

ENSAIO SOBRE A PRESENÇA DE MICROPLÁSTICOS NA ÁGUA DEPOSITADA EM *Aechmea distichantha* Lem. (Bromeliaceae)

Taila Lorena de SOUZA ¹

Mauro PAROLIN ²

RESUMO

Este estudo avaliou a presença de microplásticos na água armazenada em plantas da espécie *Aechmea distichantha* no município de Campo Mourão – PR, com foco em áreas de preservação e no Parque Estadual Lago Azul. A poluição por microplásticos, fragmentos de plásticos que se dispersam no ambiente, tem sido um tema relevante nas áreas biológica e ambiental, dado seu potencial poluidor em diversos ecossistemas. Amostras de água foram coletadas de três indivíduos de planta e submetidas a análises laboratoriais, utilizando o método de separação por densidade e avaliação física. Os resultados indicaram a presença de microplásticos em todas as amostras, com maior concentração no Parque Estadual Lago Azul. A pesquisa demonstra que os microplásticos estão presentes até em áreas preservadas, sugerindo a necessidade de estudos mais profundos sobre suas fontes e impactos nos ecossistemas locais, desta forma seu monitoramento é necessário, especialmente em ambientes naturais, para entender suas consequências e buscar estratégias para mitigar sua poluição.

Palavras-chave: Poluição atmosférica. Contaminação. Plantas.

¹ Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

² Docente na Universidade Estadual do Paraná – Campus Campo Mourão (UNESPAR).

ESSAY ON THE PRESENCE OF MICROPLASTICS IN THE WATER STORED BY *AECHMEA DISTICHANTHA* LEM. (BROMELIACEAE)

ABSTRACT

This study evaluated the presence of microplastics in the water stored by plants of the species *Aechmea distichantha* in the municipality of Campo Mourão, PR, focusing on preservation areas and the Lago Azul State Park. Microplastic pollution, which consists of plastic fragments dispersed in the environment, has been a significant topic in the biological and environmental fields due to its high pollution potential in various ecosystems. Water samples were collected from three individual plants and analyzed in the laboratory using density separation and physical evaluation methods. The results indicated the presence of microplastics in all samples, with a higher concentration found in the Lago Azul State Park. The study shows that microplastics are present even in preserved areas, highlighting the need for further research into their sources and impacts on local ecosystems. The findings underscore the importance of continued monitoring of these pollutants, particularly in natural environments, to better understand their consequences and develop strategies to mitigate their presence.

Keywords: Atmospheric pollution, Contamination, Plants.

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica, ao longo das últimas décadas é pauta de discussões ambientais devido aos índices de dióxido de carbono liberados por indústrias e automóveis. Atualmente, uma nova problemática introduzida nessa pauta envolve os materiais plásticos em suspensão. A nova temática das preocupações ambientais está baseada na grande demanda e produção de plástico, pois produtos que contêm plástico em sua composição estão inseridos em grande parte da dinâmica da sociedade (Machado *et al.*, 2017).

O plástico é um material que é produzido e consumido em diversas esferas da sociedade, surgindo como uma alternativa resistente, duradoura e necessária, porém, sua produção exacerbada gera preocupação quanto sua interação no ambiente, pois pode ser ingerido por animais, transportar e liberar aditivos tóxicos (Madureira *et al.*, 2019).

A resistência dos materiais plásticos no ambiente torna esse tipo de poluição um problema contínuo. As partículas plásticas passam por processos de deterioração mecânica, foto-oxidação, intemperismo químico e decomposição biológica, que alteram sua composição química e ampliam sua toxicidade (Luo *et al.*, 2020; Reynaud *et al.*, 2022).

A poluição por microplásticos, partículas que variam de tamanho de <5 mm a <1 µm, ocorre de diferentes formas, deposição ou absorção no ambiente, por meio da água e do solo. Devido às suas proporções, as partículas de plástico podem ser ingeridas por organismos, possibilitando sua transferência trófica e alcançando distintos ambientes (Thompson *et al.*, 2004; Pompêo *et al.*, 2022a).

Sua dispersão e integração em diferentes dinâmicas aumentam a preocupação quanto a poluição e suas consequências, desta forma, pesquisas sobre a presença de microplásticos são desenvolvidas em animais, ambientes fluviais, marinhos e em órgãos vitais de seres humanos, entretanto, a investigação sobre a presença de partículas de microplásticos em plantas está em fase inicial, onde os estudos realizados se concentram em ambientes controlados e laboratórios (Pompêo *et al.*, 2022a; Pompêo *et al.*, 2022b).

Fatores como aumento da lixiviação, diminuição de absorção de água e minerais e ampliação do de contato com compostos químicos tóxicos são alguns dos exemplos de prejuízos causados por partículas de microplástico em plantas (Machado *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2020).

Desta forma, objetiva-se ampliar o conhecimento sobre a quantificação de microplásticos em plantas, bem como demonstrar sua presença na espécie *Aechmea distichantha* Lem. (*Bromeliaceae*), destacando a importância de investigações em campo sobre a presença desses materiais no ambiente natural, com o intuito de compreender melhor sua distribuição e os impactos da poluição por microplásticos nos ecossistemas vegetais.

1.1 MICROPLÁSTICO NA ATMOSFERA

A distribuição global de microplásticos ganha destaque devido às suas proporções, que facilitam seu transporte a grandes distâncias, possibilitando seu alcance a locais remotos e sem a presença ativa antrópica, como cadeias montanhosas, mares, lagos e reservas florestais (Szewc *et al.*, 2021). Uma vez no ambiente, as partículas de microplásticos passam por processos de intemperismo químico e biológico, e podem server outros poluentes, aumentando seu potencial de toxicidade (Kalčíková, 2020).

As partículas de microplásticos são classificadas em duas origens: primária e secundária. A primeira refere-se a materiais que possuem proporções microscópicas desde sua produção, sendo usados em produtos como itens de higiene pessoal e maquiagens. O segundo tipo, os microplásticos secundários, resulta da fragmentação de macroplásticos (GESAMP, 2019; Horton *et al.*, 2017; Olivatto *et al.*, 2018).

O GESAMP (2019) classifica as partículas de microplásticos em cinco principais categorias: fragmentos, filamentos, filmes, espumas e pellets, de acordo com sua forma e composição.

Os materiais plásticos são compostos por aditivos químicos como dicloro-difenil-tricloroetano (DDT), bifenilos policlorados, ftalatos, bisfenol A (BPA), éteres difenílicos polibromados (PBDE), tetrabromobisfenol A (TBBPA), chumbo, cobre e cádmio. A ABNT NBR 13230 identifica os polímeros mais comuns em sete produtos comerciais, sendo eles: PET (Politereftalato de Etileno), PEAD (Polietileno de Alta Densidade), PVC (Policloreto de Vinil), PEBD (Polietileno de Baixa Densidade), PP (Polipropileno), PS (Poliestireno) e outros (ABS/SAN, EVA, PA etc.). Ressalta-se que esses materiais possuem o potencial de absorver outros poluentes de origem antrópica, quando expostos ao ambiente, ampliando seu potencial poluidor (TALSNESS

et al., 2009; HOLMES *et al.*, 2014).

As folhas das plantas atuam como interceptadoras de partículas poluidoras suspensas no ar. Considerando a existência de partículas de plástico na atmosfera, é necessário entender sua interação com as plantas (Bi *et al.*, 2020). Estima-se que as superfícies foliares retenham cerca de 0,13 bilhões de peças de plástico (Liu *et al.*, 2019).

1.3 *AECHMEA DISTICHANTHA* LEM. (BROMELIACEAE)

A espécie possui entre 40 e 100 cm de altura (Figura 1) e é composta por folhas de 15 a 25 cm, dispostas em formato de roseta, o que contribui para a formação de um reservatório hídrico, conhecido como "cisterna", em sua porção inferior. Seus indivíduos são encontrados na América do Sul, como plantas terrestres ou epífitas (epífitas facultativas), em florestas decíduas no sul do Brasil, Bolívia, Paraguai, Uruguai e no norte da Argentina, ocorrendo em altitudes que variam de 2.400 metros ao nível do mar (Amadeo, 2012).



Figura 1 - *Aechmea distichantha* Lem. (Bromeliaceae)

Fonte: Reitz, 1983.

Suas folhas são coriáceas, variando do verde ao avermelhado, e possuem formato acanalado-côncavo, coberto por espinhos com pontas agudas. Esse formato gera um pequeno

tanque com capacidade média de 200 cm³, utilizado pela planta para armazenar água, que serve como fonte de hidratação e absorção de nutrientes (Hermes, 2017).

2 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

As coletas foram realizadas em três pontos distribuídos pelo município de Campo Mourão – PR (Figura 2), sob as mesmas condições no dia 11 de agosto de 2023. No dia amostrado, foi registrado 0,8 mm de chuva, com precipitação acumulada nos dias anteriores de 16,6 mm (dia 10/08) e 47,0 mm (dia 09/08) (IAT, 2024).

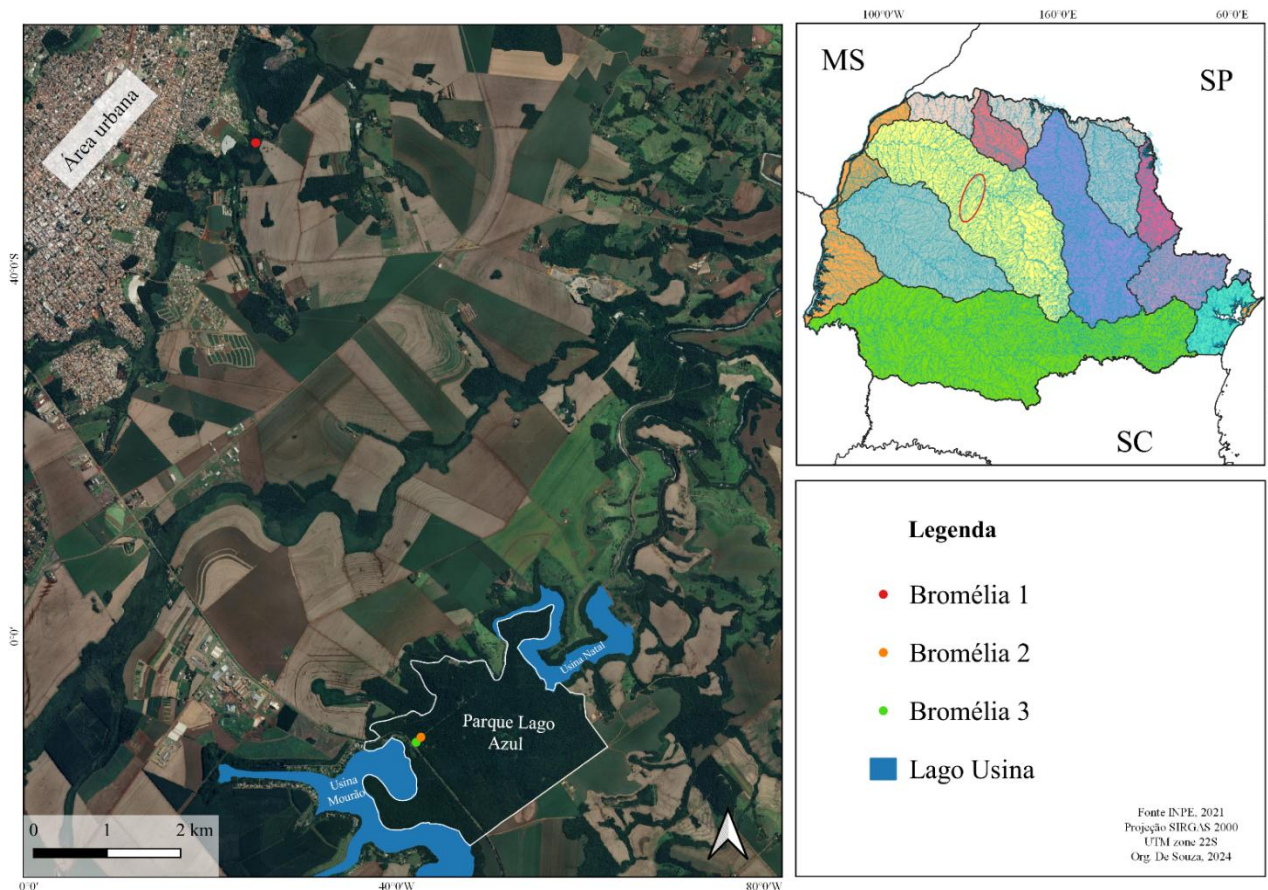


Figura 2 – Localização da área de estudo

Fonte: Google Earth / IBGE 2024.

Os pontos amostrados, além de apresentarem a mesma espécie de bromélia, possuem distinções no uso e ocupação do solo. O Ponto 1 está localizado entre as coordenadas $24^{\circ} 01'52.58''\text{S}$ e $52^{\circ}20'47.73''\text{O}$ (Figura 3), área próxima ao perímetro urbano do município, inserida entre a vegetação ripária do Rio do Campo.

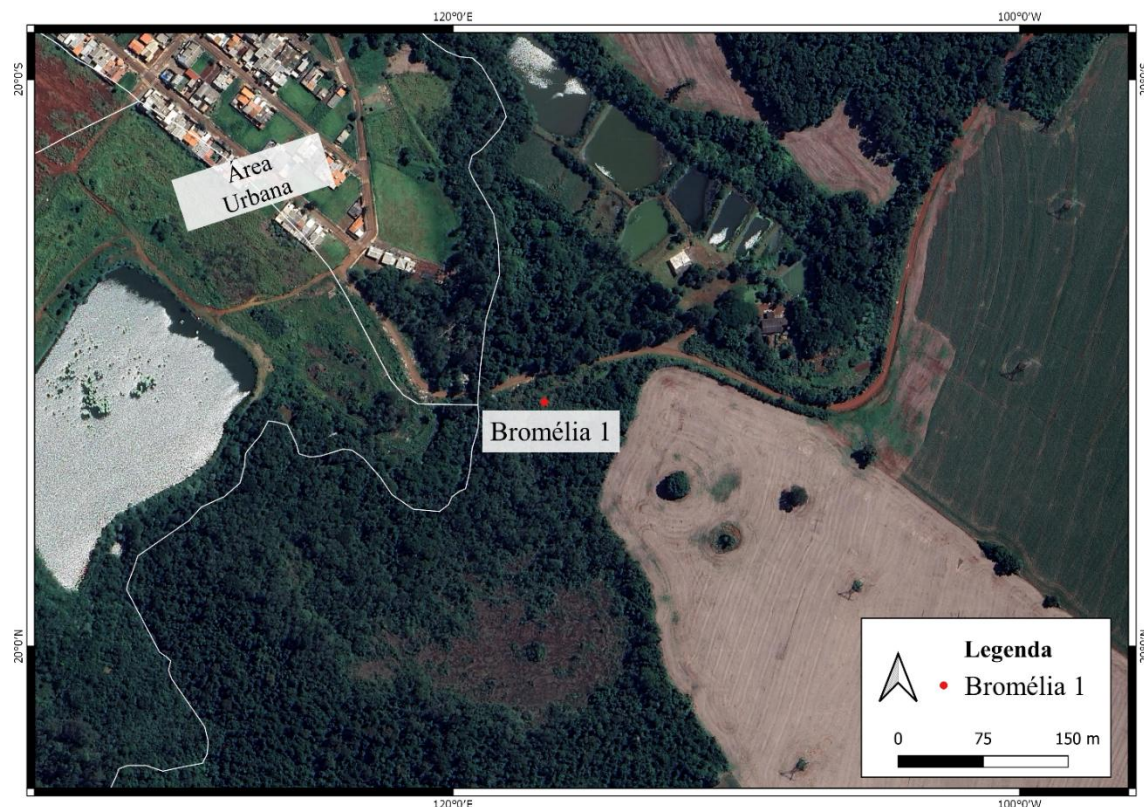


Figura 3 – Área da coleta 1

Fonte: Google Earth, 2024.

Os Pontos 2 e 3 estão localizados na área de preservação ambiental do Parque Estadual do Lago Azul. O Ponto 2, nas coordenadas $24^{\circ} 6'15.70''\text{S}$ e $52^{\circ}19'31.95''\text{O}$ (Figura 4), próximo à vegetação, enquanto o Ponto 3, entre as coordenadas $24^{\circ} 6'17.95''\text{S}$ e $52^{\circ}19'34.28''\text{O}$, encontra-se próximo a área de acesso ao parque, com maior proximidade a rodovia BR-487.

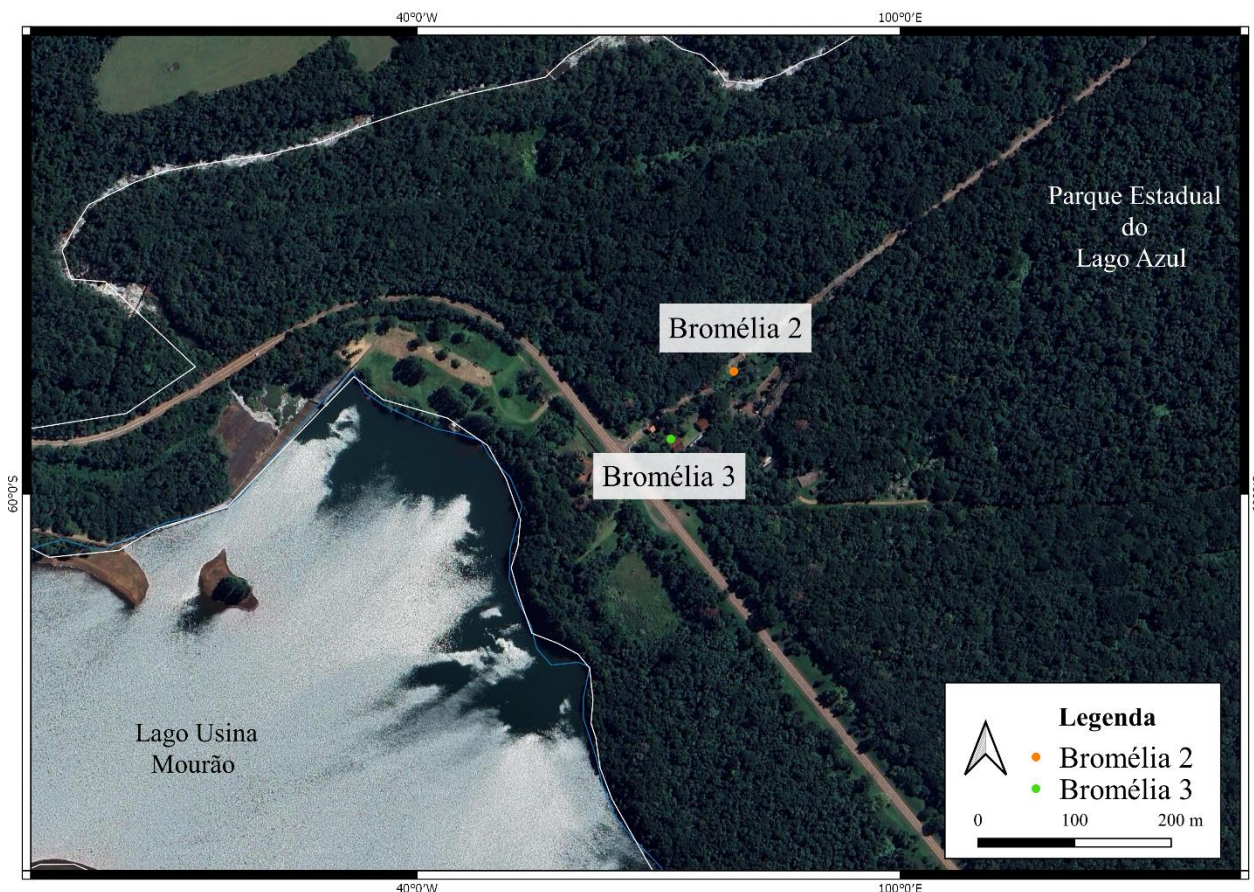


Figura 4 – Localização das coletas 2 e 3

Fonte: Google Earth, 2024

3.2 COLETA DAS AMOSTRAS E ANÁLISES LABORATORIAIS

A retirada da água das plantas foi realizada com auxílio de uma pipeta volumétrica equipada com uma pera de sucção (Figura 5). As amostras coletadas foram armazenadas em recipientes de vidro esterilizados e encaminhadas ao laboratório.



Figura 5 – Metodologia de coleta a campo

Fonte: Os autores, 2024.

O processo laboratorial foi dividido em duas etapas: separação por densidade e classificação física. Para essas etapas, utilizou-se as metodologias propostas nos estudos de Besley *et al.* (2017), Çullu *et al.* (2021) e Thompson *et al.* (2004).

A separação dos fragmentos plásticos dos demais detritos da amostra foi realizada por meio do processo de separação por densidade, utilizando-se uma solução hipersalina, composta por Cloreto de Sódio (NaCl), 180g para 500 ml de água por um período de 5 horas, conforme NOAA (2015) e Besley *et al.* (2017). Após a separação, as amostras foram levadas para estufa de secagem com temperatura de 50°C por 24 horas.

3.3 TABULAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Para a visualização das partículas foi utilizado um microscópio estereoscópico trinocular, classificando os materiais de acordo com o tamanho (macroplásticos, mesoplásticos, microplásticos grandes, microplásticos pequenos e nanoplásticos), tipo (fragmentos, filamentos, filmes plásticos, espuma de plástico, isopor, pellets e borracha), e cor, seguindo os parâmetros

definidos por GESAMP (2019) e Olivatto *et al.* (2018).

A análise dos dados foi realizada utilizando a linguagem R no software R (versão 4.4.1), utilizando os pacotes, ggplot2, para visualização gráfica, reshape2, para manipulação dos dados. Os dados foram organizados em um *data frame* contendo a quantidade de microplásticos encontrados em diferentes bromélias, categorizados por cor e tipo (fibra ou filme). Para facilitar a análise, os dados foram convertidos para um formato longo utilizando a função melt() do pacote reshape2.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os locais amostrados 1, 2 e 3 (Figura 2) apresentaram partículas de microplásticos. O total de partículas amostradas foi de 68. No ponto 1, foram identificadas 5 partículas de microplástico: 3 do tipo fibra, de cor azul, e 1 preta; do tipo filme, foi identificada 1 partícula de cor azul. No ponto 2, foram identificadas 15 partículas de microplástico: 4 do tipo fibra de cor azul, 4 de cor branca e 2 de cor preta; do tipo filme, identificaram-se 5 partículas de coloração azul. No ponto 3, foram identificadas 48 partículas, sendo 19 do tipo filme, de cor azul, 12 fibras de cor preta, 9 fibras de cor branca, 7 fibras de cor azul e 1 fibra de cor vermelha.

O tipo de polímero mais abundante foi a fibra, registrada em um total de 43 unidades, correspondendo a 63% das partículas encontradas, seguida pelo tipo filme, com 25 unidades, correspondendo a 37% (Figura 06).

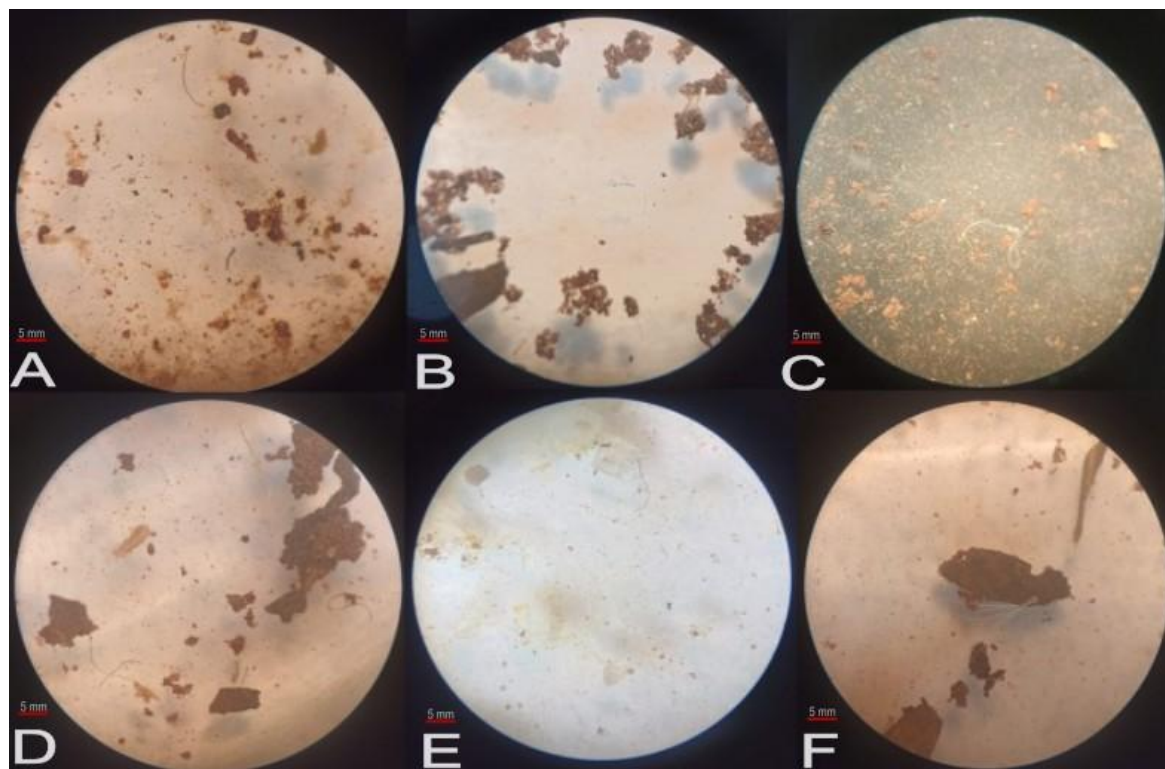


Figura 6 – Tipos de microplásticos localizados no estudo (A – Filme Preto, B – Filme Azul, C – Filme Branco, D – Fibra Preta, E – Fibra Azul, F – Fibra Branca).

Fonte: Os autores, 2024.

As categorias fragmento, esferas, espumas não foram localizadas. As cores dominantes variam entre azul (57%), preto (25%), branco (19%) e vermelho (2%) (figura 7).

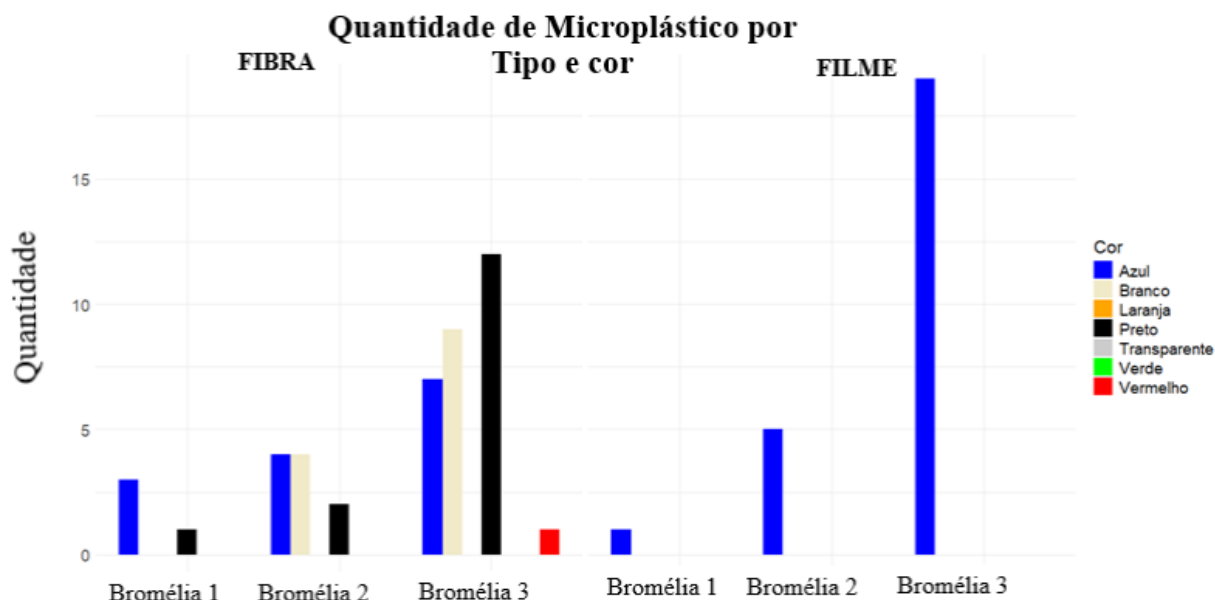


Figura 7 – Quantificação dos microplásticos

Fonte: Os autores, 2024.

Observa-se que as quantidades de partículas de microplásticos nos pontos analisados apresentam um aumento gradual, sendo o ponto 1 com 7% e ponto 3 com 71% partículas quantificados no estudo (Figura 8). O transporte micropartículas, principalmente de origens secundárias, ocorre principalmente por seu manejo incorreto, Fibras e partículas com estruturas leves podem se acumular na atmosfera e serem depositadas com a precipitação no ambiente aquático, solo e plantas (Dris *et al.*, 2016). Desta forma acredita-se que a proximidade com a rodovia da Bromélia 3 seja susceptível a maior contaminação por partículas provenientes da rodovia e automóveis.

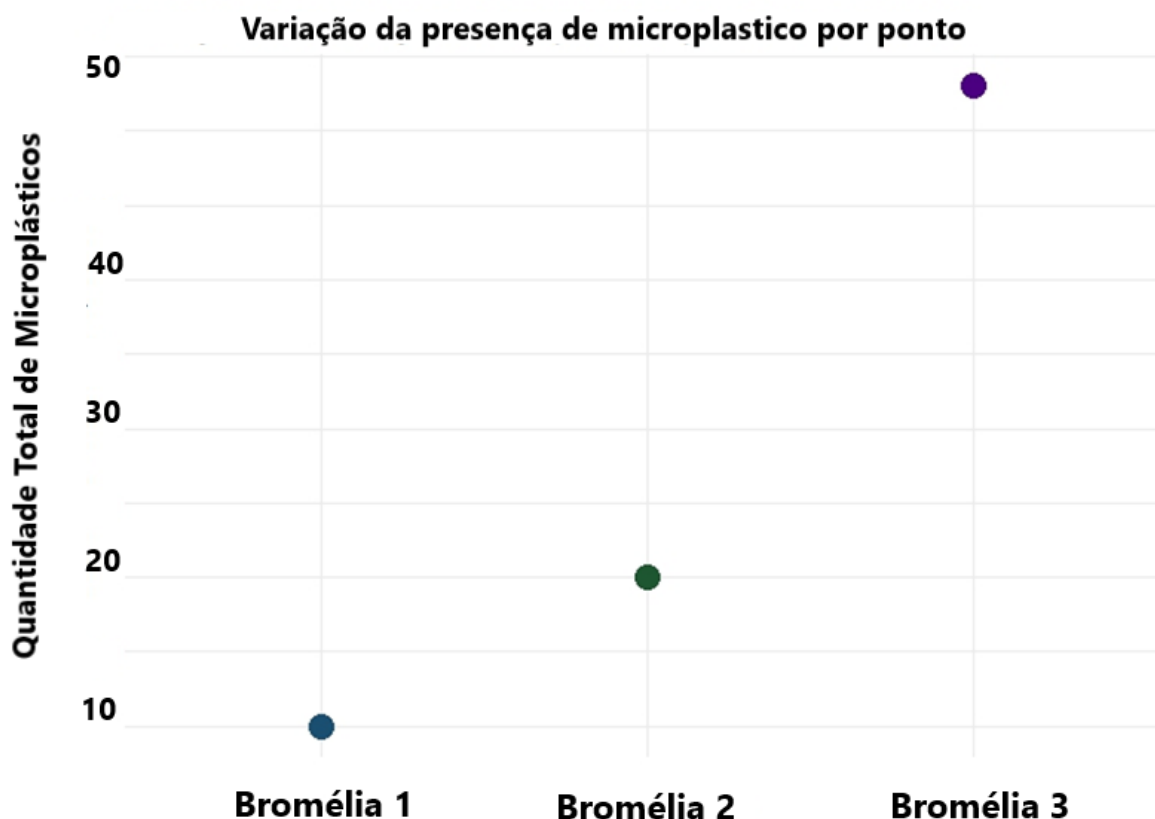


Figura 8 – Variação da presença de microplásticos

Fonte: Os autores, 2024.

A amostragem realizada no Parque Estadual Lago Azul (Amostra 3) apresentou a maior quantidade de microplásticos, o que pode ser explicado pela proximidade da rodovia, uma possível fonte de emissão de partículas provenientes do tráfego de veículos. Nessa área, foram identificadas principalmente fibras azuis e pretas, sugerindo que o desgaste de pneus e a presença de resíduos industriais podem estar contribuindo significativamente para a contaminação local. Este fenômeno é corroborado por estudos que indicam que partículas de desgaste de pneus, denominadas TWP (*tire wear particles*), representam uma parcela considerável dos microplásticos em ambientes urbanos e rodoviários, podendo chegar a até 57% do total de microplásticos encontrados (Goehler, 2022). A presença de microplásticos de cor preta, associada ao desgaste de pneus, é particularmente preocupante devido à possibilidade de contaminação com metais pesados como cobre e zinco, substâncias tóxicas que podem afetar a qualidade do solo e prejudicar os organismos que habitam o local.

4.1 APECTOS NEGATIVO DA PRESENÇA DE MICROPLASTICO EM PLANTAS

Partículas de microplástico em plantas afetam a fotossíntese, pois influenciam as respostas relacionadas à clorofila-a, clorofila-b, antocianinas e carotenoides das plantas (Kalčíková *et al.* 2020).

Seus efeitos variam de acordo com o volume de poluentes, bem como com a espécie vegetal. Os microplásticos possuem diferentes composições físicas e químicas, e, dessa forma, reagem de maneira distinta no ambiente em que estão inseridos (Mateos-Cárdenas *et al.*, 2021).

O desgaste de pneus gera fragmentos de microplásticos com altos teores de cobre (Cu), o que pode alterar o crescimento das plantas em contato com os fragmentos, tanto no comprimento quanto nas raízes (Zhou *et al.*, 2022). Além da sua composição, deve-se considerar que os microplásticos têm a capacidade de absorver compostos químicos, o que aumentam seu nível de toxicidade.

As partículas de microplásticos, quando em contato com a planta, aderem à epiderme radicular, se depositam em sua superfície ou acumulando-se no córtex. Em todos os casos, causa um processo denominado "entupimento", onde ocorre a diminuição no processo de absorção de nutrientes, água e minerais pela planta (Asli e Neumann, 2009; Bosker *et al.*, 2019; Lian *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2020).

Os microplásticos podem causar bloqueio parcial da parede celular e das aquaporinas nas raízes, o que inibe a absorção de água, limitando a fotossíntese e reduzindo a disponibilidade de água para a planta, fator prejudicial também ao processo de germinação, quando as partículas plásticas se acumulam no tegumento da semente, obstruindo seus poros (Barnard e Calitz, 2011; Hartmann, 2022).

Plásticos do tipo PP, PVC e até mesmo os biodegradáveis podem ser absorvidos pelas células das plantas, ocasionando alterações moleculares e metabólicas. As partículas de microplásticos podem provocar alterações na biota do solo, influenciando indiretamente o desenvolvimento das plantas (Machado *et al.*, 2017; Pignattelli *et al.*, 2020; Hartmann, 2022).

5 CONCLUSÃO

As amostras coletadas neste estudo demonstraram que, mesmo em áreas de preservação ambiental, a presença de microplásticos é significativa, pois observou-se a presença de microplásticos na água depositada em todas as plantas analisadas. Esse dado indica que mesmo áreas verdes e consideradas preservadas e, menos sujeitas à poluição antrópica podem ser contaminadas por partículas de microplástico. Sua presença, reflete sua capacidade de se dispersar por longas distâncias, seja pelo vento e água.

A predominância de fibras como principal tipo de microplástico encontrado sugere a influência de fontes atmosféricas, uma vez que é O tipo de microplástico predominante foi a fibra, o que não surpreende, pois esse é o tipo mais comum na atmosfera, devido à facilidade de transporte por meio de correntes de ar. Além disso, fibras de microplásticos podem ter várias origens, incluindo a abrasão de tecidos sintéticos e o desgaste de pneus, ambos abundantes em áreas próximas a rodovias.

A coloração dos microplásticos também traz uma questão importante. A maior parte das fibras encontradas nas amostras apresentou colorações azul, preta e branca. A predominância dessas cores pode estar diretamente relacionada às fontes de emissão e ao tipo de material presente nas áreas amostradas. Por exemplo, fibras azuis são frequentemente associadas ao desgaste de roupas e têxteis sintéticos, enquanto partículas pretas podem estar ligadas ao desgaste de pneus e fontes industriais.

Microplásticos de cores mais escuras, como o preto, podem absorver mais calor, alterando a temperatura do solo e da água, o que pode prejudicar o ecossistema local. Isso é especialmente problemático em áreas preservadas, onde qualquer alteração nas condições ambientais pode ter efeitos amplificados sobre a flora e a fauna. Partículas brancas, por outro lado, podem refletir a luz, interferindo nos processos de fotossíntese das plantas e alterando o microclima da região.

Esses resultados reforçam a visão cosmopolita e crônica da presença de microplásticos em diferentes tipos de ambientes, incluindo áreas de preservação. Os microplásticos, além de carregarem toxinas e metais em suas superfícies, afetam a fisiologia das plantas ao aderirem às raízes e ao interferirem na absorção de nutrientes e água, agravando ainda mais o impacto sobre esses ecossistemas frágeis. O fato de uma área de preservação ambiental, como o Parque Estadual

Lago Azul, apresentar uma carga significativa de microplásticos, especialmente próximos à rodovia, é um alerta para a necessidade de medidas mais eficazes de controle de poluição e monitoramento ambiental.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do GEMA/UEM. A primeira autora agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de Bolsa de doutorado, o segundo autor agradece ao CNPq pela Bolsa de Produtividade (Processo CNPq nº. 308093/2023-2).

7 REFERÊNCIAS

AMADEO, F. E. **Estrutura da comunidade de insetos (Arthropoda: Insecta) associados à Aechmea distichantha Lem. (Bromeliaceae)**. 2012. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Biologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/4819>. Acesso em: 24 out. 2024.

ASLI, S. NEUMANN, P. M. Colloidal suspensions of clay or titanium dioxide nanoparticles can inhibit leaf growth and transpiration via physical effects on root water transport. **Plant Cell Environ.** v. 32, p. 577-584, 2009. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19210640/>. Acesso em: 26.jun. 2025.

BARNARD, A., CALITZ, F.J. The effect of poor-quality seed and various levels of grading factors on the germination, emergence and yield of wheat. **South African Journal of Plant and Soil**, v 28, p 23-32. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02571862.2011.10640009>. Acesso em; 26.jun. 2025.

BESLEY, A.; VIJVER, M. G.; BEHRENS, P.; BOSKER, T. A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. **Marine Pollution Bulletin**, v. 114, p. 77-83, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.055>. Acesso em: 26.jun. 2025.

BOSKER, T., BOUWMAN, L.J., BRUN, N.R., BEHRENS, P., VIJVER, M.G. Microplastics accumulate on pores in seed capsule and delay germination and root growth of the terrestrial vascular plant *Lepidium sativum*. **Chemosphere**. v. 226, p.774–781. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.163>. Acesso em: 26.jun. 2025.

ÇULLU F.A., SÖNMEZ Z., SIVRI N. Microplastic contamination in surface waters of the Küçükçekmece Lagoon, Marmara Sea (Turkey): sources and areal distribution. **Environmental Pollution**, v. 268, p. 1-12. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115801>. Acesso em: 26.jun. 2025.

DRIS, R.; GASPERI, J.; SAAD, M.; MIRANDE, C.; TASSIN, B. Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment? **Marine Pollution Bulletin**, v. 104, p. 290-293, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>. Acesso em: 26.jun. 2025.

GOEHLER, L. O. **Relevância das partículas de pneu no total de microplásticos transportados pelo escoamento superficial em uma área urbana com elevada impermeabilização**. 2022. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/3fd3d24e-e5d5-46d9-add0-8bbb97acacf3>. Acesso em: 20 mar. 2025.

GROUP OF EXPERTS ON THE SCIENTIFIC ASPECTS OF MARINE ENVIRONMENTAL PROTECTION - GESAMP. **Guidelines or the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean**. GESAMP Reports and Studies No. 99. Londres: IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA, 2019. 130 p. Disponível em: <http://www.gesamp.org/site/assets/files/2002/rs99e.pdf>. Acesso em: 26.jun. 2025.

HARTMANN, G. F. **Toxicidade de microplásticos em plantas: uma revisão crítica e boas práticas para experimentação**. 2022. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/265060>. Acesso em: 24 out. 2024.

HERMES, M. B. **Variações anatômicas, estruturais e plasticidade fenotípica em duas regiões foliares ao longo da roseta de *Aechmea distichantha* Lem. (Bromeliaceae)**. 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2017.560>. Acesso em: 26.jun. 2025.

HOLMES, L. A.; TURNER, A.; THOMPSON, R. C. Interactions between trace metals and plastic production pellets under estuarine conditions. **Marine Chemistry**. v.162. p. 25-32, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2014.06.001>. Acesso em: 26.jun. 2025.

HORTON, A. A; SVENDSEN, C; WILLIAMS R.J; DAVID J. SPURGEON, E. L. Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK – Abundance, sources and methods for effective quantification. **Marine Pollution Bulletin**, p. 218–226, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.004>. Acesso em: 26.jun. 2025.

KALČÍKOVÁ, G. Aquatic vascular plants - A forgotten piece of nature in microplastic research. **Environ Pollut**. v.262, p. 1-3, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114354>. Acesso em: 26.jun. 2025.

LIAN, J., WU, J., XIONG, H., ZEB, A., YANG, T., SU, X., SU, L., LIU, W. Impact of polystyrene nanoplastics (PSNPs) on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of hazardous materials**. v. 385, p. 1-38, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121620>. Acesso em: 26.jun. 2025.

LUO, H., LI, Y., ZHAO, Y., XIANG, Y., HE, D., PAN, X. Effects of accelerated aging on characteristics, leaching, and toxicity of commercial lead chromate pigmented microplastics. **Environmental Pollution**. v. 257, p. 1-38, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113475>. Acesso em: 26.jun. 2025.

LIU, K; WANG, X; WEI, N; SONG, Z; LI, D. Accurate quantification and transport estimation of suspended atmospheric microplastics in megacities: Implications for human health. **Environment International**. v. 132, p 105-127, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105127>. Acesso em: 26.jun. 2025.

MACHADO, S. A. A.; KLOAS, W.; ZARFL, C.; HEMPEL, S.; RILLIG, M.C. Microplastics as an emerging threat of terrestrial ecosystems. **Global Change Biology**. v.24, p.1405–1416, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14020>. Acesso em: 26.jun. 2025.

MADUREIRA, E. A. L. SILVA, A. L. C. CASTILLO, G. B. MACEDO, A. V. Poluição por micros resíduos sólidos no litoral de Limón, Caribe Sul da Costa Rica *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 18., 2019. Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2019. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/337603845_POLUICAO_POR_MICRO_RESIDUOS_SOLIDOS_NO_LITORAL_DE_LIMON_CARIBE_SUL_DA_COSTA_RICA. Acesso em: 26.jun. 2025.

MATEOS-CÁRDENAS, A.; VAN PELT, F, N.A.M.; O'HALLORAN, J.; JANSEN, M. A.K. Adsorption, uptake and toxicity of micro- and nanoplastics: Effects on terrestrial plants and aquatic macrophytes. **Environmental Pollution**. v. 284, p. 117-183, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117183>. Acesso em: 26.jun. 2025.

OLIVATTO, G. P; CARREIRA, R.; TORNISIELO, V. L; MONTAGNER, C. Microplastics: contaminants of global concern in the anthropocene. **Revista Virtual de Química**, v. 10, p. 1968-1989, 2018. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/003044894>. Acesso em: 24 out. 2024.

PIGNATTELLI, S.; BROCCOLI, A.; RENZI, M. Physiological responses of garden cress (*L. sativum*) to different types of microplastics. **The Science of the total environment**. v.727, p. 138-180, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138609>. Acesso em: 26.jun. 2025.

POMPÊO, M.; RANI-BORGES, B.; PAIVA, T. C. B. (org.). Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções. São Paulo: Instituto de Biociências, p.216, 2022a. Disponível em: <https://ecologia.ib.usp.br/portal/microplastico/>. Acesso em: 26 jun. 2025.

POMPÊO, M. MOSCHINI-CARLOS, V. LÓPEZ-DOVAL, J.C. **Aspectos da ecotoxicidade em ambientes aquáticos**. São Paulo: Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, p.274, 2022b. Disponível em: http://ecologia.ib.usp.br/portal/ecotoxicidade/index_arquivos/0_all_book_ecotoxicidade.pdf. Acesso em: 26.jun. 2025.

REYNAUD, S., AYNARD, A., GRASSL, B., GIGAULT, J Nanoplastics: From model materials to colloidal fate. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**. v.57, p. 101-128, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2021.101528>. Acesso em: 26.jun. 2025.

SZEWC, K; GRACA, B; DOLEGA, A. Atmospheric deposition of microplastics in the coastal zone: Characteristics and relationship with meteorological factors. **Science of the Total Environment**. v.761, p. 143-172, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143272>. Acesso em: 26.jun. 2025.

TALSNESS, C. E.; ANDRADE, A. J. M.; KURIYAMA, S. N.; TAYLOR, J. A.; VOM SAAL, F. S. Components of plastic: experimental studies in animals and relevance for human health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 364, p. 2079–2096, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0281>. Acesso em: 26.jun. 2025.

THOMPSON, R. C; OLSEN, Y; MITCHELL, R. P; DAVIS, A; ROWLAND, S. J; JOHN, A. W. G; MCGONIGLE, D. RUSSELL. A. E. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, v. 304, p. 838, 2004. Disponível em: <https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/science.1094559>. 26.jun. 2025.

WU, X., LIU, Y., YIN, S., XIAO, K., XIONG, Q., BIAN, S., LIANG, S., HOU, H., HU, J., YANG, J. Metabolomics revealing the response of rice (*Oryza sativa* L.) exposed to polystyrene microplastics. *Environ Pollut.* v. 266, p. 115-159, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115159>. Acesso em: 26.jun. 2025.

ZHANG, B., YANG, X., CHEN, L., CHAO, J., TENG, J., WANG, Q. Microplastics in soils: a review of possible sources, analytical methods and ecological impacts. *Journal of Chemical Technology Biotechnology*. v. 95, p. 2052–2068. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jctb.6334>. Acesso em: 26.jun. 2025.

ZHOU, J; LIU, X; JIANG, H; LI, X; LI, W; CAO, Y. Antidote or Trojan horse for submerged macrophytes: Role of microplastics in copper toxicity in aquatic environments. *Water Research*. v. 216, p. 118-354, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118354>. Acesso em: 26.jun. 2025.

Data de recebimento: 30 de outubro de 2024.

Data de aceite: 20 de maio de 2025.