geralmente com diâmetro inferior a 0,5 mm, que caem de nuvens baixas. Segundo Pruppacher e Klett (1997), o chuvisco ocorre em condições de pouca turbulência e alta umidade relativa.
- **Neve:** Forma-se quando a temperatura nas nuvens e no solo está abaixo de 0 °C, fazendo com que o vapor d'água se cristalize diretamente em flocos de neve. Barry e Chorley (2009) afirmam que os cristais de neve resultam da sublimação do vapor d'água em temperaturas negativas.
- **Granizo:** Consiste em bolas ou pedaços irregulares de gelo formados em nuvens cumulonimbus durante tempestades intensas. Conforme Houze (2014), o granizo se forma pela ascensão e resfriamento repetido de gotas d'água em correntes convectivas intensas.

### **2.8 Precipitação na Amazônia**

A região amazônica é reconhecida por apresentar um dos maiores índices pluviométricos do planeta, desempenhando um papel fundamental na regulação do ciclo hidrológico e no equilíbrio climático, tanto em escala regional quanto global. A média anual de precipitação na bacia amazônica varia entre 2.000 mm e 3.500 mm, influenciada por fatores como a localização geográfica, a sazonalidade e os padrões atmosféricos predominantes (Marengo et al., 2018). A maior parte das chuvas na Amazônia é originada por processos convectivos intensos, sendo mais frequentes durante a estação chuvosa, que se estende de dezembro a maio, e significativamente reduzidas na estação seca, entre junho e novembro (Ramírez-Nina; Silva Dias, 2024).

Entre os principais sistemas meteorológicos que influenciam a precipitação amazônica estão a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), os sistemas convectivos de mesoescala e o transporte de umidade oriundo do oceano Atlântico, conhecido como jato de baixos níveis (LLJ, na sigla em inglês). Esse último atua como um corredor de umidade que alimenta a atmosfera da bacia amazônica, contribuindo para a formação de nuvens e tempestades (Espinoza et al., 2012). Além disso, a própria

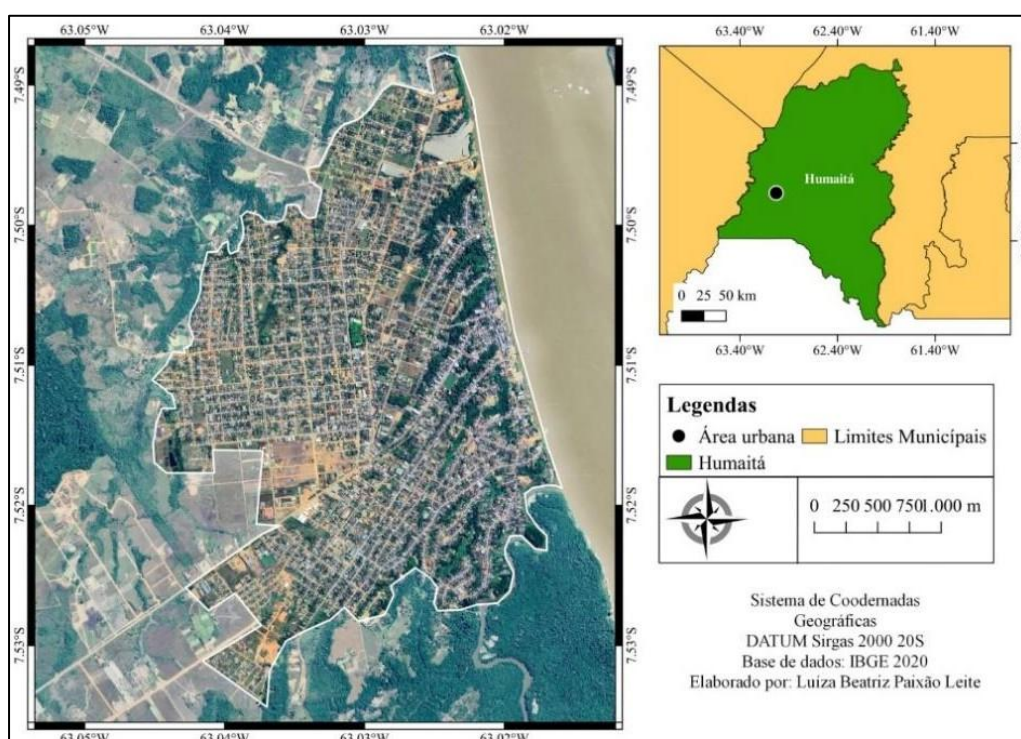
floresta amazônica tem um papel ativo na geração de precipitação por meio da evapotranspiração das árvores, um processo responsável por reciclar até 50% da umidade que retorna à atmosfera (Spracklen et al., 2018).

Nos últimos anos, eventos climáticos extremos como secas severas e enchentes intensas têm se tornado mais frequentes, indicando mudanças na dinâmica da precipitação na Amazônia. Esses eventos estão associados a alterações nos padrões oceânicos globais, como o El Niño e La Niña, e também ao avanço do desmatamento, que modifica o balanço energético e hídrico da superfície (Zemp et al., 2017; Espinoza et al., 2014). O desmatamento altera a estrutura da floresta, reduz a evapotranspiração e afeta o transporte de umidade, diminuindo a formação de nuvens e o volume de chuvas locais, com possíveis impactos também nas regiões vizinhas.

### 3. METODOLOGIA DE PESQUISA

#### 3.1 Área de Estudo

O estudo foi conduzido no município de Humaitá- AM (7° 30' 22" S e 63° 01' 15" W), localizado no sul do estado do Amazonas, (Figura 1), com cerca de 57.473 habitantes. Ocupa uma área de 33.111,129 km<sup>2</sup>, conforme dados do IBGE (2022). Segundo a classificação de Köppen, a zona climática da região apresenta clima tropical úmido com temperaturas médias anuais variando entre 25 e 27 °C, com valores mínimos e máximos entre 17 e 36 °C mensal, com umidade relativa do ar entre 85 e 90% (Martins, 2019). A precipitação média anual atinge 2193,6 mm. Além disso, o clima da região é caracterizado por uma estação seca, entre junho a agosto, e uma estação chuvosa que vai de outubro a abril. Maio e setembro são considerados meses de transição entre essas duas estações (Pedreira-Junior, 2018).



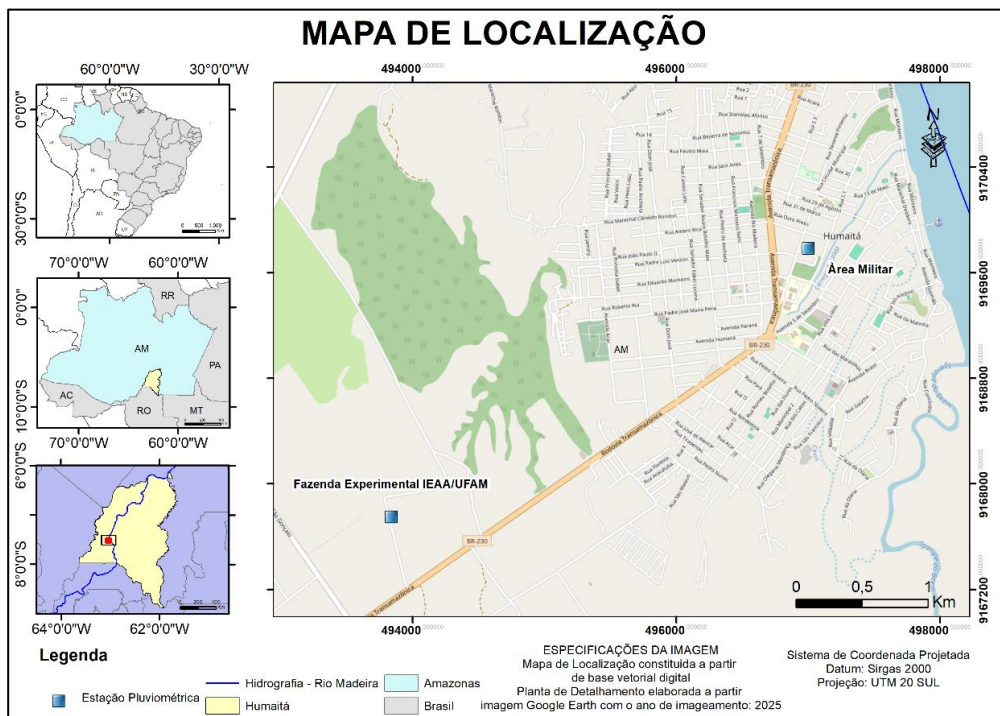
**FONTE:** Autora, 2026.

**Figura 1-** Mapa de localização do município de Humaitá-AM

#### 3.2 Coleta de Dados

As amostras de água da chuva foram coletadas em dois pontos representativos, correspondentes às áreas urbana e rural. O ponto representativo da área rural foi instalado na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), enquanto da área urbana foi instalado em uma área aberta pertencente à Vila Militar Cacique Juricaba (Figura

2). Em ambos os locais foram utilizados dispositivos de amostragem idênticos, do tipo pluviômetro Ville de Paris.



FONTE: A autora, 2026.

**Figura 2-** Mapa de localização onde estão instalados os pluviômetros.

As amostras foram coletadas durante dois eventos de precipitação ocorridos no período seco da região, sendo a coleta realizada simultaneamente nos dois pontos amostrais. Antes do início das coletas, os pluviômetros foram devidamente higienizados para minimizar possíveis fontes de contaminação. Após cada evento de chuva, foi realizado o enxágue das paredes internas dos pluviômetros com água destilada, despejada cuidadosamente sobre toda a superfície interna do equipamento, de modo a recuperar partículas que pudessem permanecer aderidas às suas paredes e conduzi-las ao recipiente central de coleta.

Após a coleta, as amostras foram armazenadas em recipientes de vidro e mantidas sob refrigeração até serem transportadas para a Universidade Federal de Rondônia (UNIR) para processamento laboratorial.

### 3.3 Análise dos Dados

Após a coleta da água da chuva, as amostras foram para a Universidade Federal de Rondônia (UNIR), onde foram filtradas em filtro de fibra vidro Whatman® GF/A (0,47 mm) com bomba de vácuo. Posteriormente foram armazenadas em placas de Petri de vidro, cobertas com papel alumínio e transportadas ao laboratório.

O processo de análise começou com a extração da matéria orgânica e a separação das amostras por densidade. Em seguida, foi realizada a análise da composição química dos polímeros presentes nas amostras utilizando o espectroscópio de infravermelho com transformada de Fourier ( $\mu$ -FTIR) (Liu et al., 2022; Vianello et al., 2013). Por fim, foi feita a quantificação das partículas por microscopia óptica.

Os polímeros identificados como plásticos foram analisados por microespectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier ( $\mu$ -FTIR), uma técnica que gera espectros da composição química dos microplásticos nos filtros. Cada amostra foi submetida a essa análise, e o tipo de polímero encontrado foi comparado com o banco de dados do Open Specy para confirmar a correspondência dos espectros. Além da identificação do tipo de microplástico, outras características, como forma e tamanho, também foram avaliadas.

As análises da composição química das amostras foi executada no Laboratório Multiusuário de Análise Térmica- LAMAT, no instituto de química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRS. Cada etapa será abordada detalhadamente a seguir.



**FONTE:** Autora, 2026.

**Figura 3-** Fluxograma das etapas de processamento e identificação de microplásticos

### 3.3.1 Cuidados para Evitar a Contaminação Cruzada

Considerando a identificação de partículas microplásticas em ambientes internos, um desafio evidenciado por Dris et al. (2017), a confiabilidade da pesquisa depende diretamente

da aplicação de protocolos rigorosos para controle de contaminação. Para isso, as precauções propostas por Prata et al. (2021) foram adotadas para prevenir a contaminação das amostras e a superestimação das concentrações, que incluem:

- uso de jaleco de algodão;
- uso exclusivo de materiais de vidro ou metal, evitando o uso de materiais plásticos;
- limpeza adequada de materiais e equipamentos antes do uso;
- pré-filtração de todas as soluções de trabalho;
- cobrir as amostras sempre que possível com papel alumínio;
- todo o trabalho de laboratório realizado em capela de fluxo laminar, sala limpa com acesso e ventilação controlados ou equivalente;
- limpeza da superfície dos filtros antes do uso para remover contaminantes potenciais;
- uso de “filtros brancos” como controles negativos durante o procedimento;
- uso de filtros expostos ao ar para controle de contaminações aerotransportadas;
- lavagem dos materiais entre as amostras para evitar a contaminação cruzada.

### **3.3.2 Limpeza dos Instrumentos que Foram Utilizados**

Para garantir a integridade dos resultados, foi realizada a higienização rigorosa dos instrumentos laboratoriais antes de cada etapa experimental. O procedimento consistiu na lavagem dos materiais com álcool isopropílico filtrado cinco vezes e água deionizada. Em seguida, os instrumentos foram transferidos para uma estufa para esterilização e secagem.

### **3.3.3 Uso do “Branco” para Estimar Contaminação Cruzada**

Para estimar a ocorrência de contaminação cruzada, foram utilizadas membranas de acetato de celulose (MCE) esterilizadas, denominadas “brancos”, as quais passaram por todas as etapas do procedimento analítico, desde a digestão até a identificação dos polímeros.

Além disso, com a finalidade de monitorar possíveis contaminações durante o processamento das amostras, foi adotado o controle denominado “branco do ar”. Para isso, uma membrana de acetato de celulose (MCE) foi acondicionada em uma placa de Petri e mantida exposta ao ambiente durante toda a manipulação das amostras. Posteriormente, esses filtros de controle foram submetidos aos mesmos procedimentos de caracterização aplicados às amostras analisadas.

## **3.4 Digestão da Matéria Orgânica**

Apesar de a coleta envolver amostras de água da chuva, a presença de matéria

orgânica será evidente. Para removê-la adequadamente, foi aplicada a digestão com peróxido de hidrogênio a 35% ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), um método escolhido por sua eficácia e menor agressividade em comparação a outras técnicas, que podem danificar a estrutura dos polímeros ou não conseguir degradar os compostos orgânicos de forma satisfatória (Erni-Cassola et al., 2017).

A remoção eficiente da matéria orgânica constitui uma etapa fundamental na análise de microplásticos, pois reduz a interferência de materiais biogênicos que podem ser confundidos com partículas plásticas durante a triagem visual e a caracterização química, minimizando a ocorrência de falsos positivos. Nesse contexto, a digestão com peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) é amplamente empregada por promover a degradação da matéria orgânica com reduzidos efeitos sobre a integridade da maioria dos polímeros sintéticos, favorecendo uma identificação mais confiável dos microplásticos (Hurley et al., 2018).

Durante o procedimento, foram utilizados 30 mL da solução por amostra, onde ficou em repouso à temperatura ambiente, protegida da luz com papel alumínio, por um período de 24 horas. Considerando que o peróxido de hidrogênio pode reagir de maneira indesejada com o iodeto de sódio, foi essencial remover completamente os resíduos desse reagente antes da próxima etapa, que é a separação por densidade. Para isso, a solução de  $\text{H}_2\text{O}_2$  foi transferida para um recipiente apropriado, filtrada cinco vezes e armazenada para posterior reutilização. Em seguida, os filtros foram lavados com água deionizada, garantindo a eliminação do excesso de peróxido.

Após a primeira digestão da matéria orgânica, as amostras foram submetidas à separação por densidade. Em seguida, a mesma amostra passou por uma segunda separação utilizando o mesmo procedimento. Posteriormente, realizou-se uma segunda digestão da matéria orgânica com  $\text{H}_2\text{O}_2$  a 35% por 24 horas, visando remover resíduos orgânicos ainda presentes e avaliar a recuperação adicional de partículas com características compatíveis com microplásticos.

### **3.5 Separação por Densidade**

Após a primeira digestão da matéria orgânica, as amostras foram submetidas à primeira etapa de separação por densidade. Para a separação por densidade, foi utilizada uma solução saturada de iodeto de sódio (NaI), com densidade de  $1,8 \text{ g/cm}^3$ . O procedimento consistiu na imersão do filtro em um recipiente contendo 50 mL da solução, seguida de agitação em mesa agitadora, operando entre 20 e 50 rpm por 5 minutos. Posteriormente, a membrana foi removida, e o NaI transferido para o sistema de separação por densidade, permanecendo em repouso por 24 horas.

Com o objetivo de minimizar a perda de possíveis partículas plásticas remanescentes, a amostra foi submetida a uma segunda etapa de separação por densidade, utilizando o mesmo procedimento descrito anteriormente. Após essa etapa, a fração superior do sistema de separação por densidade foi filtrada em uma membrana de acetato de celulose. Em seguida, o NaI foi filtrado cinco vezes na mesma membrana e retornado ao sistema de separação por densidade. Posteriormente, o sistema foi submetido novamente à agitação em mesa agitadora, entre 20 e 50 rpm por 10 minutos, permanecendo em repouso por mais 24 horas. Após esse período, a fração superior do NaI foi filtrada em uma nova membrana de acetato de celulose.

Após a conclusão das duas etapas de separação por densidade, procedeu-se a uma segunda digestão da matéria orgânica utilizando novamente peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$  35%) por 24 horas, nas mesmas condições descritas anteriormente. Ao final do processo, as membranas permaneceram em secagem à temperatura ambiente por 72 horas, garantindo a eliminação completa da umidade residual. Posteriormente, as amostras foram armazenadas em ambiente de baixa temperatura até a realização das análises por Microespectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier ( $\mu$ -FTIR).

### **3.6 Composição Química, Quantificação e Medição das Partículas no FTIR**

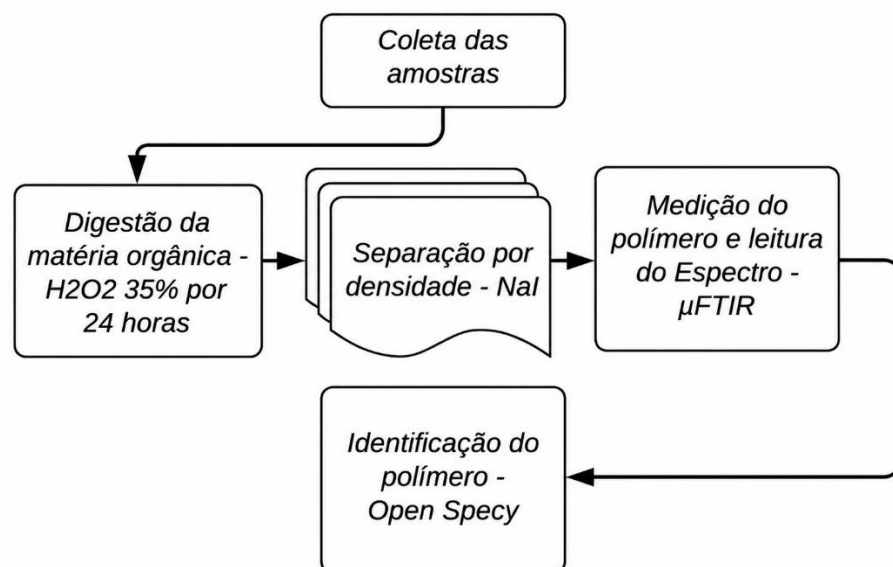
A identificação de microplásticos constitui uma etapa desafiadora, principalmente em razão das limitações dos métodos analíticos disponíveis, que restringem o número de amostras analisadas devido aos elevados custos e à complexidade dos procedimentos envolvidos (Tamminga, Hengstmann e Fischer, 2017).

Após a triagem inicial das partículas que atenderam aos critérios estabelecidos por Hidalgo-Ruz et al. (2012) e Norén (2007), procedeu-se à caracterização da identidade química por meio da espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Para isso, foi utilizado o equipamento Nicolet 6700, operando no modo  $\mu$ -FTIR com resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ . As análises foram realizadas no Laboratório Multiusuário de Análise Térmica, vinculado ao Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Por meio dessa técnica, os polímeros sintéticos presentes nas amostras foram quantificados e classificados em três categorias morfológicas: grânulos (microesferas de formato aproximadamente esférico), fragmentos (partículas de formato irregular) e fibras, conforme a classificação proposta por Tamminga, Hengstmann e Fischer (2017).

Durante a análise, utilizou-se inicialmente uma lente objetiva com aumento de 4x para a localização das partículas, seguida de uma lente de 10x, que permitiu uma visualização mais detalhada das estruturas identificadas.

Os espectros obtidos foram comparados com bibliotecas por meio do software Open Specy, sendo considerada válida a identificação da composição polimérica quando a correspondência espectral apresentou similaridade igual ou superior a 70% (Figura 4).



**FONTE:** Autora, 2026.

**Figura 4-** Diagrama do processo empregado

### 3.7 Estatística Descritiva

Os dados obtidos foram analisados por meio de estatística descritiva, utilizando frequências absolutas (n) e relativas (%). As características dos microplásticos foram avaliadas quanto à forma, cor, tamanho e composição polimérica, sendo os resultados apresentados em quadros e gráficos. A comparação entre as áreas urbana e rural foi realizada com base na distribuição das partículas observadas. Considerando o caráter exploratório do estudo e a ausência de réplicas independentes para cada tratamento amostral, não foram aplicados testes estatísticos inferenciais, sendo a interpretação dos resultados fundamentada na análise descritiva dos dados.

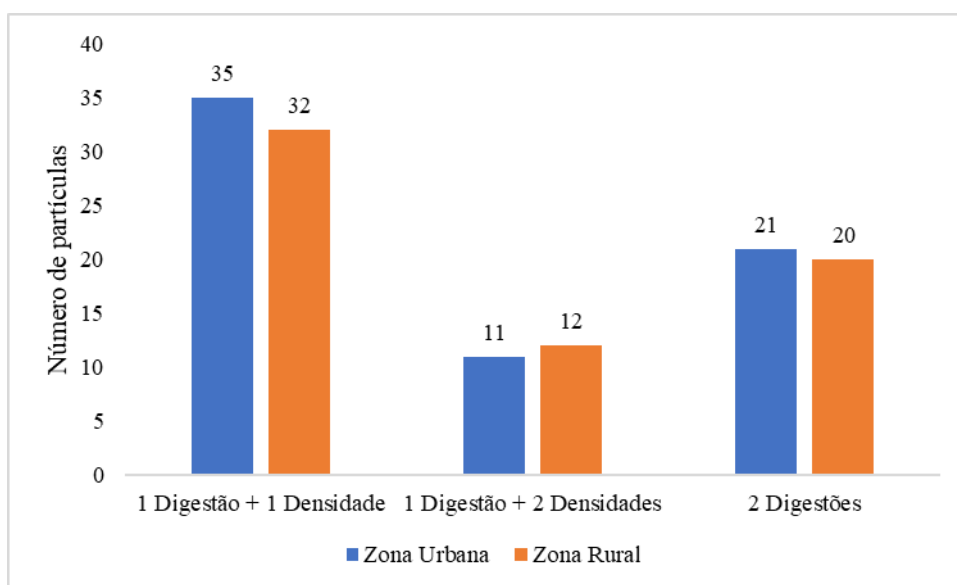
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta sessão são apresentados e discutidos os resultados obtidos ao longo da pesquisa, contemplando a ocorrência, a caracterização física e a composição química dos microplásticos identificados nas amostras de água da chuva coletadas nas áreas urbana e rural do município de Humaitá-AM. Cabe destacar, de início, que estudos sobre microplásticos na Bacia Amazônica ainda são escassos e concentrados majoritariamente em organismos aquáticos e sedimentos, com poucas investigações voltadas à matriz atmosférica ou à água da chuva (Santana et al., 2024), o que reforça o caráter exploratório e a relevância regional do presente trabalho. Essa lacuna não é exclusiva da Amazônia brasileira: revisão conduzida por Vélez-

Terreros, Romero-Estévez e Yáñez-Jácome (2024) sobre a produção científica acerca de microplásticos no Equador constatou que a maior parte dos estudos disponíveis se concentra em áreas costeiras, havendo escassez semelhante de pesquisas voltadas a matrizes atmosféricas e a bacias hidrográficas do interior do país, o que indica um padrão mais amplo de sub-representação de ambientes tropicais continentais na literatura latino-americana sobre o tema

#### 4.1 Caracterização Física dos Microplásticos na Área de Estudo

Foram identificadas 131 partículas com características compatíveis com microplásticos em 1.500 mL de água da chuva coletados nas áreas urbana (750 mL) e rural (750 mL) do município de Humaitá-AM, confirmando a ocorrência desses contaminantes na precipitação atmosférica local e reforçando a hipótese de que a atmosfera amazônica atua como via de transporte e deposição de partículas plásticas mesmo em uma área afastada de grandes polos industriais. A distribuição das partículas variou de acordo com os tratamentos empregados, conforme apresentado na Figura 5.



**FONTE:** Autora, 2026

**Figura 5-** Total de Microplásticos por tratamento

A maior quantidade de microplásticos foi registrada na zona urbana, durante a primeira digestão seguida da primeira separação por densidade, totalizando 35 partículas, seguida pela zona rural submetida ao mesmo tratamento, com 32 partículas identificadas. Os menores valores foram registrados nos tratamentos que envolveram a segunda densidade e a segunda digestão, indicando uma redução progressiva no número de partículas recuperadas ao longo das etapas de processamento das amostras.

Esse padrão decrescente ao longo das etapas sucessivas de digestão e separação por

densidade é consistente com o que tem sido descrito na literatura metodológica sobre extração de microplásticos em matrizes ambientais complexas. Erni-Cassola et al. (2017) demonstraram que procedimentos de purificação repetidos, embora indispensáveis para a remoção de matéria orgânica interferente, tendem a reduzir a eficiência de recuperação de partículas a cada etapa adicional, sobretudo daquelas de menores dimensões, que podem aderir às paredes dos recipientes, ser perdidas durante a filtração ou sofrer degradação parcial pela ação de reagentes oxidantes. No contexto brasileiro, Montagner et al. (2021), em revisão publicada na Química Nova sobre os desafios analíticos da determinação de microplásticos, destacam que a digestão da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio, embora seja o método mais empregado por promover uma oxidação mais branda, pode comprometer a integridade de determinados polímeros quando o tempo de exposição não é rigorosamente controlado, o que ajuda a explicar por que os tratamentos de segunda digestão e segunda densidade neste estudo apresentaram recuperação inferior à primeira etapa.

Em relação à morfologia, observou-se predominância de fibras na zona rural ( $n = 42$ ), enquanto na zona urbana predominaram os fragmentos ( $n = 36$ ); apenas uma microesfera foi identificada, restrita à área urbana (Figura 6).

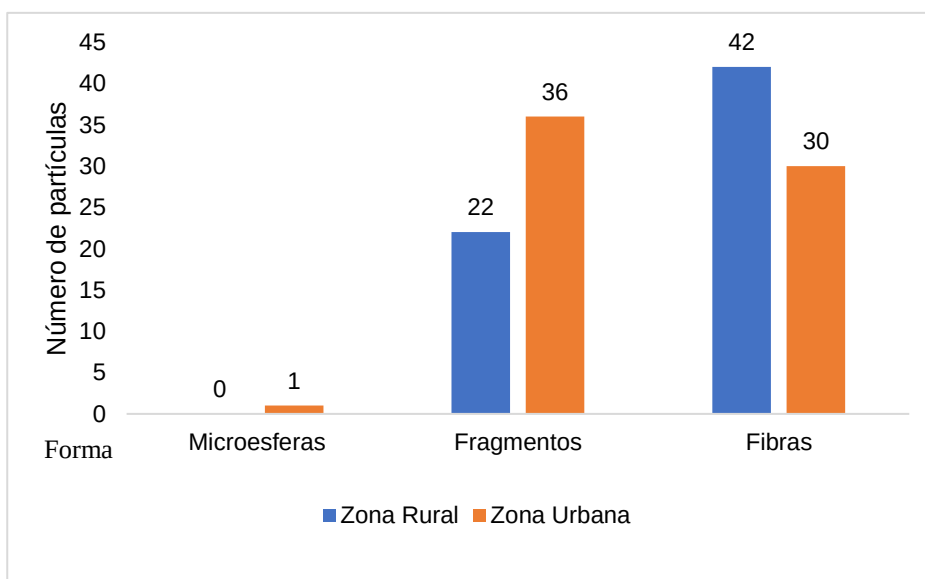
A predominância de fibras está de acordo com diversos estudos realizados em amostras atmosféricas e de precipitação ao redor do mundo. Dris et al. (2016), ao investigarem a deposição atmosférica em Paris, verificaram que fibras constituíam a maior parte dos microplásticos encontrados na precipitação, e Allen et al. (2019) registraram padrão semelhante em uma bacia de captação montanhosa remota nos Pireneus franceses, associando a onipresença desse formato à elevada capacidade das fibras sintéticas de permanecerem em suspensão atmosférica em razão de sua baixa densidade aparente e elevada razão comprimento/diâmetro.

Padrão análogo foi descrito por Arévalo-Moreno et al. (2026) em dois lagos andinos tropicais no Equador, nos quais as fibras corresponderam a 87,3% das partículas identificadas, associadas predominantemente ao uso e descarte de fibras têxteis sintéticas. No presente estudo, contudo, essa predominância foi mais acentuada na zona rural do que na urbana, o que sugere um mecanismo particular para Humaitá-AM: em áreas rurais amazônicas, práticas cotidianas como a secagem de roupas ao ar livre, o uso extensivo de tecidos sintéticos e a menor cobertura de saneamento, que favorece a exposição direta de efluentes domésticos e resíduos têxteis ao ambiente, podem constituir fontes locais relevantes de fibras, complementando o aporte de fibras de origem atmosférica de longa distância já descrito por Dris et al. (2016) e Allen et al. (2019).

Por outro lado, a predominância de fragmentos na zona urbana pode estar relacionada à fragmentação de resíduos plásticos maiores presentes no ambiente urbano. A ação da

radiação solar, das variações de temperatura e dos processos mecânicos favorece a degradação de embalagens, sacolas e outros materiais plásticos, originando partículas menores que podem ser transportadas pelo vento e posteriormente depositadas pela chuva (Geyer; Jambeck; Law, 2017; Zhang et al., 2020). Esse resultado é também compatível com a contribuição de fontes específicas do tráfego urbano: Kole et al. (2017) estimam que o desgaste de pneus responde por uma fração expressiva das partículas microplásticas liberadas no ambiente globalmente, e esse tipo de partícula tende a se apresentar predominantemente na forma de fragmentos irregulares, e não de fibras.

Estudo conduzido em Bogotá, na Colômbia, por Molina-Gómez et al. (2026), reforça esse mecanismo ao associar a presença de microplásticos suspensos no ar urbano a fontes locais como obras de construção civil e ao padrão local de ventos, que direciona e concentra partículas conforme a topografia da cidade, evidência que reforça a hipótese de que a maior fluxo de veículos e atividades de construção na área urbana de Humaitá-AM contribuem para a predominância de fragmentos observada.



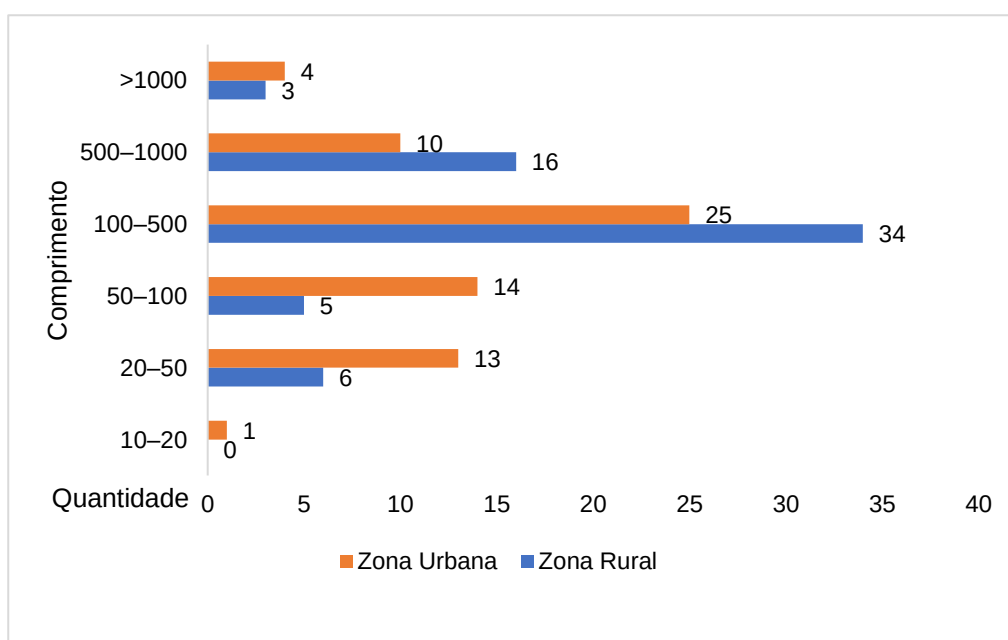
**FONTE:** Autora, 2026.

**Figura 6-** Forma dos microplásticos

Para o comprimento das partículas, em ambas as áreas predominou a classe de 100–500  $\mu\text{m}$ , porém com maior frequência na zona rural ( $n = 34$ ); as classes menores (20–50  $\mu\text{m}$  e 50–100  $\mu\text{m}$ ) foram mais frequentes na zona urbana (Figura 7).

Resultados semelhantes foram reportados por Brahney et al. (2020), que identificaram elevada frequência de partículas inferiores a 500  $\mu\text{m}$  em amostras de deposição atmosférica no oeste dos Estados Unidos, atribuindo essa predominância à maior capacidade de partículas pequenas de permanecerem em suspensão na atmosfera e serem transportadas por longas distâncias antes de sua remoção pela precipitação.

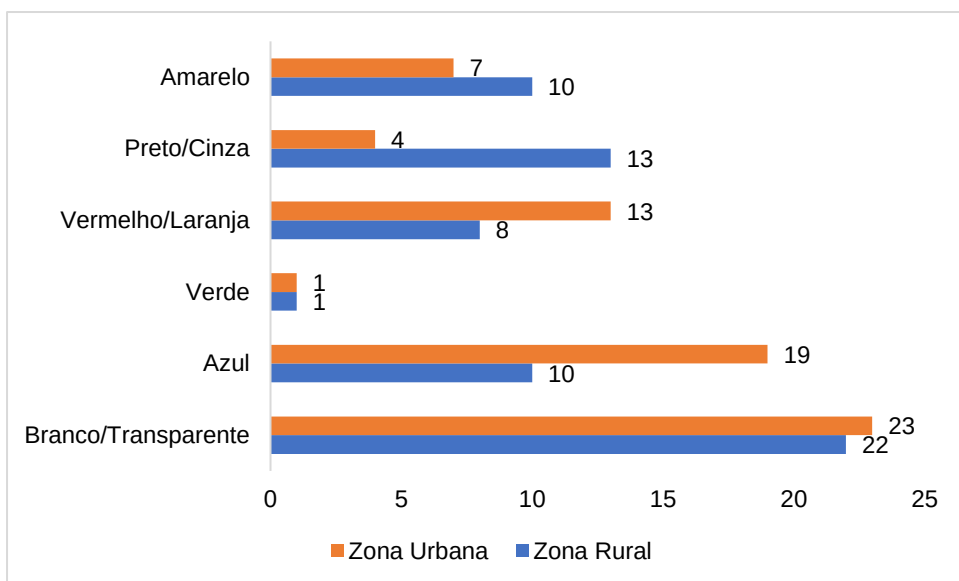
A maior ocorrência relativa das classes ainda menores (20–100  $\mu\text{m}$ ) na zona urbana de Humaitá-AM é coerente com esse mecanismo de tempo de residência atmosférica: quanto menor a partícula, menor sua velocidade terminal de sedimentação e, portanto, maior sua permanência no ar antes de ser capturada pela chuva, favorecendo sua detecção próxima a fontes urbanas intensas e de emissão contínua. Já a maior frequência de partículas na faixa de 100–500  $\mu\text{m}$  na zona rural pode estar associada tanto à contribuição de fibras têxteis, morfologicamente mais alongadas, quanto à própria dinâmica da precipitação convectiva amazônica, caracterizada por eventos de curta duração, elevada intensidade e forte componente vertical (Espinoza et al., 2012; Marengo et al., 2018; Ramírez-Nina; Silva Dias, 2024), que tende a promover uma varredura mais eficiente de partículas de maior massa relativa nas proximidades dos pontos de coleta.



**FONTE:** Autora, 2026

**Figura 7-** Tamanho dos microplásticos

Quanto a coloração das partículas, a cor branca/transparente predominou em ambas as áreas. A zona urbana apresentou maiores quantidades de partículas azuis e vermelhas/laranja, enquanto a zona rural apresentou maior ocorrência de partículas pretas/cinzas e amarelas (Figura 8).



**FONTE:** Autora, 2026.

**Figura 8-** Distribuição das cores

A predominância de partículas transparentes ou brancas também tem sido frequentemente relatada em estudos sobre microplásticos atmosféricos e aquáticos (Liu et al., 2019; Allen et al., 2022), estando geralmente associada à degradação de embalagens plásticas, filmes e fibras sintéticas não pigmentadas, materiais que respondem por parcela expressiva do consumo cotidiano de plástico tanto em áreas urbanas quanto rurais, o que explica a ocorrência dessa cor em ambos os sítios amostrais de Humaitá-AM.

Em revisão sobre o estado da poluição por microplásticos no México, Caro-Martínez et al. (2025) também identificaram fibras transparentes e azuis de polietileno e polipropileno como as formas mais comumente reportadas entre os 80 estudos analisados em diferentes matrizes ambientais do país, incluindo a atmosférica, corroborando o padrão cromático observado em Humaitá-AM.

As partículas azuis, mais frequentes na área urbana, podem estar relacionadas ao desgaste de cordas, tecidos e embalagens, enquanto partículas pretas ou cinzas, mais frequentes na zona rural, são frequentemente associadas ao desgaste de pneus e de materiais de uso urbano-viário (Kole et al., 2017), que pode refletir tanto o transporte atmosférico dessas partículas a partir da área urbana do município em direção às zonas rurais, quanto a queima de resíduos a céu aberto, prática ainda comum em áreas rurais amazônicas e potencial fonte de partículas plásticas carbonizadas de coloração escura.

Do ponto de vista ecológico e ambiental, essa informação é particularmente relevante porque a água da chuva em Humaitá-AM, como em grande parte da zona rural amazônica, é amplamente utilizada para consumo humano, dessedentação animal e abastecimento doméstico na ausência de rede de tratamento, de modo que a presença confirmada de

microplásticos nesse recurso hídrico representa uma via de exposição direta ainda pouco investigada.

Revisão recente sobre os efeitos da contaminação por microplásticos na saúde humana, conduzida por Santamaria-Villalobos, Sanchez-Matallana e Acero-Godoy (2025) a partir de 75 estudos indexados nas bases Web of Science, PubMed e Scopus, reforça que a ingestão e a inalação são as principais vias de exposição humana a esses contaminantes, o que amplia a relevância do monitoramento contínuo da qualidade da água pluvial consumida na região.

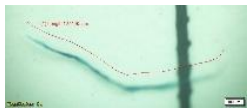
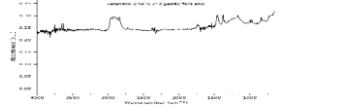
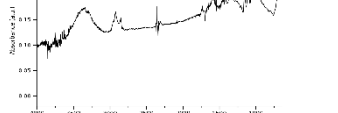
#### **4.2 Caracterização Química dos Microplásticos por MICRO-FTIR**

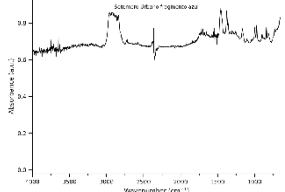
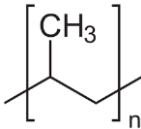
Das partículas selecionadas para análise por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), foram identificados diferentes tipos de polímeros sintéticos presentes nas amostras de água da chuva coletadas em Humaitá-AM. Os resultados obtidos permitiram confirmar a presença de microplásticos tanto na área urbana quanto na área rural.

Devido às limitações operacionais e ao elevado custo das análises por  $\mu$ -FTIR, apenas uma parcela das partículas previamente selecionadas na triagem visual foi submetida à identificação química. Assim, os polímeros apresentados nesta seção correspondem exclusivamente às partículas analisadas por espectroscopia, não representando necessariamente a composição de todas as partículas visualmente identificadas nas amostras.

Foram identificados os seguintes polímeros: polipropileno (PP), politereftalato de etileno (PET), poliéster (PES) e poliestireno (PS), sendo o polipropileno o mais frequente entre as partículas analisadas por  $\mu$ -FTIR (Quadro 1 e Quadro 2).

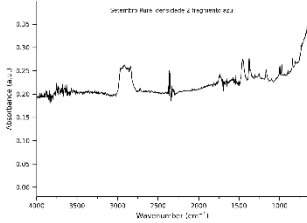
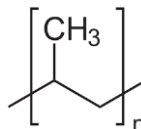
**Quadro 1-** Microplástico presente no mês de setembro na área urbana de Humaitá-AM

| Amostra                                               | Imagem                                                                              | Espectro                                                                            | Formato | Componente                                                     | Estrutura Química                      |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 2 digestão<br>Fibra azul                              |    |    | Fibra   | Polipropileno – com similaridade espectral de 86%              | <chem>CC(C)C</chem>                    |
| 2<br>Densidade<br>Fibra<br>transparente               |    |    | Fibra   | Poliestireno – com similaridade espectral de 70%               | <chem>c1ccccc1C(C)C</chem>             |
| 1<br>digestão/1<br>densidade<br>Fibra<br>transparente |    |    | Fibra   | Poliéster – com similaridade espectral de 73%                  | <chem>CCOC(=O)c1ccc(cc1)C(=O)OC</chem> |
| 1<br>digestão/1<br>densidade<br>Fibra<br>transparente |  |  | Fibra   | Politereftalato de etileno – com similaridade espectral de 74% | <chem>CCOC(=O)c1ccc(cc1)C(=O)OC</chem> |

|                                                   |                                                                                   |                                                                                   |           |                                                   |                                                                                     |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1<br>digestão/1<br>densidade<br>Fragmento<br>azul |  |  | Fragmento | Polipropileno – com similaridade espectral de 89% |  |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

Fonte: adaptado do software Open Specy e acervo do autor

**Quadro 2-** Microplástico presente no mês de setembro na área rural de Humaitá- AM

| Amostra                                            | Imagem                                                                            | Espectro                                                                          | Formato   | Componente                                        | Estrutura Química                                                                   |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 digestão/<br>2<br>densidade<br>Fragmento<br>azul |  |  | Fragmento | Polipropileno – com similaridade espectral de 82% |  |

Fonte: adaptado do software Open Specy e acervo do autor

O polipropileno (PP) foi identificado em três das amostras analisadas, sendo duas provenientes da área urbana e uma da área rural, com índices de similaridade espectral variando entre 82% e 89%. Esse polímero foi o mais frequente entre as partículas analisadas por  $\mu$ -FTIR, Quadro 1 e Quadro 2. O PP é amplamente utilizado na fabricação de embalagens, recipientes, tampas, fibras sintéticas, produtos descartáveis e diversos materiais de uso cotidiano, figurando entre os plásticos mais produzidos mundialmente (Geyer; Jambeck; Law, 2017).

A predominância do polipropileno observada neste estudo corrobora resultados reportados na literatura, que apontam esse polímero como um dos mais frequentemente encontrados em diferentes compartimentos ambientais. Liu et al. (2019), ao investigarem a deposição atmosférica em ambiente urbano na China, identificaram o PP entre os polímeros predominantes, evidenciando sua ampla dispersão no ambiente. Essa elevada ocorrência está associada à intensa produção, ao elevado consumo e ao descarte inadequado de produtos contendo esse material, fatores que favorecem sua fragmentação e posterior incorporação ao ambiente.

O polietileno tereftalato (PET) foi identificado em uma fibra transparente proveniente da área urbana, apresentando similaridade espectral de 74%. Esse polímero é amplamente empregado na fabricação de garrafas para bebidas, embalagens alimentícias, filmes plásticos e fibras têxteis. O PET é amplamente utilizado na produção de garrafas e fibras têxteis, sendo frequentemente reportado em estudos sobre microplásticos atmosféricos e de deposição úmida devido à sua ampla utilização e elevada produção (Dris et al., 2016; Geyer; Jambeck; Law, 2017).

O poliéster (PES) foi identificado em uma fibra transparente da área urbana, com similaridade espectral de 73% (Quadro 1). A ocorrência desse polímero sugere uma importante contribuição das fibras têxteis sintéticas para a contaminação atmosférica por microplásticos. Fibras de poliéster são amplamente utilizadas na indústria têxtil e podem ser liberadas durante processos de fabricação, uso e lavagem de roupas, sendo posteriormente transportadas pelo ar e depositadas por meio da precipitação atmosférica. Segundo Dris et al. (2016), as fibras sintéticas representam uma parcela significativa dos microplásticos presentes na atmosfera, especialmente em áreas urbanas com maior densidade populacional e intensa atividade antrópica.

O poliestireno (PS) foi identificado em uma fibra transparente proveniente da área urbana, apresentando similaridade espectral de 70%, Quadro 1. Esse material é amplamente utilizado na produção de embalagens, utensílios descartáveis, recipientes para alimentos e materiais isolantes. Sua ocorrência em amostras de água da chuva pode estar relacionada à degradação de resíduos plásticos expostos ao ambiente e ao transporte atmosférico de

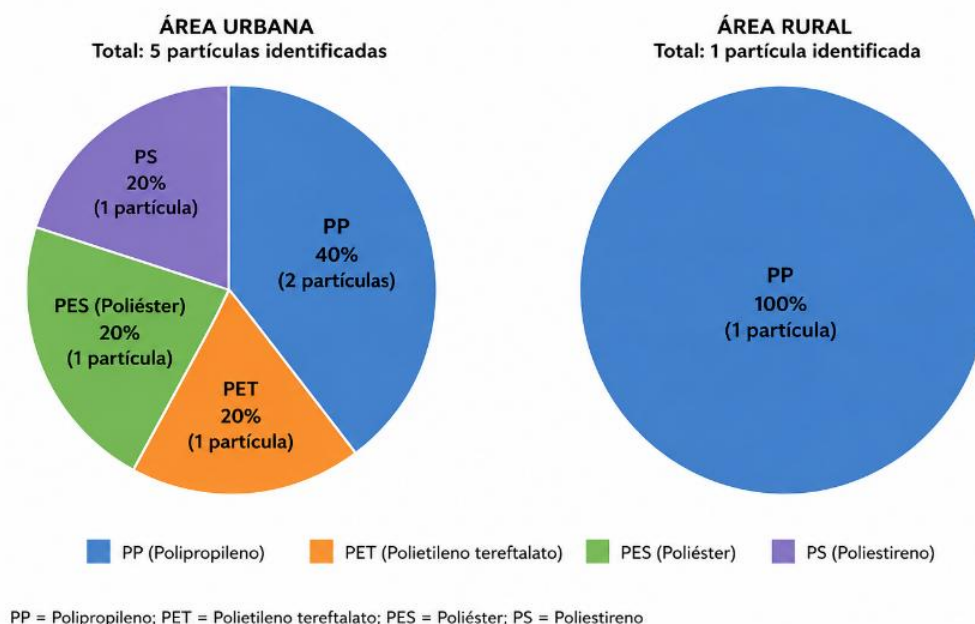
partículas provenientes de áreas urbanizadas (Liu et al., 2019; Wright et al., 2020).

Do ponto de vista ecológico, a identificação dos polímeros polipropileno (PP), politereftalato de etileno (PET), poliéster (PES) e poliestireno (PS), amplamente empregados na fabricação de embalagens, produtos descartáveis e materiais têxteis, evidencia que diferentes tipos de materiais plásticos de uso cotidiano estão presentes na água da chuva do município de Humaitá-AM. A ocorrência desses polímeros é consistente com o perfil de microplásticos frequentemente descrito na literatura para diferentes compartimentos ambientais.

Os polímeros identificados neste estudo também estão entre os mais frequentemente reportados em diferentes matrizes hídricas da América do Sul, conforme revisão sistemática realizada por Deepika et al. (2025), que compilou informações sobre a composição polimérica de águas destinadas ao consumo humano em diferentes países do continente. Essa concordância com a literatura indica que os resultados obtidos em Humaitá-AM acompanham o padrão de ocorrência de polímeros amplamente descrito na América do Sul, reforçando a relevância deste trabalho ao fornecer evidências da presença de microplásticos na água da chuva em uma região da Amazônia ainda pouco investigada.

#### **4.3 Comparação Entre as Áreas Urbana e Rural**

A composição polimérica dos microplásticos identificados por  $\mu$ -FTIR apresentou diferenças entre as áreas urbana e rural (Figura 9). Na área urbana foram identificados quatro tipos de polímeros: polipropileno (PP), politereftalato de etileno (PET), poliéster (PES) e poliestireno (PS). O PP foi o polímero mais frequente, correspondendo a 40% das partículas analisadas, enquanto PET, PES e PS representaram, individualmente, 20% cada. Por outro lado, na área rural foi identificado apenas o polipropileno, representando 100% das partículas analisadas nessa área.



**FONTE:** Autora, 2026

**Figura 9-** Distribuição de Microplásticos Identificados na Água da chuva: Área Urbana x Área Rural

A maior diversidade de polímeros observada na área urbana pode estar relacionada à maior intensidade das atividades antrópicas, ao maior fluxo de pessoas e veículos, bem como à maior geração e descarte de resíduos plásticos. Ambientes urbanos geralmente apresentam uma variedade mais ampla de fontes potenciais de microplásticos, incluindo embalagens, fibras têxteis sintéticas, materiais de construção e resíduos provenientes de atividades comerciais e domésticas (Dris et al., 2016; Liu et al., 2019).

Entretanto, a identificação exclusiva de PP na área rural pode estar associada à menor diversidade de fontes emissoras locais. Além disso, a ocorrência desse polímero em ambas as áreas sugere sua ampla dispersão ambiental, favorecida pela sua elevada produção e pela capacidade de transporte atmosférico de partículas plásticas (Geyer; Jambeck; Law, 2017; Allen et al., 2019).

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo confirmam a presença de microplásticos na água da chuva coletada nas áreas urbana e rural do município de Humaitá-AM. Evidenciando que a precipitação atmosférica atua como um importante via de transporte e deposição desses contaminantes na região amazônica. Dessa forma, o objetivo geral da pesquisa foi alcançado, uma vez que foi possível identificar a ocorrência de microplásticos nas amostras analisadas.

A caracterização física revelou a presença de diferentes formas, tamanhos e cores de partículas, com predominância de fibras e fragmentos. Em relação ao tamanho, a maior frequência foi observada na classe de 100 a 500  $\mu\text{m}$ , enquanto as partículas transparentes e brancas foram as mais abundantes em ambas as áreas de estudo. Esses resultados demonstram a diversidade morfológica dos microplásticos presentes na precipitação atmosférica e corroboram achados reportados na literatura para outros ambientes atmosféricos.

A caracterização química por espectroscopia  $\mu$ -FTIR permitiu identificar os polímeros polipropileno (PP), politereftalato de etileno (PET), poliéster (PES) e poliestireno (PS). Entre eles, o polipropileno foi o polímero mais frequente, sendo encontrado tanto na área urbana quanto na área rural, o que sugere sua ampla dispersão ambiental e sua relevância como contaminante atmosférico.

A comparação entre as áreas demonstrou diferenças na composição dos microplásticos identificados. A área urbana apresentou maior diversidade de polímeros e maior número de partículas, possivelmente em decorrência da maior intensidade das atividades antrópicas e da maior geração de resíduos plásticos. Já a área rural apresentou menor diversidade polimérica, sendo identificado apenas o polipropileno entre as partículas analisadas por  $\mu$ -FTIR, o que já era o esperado, pois esperava-se que a área rural teria menos ocorrência de microplásticos porque é mais afastado da cidade.

A comparação entre as áreas demonstrou diferenças na composição dos microplásticos identificados. A área urbana apresentou maior diversidade de polímeros e maior número de partículas, fato que pode estar relacionado à maior intensidade das atividades antrópicas e à maior geração de resíduos plásticos. Já a área rural apresentou menor diversidade polimérica, sendo identificado apenas o polipropileno entre as partículas analisadas por  $\mu$ -FTIR. Esse resultado pode estar associado à menor influência direta de fontes urbanas de emissão de resíduos plásticos, característica esperada para ambientes mais afastados dos centros urbanos.

Além disso, os resultados indicaram que os tratamentos envolvendo uma única digestão da matéria orgânica seguida de uma única separação por densidade proporcionaram

maior recuperação de partículas. Em contrapartida, etapas adicionais de digestão e separação por densidade resultaram em redução do número de partículas recuperadas, sugerindo possíveis perdas durante o processamento laboratorial.

Por fim, este estudo contribui para ampliar o conhecimento sobre a ocorrência de microplásticos atmosféricos na Amazônia, especialmente em uma região ainda pouco investigada sob essa perspectiva. Os resultados reforçam a necessidade de monitoramento contínuo desses contaminantes, bem como de ações voltadas à redução da poluição plástica.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABBASI, S.; TURNER, A.; GHADOUANI, A. Microplastics in the urban environment: a review of sources, distribution, and potential risks. **Environmental Pollution**, 254, 113010, 2019.
- AESCHLIMANN, M.; LI, G.; KANJI, Z. A.; MITRANO, D. M. Potential impacts of atmospheric microplastics and nanoplastics on cloud formation processes. **Nature Geoscience**, v. 15, p. 1–7, 2022. DOI: [10.1038/s41561-022-01051-9](https://doi.org/10.1038/s41561-022-01051-9).
- ALLEN, D.; ALLEN, S.; LE ROUX, G. Examining atmospheric transport of microplastics to the remote ocean. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 3, n. 2, p. 88–101, 2022.
- ALLEN, S.; ALLEN, D.; PHOENIX, V. R., et al. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. **Nature Geoscience**, v. 12, n. 5, p.339–344, 2019.
- 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**, v. 12, n. 5, p. 339-344, 15 abr. 2019. DOI: [10.1038/s41561-019-0335-5](https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5).
- AMATO-LOURENÇO, L. F. et al. Presence of airborne microplastics in human lung tissue. **Journal of Hazardous Materials**, v. 416, p. 126124, ago. 2021.
- AVIO, CARLO GIACOMO; GORBI, STEFANIA; REGOLI, FRANCESCO. Plastics and microplastics in the oceans: from emerging pollutants to emerged threat. **Marine Environmental Research**, v. 128, p. 2-11, jul. 2017. DOI:[10.1016/j.marenvres.2016.05.012](https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.05.012).
- BARNES, DAVID K. A.; GALGANI, FRANCOIS; THOMPSON, RICHARD C.; BARLAZ, MORTON. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. **Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1985-1998, 27 jul. 2009. DOI: [10.1098/rstb.2008.0205](https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205).
- BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. Atmosphere, Weather and Climate. **Atmosphere, Weather And Climate**, p. 1-132, 20 out. 2009. DOI: [10.4324/9780203871027](https://doi.org/10.4324/9780203871027).
- BERGMANN, M.; MÜTZEL, S.; PRIMPKE, S. et al. White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. **Science Advances**, v. 5, n.8, eaax1157, 2019.
- BOUCHER, J.; FRIOT, D. Microplásticos primários nos oceanos: uma avaliação global de fontes. **IUCN**, Gland, p. 43, 2017. DOI: [10.2305/IUCN.CH.2017.01.en](https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01.en).
- BRAHNEY, JANICE et al. Constraining the atmospheric limb of the plastic cycle. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 118, n. 16, p. e2020719118, 2021.
- BROWNE, M. A.; CRUMP, P.; NIVEN, S. J.; TEUTEN, E.; TONKIN, A.; GALLOWAY, T.; THOMPSON, R. Accumulation of Microplastic on Shorelines Woldwide: sources and sinks. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 21, p. 9175-9179, 4 out. 2011. DOI: [10.1021/es201811s](https://doi.org/10.1021/es201811s).
- CAMILLO, C. M.; SOUZA, A. M.; RAMSER, C. Variáveis climáticas relacionadas à poluição do ar e os efeitos causados à saúde humana. **Ciência e Natura**, v. 42, p. 7, 2020. Disponível

em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/39722/html>.

COLE, M. ; LINDEQUE, P. ; HALSBAND, C. ; GALLOWAY, T. S. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. **Marine pollution bulletin**, v. 62, n. 12, 2588-2597, 2011. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2011.09.025](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025).

CRAWFORD, Christopher Blair; QUINN, Brian. **Microplastic pollutants**. Amsterdam: Elsevier, 2016.

DERRAIK, J. G. B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, n. 9, p. 842-852, set. 2002. DOI: [10.1016/s0025-326x\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/s0025-326x(02)00220-5).

DOMINUTTI, P. A.; NOGUEIRA, T.; FORNARO, A.; BORBON, A. One decade of VOCs measurements in São Paulo megacity: Composition, variability, and emission evaluation in a biofuel usage context. **Science of The Total Environment**, v. 738, p. 139790, 2020. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.139790](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139790).

DRIS, RACHID. **First assesement of sources and fate of macro and micro plastics in urban hydrosystems**: Case of Paris megacity. 2016. Tese de Doutorado. Université Paris-Est.

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**, v. 104, n. 1-2, p. 290-293, mar. 2016. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2016.01.006](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006).

DUIS, KAREN; COORS, ANJA. 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. 1-25, 6 jan. 2016. DOI: [10.1186/s12302-015-0069-y](https://doi.org/10.1186/s12302-015-0069-y).

ESPINOZA, J. C.; LENGAGNE, M.; RONCHAIL, J.; et al. Large-scale circulation patterns and related rainfall in the Amazon Basin: a neuronal networks approach. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 121–140, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1010-8>.

FENDALL, L. S.; SEWELL, M. A. Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, n. 8, p. 1225-1228, ago. 2009. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2009.04.025](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.04.025).

FERRAZ, M. et al. Microplastic concentrations in raw and drinking water in the Sinos river, Southern Brazil. **Water**, v. 12, n. 11, p. 3115, 2020.

GASPERI, J. et al. Microplastics in air: are we breathing it in?. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 1, p. 1-5, 2018.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, n. 7, p. 1-5, 7 jul. 2017. DOI: [10.1126/sciadv.1700782](https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782).

HALE, R. C. ; SEELEY, M. E. ; LA GUARDIA, M. J. ; MAI, L. ; ZENG, E. Y. A Global Perspective on Microplastics. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, vol. 125, 2020.

HENRY, B.; LAITALA, K.; KLEPP, I. G. Microfibres from apparel and home textiles: Prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment. **Science of the total environment**, v. 652, p. 483-494, 2019.

HOUZE, ROBERT A. **Cloud dynamics**. Academic press, 2014.

HURLEY, R. R.; LUSHER, A. L.; OLSEN, M.; NIZZETTO, L. Validation of a method for extracting microplastics from complex, organic-rich, environmental matrices. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 52, n. 13, p. 7409–7417, 2018. DOI: 10.1021/acs.est.8b01517.

IVAR DO SUL, J. A.; COSTA, M. F. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. **Environmental Pollution**, v. 185, p. 352-364, 2014. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.10.036..

JAMBECK, J. R.; GEYER, R.; WILCOX, C.; SIEGLER, T. R.; PERRYMAN, M.; ANDRADY, A.; NARAYAN, R.I.; LAW, K. L. Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 768-771, 13 fev. 2015. DOI: 10.1126/science.1260352.

KATAOKA, T.; NIHEI, Y.; KUDOU, K.; HINATA, H. Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 244, p. 958-965, jan. 2019. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.10.111.

KIRSTEIN, I. V.; KIRMIZI, S.; WICHELS, A.; GARIN-FERNANDEZ, A.; ERLER, R.; LÖDER, M.; GERDTS, G. Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. **Marine Environmental Research**, v. 120, p. 1-8, set. 2016. DOI: 10.1016/j.marenvres.2016.07.004.

KOLE, P. J.; LÖHR, A. J.; VAN BELLEGHEM, F.; RAGAS, A. Wear and Tear of Tyres: a stealthy source of microplastics in the environment. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, v. 14, n. 10, p. 1265, 20 out. 2017. DOI: 10.3390/ijerph14101265.

LAW, K. L.; THOMPSON, R. C. Microplastics in the seas. **Science**, v. 345, n. 6193, p. 144-145, 11 jul. 2014. DOI: 10.1126/science.1254065.

LIU, C.; LI, J.; ZHANG, Y.; WANG, L.; DENG, J.; GAO, Y.; YU, L.; ZHANG, J.; SUN, H. Widespread distribution of PET and PC microplastics in dust in urban China and their estimated human exposure. **Environment International**, v. 128, p. 116-124, jul. 2019. DOI: 10.1016/j.envint.2019.04.024.

LIU, K.; WANG, X.; FANG, T. et al. Transport and deposition of atmospheric microplastics via precipitation: Seasonal characteristics in an urban environment. **Environmental Pollution**, 316, 120523, 2023.

LIU, K.; WANG, X.; FANG, T.; XU, P.; ZHU, L.; LI, D. Source and potential risk assessment of suspended atmospheric microplastics in Shanghai. **Science of the Total Environment**, v. 675, p. 462–471, 2019.

LIU, Z. et al. Distribution and possible sources of atmospheric microplastic deposition in a valley basin city (Lanzhou, China). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 233, p. 113353, mar. 2022.

MARENGO, J. A.; SOUZA JR, C. M.; THONICKE, K.; BURTON, C.; HALLADAY, K.; BETTS, R. A.; ALVES, L. M.; SOARES, W. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, p. 228, 2018. DOI: 10.3389/feart.2018.00228.

NAIK, R. K.; NAIK, M. M.; D'COSTA, P. M.; SHAIKH, F. Microplastics in ballast water as an

emerging source and vector for harmful chemicals, antibiotics, metals, bacterial pathogens and HAB species: a potential risk to the marine environment and human health. **Marine Pollution Bulletin**, v. 149, p. 110525, dez. 2019. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.110525.

NAPPER, I. E.; BAKIR, A.; ROWLAND, S. J.; THOMPSON, R. C. Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. **Marine Pollution Bulletin**, v. 99, n. 1-2, p. 178-185, out. 2015. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2015.07.029.

NASA. **Hydrologic Cycle**. 2024. Disponível em: <https://gpm.nasa.gov/education/water-cycle/hydrologic-cycle>. Acesso em: 26 maio 2025.

NOGUEIRA, N. C. O.; MACHADO, P. H. G.; REBOITA, M. S. Estudo climatológico das frentes frias atuantes no Sul do Rio Grande do Sul e no Sul de Minas Gerais entre 2009 e 2021. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 34, p. 306–334, 2024. DOI: 10.55761/abclima.v34i20.16664. Portal de Periódicos UFGD+5.

OLIVATTO, G. P.; MARTINS, M. C. T.; MONTAGNER, C. C.; HENRY, T. B.; CARREIRA, Renato S.. Microplastic contamination in surface waters in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 139, p. 157-162, fev. 2019. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.12.042.

PEDREIRA-JÚNIOR, A. L. et al. Variabilidade horária e intensidade sazonal da precipitação no município de Humaitá–AM. **Revista brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018.

POMPÊO, M.; RANI-BORGES, B.; PAIVA, T. C. B. **Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções**. 2022.

PRUPPACHER, H. R.; KLETT, J. D. **Microphysics of Clouds and Precipitation**. Springer, 1997.

QUEIROZ, L. G., CARDOSO-SILVA, S., & SILVA, D. C. V. R. **Microplásticos como vetor de metais em ecossistemas aquáticos de água doce**. 2022.

RAHMAN, L. et al. Microplastics and nanoplastics science: collecting and characterizing airborne microplastics in fine particulate matter. **Nanotoxicology**, v. 15, n. 9, p. 1253–1278, 21 out. 2021.

RAMÍREZ-NINA, R. G.; SILVA DIAS, M. A. F. Heterogeneity of the diurnal cycle of precipitation in the Amazon Basin. **Frontiers in Climate**, v. 6, p. 1370097, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fclim.2024.1370097>.

ROCHA-SANTOS, T.; DUARTE, A. C. A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. **Trac Trends In Analytical Chemistry**, v. 65, p. 47-53, fev. 2015. DOI: 10.1016/j.trac.2014.10.011.

ROCHMAN, C. M. **The role of plastic debris as another source of hazardous chemicals in lower-trophic level organisms**. In Hazardous chemicals associated with plastics in the marine environment (p. 281–295), 2016. Springer. Disponível em: <https://rochmanlab.files.wordpress.com/2016/08/rochman-2016-springer-chapter.pdf>. Acesso em: 17 out. 2024.

ROCHMAN, C. M., BROOKSON, C., BIKKER, J., et al. Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 38, n. 4, p. 703–711, 2019.

RUMMEL, C. D.; JAHNKE, A.; GOROKHOVA, E.; KUHNEL, D.; SCHMITT-JANSEN, M. Impacts of Biofilm Formation on the Fate and Potential Effects of Microplastic in the Aquatic Environment. **Environmental Science & Technology Letters**, v. 4, n. 7, p. 258-267, 13 jun. 2017. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00164>.

SANTANA, T. M. J.; NASCIMENTO, E. L.; BASTOS, W. R.; LIMA, T. O. L.; LAUREANO, J. J. Microplásticos na Amazônia: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 13, n. 3, p. 88-99, 2024.

SPINACÉ, M.A. S.; PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 65-72, fev. 2005. DOI:10.1590/s0100-40422005000100014.

SPRACKLEN, D. V.; ARNOLD, S. R.; TAYLOR, C. M. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. **Nature**, v. 489, p. 282–285, 2018. <https://doi.org/10.1038/nature11390>

TOURINHO, P. S.; KOČÍ, V.; LOUREIRO, S.; VAN GESTEL, C. A. M. Partitioning of chemical contaminants to microplastics: sorption mechanisms, environmental distribution and effects on toxicity and bioaccumulation. **Environmental Pollution**, v. 252, p. 1246-1256, set. 2019. DOI:10.1016/j.envpol.2019.06.030.

UNEP. **Plasticin cosmetics: are we polluting the environment through our personal care?**. ARE WE POLLUTING THE ENVIRONMENT THROUGH OUR PERSONAL CARE?. 2015. Disponível em: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9664/-Plastic\\_in\\_cosmetics\\_Are\\_we\\_polluting\\_the\\_environment\\_through\\_our\\_personal\\_care\\_-2015Plas.pdf?sequence=3&%3BisAllowed=](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9664/-Plastic_in_cosmetics_Are_we_polluting_the_environment_through_our_personal_care_-2015Plas.pdf?sequence=3&%3BisAllowed=). Acesso em: 07 out. 2024.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Plastic pollution**: From science to solution. United Nations Environment Programme, 2023.

VIANELLO, A. et al. Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 130, p. 54–61, set. 2013.

WALLACE, J. M.; Hobbs, P. V. **Atmospheric Science**: An Introductory Survey. 2nd ed. Academic Press, 2006.

WHO. **Global Biodiversity Outlook 5**; 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Ambient (outdoor) air pollution**. World Health Organization, 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO global air quality guidelines**: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization, 2021.

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**, v. 136, 105411, 2020.

WRIGHT, S. L.; KELLY, F. J. Plastic and Human Health: a micro issue?. **Environmental Science & Technology**, v. 51, n. 12, p. 6634-6647, 7 jun. 2017. DOI:10.1021/acs.est.7b00423.

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

Disponível em:

[https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/plastic\\_ingestion\\_web\\_spreads.pdf](https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/plastic_ingestion_web_spreads.pdf).

Acesso em: 17 out. 2024.

ZEMP, D. C.; SCHLEUSSNER, C. F.; BARBOSA, H. M. J.; RAMMIG, A. Deforestation effects on Amazon forest resilience. **Geophysical Research Letters**, v. 44, n. 12, p. 6182-6190, 2017. DOI:[10.1002/2017GL072955](https://doi.org/10.1002/2017GL072955).

ZHANG, Y.; KANG, S.; ALLEN, S. et al. Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. **Earth-science reviews**, v. 203, p. 103118, 2020.