

## **MICROPLÁSTICOS, ESTRESSORES AMBIENTAIS E SEUS EFEITOS EM BIVALVES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Elaine Ferreira da Silva<sup>1</sup>  
Rodrigo Ornellas Meire<sup>2</sup>  
Elisabete Barbarino<sup>3</sup>  
Francisco Fernando Lamego<sup>4</sup>

Proteção de ecossistemas e habitats

### *Resumo*

O aumento da poluição plástica atingiu dimensões enormes e atualmente é considerado como a segunda principal ameaça ambiental a nível mundial, ficando atrás apenas da crise climática. Sua influência nas alterações climáticas é notável, visto que sua fabricação gera emissões de gases que contribuem para o efeito estufa. Os microplásticos (MPs, partículas < 5 mm), atuam como vetores de poluentes químicos causando diversos efeitos danosos ao meio ambiente. Considerando a necessidade de compreender os efeitos combinados de MPs e outros estressores, centralizando nos bivalves como espécie bioindicadora de poluição no ambiente marinho, usamos as diretrizes PRISMA e o método de multicritério como apoio, para selecionar 93 artigos e compor esta revisão sistemática. Nossos resultados mostraram que diferentes espécies, polímeros, matrizes ambientais e poluentes químicos foram considerados e a maioria foi realizada em experimentos de exposição em laboratórios, um total de 68 (73,1%) dos artigos. Nesta revisão, também foi levado em conta o papel dos MPs como vetores de poluentes e a habilidade dos polímeros em adsorver diferentes compostos. O gênero mais estudado neste corpus foi o *Mytilus* spp. com um total de 40 artigos. Os danos mais frequentemente observados foram as alterações no nível histológico, genético e fisiológico, e a indicação da relação entre a extensão dos danos e a concentração, tamanho das partículas e o tipo de poluente. A acidificação oceânica exerceu influência sobre os índices fisiológicos. Nos últimos anos, houve um crescimento contínuo na pesquisa sobre MPs, entretanto, ainda há aspectos que necessitam ser mais explorados, especialmente no que diz respeito aos estressores e seus efeitos em situações ambientais.

**Palavras-chave:** microplásticos, poluentes químicos, estressores, acidificação, bivalves.

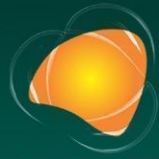
<sup>1</sup> Auna do curso de doutorado em Universidade Federal Fluminense /UFF; Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha e Ambientes Costeiros /PBMAC, [elainefs@id.uff.br](mailto:elainefs@id.uff.br).

<sup>2</sup> Prof. Dr. UFRJ - Campus Duque de Caxias, Laboratório de Estudos Ambientais Olaf Malm / IBCCF-UFRJ, [rodmeirel@gmail.com](mailto:rodmeirel@gmail.com).

<sup>3</sup> Profa. Dra. Universidade Federal Fluminense, Instituto de Biologia, Laboratório de Ecologia Cultivo e Fisiologia de Organismos Aquáticos - UFF, Niterói/RJ, [elisabetebarbarino@id.uff.br](mailto:elisabetebarbarino@id.uff.br).

<sup>4</sup> Prof. Dr. Universidade Federal Fluminense – UFF, [flamego66@gmail.com](mailto:flamego66@gmail.com)

REALIZAÇÃO



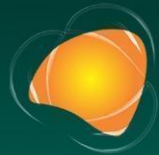
## INTRODUÇÃO

Atividades antrópicas mudam o ambiente e em determinadas situações impulsionam a poluição de sistemas aquáticos e costeiros e, não menos importante, as mudanças climáticas, que colaboram por fim para a perda disseminada da biodiversidade global. Nas últimas décadas, diversos estudos no mundo vêm constatando a ocorrência de microplásticos (MPs) no ar, solo, água, alimentos e em diversos organismos (e seus tecidos) (Zhang *et al.*, 2020). Considerada uma questão complexa, a poluição causada pelos MPs tem implicações significativas para o meio ambiente e a saúde pública (Ashrafy *et al.*, 2022; Nunes *et al.*, 2023).

Entre os organismos marinhos, os bivalves apresentam um importante papel nos serviços ecossistêmicos marinhos e estuarinos, além de contribuir na produção da indústria pesqueira globalmente. As espécies de bivalves figuram entre os recursos pesqueiros mais explorados em escala global (Pinto *et al.*, 2018). Suas características específicas permitem uma ampla distribuição espacial e elevada capacidade de filtragem. Neste contexto, esses organismos são considerados excelentes bioindicadores da poluição marinha, apresentando uma estreita associação com a saúde humana e ambiental.

O aquecimento global atua como estressor eminentemente relevante nos ecossistemas aquáticos. Projeta-se que até 2100 as temperaturas médias globais da superfície aumentem de 0,9 a 5,4 °C em relação a 1850 a 1900, assim causando um aumento na temperatura da água (IPCC, 2019). Essas mudanças afetam extremos climáticos, como ondas de calor mais frequentes e intensas, e podem causar aumento na temperatura da água (IPCC, 2019). Além dos MPs, a acidificação oceânica (AO), atua como um grave estressor ambiental. Gerada, principalmente por ações antropogênicas, onde nos últimos anos, o desmatamento e combustão de combustíveis fósseis proporcionaram preocupações substanciais, pois eleva as concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub>, resultando eventualmente à acidificação dos oceanos (Doney *et al.*, 2009).

Considerando a necessidade de compreender os efeitos combinados de MPs e outros estressores, centralizando nos bivalves como espécie bioindicadora de poluição no ambiente marinho, este estudo tem como objetivo exibir e discutir o cenário das pesquisas sobre MPs e contaminantes químicos em diversas matrizes ambientais, usando uma abordagem de revisão sistemática de literatura.



## METODOLOGIA

A revisão sistemática foi conduzida com o apoio das diretrizes da recomendação PRISMA, *Intitulada de Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*, proposto por Moher *et al.*, (2015) e Taveira *et al.*, (2018). A pesquisa foi realizada em janeiro de 2024, aplicada em quatro bases de dados (Science Direct, Web of Science, Scopus e Oasisbr). O filtro temporal foi estabelecido, envolvendo publicações compreendidas entre o período (2019-2024). As palavras-chave foram selecionadas (*Microplastic, Persistent organic pollutants, trace metals, Ocean acidification, Climate changes e Mussel or Perna perna or bivalve*). A pesquisa no banco de dados forneceu um total de 1.216 artigos. Esses artigos foram coletados e as duplicatas removidas.

Após eliminação das duplicações, restaram 739 referências, que seguiram para próxima etapa. Com a leitura dinâmica (título, palavras-chave e resumo) foram excluídos 397 artigos que não se integraram ao tema. O portfólio bruto totalizou em 342 artigos, que seguiu para aplicação do método multicritério. Este método contribui para avaliar a relevância dos artigos selecionados indicado em quatro eixos principais: artigo, autores, periódico e tema. No total 93 artigos resultaram do método aplicado e foram selecionados para compor o portfólio final desta revisão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos selecionados neste corpus avaliaram presença e/ou efeitos de MPs e poluentes químicos utilizando bivalves como bioindicador, além do impacto de outros estressores como temperatura e acidificação oceânica. Diferentes espécies, polímeros, matrizes ambientais e poluentes químicos foram considerados e a maioria foi realizada em experimentos de exposição em laboratórios. Do total de artigos revisados, 68 (73,1%) foram conduzidos em condições controladas em laboratório, demonstrando o interesse dos autores em entender a dinâmica dos MPs quando expostos a outros poluentes e seus efeitos ao organismo e 25 estudos (26,9%) atuaram em condições de campo pretendendo determinar a presença (caracterização e quantificação) de MPs e outros poluentes em bivalves e em ambiente marinho (água e sedimento). A tendência temporal dos artigos revisados destaca o ano de 2021 com o número de 24 artigos (Figura 1).



## EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

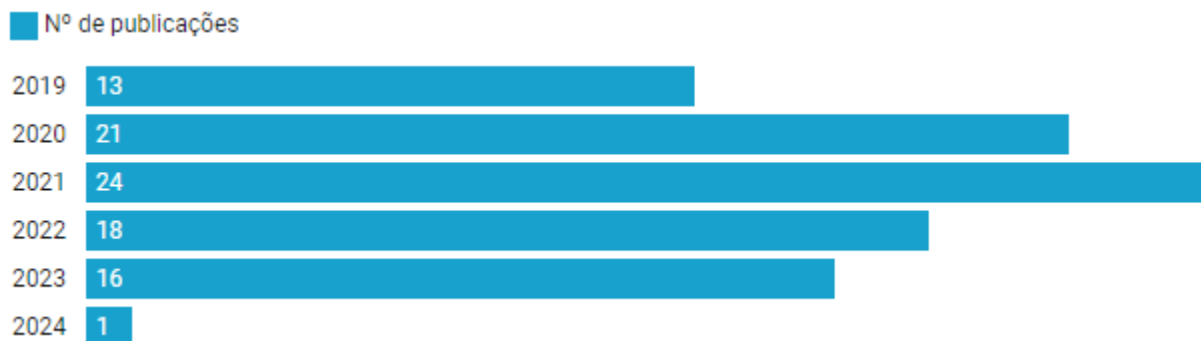
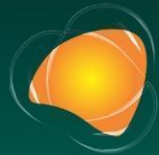


Figura 01: Tendência temporal das publicações selecionadas nesta revisão sistemática.

Quanto à localização dos estudos revisados, o maior número foi realizado na China (26 artigos, 28,0%), seguida pela Espanha (11 artigos, 11,8%), França (06 artigos, 6,5%), Índia e Itália com os mesmos resultados (5 artigos, 5,4%). A China tem se destacado em publicações referentes a MPs, assim como apresentado em outros estudos de revisão sistemática (Zhao *et al.*, 2023). Os autores apresentaram em revisão (sem limitador de tempo) 40 artigos sobre poluentes orgânicos associados a detritos plásticos, como destaque a China representou 30,0% dos estudos.

Quanto a matrizes ambientais diversas foram citadas nesta revisão, aquática (mar, lagoa e rio), sedimentos (praia e rochas) e biota (bivalves). A amostragem de MPs em matrizes ambientais aquáticas pode ser distinguida entre dois métodos principais: amostragem a granel e amostragem com volume reduzido (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012). A maioria dos estudos neste corpus utilizou a amostragem de volume reduzido, que preserva apenas as porções de interesse para a realização da amostra. Estudos com foco nos efeitos associados ao MP e um segundo estressor investigaram principalmente a transcorrência de poluentes químicos, como pesticidas ou metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e bifenilas policloradas, produtos farmacêuticos, (Álvarez-Ruiz *et al.*, 2021; Bi *et al.*, 2022; Shen *et al.*, 2022).

A mudança climática atua como estressor eminentemente relevante nos ecossistemas aquáticos. Weber *et al.*, (2020) examinaram os efeitos combinados do estresse térmico e da exposição a MPs em mexilhões de água doce, mostrando que o estresse térmico teve um impacto intenso nas suas



## EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

reservas energéticas (proteína, conteúdo de glicogênio) e marcadores de estresse oxidativo (peroxidação lipídica, capacidade antioxidante), bem como a função imune. Assim como cita Martyniuk e colaboradores (2023), a temperatura pode ter um papel crucial na capacidade do organismo de resistir a substâncias estranhas.

Diversos biomarcadores foram expressos nos artigos selecionados, principalmente os marcadores de estresse oxidativo (Webb *et al.*, 2020). O estresse oxidativo provém de um desequilíbrio entre a geração de compostos oxidantes e a atuação dos sistemas de defesa antioxidante. Neste corpus um estudo desenhado por Magara *et al.*, (2019) investigaram as mudanças comparativas nos níveis de biomarcadores de estresse oxidativo induzidos por MPs polietileno (PE) e MPs de polihidroxibutirato (PHB) bioplástico, como contaminantes individuais e como vetores potenciais para HPAs (fluoranteno). Os resultados demonstraram que os MPs de PHB modificam os níveis basais de biomarcadores relacionados ao estresse oxidativo em *Mytilus edulis*.

O gênero mais estudado neste corpus foi o *Mytilus* spp. com um total de 40 publicações. Três espécies pertencentes a este gênero foram representadas neste estudo: *Mytilus galloprovincialis* (18,7%), foi a espécie mais representada como bioindicador, seguida *Mytilus edulis* (12,1%) e *Mytilus coruscus* (6,5%) (Tabela 1). Da mesma forma, Rios-Fuster *et al.*, (2023) mostraram a representação do gênero, espécie *Mytilus galloprovincialis* (16 estudos), *Mytilus edulis* (5 estudos) e *Mytilus coruscus* (3 estudos) em revisão sistemática publicada. Com relação ao estado de maturidade das espécies, a maioria foi realizada com adultos, 4 estudos (6%) concentraram-se em otimizar as condições experimentais para expor larvas e embriões a MPs, para entender seus impactos na sobrevivência e crescimento, considerando que o sucesso de uma espécie está intimamente ligado às taxas de sobrevivência dos estágios iniciais (Huffman Ringwood, 1991).

Tabela 01: As principais espécies utilizadas evidenciadas nesta revisão.

Mussel	%
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	18,7
<i>Mytilus edulis</i>	12,1
<i>Mytilus coruscus</i>	6,5



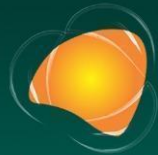
## EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

Diversos trabalhos abordam os efeitos combinados da acidificação dos oceanos (AO) e da poluição por MPs na fisiologia dos mexilhões. Como apresentado por Huang *et al.*, (2022) avaliaram os impactos desses estressores na saúde e a sobrevivência dos mexilhões *M. coruscus*. Os resultados indicaram que esse cenário reduziu a função imunológica, a força e a produção de biscoitos, resultando em maior suscetibilidade a doenças. Consta-se nestes estudos que AO exerceu influência sobre os índices fisiológicos, enquanto eles são tolerantes aos MPs. Portanto, a AO pode intensificar a toxicidade dos MPs para os mexilhões, comprometer a ingestão de alimentos, causar mudanças no sistema imune e diminuir a habilidade dos mexilhões de produzir estruturas de suporte vitais para a sobrevivência (como a qualidade dos fios de biscoitos em termos de resistência e elasticidade), com os MPs exacerbando esses impactos.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento da poluição causada pelo plástico atingiu dimensões enormes e os MPs são considerados contaminantes disseminados no ambiente, sendo detectados em todo o mundo nas diversas matrizes ambientais por diversos estudos, assim como apresentado nesta revisão. Em termos gerais, estudos têm considerado os efeitos e consequências da interação entre MPs e substâncias tóxicas, tanto em experimentos laboratoriais quanto no meio ambiente. Considerando que os MPs têm origem em diversas fontes, tanto terrestres quanto aquáticas e a análise da extensão e dos impactos associados à poluição por MPs torna-se, portanto, um campo de pesquisa multidisciplinar. Ficou evidente que diversas variáveis do polímero afetam a interação entre MPs e contaminantes, como morfologia da superfície, tamanho, concentração, independente do tempo de exposição. Estudos explorando e comparando MPs ambientais (intemperizado), com o objetivo de retratar uma situação real de exposição, ainda representa uma oportunidade a ser desenvolvida. Pesquisas demonstraram que níveis mais altos de MPs têm sido aplicados para avaliar a toxicidade em intervalos curtos, porém tais concentrações podem não ser encontradas no ambiente.

Dessa forma, é necessário avaliar os experimentos em situações reais, considerando as concentrações ambientalmente relevante e a exposição ao longo prazo. Portanto, a interação entre estressores ambientais e MPs representa um desafio que requer investigações adicionais.



## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de pós-graduação em Biologia Marinha e Ambientes Costeiros - PBMAC e a Universidade Federal Fluminense – UFF.

## REFERÊNCIAS

ÁLVAREZ-RUIZ R., PICÓ Y., CAMPO J., Bioaccumulation of emerging contaminants in mussel (*Mytilus galloprovincialis*): Influence of microplastics, **Science of The Total Environment**, Volume 796, 2021, 149006, ISSN 0048-9697, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149006.

ASIFA, A., LIZA A. A., ISLAM MD N., BILLAH MD M., ARAFAT S. T., RAHMAN MD M., RAHMAN S. M. Poluição por microplásticos: uma breve revisão de sua fonte e abundância em diferentes ecossistemas aquáticos. **Revista de Avanços de Materiais Perigosos**, v. 9, p. 100215, 2023. DOI:10.1016/j.hazadv.2022.100215.

BI C., JUNAID M., LIU Y., GUO W., JIANG X., PAN B., LI Z., XU N., Graphene oxide chronic exposure enhanced perfluorooctane sulfonate mediated toxicity through oxidative stress generation in freshwater clam *Corbicula fluminea*, **Chemosphere**, Volume 297, 2022, 134242, ISSN 0045-6535, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134242.

DONEY S.C., FABRY V.J., FEELY R.A., KLEYPAS J.A. Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem **Ann. Rev. Mar. Sci.**, 2009, pp. 169-192. DOI: 10.1146/annurev.marine.010908.163834.

HUFFMAN R. A., Short-term accumulation of cadmium by embryos, larvae, and adults of an Hawaiian bivalve, *Isognomon californicum*, **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, Volume 149, Issue 1, 1991, Pages 55-66, ISSN 0022-0981, DOI: 10.1016/0022-0981(91)90116-E.

IPCC, 2019. Summary for policymakers H.O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer (Eds.), IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.

MAGARA G., KHAN F. R., PINTI M., SYBERG K., INZIRILLO A. & CONCETTA A. E. Effects of combined exposures of fluoranthene and polyethylene or polyhydroxybutyrate microplastics on oxidative stress biomarkers in the blue mussel (*Mytilus edulis*), 2019. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, Part A, DOI: 10.1080/15287394.2019.1633451.



**EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS**

MARTYNIUK V., KHOMA V., MATSKIV T., YUNKO K., GNATYSHYNA L., STOLIAR O., FAGGIO C., Combined effect of microplastic, salinomycin and heating on *Unio tumidus*, **Environmental Toxicology and Pharmacology**, Volume 98, 2023, 104068, ISSN 1382-6689, DOI: 10.1016/j.etap.2023.104068.

MOHER, DAVID et al., Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic reviews*, v. 4, n. 1, 2015.

NUNES B. Z., MOREIRA L. B., XU E. G., CASTRO I. B., A global snapshot of microplastic contamination in sediments and biota of marine protected areas, **Science of The Total Environment**, Volume 865, 2023, 161293, ISSN 0048-9697, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.161293.

PINTO F. M., OLIVEIRA R. P. T., ROCHA A. L., ALVES N. R. R., Chapter 8 - People and Fishery Resources: A Multidimensional Approach, Editor(s): Rômulo Romeu Nóbrega Alves, Ulysses Paulino Albuquerque, **Ethnozology**, Academic Press, 2018, Pages 119-149, ISBN 9780128099131, DOI: 10.1016/B978-0-12-809913-1.00008-9.

SHEN H., NUGEGODA D., Real-time automated behavioural monitoring of mussels during contaminant exposures using an improved microcontroller-based device, **Science of The Total Environment**, Volume 806, Part 1, 2022, 150567, ISSN 0048-9697, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150567.

TAVEIRA, K. V. M. Diagnostic validity of methods for assessment of swallowing sounds: a systematic review. **Brazilian journal of otorhinolaryngology**, v.84, n. 5, p. 638-652, 2018.

WEBB S., GAW S., MARSDEN I.D., MCRAE N.K., Biomarker responses in New Zealand green-lipped mussels *Perna canaliculus* exposed to microplastics and triclosan, **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Volume 201, 2020, 110871, ISSN 0147-6513, DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110871.

WEBER A., JECKEL N., MARTIN W., Combined effects of polystyrene microplastics and thermal stress on the freshwater mussel *Dreissena polymorpha*, **Science of The Total Environment**, Volume 718, 2020, 137253, ISSN 0048-9697, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137253.

ZHAO, H.; FEDERIGI, I.; VERANI, M.; CARDUCCI, A. Organic Pollutants Associated with Plastic Debris in Marine Environment: A Systematic Review of Analytical Methods, Occurrence, and Characteristics. **Int. J. Environ. Res. Public Health**. 2023, 20, 4892. DOI: 10.3390/ijerph20064892.

ZHANG, F., MAN, Y. B., MO, W. Y., MAN, K. Y., & WONG, M. H. Direct and indirect effects of microplastics on bivalves, with a focus on edible species: A mini-review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, 2020, 50(20), 2109-2143. DOI: 10.1080/10643389.2019.1700752.