

CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS NO RIO AMAZONAS

Vitória de Oliveira Arruda*

Vânia de Avelar Lucas*

Alberthmeiry Teixeira de Figueiredo*

Cristiano Morita Barrado*

Resumo: A contaminação por microplásticos (MPs), partículas plásticas menores que 5 mm, representa um desafio ambiental global de proporções crescentes. Embora inicialmente os estudos tenham focado nos ecossistemas marinhos, tornou-se evidente que os ambientes de água doce, especialmente os grandes rios, atuam não apenas como vias de transporte desses poluentes para os oceanos, mas como receptores finais críticos. Apesar dessa notoriedade, a produção científica sobre microplásticos na América Latina é escassa, representando apenas 4,8% do total global, o que resulta em uma compreensão fragmentada da contaminação no maior rio do mundo. Nesse cenário, o Rio Amazonas se destaca como um sistema de extrema importância, sendo classificado por pesquisas entre os 20 mais poluídos por plástico do planeta. Nesse contexto, o presente estudo realizou um levantamento bibliográfico sobre a contaminação por microplásticos no rio Amazonas, realizado nas bases SciELO, Google Acadêmico e *PubMed*, utilizando combinações de termos como "*microplastics*", "*river*", "*Amazon*". Os estudos indicaram então que, a Amazônia é um dos sistemas fluviais mais afetados por microplásticos no mundo, com resíduos secundários amplamente disseminados na água, sedimentos e biota, identificados prioritariamente via técnicas de FTIR e Raman. Apesar do papel de retenção desempenhado por manguezais e macrófitas, a ausência de padronização metodológica, de monitoramento sazonal e de dados ecotoxicológicos sobre transferência trófica impede um diagnóstico preciso, tornando urgente a criação de protocolos sistemáticos para viabilizar políticas de mitigação eficazes na região.

Palavras-chave: microplásticos; rio Amazonas; análises químicas

INTRODUÇÃO

DEFINIÇÃO DE MICROPLÁSTICOS

De acordo com a União Internacional de Química Pura e Aplicada (do inglês, *International Union of Pure and Applied Chemistry* - IUPAC), o conceito de polímero é

* Instituto de Química – UFCAT: vitoriarruda@gmail.com, vania.lucas@ufcat.edu.br, alberth@ufcat.edu.br, cristiano@ufcat.edu.br

definido por “molécula de alta massa molecular relativa, cuja estrutura compreende essencialmente a repetição múltipla de unidades derivadas, de fato ou conceitualmente, de moléculas de baixa massa molecular relativa” (IUPAC, 2009).

Os plásticos podem ser formados por polímeros orgânicos homogêneos de cadeia longa ou por combinações heterogêneas, elaboradas para aprimorar suas propriedades. Em sua composição, também podem ser utilizados polímeros de fontes renováveis, como rayon e acetato de celulose (HALE *et al.*, 2020). Embora alguns micro-organismos sejam capazes de degradar polímeros, a maioria dos plásticos derivados de combustíveis fósseis apresenta elevada resistência à degradação, sendo assim, mesmo quando há degradação, o processo ocorre de forma lenta (BRANDON *et al.*, 2018).

As propriedades físico-químicas dos plásticos, como densidade e estrutura, influenciam seu comportamento no ambiente. O polietileno (PE), nas formas de polietileno de alta densidade (HDPE) e polietileno de baixa densidade (LDPE), e o polipropileno (PP) tendem a flutuar em meio aquático, enquanto o tereftalato de polietileno (PET), o policarbonato (PC) e o policloreto de vinila (PVC) apresentam densidade superior à da água, favorecendo sua deposição (ZETTLER; MINCER; AMARAL-ZETTLER, 2013; HALE *et al.*, 2020). Produtos plásticos frequentemente contêm aditivos, como pigmentos e biocidas, que podem ser liberados e contribuir para toxicidade ambiental (HAHLADAKIS *et al.*, 2018).

O amplo uso de plásticos em setores industriais, domésticos e tecnológicos acarreta a geração contínua de partículas durante sua vida útil, por abrasão, desgaste ou fragmentação, como ocorre com o atrito de pneus. Após descarte inadequado, esses resíduos são convertidos em partículas de diversas formas e tamanhos (IVLEVA, 2021)

Microplásticos (MPs) são definidos como partículas com menos de 5 mm (ARTHUR *et al.*, 2009). Atualmente, de acordo com a International Organization for Standardization (2020), considera-se MPs as partículas entre 1 μm e 1 mm, mesoplásticos partículas entre 5 a 25 mm e nanoplásticos (NPLs) aquelas menores que 1 μm . Entretanto, limitações metodológicas dificultam comparações entre estudos, uma vez que grande parte das análises só detecta partículas maiores que 100 μm , influenciando estimativas baseadas em número ou massa (HALE *et al.*, 2020).

Os MPs podem ser classificados em primários, quando fabricados intencionalmente nesse tamanho (como microesferas cosméticas e abrasivos industriais), e secundários, quando resultam da fragmentação de itens maiores por abrasão mecânica, radiação ultravioleta (UV) ou degradação química. Os secundários são os mais abundantes no ambiente (WAGNER *et al.*, 2018; HARTMANN *et al.*, 2019).

Diversos polímeros compõem os MPs registrados em matrizes ambientais. Entre os mais comuns destacam-se PE, PP, poliestireno (PS), PVC e PET. Também são frequentemente identificados poli (metacrilato de metila) (PMMA), poliamida (PA), poliuretano (PUR) e bioplásticos, como polilactídeo (PLA) e polibutileno adipato-co-tereftalato (PBAT) (IVLEVA, 2021). Quanto às formas, KOELMANS *et al.* (2019) relatam maior ocorrência de fragmentos, fibras, filmes, espumas, grânulos, esferas, linhas e lascas. Os polímeros mais detectados são PE, PP, PS, PVC e PET, seguidos por compostos acrílicos, PA, poliéster (PEST) e PMMA.

FONTES DE MICROPLÁSTICOS

A maior parte dos plásticos produzidos globalmente tem como destino inicial o descarte em superfícies terrestres, sobretudo em solos. Mesmo em países desenvolvidos, onde grande parte dos resíduos plásticos é direcionada a aterros sanitários controlados, episódios de descarte inadequado ainda representam um desafio ambiental significativo. Em nações em desenvolvimento, essa problemática é ainda mais acentuada, uma vez que os resíduos frequentemente são destinados a depósitos irregulares a céu aberto, sujeitos à negligência e sem infraestrutura adequada de contenção (NG *et al.*, 2018; HALE *et al.*, 2020).

Durante muitos anos, assumiu-se que os aditivos incorporados à matriz polimérica permaneciam completamente retidos dentro do material. Entretanto, evidências mostram que esses compostos podem ser liberados por volatilização, encontrando-se posteriormente no ar e em partículas de poeira. Essa liberação, embora pouco considerada, representa uma fonte relevante de microplásticos e de poluentes químicos associados, como monômeros residuais, por exemplo, estireno e cloreto de vinila que podem alcançar o ambiente atmosférico e terrestre ((MARKLUND; ANDERSSON; HAGLUND, 2003; LUCATTINI *et al.*, 2018).

Eventos de combustão também contribuem de forma expressiva para a geração de partículas plásticas em micro e nanoescala. Incêndios em residências ou edificações que contenham materiais poliméricos resultam na formação de resíduos carbonizados, que, juntamente com aditivos presentes no material original, podem ser dispersos para a atmosfera e corpos hídricos, intensificando a contaminação ambiental (Liu *et al.*, 2016; HALE *et al.*, 2020).

Outra fonte importante de microplásticos é o desgaste de pneus, que libera partículas diretamente sobre as estradas e, posteriormente, para ambientes terrestres e aquáticos (WAGNER *et al.*, 2018). Polímeros presentes em tintas, vernizes e revestimentos aplicados em superfícies diversas, incluindo embarcações, infraestrutura urbana e sinalizações, também contribuem para a liberação de microplásticos em decorrência da abrasão e do intemperismo (HALE *et al.*, 2020).

No âmbito doméstico, estudos pioneiros demonstraram que microfibras sintéticas liberadas durante a lavagem de roupas entram facilmente em sistemas de esgoto, constituindo um importante marcador de contaminação por efluentes e biossólidos aplicados ao solo (HABIB *et al.*, 1998). Estimativas recentes da União Internacional para a Conservação da Natureza indicam que esse processo corresponde a aproximadamente 35% dos microplásticos encontrados nos oceanos, reforçando o papel central dos efluentes domésticos como via de entrada desses contaminantes no ambiente marinho (BOUCHER; FRIOT, 2017).

Efluentes sanitários e águas pluviais, ao atingirem estações de tratamento, podem ter diferentes destinos. Em alguns casos, parte desse volume é destinada à irrigação, promovendo o transporte de microplásticos para o solo. Por outro lado, estações de tratamento modernas incorporam processos de remoção baseados na densidade das partículas, empregando agentes floculantes capazes de favorecer a sedimentação e retenção dos microplásticos. Ainda assim, o aporte direto de resíduos plásticos em ambientes aquáticos pode ocorrer por diversas vias, incluindo atividades de pesca e aquicultura, descarte proposital de embarcações e carreamento de resíduos por eventos extremos, como tempestades (HALE *et al.*, 2020).

MÉTODOS DE ANÁLISE DE MICROPLÁSTICOS

As metodologias analíticas empregadas na investigação de microplásticos (MPs) são geralmente classificadas como destrutivas ou não destrutivas, cada uma adequada a diferentes objetivos. Para monitoramentos ambientais amplos, em que se busca avaliar concentrações gerais ou massa de MPs, métodos destrutivos podem ser necessários (BRAUN *et al.*, 2020; IVLEVA, 2021).

No entanto, para estudos que demandam maior detalhamento, como avaliação de riscos, efeitos ecotoxicológicos ou distribuição de tamanhos, são necessárias técnicas mais robustas, capazes de quantificar o número de partículas, sua morfologia, propriedades de superfície e estado de intemperismo. A precisão desses dados, especialmente no que se refere à detecção de partículas menores, depende diretamente do limite de detecção da técnica empregada (BRAUN *et al.*, 2020; IVLEVA, 2021).

Nesse contexto, os métodos analíticos podem ser divididos em duas abordagens principais:

a) Métodos destrutivos

Com objetivo de identificação química e quantificação em massa dos polímeros, esses métodos não dependem da integridade estrutural das partículas. São úteis para analisar copolímeros, aditivos orgânicos e subprodutos de degradação. Porém essas técnicas não permitem a avaliação do tamanho e da forma (HALE *et al.*, 2020). Entre os principais métodos destacam-se:

Pirólise–Cromatografia Gasosa/Espectrometria de Massas (Py-GC/MS)

Possui alta sensibilidade e permite identificar polímeros e aditivos a partir dos produtos de pirólise (PICÓ; BARCELÓ, 2020). É eficaz também na detecção de nanoplásticos (ZHOU *et al.*, 2018).

Dessorção e Extração Térmica – Cromatografia Gasosa/Espectrometria de Massas (TED-GC/MS)

Permite a análise de volumes maiores de amostra, sendo vantajosa quando se busca detectar MPs em concentrações reduzidas em matrizes complexas. Embora apresente menor sensibilidade absoluta que a Py-GC/MS, é especialmente útil para análises de grande escala (BRAUN *et al.*, 2020).

b) Métodos não destrutivos

Essas técnicas preservam a integridade das partículas e são essenciais para identificar MPs individualmente e quantificá-los com base no número, forma e tamanho (IVLEVA, 2021). As principais técnicas incluem:

Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR e μ -FTIR):

É uma das metodologias mais acessíveis, confiáveis e amplamente utilizada para identificação química de MPs. Na modalidade microscópica (μ -FTIR), permite identificar partículas entre 10–20 μ m, sendo adequada para análises ambientais de rotina (RENNER; SCHMIDT; SCHRAM, 2018).

Espectroscopia Raman (Raman):

Altamente sensível, possibilita a identificação de micropartículas com tamanho de até 1 μ m e nanopartículas até 300 nm. É particularmente útil para analisar materiais muito pequenos, que não podem ser detectados pelos limites do FTIR convencional. Uma desvantagem da espectroscopia Raman, especialmente na análise de MPs em amostras ambientais, é a interferência por fluorescência. (IVLEVA; WIESHEU; NIESSNER, 2016).

A IMPORTÂNCIA DA BACIA AMAZÔNICA

A bacia do rio Amazonas, maior sistema fluvial do mundo, exerce papel central não apenas para a biodiversidade da região, mas também para comunidades humanas que dependem de seus recursos hídricos e pesqueiros. O Rio Amazonas contribui de forma substancial para a poluição plástica oceânica global. Estimativas indicam que o rio pode ser responsável por até 10% do fluxo de plásticos para os ambientes marinhos (GIARRIZZO *et al.*, 2019).

Nesse contexto, estudos mostram que os microplásticos estão presentes em sedimentos ao longo do Amazonas e seus afluentes. Por exemplo, amostras de sedimento coletadas em diferentes trechos dos rios Solimões, Negro e Amazonas revelaram concentrações entre 417 e 8.178 partículas por quilograma de sedimento seco. A distribuição dessas partículas varia conforme as características hidráulicas do

rio, com locais de menor velocidade de água apresentando maior acúmulo (GEROLIN *et al.*, 2020).

A poluição por microplásticos apresenta uma série de impactos, incluindo a ingestão de microplásticos por peixes amazônicos. Um trabalho realizado no Lago Janauacá e no arquipélago das Anavilhanas identificou que mais de 60% das espécies estudadas continham MPs em seus tratos digestivos, com cerca de 91,5 % presentes no intestino (TEREZA *et al.*, 2025). Outra análise teórica aponta que peixes da bacia amazônica, muitos dos quais têm adaptações para respirar na superfície da água ou até mesmo fora dela, podem estar particularmente vulneráveis aos efeitos dos MPs: o contato com microplásticos pode afetar a morfologia das brânquias, mecanismos de transporte iônico e gerar estresse oxidativo nos animais (ZINK; VAL; WOOD, 2025).

Além disso, a poluição por microplásticos não está restrita ao rio propriamente dito, no oceano, a plataforma continental amazônica apresenta uma abundância média de 3.593 ± 2.264 itens por metro cúbico de água superficial, conforme amostragens feitas em diferentes estações do ano. Os polímeros mais comuns identificados foram poliamidas, poliuretano e ABS, além de fibras celulósicas têxteis, o que sugere contribuições tanto de fontes naturais como de ações humanas (QUEIROZ *et al.*, 2022)

Existem diversas lacunas no conhecimento sobre contaminação de microplásticos na Bacia Amazônica. Conforme apontam os estudos, há necessidade de ampliar as pesquisas em regiões remotas, em sedimentos de afluentes, bem como a investigação de nanoplásticos, cuja presença ainda não foi consistentemente relatada nessa bacia (SANTANA *et al.*, 2024). Da mesma forma, um estudo de síntese recente aponta para a urgência de monitoramento e avaliação de riscos, especialmente em áreas urbanas da Amazônia onde o saneamento é escasso (RICO *et al.*, 2023).

Em síntese, o rio Amazonas, atua como um canal de transporte e acúmulo de microplásticos, afetando sedimentos, organismos aquáticos e potencialmente impactando a saúde e os modos de vida das populações tradicionais.

METODOLOGIA

Este estudo consiste em uma revisão bibliográfica sistemática sobre a ocorrência e os impactos de microplásticos no ecossistema do rio Amazonas. A coleta de dados foi realizada por meio de um levantamento bibliográfico nas bases de dados Google Acadêmico, SciELO e PubMed. A estratégia de busca utilizou os seguintes descritores, combinados entre si com os operadores booleanos “E” e “AND”: microplásticos, rio, Amazonas, "*microplastics*", "*river*", "*Amazon*". Para a seleção dos estudos, foram estabelecidos os seguintes critérios de inclusão:

- i) Estudos realizados em ambientes de água doce, estuarinos e costeiros adjacentes à foz do Amazonas;
- ii) Artigos que apresentassem análises químicas de microplásticos em matrizes ambientais, como água, sedimentos e biota.

E os seguintes critérios de exclusão:

- i) estudos sem acesso ao texto completo;
- ii) artigos que não descrevessem metodologias de detecção ou quantificação de microplásticos;
- iii) duplicatas identificadas durante o processo de triagem.

Os artigos identificados foram inicialmente triados com base em seus títulos e resumos. Os que atenderam aos critérios foram recuperados na íntegra e submetidos a uma análise de conteúdo, com o objetivo de sistematizar e discutir os principais resultados, metodologias e conclusões encontradas na literatura.

RESULTADOS

Levantamento bibliográfico

A busca sistemática nas bases Google Acadêmico, SciELO e PubMed resultou em um amplo conjunto de publicações relacionadas à ocorrência de microplásticos em ambientes aquáticos, sendo posteriormente filtradas para identificar estudos focados no rio Amazonas e regiões adjacentes. A Tabela 1 sintetiza a quantidade de estudos recuperados inicialmente em cada base de dados, considerando todas as combinações de palavras-chave.

Tabela 1. Resultados das buscas nas bases de dados

Termo de Busca	Google Acadêmico	SciELO	PubMed
<i>Microplastics</i>	29.100	50	20.032
<i>microplastics river</i>	910	6	2.124
<i>microplastics river amazon</i>	19	5	19
microplásticos	1.450	20	–
microplásticos rio	46	4	–
microplásticos rio Amazonas	3	3	–

Fonte: Elaborada pelos autores

Embora o número total de resultados seja elevado, grande parte não se relacionava diretamente à região amazônica, reforçando a necessidade da aplicação rigorosa dos critérios de triagem. A soma inicial das publicações identificadas nas três bases resultou em 49 registros. Após a remoção de duplicatas, restaram 36 estudos únicos. Em seguida, procedeu-se à triagem por títulos e resumos, sendo excluídos os trabalhos que não apresentavam relação com ambientes de água doce da bacia amazônica, não descreviam metodologias de detecção ou quantificação de microplásticos, ou não disponibilizavam acesso ao texto completo. Ao final, 12 estudos foram considerados elegíveis e compuseram a análise desta revisão bibliográfica sistemática, constituindo o corpo de evidências sobre a ocorrência, distribuição e impactos dos microplásticos no rio Amazonas e ambientes associados.

MICROPLÁSTICOS EM FAUNA AQUÁTICA

Os estudos que investigaram organismos aquáticos representam a maior parte das publicações selecionadas, com cinco artigos dedicados à avaliação da ingestão de microplásticos por peixes amazônicos. Andrade *et al.* (2019) relataram o primeiro registro de ingestão de plástico por piranhas e outros serrasalmídeos com diferentes hábitos alimentares (carnívoros, omnívoros e herbívoros). O estudo identificou que 26,7% dos indivíduos analisados (46 de 172) apresentaram partículas plásticas no

conteúdo estomacal, e 81,3% das espécies avaliadas (13 de 16) continham plástico em seus estômagos. Além disso, não foram observadas diferenças significativas na frequência ou na massa de plástico ingerido entre as distintas guildas tróficas.

De forma semelhante, Pegado *et al.* (2018) documentaram, pela primeira vez, a ingestão de microplásticos por peixes no estuário do rio Amazonas, evidenciando a ubiquidade desse contaminante em áreas de transição entre ambientes dulcícolas e costeiros. Os autores registraram que 13,7% dos peixes avaliados (26 indivíduos) apresentaram microplásticos, totalizando 228 partículas, predominantemente localizadas no estômago (92,1%). O estudo identificou ainda uma correlação positiva entre o comprimento dos peixes e a quantidade de microplásticos ingeridos, embora não tenham sido encontradas correlações significativas com o nível trófico ou com o peso dos indivíduos.

Rojas *et al.* (2023) também contribuíram para a compreensão da extensão da contaminação por microplásticos na região amazônica ao analisarem espécies de peixes da região de Iquitos, no Peru. Os autores identificaram microplásticos em 100% dos 61 espécimes avaliados, evidenciando que a contaminação se estende a diferentes trechos da Amazônia ocidental. A abundância média registrada foi de 38,3 partículas por indivíduo, totalizando 1.096 partículas nas brânquias e 1.241 nos órgãos internos (como esôfago, estômago, intestino e fígado). Não foram observadas diferenças significativas na abundância de partículas entre brânquias e órgãos internos. Contudo, a quantidade de microplásticos diferiu significativamente entre os grupos de hábitos alimentares, sendo os peixes carnívoros os mais afetados. Por outro lado, não foi encontrada correlação significativa entre a abundância de partículas e o tamanho ou peso dos peixes.

Tuvikene *et al.* (2025) investigaram a presença de microplásticos em peixes durante um período de seca extrema e observaram concentrações médias de $3,3 \pm 2,9$ partículas por indivíduo no Prato Canal e $2,8 \pm 2,1$ partículas na Vila do Janauacá. A ingestão de microplásticos apresentou relação com o hábito alimentar: peixes predadores exibiram as maiores quantidades de partículas, enquanto herbívoros registraram os menores valores. Em outra análise trófica, peixes planctívoros também apresentaram maior ingestão, ao passo que carnívoros e invertívoros mostraram quantidades reduzidas. Os autores ressaltam que os níveis significativos de partículas encontrados no trato digestório sugerem uma influência das condições hidrológicas

atípicas, especialmente da seca intensa, na exposição dos organismos aos contaminantes.

Complementarmente, Picanço *et al.* (2025) conduziram uma avaliação integrada da presença de microplásticos na água, no sedimento e na fauna aquática, destacando que a contaminação dos peixes está associada tanto à integridade do habitat quanto aos tipos de polímeros predominantes no ambiente. Os resultados demonstraram que a concentração de microplásticos nos sedimentos foi superior à observada na água, e apenas oito peixes apresentaram contaminação. Apesar das baixas concentrações registradas, os autores sugerem que os córregos podem atuar como depósitos de microplásticos, possivelmente devido à reduzida presença de fontes pontuais de contaminação e à influência de fatores físicos que podem favorecer o transporte das partículas para outros sistemas hídricos. A baixa concentração ambiental de microplásticos, por sua vez, contribui para as menores taxas de ingestão observadas nos peixes, reduzindo a probabilidade de interação entre os organismos e as partículas presentes no ambiente.

RETENÇÃO DE MICROPLÁSTICOS POR MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Apenas um estudo abordou especificamente a flora aquática. Guimarães *et al.* (2024) demonstraram que macrófitas presentes no rio Amazonas possuem capacidade de reter partículas plásticas, indicando que essas plantas podem atuar como filtros biológicos e influenciar a dinâmica de deposição e redistribuição de microplásticos no ecossistema.

Os autores identificaram que, durante a estação seca, *Paspalum repens* foi a espécie dominante (47,55%), enquanto *Pontederia rotundifolia* prevaleceu na estação chuvosa (78,96%). No total, foram registradas 306 partículas plásticas retidas pelas macrófitas, das quais 75,5% eram microplásticos. A maior retenção ocorreu em *P. repens* (49,3%) e *P. rotundifolia* (32,4%), com a estação seca apresentando o maior acúmulo (74,8%). Além disso, observou-se uma correlação moderada e positiva entre a biomassa das macrófitas e a abundância de partículas plásticas, bem como uma correlação fraca e positiva entre microplásticos e mesoplásticos.

As principais fontes de origem antrópica associadas à presença desses contaminantes incluíram atividades pesqueiras e portuárias, lançamento de esgoto

não tratado e navegação. Esses resultados evidenciam um componente ainda pouco explorado, porém fundamental, para compreender a trajetória dos microplásticos no ambiente aquático, destacando o papel das macrófitas na retenção e mobilização desses contaminantes no rio Amazonas.

MICROPLÁSTICOS EM ÁGUA, SEDIMENTO E DINÂMICA AMBIENTAL

Quatro estudos avaliaram a presença e a distribuição de microplásticos nos compartimentos ambientais da Amazônia, permitindo compreender a dinâmica desses contaminantes em água, sedimento e ao longo de gradientes espaciais e sazonais. Souza, Silva e Oliveira (2023) analisaram o Igarapé do Mindu, em Manaus, e identificaram variações longitudinais, verticais e temporais na concentração de microplásticos, evidenciando forte influência de fatores hidrológicos locais. Os autores observaram maior concentração no perfil de profundidade em comparação ao perfil superficial, bem como aumentos expressivos durante os regimes hidrológicos de enchente e cheia, confirmando a presença disseminada de microplásticos nesse ambiente.

Queiroz *et al.* (2022) investigaram as águas superficiais da Plataforma Continental Amazônica e relataram contaminação por microplásticos e microfibras, constituindo uma das primeiras evidências sistemáticas de poluição plástica em larga escala nessa região. Os resultados mostraram que 47% das partículas apresentavam menos de 300 μm , ressaltando a importância do tamanho da malha para evitar subestimativas. A abundância média foi de 3593 ± 2264 partículas/ m^3 , com clara variação sazonal: durante o período chuvoso, registraram-se 4772 ± 2761 partículas/ m^3 , enquanto na estação seca os valores foram menores, 2672 ± 1167 partículas/ m^3 . As maiores abundâncias ocorreram em áreas próximas à costa, especialmente em baías influenciadas por elevada descarga fluvial.

De forma complementar, Santos *et al.* (2023) avaliaram a Baía do Guajará e identificaram variabilidade espacial na distribuição dos microplásticos, associada principalmente à influência de zonas urbanizadas e portuárias. A abundância de microplásticos e microfibras foi significativamente maior na margem direita, caracterizada por intensa ocupação urbana, em relação à margem esquerda.

Por fim, Rico *et al.* (2023) realizaram um monitoramento de larga escala ao longo do rio Amazonas e relataram a presença de microplásticos em todos os locais amostrados. Embora os riscos ecológicos tenham sido considerados baixos no rio principal e em seus afluentes, níveis mais elevados foram detectados em riachos urbanos, destacando a necessidade de análises contínuas em toda a bacia para compreender fontes, transporte e hotspots de contaminação.

MICROPLÁSTICOS EM MANGUEZAIS E AMBIENTES COSTEIROS ASSOCIADOS

Dois estudos investigaram ambientes de transição entre água doce e zonas costeiras, com ênfase em manguezais e canais de maré. Rico *et al.* (2024) avaliaram o potencial de enterramento de microplásticos em manguezais do delta amazônico e demonstraram que esses ecossistemas funcionam como importantes zonas de retenção de partículas plásticas. Os autores identificaram microplásticos em 85% das amostras de solo, com concentrações variando de 0 a 167 MPs/kg de peso seco. Em termos de massa, os valores oscilaram entre 0 e 1,3 mg/kg de peso seco, correspondendo a 0–0,00013%, o que evidencia uma carga de contaminantes baixa, porém amplamente distribuída nesses ambientes sedimentares.

De forma complementar, Mendes *et al.* (2024) analisaram sedimentos de canais de maré em áreas de manguezal no norte do Brasil e identificaram riscos ecológicos associados à presença e ao acúmulo de microplásticos. Todas as estações de amostragem apresentaram partículas de MPs, com maiores concentrações nas regiões mais próximas à urbanização. O aumento da pesca, da atividade comercial e do turismo em locais como o Furo Grande e a Praia de Ajuruteua, além da expansão urbana nos povoados de Pescadores e Bonifácio, foi apontado como fator determinante para a intensificação da contaminação. Esses resultados reforçam o papel dos manguezais e ambientes costeiros associados como receptores e acumuladores de microplásticos, destacando a necessidade de monitoramento contínuo em regiões sob crescente pressão antrópica.

CARACTERIZAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS NO RIO AMAZONAS

Nos estudos revisados sobre o Rio Amazonas e seus ecossistemas associados, duas técnicas espectroscópicas destacam-se como as principais ferramentas analíticas: a Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) e a Espectroscopia Raman. A técnica de FTIR foi a técnica mais frequentemente empregada nos trabalhos analisados. O FTIR identifica os polímeros com base nos espectros de absorção no infravermelho, que correspondem a vibrações de ligações químicas específicas de cada material. A modalidade ATR (Reflexão Total Atenuada) foi particularmente útil para analisar partículas sólidas recuperadas de amostras de sedimentos, água (SOUZA; SILVA; OLIVEIRA, 2022), conteúdo estomacal de organismos (ANDRADE *et al.*, 2018; PEGADO *et al.*, 2018; TUVIKENE *et al.*, 2025) e amostras de flora (GUIMARÃES *et al.*, 2024) sem necessidade de preparação complexa.

Complementarmente ao FTIR, a espectroscopia Raman foi empregada em alguns estudos (Mendes *et al.*, 2024; Picanço *et al.*, 2025) para a identificação de polímeros, especialmente em casos nos quais as partículas continham pigmentos ou aditivos capazes de interferir nos espectros obtidos por FTIR. A técnica Raman, altamente sensível a vibrações associadas a ligações covalentes e modos moleculares simétricos, mostrou-se particularmente eficaz na detecção de polímeros como o polietileno de baixa densidade (LDPE), bem como na identificação de pigmentos industriais específicos, como o azul de *Hostaperm*. Esse pigmento, amplamente utilizado em tintas e revestimentos aplicados em embalagens, pinturas automotivas e embarcações, reforça a associação entre a poluição plástica e atividades urbanas, industriais e náuticas (MENDES *et al.*, 2024).

Além disso, a capacidade da espectroscopia Raman de reconhecer assinaturas químicas de uma ampla variedade de substâncias permitiu confirmar que diversas fibras coletadas em amostras de água, sedimentos e peixes são efetivamente de origem polimérica, e não naturais, fortalecendo a robustez dos achados ambientais relatados por Picanço *et al.* (2025).

Nos estudos analisados, a caracterização morfológica dos microplásticos foi conduzida predominantemente por meio de análises visuais e microscópicas, com destaque para o uso de estereomicroscopia (QUEIROZ *et al.*, 2022; PEGADO *et al.*, 2018; RICO *et al.*, 2023; TUVIKENE *et al.*, 2025; GUIMARÃES *et al.*, 2024). Essa técnica permitiu a observação direta das partículas após os processos de digestão e

filtração, possibilitando sua identificação e classificação com base em características físicas distintas.

A estereomicroscopia viabilizou a distinção entre diferentes morfotipos como fibras, fragmentos, filmes, pellets, espumas e partículas de tinta. Esses parâmetros são essenciais para diferenciar materiais sintéticos de resíduos naturais e, em alguns casos, para inferir potenciais fontes antrópicas de origem (GUIMARÃES *et al.*, 2024). A Tabela 2 apresenta uma síntese das composições e formas de microplásticos identificadas nos diferentes estudos revisados.

Tabela 2. Composição e Morfologia dos Microplásticos Encontrados

Referência	Composição dos Microplásticos	Formas / Morfologia dos Microplásticos
MENDES <i>et al.</i> , 2024	Verniz Alquídic (VA), Dispersão de Resina (DR), Polietileno Clorado (PEC), Mistura Polietileno-Polipropileno (PE-PP), Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)	Fragmentos, fibras, filmes, esférulas/pellets
ANDRADE <i>et al.</i> , 2019	Poliestireno (PE), Policloreto de Vinila (PVC), Poliamida (PA), Polipropileno (PP), Poli(metil metacrilato) (PMMA), Rayon, Polietileno Tereftalato (PET), Mistura PA+PET	Fragmentos e filamentos.
SOUZA, SILVA & OLIVEIRA, 2023	Elastômeros de PA; monômero de Nylon 6; aditivos industriais como antioxidantes, surfactantes e agentes umectantes	Fibras reportadas como fonte secundária, não há quantificação morfológica
QUEIROZ <i>et al.</i> , 2022	PA, Poliuretano (PU), Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS); PET, Etileno-Vinil-Acetato (EVA), PE, PP, PVC	Fibras, fragmento, espumas
PEGADO <i>et al.</i> , 2018	Nylon, PE; Rayon	Pellets, folhas, fragmentos, fios
PICANÇO <i>et al.</i> , 2025	PET e PP	Fibras, esferas, fragmentos
RICO <i>et al.</i> , 2023	Poliéster, PP, PE, Poliestireno, VA	Predomínio de fibras de poliéster
RICO <i>et al.</i> , 2024	Poliéster, Rayon/Viscose, PP, PET	Fibras, fragmentos, filmes, esferas/beads

ROJAS <i>et al.</i> , 2023	Não identificado	Fibras, fragmentos, esferas/pellets
SANTOS <i>et al.</i> , 2023	PET, PA, PP, EVA, PVC, PE, ABS, PMMA	Fibras, fragmentos, filmes e esferas
TUVIKENE <i>et al.</i> , 2025	PET, PA, PE, PP; fibras têxteis de celulose/Rayon	Filamentos, fibras, fragmentos, filmes e pellets
GUIMARÃES <i>et al.</i> , 2024	PP, PE, OS	Fragmento, fibras

Fonte: Elaborada pelos autores

LACUNAS NAS PESQUISAS E PERSPECTIVAS FUTURAS

A análise dos estudos incluídos nesta revisão apresenta um conjunto de lacunas que limitam a compreensão da dinâmica dos microplásticos na região amazônica. A primeira e mais recorrente delas está relacionada à insuficiência de análises químicas detalhadas. Embora algumas pesquisas utilizem técnicas como FTIR e Raman para identificação polimérica, essa aplicação ainda é restrita e, muitas vezes, realizada de forma complementar a análises visuais. Assim, grande parte dos artigos depende principalmente de estereomicroscopia para classificação das partículas, o que pode levar à subidentificação de polímeros e pigmentos, especialmente em partículas degradadas ou recobertas por biofilmes (QUEIROZ *et al.*, 2022; PEGADO *et al.*, 2018; RICO *et al.*, 2023; TUVIKENE *et al.*, 2025; GUIMARÃES *et al.*, 2024).

Outra lacuna significativa diz respeito à ausência de padronização metodológica entre os estudos. As diferenças nos métodos de coleta, digestão, separação, triagem e classificação morfológica dificultam a comparação entre regiões e entre ambientes distintos dentro da própria Amazônia. Enquanto alguns estudos empregam protocolos mais robustos para extração e separação, outros utilizam métodos mais simples, baseados apenas em inspeção visual e coleta manual, o que resultam em discrepâncias nos resultados e prejudicam a consolidação de um diagnóstico regional confiável. A ausência de padrões também dificulta a replicabilidade, tornando complexa a criação de séries temporais ou o estabelecimento de indicadores regionais de contaminação.

Um terceiro ponto crítico refere-se à limitação espacial e temporal dos estudos. A maior parte das pesquisas analisadas consiste em levantamentos pontuais, realizados em períodos curtos e sem continuidade ao longo de diferentes estações climáticas. Considerando o regime hidrológico dinâmico da Amazônia, com intensas variações de vazão, sedimentação e influência de marés, trabalhos isolados são insuficientes para captar a variabilidade sazonal ou identificar tendências de longo prazo de acúmulo e dispersão dos MPs. Essa falta de monitoramentos contínuos impede, por exemplo, determinar se há períodos do ano com maior carga de MPs ou se eventos extremos, como enchentes, intensificam a entrada e redistribuição das partículas (QUEIROZ *et al.*, 2022; PICANÇO *et al.*, 2025; RICO *et al.*, 2023; GUIMARÃES *et al.*, 2024; SANTOS *et al.*, 2023).

Outra lacuna relevante é a escassez de estudos ecotoxicológicos, apesar da evidência consolidada de ingestão de microplásticos por espécies amazônicas e microplásticos encontrados na flora (GUIMARÃES *et al.*, 2024). Trabalhos como o de Andrade *et al.* (2019) e Pegado *et al.* (2018) demonstraram ingestão de MPs por peixes de diferentes hábitos alimentares, indicando que a contaminação já está inserida nas cadeias tróficas locais. Contudo, faltam pesquisas voltadas aos impactos fisiológicos, celulares e comportamentais, bem como estudos sobre bioacumulação e transferência trófica (RICO *et al.*, 2024).

Além disso, os textos apresentados evidenciam que partículas menores, como nanoplásticos, permanecem praticamente invisíveis nas pesquisas regionais. As técnicas mais utilizadas, como microscopia óptica, estereomicroscopia e FTIR convencional, não permitem identificar partículas inferiores a 20–50 μm , o que leva a subestimações consideráveis da verdadeira carga de plástico presente nos ambientes amazônicos (ANDRADE *et al.*, 2018; MENDES *et al.*, 2024; SOUZA, SILVA, OLIVEIRA *et al.*, 2023).

Por fim, destaca-se uma lacuna transversal relacionada à integração entre pesquisa científica, gestão ambiental e políticas públicas. A maioria dos estudos ainda não dialoga com programas de monitoramento governamentais ou comunitários, e poucos propõem ações de mitigação baseadas em seus achados. Essa desconexão limita o uso do conhecimento científico na tomada de decisões que poderiam reduzir a entrada de resíduos plásticos no ambiente, melhorar a gestão de resíduos sólidos e

estabelecer diretrizes de monitoramento da qualidade ambiental nas bacias amazônicas (FERNANDES *et al.*, 2025).

Dessa forma, as lacunas evidenciadas nos textos destacam a necessidade de ampliar o escopo metodológico, incorporar técnicas analíticas avançadas, padronizar protocolos de amostragem, integrar diferentes tipos de contaminantes e fomentar pesquisas ecotoxicológicas. Somente a partir de abordagens mais profundas e integradas será possível compreender a verdadeira extensão da contaminação por microplásticos na Amazônia e propor estratégias eficazes de mitigação.

CONCLUSÕES

A análise dos 12 estudos que compuseram esta revisão confirmou que a contaminação por microplásticos constitui um problema emergente no bioma Amazônico. Os trabalhos analisados apontam a ocorrência e a distribuição desses poluentes no maior sistema fluvial do mundo, caracterizando-o como um importante canal de transporte e acúmulo de partículas, sendo um dos 20 sistemas mais poluídos por plástico do planeta. Observou-se a predominância de microplásticos secundários, principalmente nas formas de fibras, fragmentos e filmes. Entre os polímeros identificados, os mais recorrentes foram Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Polietileno Tereftalato (PET), Poliamida (PA) e fibras têxteis de celulose/Rayon.

Os microplásticos foram detectados na água, sedimento e biota. Suas concentrações variam significativamente, sendo mais elevadas em áreas próximas à costa, como a Plataforma Continental Amazônica, em riachos sob forte pressão urbana, e durante períodos de enchentes e cheias. Manguezais no delta amazônico mostraram atuar como zonas de retenção importantes, retendo partículas e influenciando sua dispersão.

No que diz respeito à biota, a ingestão de microplásticos foi relatada nos estudos analisados, afetando espécies com diferentes hábitos alimentares. O estudo com macrófitas aquáticas, como *Paspalum repens* e *Pontederia rotundifolia*, identificou que as mesmas funcionam, como filtros biológicos, retendo partículas de plástico e modulando sua dinâmica no ecossistema.

A identificação polimérica foi realizada predominantemente por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), com uso complementar de

Espectroscopia Raman, técnicas essenciais para distinguir materiais sintéticos de resíduos naturais.

Apesar dos avanços, a revisão revelou lacunas significativas que limitam uma maior compreensão da extensão e da dinâmica de contaminação na região. A ausência de padronização metodológicas entre os estudos dificulta comparações regionais e a consolidação de um diagnóstico confiável. Ainda, a dependência de análises visuais ou microscópicas convencionais pode levar à subidentificação dos polímeros.

Outro ponto crítico é a escassez de monitoramento sazonal e de longo prazo, fundamental devido a dinâmica hidrológica complexa da Bacia Amazônia, trabalhos pontuais são insuficientes para captar a variabilidade temporal e tendências de acumulação. É crucial estabelecer programas de monitoramento contínuo para compreender os fluxos e a redistribuição dos microplásticos ao longo do tempo.

No âmbito ecotoxicológico, ainda que a ingestão por peixes esteja consolidada, faltam estudos sobre seus impactos fisiológicos, celulares e comportamentais, bem como sobre processos de bioacumulação e transferência trófica.

Em síntese, para compreender a verdadeira magnitude da contaminação por microplásticos na Amazônia e propor estratégias eficazes de mitigação, torna-se imperativo ampliar o escopo metodológico, padronizar protocolos de amostragem e análise, e fomentar pesquisas ecotoxicológicas integradas a programas de monitoramento contínuo e sistematizado.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. C. et al. First account of plastic pollution impacting freshwater fishes in the Amazon: Ingestion of plastic debris by piranhas and other serrasalmids with diverse feeding habits. **Environmental Pollution**, v. 244, p. 766-773, 2019.
- ARTHUR, C.; BAKER, J.; BAMFORD, H. Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects and fate of microplastic marine debris, Sept 9–11, 2008. **National Oceanic and Atmospheric Administration**, 2009.
- BOUCHER, J.; FRIOT, D. Primary microplastics in the oceans: a global evaluation of sources. **Gland**, Switzerland: IUCN, 2017.
- BRANDON, A. M. et al. Biodegradation of Polyethylene and Plastic Mixtures in Mealworms (Larvae of *Tenebrio molitor*) and Effects on the Gut Microbiome. **Environmental Science & Technology**, v. 52, n. 11, p. 6526–6533, 2018.
- BRAUN, U. et al. Accelerated Determination of Microplastics in Environmental Samples Using Thermal Extraction Desorption-Gas Chromatography/Mass Spectrometry (TED-GC/MS). **Agilent Technologies application note**, publication number 5994-2551EN, 2020.
- BRAUN, U. et al. **Status Report: Analysis of Microplastics — Sampling, Preparation and Detection Methods within the Scope of the Bmbf Research Focus Plastics in the Environment: Sources, Sinks, Solutions**. 2020.
- FERNANDES, J. et al. Plastic pollution in the Amazon: The first comprehensive and structured scoping review. **AMBIO**, 2025.
- GEROLIN, C. R. et al. Microplastics in sediments from Amazon rivers, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 749, p. 141604, 2020.
- GIARRIZZO, T. et al. Amazonia: the new frontier for plastic pollution. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 17, n. 6, p. 309–310, 2019.
- GUIMARÃES, G. D. A. et al. The retention of plastic particles by macrophytes in the Amazon River, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, n. 30, p. 42750-42765, 2024.
- HAHLADAKIS, J. N. et al. An Overview of Chemical Additives Present in Plastics: Migration, release, Fate and Environmental Impact during Their Use, Disposal and Recycling. **Journal of Hazardous Materials**, v. 344, p. 179–199, 2018.
- HALE, R. C. et al. A global perspective on microplastics. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 125, n. 1, p. e2018JC014719, 2020.

- HARTMANN, N. B. et al. Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris. **Environmental Science & Technology**, v. 53, n. 3, p. 1039-1047, 2019.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TR 21960:2020: Plastics — Environmental aspects — State of knowledge and methodologies**. Geneva: ISO, 2020.
- INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY. Compendium of polymer terminology and nomenclature: IUPAC recommendations, 2008. **Cambridge: RSC Pub.**, 2009. 443 p.
- IVLEVA, N. P.; WIESHEU, A. C.; NIESSNER, R. Microplastic in Aquatic Ecosystems. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 56, n. 7, p. 1720–1739, 2016.
- IVLEVA, N. P. Chemical analysis of microplastics and nanoplastics: challenges, advanced methods, and perspectives. **Chemical reviews**, v. 121, n. 19, p. 11886-11936, 2021.
- KOELMANS, A. A. et al. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. **Water research**, v. 155, p. 410-422, 2019.
- LIU, J. C. et al. Particulate air pollution from wildfires in the Western US under climate change. **Climatic Change**, v. 138, n. 3-4, p. 655–666, 2016.
- LUCATTINI, L. et al. A review of semi-volatile organic compounds (SVOCs) in the indoor environment: occurrence in consumer products, indoor air and dust. **Chemosphere**, v. 201, p. 466–482, 2018.
- MENDES, D. S. et al. Comprehensive risk assessment of microplastics in tidal channel sediments in amazonian mangroves (northern Brazil). **Journal of Environmental Management**, v. 366, p. 121826, 2024.
- MORAIS, L. M. S. et al. Microplastics in the Amazon biome: State of the art and future priorities. **Heliyon**, v. 10, n. 7, 2024.
- NG, E.-L. et al. An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. **Science of The Total Environment**, v. 627, p. 1377–1388, 2018.
- ORONA-NÁVAR, C. et al. Microplastics in Latin America and the Caribbean: A review on current status and perspectives. **Journal of Environmental Management**, v. 309, p. 114698, 2022.

- PEGADO, T. et al. First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v. 133, p. 814-821, 2018.
- PICANÇO, A. B. et al. Habitat Integrity and Microplastic Contamination in Amazonian Streams: Assessment of Water, Sediment, and Fish and Identification of Predominant Polymers. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 97, Suppl. 3, e20250334, 2025.
- PICÓ, Y.; BARCELÓ, D. Pyrolysis gas chromatography-mass spectrometry in environmental analysis: Focus on organic matter and microplastics. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 130, p. 115964, 2020.
- QUEIROZ, A. F. S. et al. First assessment of microplastic and artificial microfiber contamination in surface waters of the Amazon Continental Shelf. **Science of The Total Environment**, v. 839, p. 156259, 2022.
- RENNER, G.; SCHMIDT, T. C.; SCHRAM, J. Analytical methodologies for monitoring micro(nano)plastics: Which are fit for purpose? Current Opinion in Environmental Science & Health, v. 1, p. 55–61, 2018.
- RICO, A. et al. Large-scale monitoring and risk assessment of microplastics in the Amazon River. **Water Research**, v. 232, p. 119707, 2023.
- RICO, A. et al. Microplastic burial potential and ecological risks in mangrove forests of the Amazon River delta. **Science of the Total Environment**, v. 957, p. 177666, 2024.
- ROJAS, R. R. et al. Microplastic occurrence in fish species from the Iquitos region in Peru, western Amazonia Peru. **Acta Amazonica**, v. 53, n. 1, p. 65-72, 2023.
- SANTANA, J. et al. Microplásticos na Amazônia: uma revisão de literatura. **Brazilian Journal of Science of the Amazon**, v. 13, n. 3, p. 88–99, 2024.
- SANTOS, L. F. O. et al. Microplastics and microfibers in the Guajará Bay, Amazon delta: Potential sources and variability. **Marine Pollution Bulletin**, v. 195, p. 115525, 2023.
- SOUZA, G. R.; SILVA, N. M.; OLIVEIRA, D. P. Distribuição longitudinal, vertical e temporal de microplásticos no Igarapé do Mindu em Manaus, Amazonas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 28, e20220234, 2023.
- TEREZA, M. et al. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of Amazonian fish species with different feeding habits. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 97, n. suppl 3, 2025.

- TUVIKENE, A. et al. Plastic contamination in fish digestive tracts in Amazonian rivers during a period of extreme low water. **Journal of Fish Biology**, 2025.
- WAGNER, S. et al. Tire wear particles in the aquatic environment - A review on generation, analysis, occurrence, fate and effects. **Water Research**, v. 139, p. 83–100, 2018.
- WAKI, Y.; MACE, B. R.; BRENNAN, M. J. Free and forced vibrations of a tyre using a wave/finite element approach. **Journal of Sound and Vibration**, v. 323, n. 3, p. 737-756, 2009.
- ZETTLER, E. R.; MINCER, T. J.; AMARAL-ZETTLER, L. A. Life in the “Plastisphere”: Microbial Communities on Plastic Marine Debris. **Environmental Science & Technology**, v. 47, n. 13, p. 7137–7146, 2013.
- ZHOU, X. et al. Cloud-Point Extraction Combined with Thermal Degradation for Nanoplastic Analysis Using Pyrolysis Gas Chromatography–Mass Spectrometry. **Analytical Chemistry**, v. 91, n. 3, p. 1785–1790, 2018.
- ZINK, L.; VAL, A. L.; WOOD, C. M. Perspectives on the impact of microplastics (MPs) on fish of the Amazon that exhibit air-breathing and aquatic surface respiration. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 97, n. suppl 3, 2025.