
Microplastic in tissue of marine organisms

Microplástico em tecidos de organismos marinhos

Received: 21-07-2024 | Accepted: 25-08-2024 | Published: 31-08-2024

Marcella Zicari Amaral

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5548-2922>
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: zicarimarcella@gmail.com

Marcos Bastos Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2090-9871>
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: mbastosp@gmail.com

Mônica Dias Corrêa da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6980-2114>
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: monicadias42@gmail.com

Alexandre de Freitas Azevedo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3754-9035>
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: alexandre.maqua@gmail.com

Luciano Neves dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5279-5672>
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: luciano.santos@unirio.br

Raquel de Almeida Ferrando Neves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2627-9666>
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: raquel.neves@unirio.br

ABSTRACT

Plastic microwaste pollution poses a significant threat to biodiversity and the health of aquatic and terrestrial ecosystems. Microplastics (MPs) are synthetic polymers less than 5mm in size and currently classified as emerging contaminants. They are considered a global problem due to their ubiquity, infeasibility of substantial removal from the environment and exposure, and almost irreversible effects. Marine filter-feeding organisms are widely used in analyzing the occurrence of MPs due to their ecological and commercial importance. This work presents a literature review on the effects of bioaccumulation of plastic microwaste in the tissues of aquatic filter-feeding organisms, mainly bivalves. The data analyzed in the present study conclude that MPs have a high capacity for contamination and bioaccumulation, negatively influencing the quality of life of the biota. Its effects are related not only to physiological buffering in organisms but also to toxicity due to the release of compounds present in incorporated plastic particles, and the transport of various pollutants into the environment.

Keywords: Microplastics; Bioaccumulation in animal tissues; Marine filter-feeding organisms; Bivalves

RESUMO

A poluição por microlixo plástico representa uma ameaça significativa para a biodiversidade e a saúde dos ecossistemas aquáticos e terrestres. Microplásticos (MPs) são polímeros sintéticos com tamanho inferior a 5mm e classificados atualmente como contaminantes emergentes. São considerados uma problemática global devido a sua onipresença, inviabilidade de remoção substancial do ambiente e exposição, e efeitos quase irreversíveis. Organismos marinhos filtradores são muito utilizados na análise de ocorrência de MPs pela sua importância ecológica e comercial. Este trabalho apresenta uma revisão de literatura sobre os efeitos da bioacumulação de microlixo plástico em tecidos de organismos aquáticos filtradores, principalmente os bivalves. Os dados analisados no presente estudo concluem que os MPs possuem alta capacidade de contaminação e bioacumulação, influenciando negativamente a qualidade de vida da biota. Seus efeitos estão relacionados não só ao tamponamento fisiológico nos organismos como também a toxicidade devido à liberação de compostos presentes nas partículas plásticas incorporadas, e ao carregamento de poluentes diversos circundantes no ambiente.

Palavras-chave: Microplásticos; Bioacumulação em tecidos de animais; Organismos marinhos filtradores; Bivalves

INTRODUÇÃO

O oceano, ao mesmo tempo que é uma fonte inestimável de recursos naturais, tem sido constantemente afetado por estressores diversos. Entre estes estressores, destacam-se a poluição oriunda de fontes terrestres e marítimas, a sobrepesca, os efeitos decorrentes da mudança climática, como a acidificação oceânica e o aumento do nível dos mares, a erosão costeira e a degradação de habitats (Devault *et al.*, 2021). Por reconhecer o papel central do oceano para a vida no planeta, a comunidade internacional tem dedicado cada vez mais atenção à conservação do oceano. Nesse sentido, a Organização das Nações Unidas (ONU) declarou a Década do Oceano, de 2021 a 2030, visando apoiar esforços para reverter o ciclo de declínio na saúde do oceano (UNESCO, 2020).

Em 2018, a secretaria geral da ONU enfatizou que, durante um ano, mais de oito milhões de toneladas de plástico e microplásticos estão indo parar no ambiente marinho. Isto indica que a poluição por estes resíduos é uma questão de extrema relevância sob o ponto de vista ambiental e socioeconômico, além de ser consequência principalmente da má gestão dos resíduos sólidos, dentre outros fatores oriundos do desenvolvimento econômico (Década Da Ciência Oceânica Brasil, 2020).

O lixo marinho pode afetar os ecossistemas costeiros e marinhos em todo o mundo (Galgani *et al.*, 2019), onde 60 a 79% deste lixo é plástico (Tekman *et al.*, 2023). Com o aumento da apreensão sobre as consequências ecológicas da presença de tais partículas em diferentes ecossistemas, os estudos envolvendo os resíduos plásticos foram incorporando novos conceitos e o termo microplástico (MP) foi introduzido em 2004 (Thompson, 2004; Andrady, 2011; Montagner *et al.*, 2021). Considerando sua elevada persistência e resistência, além das taxas crescentes de lixo encontrado no ambiente, a poluição por MPs tem sido reconhecida como um problema global emergente, representando um dos desafios ambientais mais significativos do século (Henderson & Green, 2020).

A América Latina é responsável por 8% do consumo global de material plástico e produz mais de 17 mil toneladas por dia do lixo plástico (Programa das Nações Unidas para o Ambiente, 2024). O Brasil é considerado o quarto maior produtor de resíduos do mundo, produzindo 79 milhões de toneladas por ano, sendo que 11,7% representam resíduos plásticos (Zamora *et al.*, 2020). É estimado que a produção global de plástico tenha crescido significativamente nos últimos anos, de 1,5 milhões de toneladas em 1950 para 390 milhões de toneladas em 2021 (Ali *et al.*, 2023).

A disseminação de MPs no meio ambiente geralmente está associada a atividades antrópicas, uso e densidade populacional. Entretanto, as suas características e os fatores ambientais também são elementos importantes que influenciam e controlam a distribuição e presença destes polímeros nas matrizes ambientais (Wang *et al.*, 2017). Por apresentarem vantagens econômicas e de aplicabilidade, os MPs são amplamente empregados em todos os setores da sociedade moderna, porém suas propriedades químicas e físicas os tornam mais propensos a serem descartados, flutuarem em meios aquáticos e permanecerem persistentes no ambiente tornando-os um risco ambiental (Laist, 1987; Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012; Machado *et al.*, 2021).

De acordo com a definição proposta pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) em 2015, microplásticos (MPs) são polímeros sintéticos com tamanho inferior a 5mm e classificados atualmente como contaminantes emergentes (Masura *et al.*, 2015; Richardson & Kimura, 2016; Bläsing & Amelung, 2018; Shen *et al.*, 2019). São subprodutos de processos industriais, utilizados em produtos de limpeza facial e limpeza geral, cosméticos, líquidos de perfuração e abrasivos industriais (Derraik 2002; Thompson *et al.*, 2009), compondo cerca de 80% dos resíduos encontrados no oceano (Landon-Lane, 2018). São leves, impermeáveis e duráveis, podem ser formulados para serem rígidos ou flexíveis, transparentes ou coloridos, e de baixo custo (Spinacé & De Paoli, 2005; Do Sul & Costa, 2014; Phuong *et al.*, 2018, Meng *et al.*, 2020).

Os questionamentos sobre o microplástico como um importante poluente marinho foi apontado inicialmente por Thompson *et al.* (2004), onde foi avaliado a presença de minúsculos fragmentos de degradação de materiais plásticos no ambiente marinho. A partir de então, a presença destes poluentes no ecossistema se tornou uma das maiores problemáticas ambientais da atualidade, tendo em vista o crescimento constante e intenso da atividade antrópica no ambiente aquático (Koelmans *et al.*, 2019).

O gerenciamento inadequado de resíduos sólidos faz com que os MPs sejam considerados uma problemática global devido a sua onipresença, inviabilidade de remoção substancial do ambiente e, então, exposição e efeitos quase irreversíveis (Villarrubia-Gómez *et al.*, 2018; Gatrell & Lovett, 2021). Sua ocorrência no ecossistema marinho é um risco ambiental crescente devido a sua lenta degradabilidade (Walker, 2021), sua biodisponibilidade para ingestão por organismos (Jiang, 2018) e sua capacidade de absorver, transportar e transferir para os organismos poluentes ambientais (Claessens *et al.*, 2011).

Os efeitos toxicológicos dos MPs no organismo estão relacionados com o seu potencial de toxicidade devido à liberação de compostos presentes nas partículas plásticas incorporadas nos mesmos durante sua fabricação e ao seu potencial para absorver contaminantes circundantes no ambiente. Portanto, os MPs podem atuar como rotas para esses contaminantes, que podem ser potencialmente ingeridos pelos organismos, resultando na sua bioacumulação e biomagnificação (Ma *et al.*, 2020; Huang *et al.*, 2020).

Vários impactos causados pela poluição por MPs foram identificados na biota marinha em todo o mundo (Beaumont *et al.*, 2019). Além da poluição física, estes detritos podem liberar aditivos químicos e fixar contaminantes orgânicos que induzem toxicidade à biota, alteram o funcionamento do ecossistema, contaminam frutos do mar e prejudicam a saúde humana (Panti *et al.*, 2017; Barboza *et al.*, 2020; Le Bihanic *et al.*, 2020; Naveira *et al.*, 2021; Miralha *et al.*, 2024). A ingestão de MPs por seres aquáticos pode causar danos físicos, como abrasões e bloqueios internos nos sistemas digestivo e respiratório (Au *et al.*, 2017), resultando em alimentação reduzida, lesões e até morte (Desforges *et al.*, 2015). Quando ingeridos por organismos filtradores, estes poluentes podem ser retidos nas células epiteliais do trato intestinal e até se moverem pela parede intestinal para o sistema circulatório (Santana *et al.*, 2016; Vieira *et al.*, 2021).

Organismos filtradores, especialmente os bivalves, são considerados organismos-modelo para avaliar impactos antropogênicos, como a poluição marinha, devido a sua alimentação por filtração e ao fato de serem organismos sésseis, os quais os expõem diretamente aos poluentes na coluna d'água (Zanette, 2011; Van Cauwenberghe & Janssen, 2014; Bayen & Patterson *et al.*, 2021). Ademais, estes organismos são muito utilizados na análise de ocorrência de MPs pela sua importância ecológica e comercial e, como se alimentam através de filtração, como supracitado, estão mais propícios a ingerirem e bioacumularem estes materiais (Teng *et al.*, 2019).

O processo de bioacumulação de MPs tem sido motivo de grande preocupação, pois uma vez acumulados no tecido animal, podem ser transferidos para seres de níveis tróficos mais elevados através da cadeia alimentar, incluindo seres humanos, de modo que as toxinas contidas no animal contaminado podem ser absorvidas via dieta (Vethaak & Leslie, 2016; Miller *et al.*, 2020). Além disso, as pesquisas sobre determinação e quantificação de MPs têm crescido nas últimas duas décadas, evidenciando que essas partículas plásticas são onipresentes no meio ambiente, visto que sua presença já foi relatada em áreas remotas do planeta (Peng *et al.*, 2018).

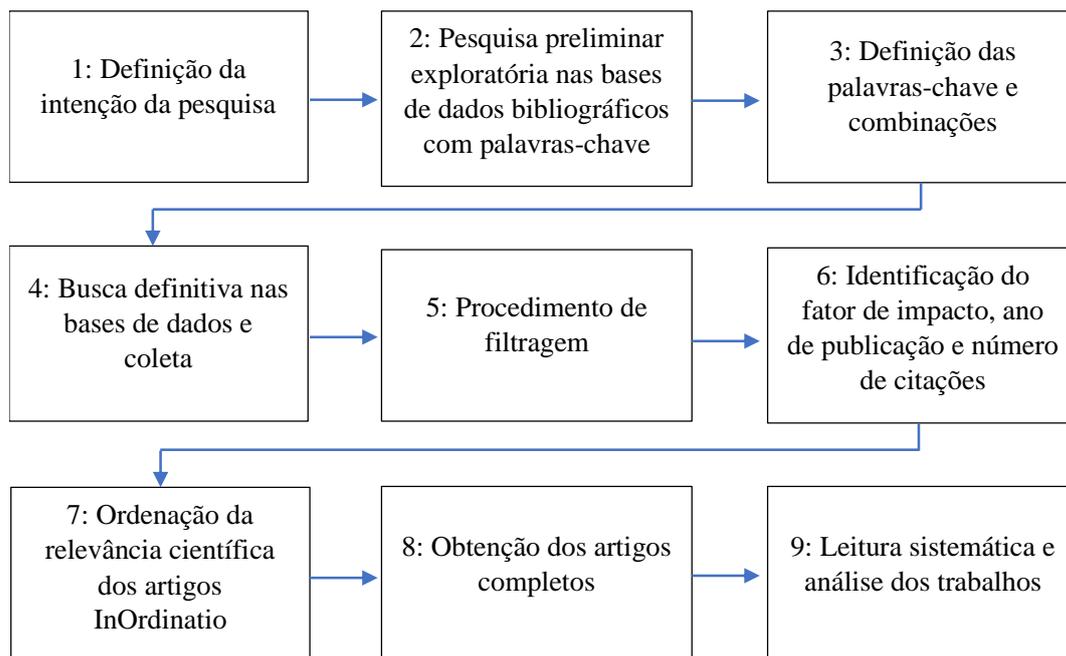
O presente estudo apresenta como objetivo levantar dados disponíveis sobre os efeitos da bioacumulação de microlixo plástico em tecidos de organismos aquáticos filtradores, principalmente os bivalves.

METODOLOGIA

Este estudo foi concebido como uma revisão de literatura e servirá de base para uma pesquisa aplicada de bioacumulação de microplástico em tecidos de bivalves, principalmente da espécie *Nodipecten nodosus* (vieiras).

Para a revisão da literatura foi utilizado o Methodi Ordinatio (M.O.), uma metodologia multicritério de tomada de decisão proposto por Pagani *et al.* (2015) para seleção de trabalhos científicos priorizando fator de impacto, ano de publicação e número de citações (Pagani *et al.*, 2018). Para a composição deste estudo foram realizadas 9 etapas desta metodologia (Figura 1).

Figura 1 – Etapas para realização do Methodi Ordinatio.



Fonte: Adaptado de Pagani, R. N., Kovaleski, J. L., & Resende, L. M. (2015).

Foram avaliados trabalhos científicos em idioma português e inglês, que abordaram os efeitos da bioacumulação de microlixo plástico no ambiente aquático e em tecidos de animais marinhos, principalmente os bivalves.

A análise da bibliografia levantada foi executada mediante busca de pesquisas nas bases Google Acadêmico, Science Direct, Scielo e Periódico Capes a respeito de trabalhos relacionados aos conceitos fundamentais sobre microlixo plástico, organismos marinhos filtradores e a influência desse poluente quando ingeridos por tais seres aquáticos. Os descritores utilizados para o levantamento bibliográfico foram: Microplásticos, organismos marinhos filtradores, bivalves e efeitos da bioacumulação do microlixo plástico, tendo em vista o levantamento teórico sobre o tema deste estudo e pesquisas que ofereçam suporte para a caracterização da bioacumulação de microlixo plástico em tecidos de animais marinhos.

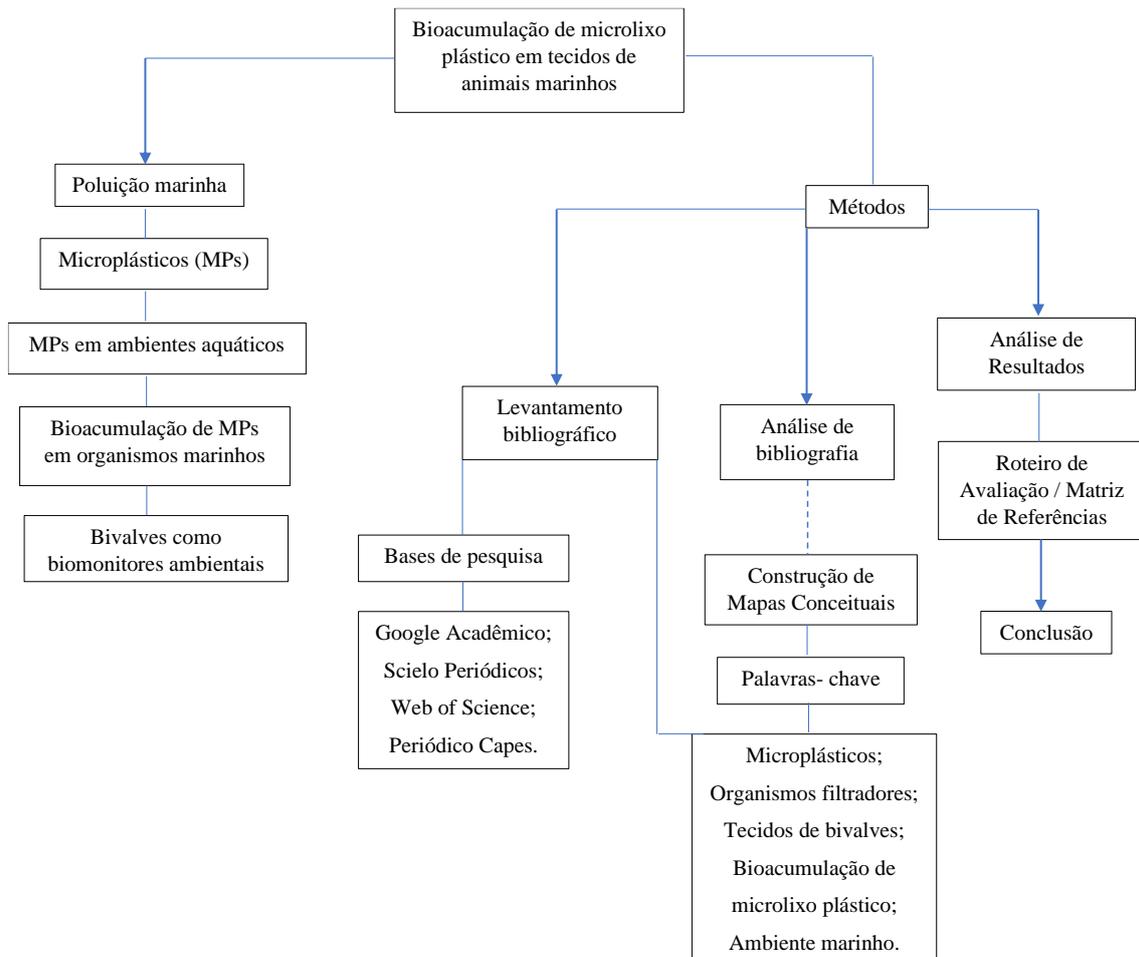
Para interpretação do material pesquisado foi realizada uma avaliação através da leitura inicial dos resumos averiguando a adequação dos mesmos a este estudo, para então seguir um roteiro de análise destacando as informações referentes ao título, ano e fonte de publicação, objetivos, e resultados ou conceitos destacados (Tab. I).

Tabela 1 – Exemplo de roteiro de avaliação adotado.

Título	Autor	Ano	Tipo de publicação	Informações relevantes
Evidence of plastics contamination and sewage-derived residues in a Brazilian Hope Spot for conservation of marine biodiversity - Cagarras Islands and surrounding Waters.	Neves, R.A., <i>et al.</i>	2024	Marine Pollution Bulletin	A poluição plástica pode afetar drasticamente a pesca através de perdas na produção de peixe e na biodiversidade marinha, o que pode levar a prejuízos sociais e econômicos para os pescadores artesanais.
Gestão Ambiental na Zona Costeira Fluminense: avaliação do potencial de resiliência ambiental e da potencialidade de serviços ecossistêmicos da Baía de Ilha Grande (BIG).	Corrêa-Silva, M.D.	2023	Tese de Doutorado	Alerta ambiental gerado na Baía de Ilha Grande apontando concentração de microplástico disperso na coluna d'água na região.

Fonte: Adaptado de Corrêa-Silva (2023).

Conforme apresentado na figura 2, um mapa conceitual foi construído destacando a abordagem metodológica adotada para o presente trabalho (Moreira & Rosa, 1986; Tavares, 2007, Corrêa-Silva, 2023).

Figura 2 – Mapa conceitual metodológico.

Fonte: Os autores, 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma pesquisa de caráter exploratória tem por objetivo aprimorar e/ou construir hipóteses, validar instrumentos e proporcionar maior familiaridade com o problema em evidência (Gerhardt & Silveira, 2009). Tal pesquisa visa a um apanhado geral sobre o tema em questão (Franco & Dantas, 2017). No presente trabalho foram abordadas e avaliadas 100 referências, sendo 90 artigos científicos publicados em revistas indexadas, 1 tese de doutorado, 5 publicações em sites oficiais e 4 publicações em livros científicos. Acerca do idioma, 86% das referências levantadas foram publicados em inglês e 14% em português.

Foram construídos quatro mapas conceituais intitulados:

- i. As etapas do Methodi Ordinatio;
- ii. Mapa conceitual metodológico;

- iii. Mapa conceitual do impacto de microlixo plástico pela ingestão por organismos marinhos;
- iv. Mapa conceitual dos efeitos da bioacumulação de MPs em tecidos de organismos filtradores.

Os mapas conceituais se mostraram uma importante ferramenta de organização e representação do conhecimento de forma visual. Eles auxiliaram na elucidação e elaboração deste trabalho, estruturando informações complexas, relacionando conceitos e suas interconexões de maneira clara e intuitiva. Esta ferramenta ilustrativa é descrita por Moreira & Rosa (1986) como representações equivalentes a diagramas, que retratam visualmente e organizam os conceitos abordados na pesquisa para seu esclarecimento, apontando correlações entre conceitos e palavras.

Impacto do microlixo plástico em ambiente marinho

A poluição ambiental gerada pelos resíduos plásticos tem crescido demasiadamente nos últimos anos, e como resultado de sua degradação, temos uma grande quantidade de acúmulo de micropartículas plásticas no ambiente. Estes poluentes geram intensa preocupação, visto que representam uma ameaça ambiental, podendo ser ingeridos pela biota, e conseqüentemente ocasionando danos físicos e biológicos nos organismos marinhos (Ogonowski *et al.*, 2018). Apesar do alerta científico sobre os problemas oriundos da poluição por MPs, a quantidade desses resíduos gerados continua aumentando significativamente no meio ambiente, e a produção plástica industrial permanece crescendo diariamente (Oliveira *et al.*, 2013). Em estudo realizado por Neves *et al.* (2024) nas Ilhas Cagarras no Rio de Janeiro, um total de 35 Kg de lixo marinho foi coletado por pescadores artesanais em um período de 7 meses, onde os plásticos representaram cerca de 79% da massa total, correspondendo a 27 Kg. Em parte das amostras capturadas pelos, constatou-se a ocorrência de invertebrados aderidos, como bivalves da espécie *Nodipecten* sp. Já em trabalho realizado por Corrêa-Silva (2023) na Baía de Ilha Grande, foi gerado um alerta ambiental apontando uma concentração de microplástico disperso na coluna d'água na região, onde todas as estações apresentavam ocorrência microlixo plástico, incluindo estações sem interferência antrópica direta.

A interação mais provável entre os MPs e os organismos aquáticos é a ingestão. Quando ingeridas, estas micropartículas possuem a capacidade de bloquear o intestino, diminuir os níveis de hormônios esteróides, interferir na reprodução, impedir o

crescimento e reduzir a absorção de nutrientes pelo organismo (Gallagher *et al.*, 2016). Esta hipótese de impacto na reprodução da biota pode resultar em diminuição da prole, e até mesmo acarretar na extinção de muitas espécies (Da Silva, *et al.*, 2021).

Espécies de cetáceos, principalmente as baleias, são suscetíveis à ingestão de MPs (Simmonds, 2012). A contaminação por estes detritos ocorre através da ingestão de água durante o processo alimentar de filtração, ou por transferência trófica (Lusher *et al.*, 2015; Fossi *et al.*, 2016). Por não apresentarem mecanismo alimentar seletivo, há uma alta probabilidade dos MPs dispersos na superfície da água serem ingeridos por esses animais acidentalmente, o que pode gerar danos nos processos digestivos e obstrução do trato gastrointestinal, e eventualmente obstrução do aparato de filtragem (Besseling *et al.*, 2015; Simmonds, 2012).

O microlixo plástico também ameaça espécies em conservação como as tartarugas marinhas, visto que estes animais são expostos aos contaminantes através da ingestão direta ou indireta desses detritos plásticos (Duncan *et al.*, 2019). A ingestão acidental, ou direta, pode ocorrer quando os MPs se encontram misturados ou aderidos a alimentação, já a ingestão indireta ocorre através do consumo de presas previamente contaminadas com estes micropoluentes (Nelms *et al.*, 2016; Caron *et al.*, 2018). De acordo com Nelms *et al.* (2016), o efeito adverso causado por esses poluentes ao sistema digestivo das tartarugas são obstrução do trato intestinal, redução do estímulo alimentar e diminuição da capacidade estomacal, e conseqüentemente pode ocasionar desnutrição e, ainda levar o indivíduo a morte. O grande acúmulo de MPs no intestino destes animais, também pode alterar o comportamento da natação e interferir na flutuabilidade do animal, influenciando negativamente na atividade predatória e na capacidade de escapar de predadores, além de interferir na taxa de crescimento, fecundidade, fertilidade e sistema imunológico. Neste último caso, esta alteração pode resultar em susceptibilidade a doenças, como por exemplo, a fibropapilomatose (Guzzetti *et al.*, 2018).

Peixes são amplamente utilizados como bioindicadores de resposta aos MPs (Khan *et al.*, 2015; Mak *et al.*, 2019; Malafaia *et al.*, 2020). Estes organismos são geralmente contaminados durante a sua atividade alimentar normal, de forma direta ou indireta, entretanto, há outras vias nas quais estes poluentes se tornam prejudiciais a esses animais (Caixeta *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2020). Muitos peixes se alimentam de organismos planctônicos, e como estratégia alimentar, aspiram grande volume de água para então ingerir vários itens ao mesmo tempo, no entanto, esta estratégia de captura

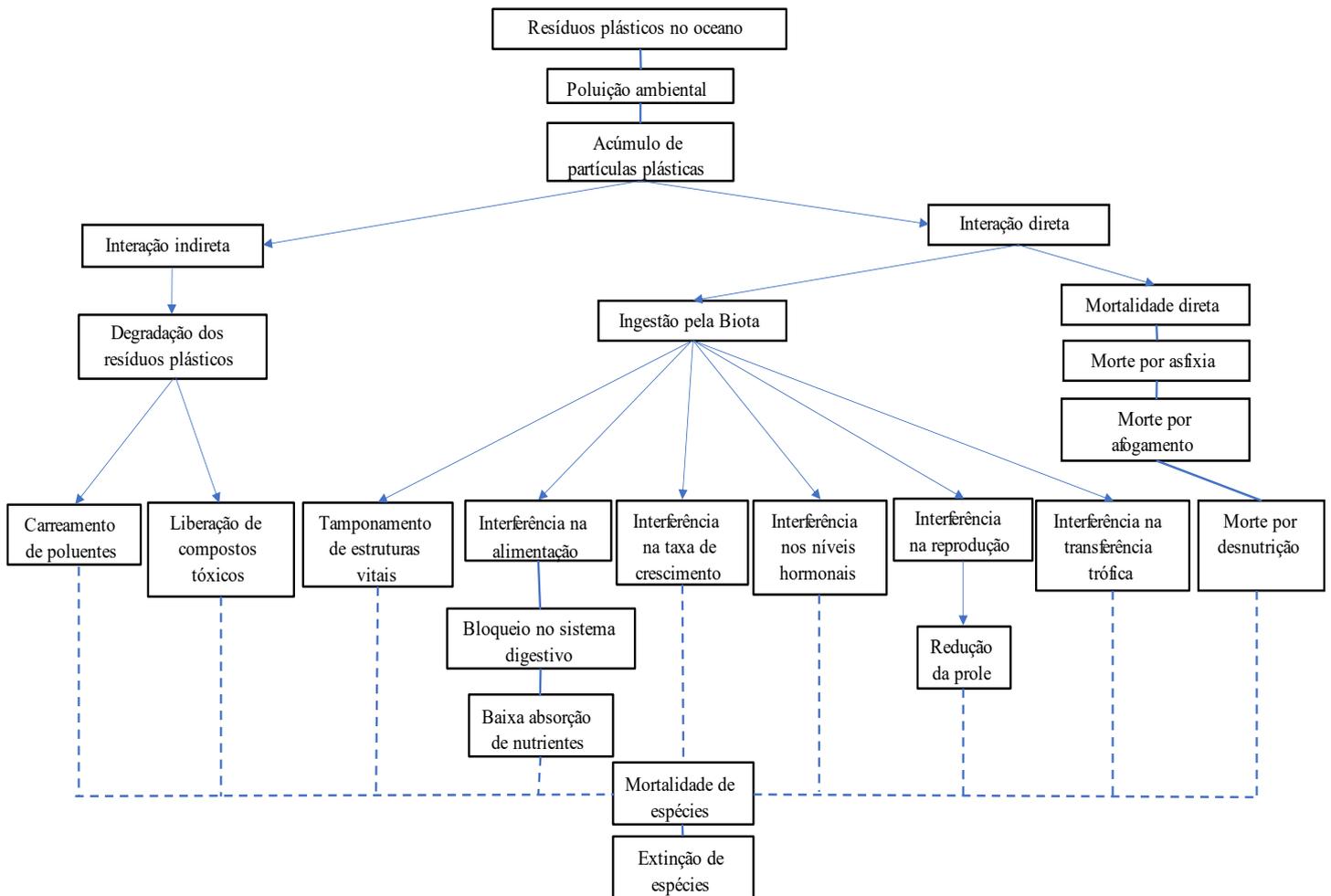
torna-se prejudicial, uma vez que os detritos plásticos dispersos no meio podem ser engolidos acidentalmente durante o processo.

Apesar de possuir paladar bem desenvolvido, muitas espécies de peixes não conseguem distinguir MPs de presas comestíveis, resultando na ingestão acidental destes poluentes (Ory *et al.*, 2018). A ingestão destes fragmentos plásticos pode danificar ou bloquear o trato gastrointestinal, gerar respostas inflamatórias, reduzir o crescimento, originar danos oxidativos, causar lesões celulares, desregular o sistema endócrino ou até mesmo suprimir a capacidade de energia do animal (Horton *et al.*, 2017). Em estudo realizado por Lei *et al.* (2018), foi observado que MPs do tipo polietileno, poliestireno e cloreto de polivinila causaram danos intestinais, rachaduras em vilosidades e divisão de enterócitos. Já em estudos experimentais de laboratório e de campo, foi revelado que micropartículas de poliestireno (90 μm) inibem a eclosão e diminuem as taxas de crescimento em larvas de determinadas espécies de peixes (Lönnerstedt & Eklöv, 2016).

A presença de MPs no organismo de antozoários pode resultar em alterações do processo digestivo devido ao acúmulo desses resíduos entre os tecidos do mesentério. Após a ingestão desses poluentes, a digestão de presas naturais se torna mais difícil (Hall *et al.*, 2015), e ainda pode resultar em maior produção de radicais livres (Allen *et al.*, 2017), com consequente aumento do estresse oxidativo que causa danos às proteínas, lipídios e DNA das células (Rocha *et al.*, 2020). Em estudo experimental realizado por Diana *et al.* (2020), foi observado que a ingestão de MPs pode alterar o comportamento alimentar das anêmonas, visto que o tempo de retenção de pellets frescos foi significativamente maior que o tempo de retenção dos pellets ingeridos, sequencialmente na etapa de realimentação.

Além da série de efeitos prejudiciais que os MPs podem causar nos organismos marinhos, o processo de bioacumulação também ganha destaque, visto que quando acumulado no tecido animal, estes resíduos podem ser transferidos para seres de níveis tróficos mais elevados pela cadeia alimentar, incluindo seres humanos, de modo que as toxinas contidas no indivíduo contaminado podem ser absorvidas através da dieta (Vethaak & Leslie, 2016; Miller *et al.*, 2020) (Figura 3).

Figura 3 – Mapa conceitual do impacto de microlixo plástico pela ingestão por organismos marinhos.



Fonte: Os autores, 2024.

Bioacumulação de microlixo plástico em tecidos de organismos filtradores

Do mesmo modo que há os impactos físicos pela ingestão de MPs, há vários compostos orgânicos persistentes tóxicos associados a estes poluentes que demonstraram acumular-se nos tecidos gordos dos organismos marinhos (Batel *et al.*, 2016). O pesticida DDT (diclorodifeniltricloroetano) e os produtos de decomposição associados são alguns dos poluentes mais comuns encontrados absorvidos na superfície dos plásticos recolhidos nas águas costeiras (Van *et al.*, 2012).

Por sua característica alimentar de filtração, os bivalves são extremamente susceptíveis aos MPs e muito utilizados no biomonitoramento destes resíduos, já que filtram um grande volume de água e, conseqüentemente, estão expostos diretamente a estes poluentes presentes na coluna d'água (Li *et al.*, 2018; Teng *et al.*, 2019). Os MPs

podem ser ingeridos pelos bivalves de forma direta ou acidentalmente, pois são confundidos com alimentos (Avio *et al.*, 2015; Gallagher *et al.*, 2016). A ingestão dessas partículas pode acabar causando estresse nesses organismos como uma falsa sensação de saciedade, bloqueio da produção de enzimas, complicações reprodutivas, redução do crescimento, alteração nas taxas de respiração e filtração e problemas na formação de pérolas (Galloway & Lewis, 2016; Fu *et al.*, 2022; Gardon *et al.*, 2023), prejudicando a base das cadeias alimentares marinhas e levando ao acúmulo de substâncias tóxicas nas cadeias alimentares (Carbery *et al.*, 2018).

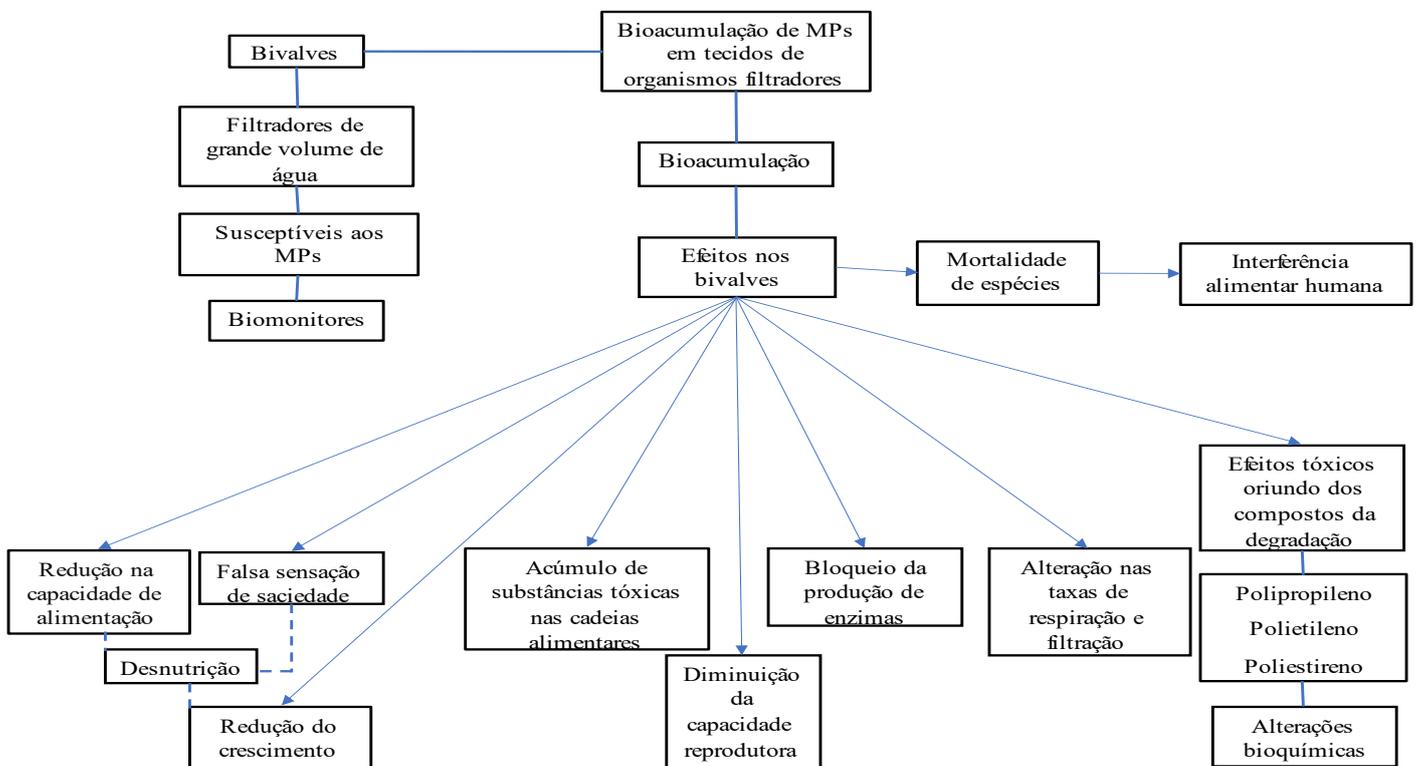
Sussarellu *et al.* (2016) detectaram como consequência da ingestão de MPs uma diminuição da capacidade reprodutora e da fecundidade da ostra *Crassostrea gigas*. Entretanto, é preciso considerar que o impacto biológico da ingestão destas partículas não é imediato, podendo ocorrer apenas após um determinado tempo de exposição dos organismos a estes detritos, até estes causarem um distúrbio suficiente para impedir uma resposta fisiológica. Os efeitos da ingestão de MPs por *C. gigas* só foram detectados após 2 meses (Sussarellu *et al.*, 2016).

Em relação às possíveis alterações bioquímicas nos bivalves provocadas pela exposição aos MPs, Revel *et al.* (2020) analisaram os efeitos do acúmulo e potencial toxicidade de polipropileno (PP) e polietileno (PE) em *Crassostrea gigas*. Os biomarcadores utilizados foram alterações teciduais e imunológicas, defesa antioxidante e danos ao DNA. Os MPs foram detectados e quantificados nos tecidos da ostra (glândula digestiva, brânquias e outros tecidos) e biodepósitos (fezes e pseudo-fezes). Não foi observada nenhuma alteração significativa nos biomarcadores em ostras que ficaram expostas durante 10 dias a uma mistura de PP e PE, com vários formatos e ampla faixa de tamanho. Em revisão sobre o tema realizada por Li *et al.* (2019) foi destacado que grande parte dos ensaios sobre MPs em bivalves utiliza níveis de exposição altos, os quais não representariam as condições no ambiente.

Em estudos realizados por Browne *et al.* (2008) e Von Moos *et al.* (2012) com mexilhões *in vivo*, foi observado que micropartículas plásticas de poliestireno e polietileno são capazes de se deslocar da cavidade intestinal para a corrente sanguínea, entrar nas células e então causar efeitos negativos a nível celular e tecidual. Sabendo que detritos plásticos possuem a capacidade de se acumular nesses organismos, o consumo destes por inteiro, ignorando a remoção do intestino, podem ser uma rota de exposição para o ser humano (Cho *et al.*, 2021).

Bivalves contaminados com microplásticos bioacumulados, como mexilhões, ostras ou vieiras, quando ingeridos pelo homem, representam um risco para a saúde, pois as substâncias tóxicas presentes nos microplásticos podem ser liberadas no corpo humano durante a digestão. Além disso, os microplásticos podem causar danos mecânicos ao trato digestivo humano e potencialmente servir como veículos para contaminantes químicos persistentes. Embora as pesquisas sobre os efeitos diretos dos microplásticos na saúde humana ainda estejam em estágios iniciais, há preocupações crescentes sobre os potenciais impactos adversos à saúde que podem surgir da ingestão destes poluentes através da alimentação (Figura 4).

Figura 4 – Mapa conceitual dos efeitos da bioacumulação de MPs em tecidos de organismos filtradores.



Fonte: Os autores, 2024.

Ainda não há entendimento na literatura quanto a viabilidade da utilização de bivalves para o monitoramento de poluição por MPs. Segundo Cho *et al.* (2021), os bivalves podem ser utilizados para monitorar a poluição por MPs, visto que bioacumulam tais resíduos com as mesmas características daqueles presentes na água. Isto já seria suficiente para considerá-los bons biomonitores, entretanto, também foi reconhecido que ainda é necessário realizar monitoramentos mais abrangentes, considerando várias matrizes ambientais, de forma que os dados sejam consistentes e comparáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste compilado foi observado que os microplásticos possuem uma alta capacidade de contaminação, influenciando negativamente a qualidade de vida da biota, com efeitos adversos que podem resultar em sérios danos na fisiologia do animal, principalmente no que se refere a obstrução e bloqueio do trato digestivo. Notou-se também que a principal via de interação dos MPs com os organismos marinhos ocorre através da ingestão de detritos plásticos dispersos na água ou acumulado em presas previamente contaminadas.

Quanto ao monitoramento de poluição por MPs, a utilização de bivalves ainda é questionável. Apesar de poderem acumular MPs devido a sua alimentação filtradora, a ingestão desse tipo de poluente depende do tamanho e do formato das partículas ingeridas. Portanto, a viabilidade dos bivalves como biomonitores de MPs dependerá do objetivo do estudo, visto que eles são úteis para determinar as características dos MPs presentes no ambiente, mas são menos indicados para estimar as concentrações relativas desses resíduos no ambiente. Porém, a identificação dos MPs e o seu monitoramento nas mais diversas regiões podem ajudar a compreender a origem e a tomar medidas preventivas para a propagação desses contaminantes.

Os artigos analisados, além de apresentarem informações de extrema importância sobre os aspectos negativos dos MPs, se agregados a novas pesquisas podem favorecer uma compreensão mais detalhada sobre o tema abordado, e contribuir com a colaboração de novas propostas de políticas públicas para uma melhor gestão desses resíduos que trazem diversas consequências.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Oceanografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (FAOC) pelo apoio na execução deste trabalho e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ (E-26/202.725/2023) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

Ali, W. et al. Polylactic acid synthesis, biodegradability, conversion to microplastics and toxicity: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 21, n. 3, p. 1761-1786, 2023.

Allen, A.S.; Seymour, A.C.; Rittschof, D. Chemoreception drives plastic consumption in a hard coral. **Marine Pollution Bulletin**, v. 124, n. 1, p. 198-205, 2017.

Andrady, A.L. Microplastics in the marine environment. **Marine pollution bulletin**, v. 62, n. 8, p. 1596-1605, 2011.

Au, S.Y. et al. Trophic transfer of microplastics in aquatic ecosystems: identifying critical research needs. **Integrated environmental assessment and management**, v. 13, n. 3, p. 505-509, 2017.

Avio, C.G. et al. Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. **Environmental pollution**, v. 198, p. 211-222, 2015.

Barboza, L.G.A. et al. Bisphenol A and its analogs in muscle and liver of fish from the North East Atlantic Ocean in relation to microplastic contamination. Exposure and risk to human consumers. **Journal of hazardous materials**, v. 393, p. 122419, 2020.

Batel, A. Linti, F., Scherer, M., Erdinger, L., & Braunbeck, T. Transfer of benzo [a] pyrene from microplastics to *Artemia nauplii* and further to zebrafish via a trophic food web experiment: CYP1A induction and visual tracking of persistent organic pollutants. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 35, n. 7, p. 1656-1666, 2016.

Beaumont, N.J., Aanesen, M., Austen, M.C., Børgner, T., Clark, J.R., Cole, M., Hooper, T., Lindeque, P.K., Pascoe, C., Wyles, K.J. Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. **Marine pollution bulletin**, v. 142, p. 189-195, 2019.

Besseling, E., Foekema, E. M., Van Franeker, J. A., Leopold, M. F., Kühn, S., Rebolledo, E. B., Hebe, E., Mielke, L., Ijzer, J., Kamminga, P., & Koelmans, A.A. Microplastic in a macro filter feeder: humpback whale *Megaptera novaeangliae*. **Marine pollution bulletin**, v. 95, n. 1, p. 248-252, 2015.

Bläsing, M., & Amelung, W. Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. **Science of the total environment**, v. 612, p. 422-435, 2018.

Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R. C. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). **Environmental science & technology**, v. 42, n. 13, p. 5026-5031, 2008.

Caixeta, D., Caixeta, F. C., & Menezes Filho, F. Nano e microplásticos nos ecossistemas: impactos ambientais e efeitos sobre os organismos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, 2018.

Carbery, M., O'Connor, W., & Palanisami, T. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. **Environment international**, v. 115, p. 400-409, 2018.

Caron, A. G., Thomas, C. R., Berry, K. L., Motti, C. A., Ariel, E., & Brodie, J. E. Ingestion of microplastic debris by green sea turtles (*Chelonia mydas*) in the Great Barrier Reef: Validation of a sequential extraction protocol. **Marine Pollution Bulletin**, v. 127, p. 743-751, 2018.

Cho, Y., Shim, W. J., Jang, M., Han, G. M., & Hong, S. H. Nationwide monitoring of microplastics in bivalves from the coastal environment of Korea. **Environmental Pollution**, v. 270, p. 116175, 2021.

Claessens, M., De Meester, S., Van Landuyt, L., De Clerck, K., & Janssen, C. R. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. **Marine pollution bulletin**, v. 62, n. 10, p. 2199-2204, 2011.

Corrêa-Silva, M. D. **Gestão Ambiental na Zona Costeira Fluminense: avaliação do potencial de resiliência ambiental e da potencialidade de serviços ecossistêmicos da Baía de Ilha Grande (BIG)**. Tese de Doutorado. Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 217p. Rio de Janeiro. 2023.

Década da Ciência Oceânica Brasil. 2020. Disponível em: <https://decada.ciencianomar.mctic.gov.br/sobre-a-decada>>. Acessado em: maio de 2020.

Derraik, J. G. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. **Marine pollution bulletin**, v. 44, n. 9, p. 842-852, 2002.

Desforges, J. P. W., Galbraith, M., & Ross, P. S. Ingestion of microplastics by zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 69, p. 320-330, 2015.

Devault, et al. The silent spring of Sargassum. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 15580-15583, 2021.

Diana, Z., Sawickij, N., Rivera Jr, N. A., Hsu-Kim, H., & Rittschof, D. Plastic pellets trigger feeding responses in sea anemones. **Aquatic Toxicology**, v. 222, p. 105447, 2020.

do Sul, J. A. I., & Costa, M. F. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. **Environmental pollution**, v. 185, p. 352-364, 2014.

Duncan, E. M. et al. Microplastic ingestion ubiquitous in marine turtles. **Global change biology**, v. 25, n. 2, p. 744-752, 2019.

Foley, C. J., Feiner, Z. S., Malinich, T. D., & Höök, T. O. A meta-analysis of the effects of exposure to microplastics on fish and aquatic invertebrates. **Science of the total environment**, v. 631, p. 550-559, 2018.

Fossi, M. C., Marsili, L., Bainsi, M., Giannetti, M., Coppola, D., Guerranti, C., Caliani, I., Minutoli, R., Lauriano, G., Finoia, M. G., Rubegni, F., Panigada, S., Bérubé, M., Ramírez, J. U., & Panti, C. Fin whales and microplastics: The Mediterranean Sea and the Sea of Cortez scenarios. **Environmental Pollution**, v. 209, p. 68-78, 2016.

Franco, M. V. A., & Dantas, O. M. A. N. A. Pesquisa exploratória: aplicando instrumentos de geração de dados-observação, questionário e entrevista. In **Curitiba: Anais do XIII Congresso Nacional de Educação**. 2017.

Fu, L., Xi, M., Nicholaus, R., Wang, Z., Wang, X., Kong, F., & Yu, Z. Behaviors and biochemical responses of macroinvertebrate *Corbicula fluminea* to polystyrene microplastics. **Science of the total environment**, v. 813, p. 152617, 2022.

Galgani, L., Beiras, R., Galgani, F., Panti, C., & Borja, A. Impacts of marine litter. **Frontiers in Marine Science**, v. 6, p. 208, 2019.

Gallagher, A., Rees, A., Rowe, R., Stevens, J., & Wright, P. Microplastics in the Solent estuarine complex, UK: an initial assessment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 102, n. 2, p. 243-249, 2016.

Galloway, T. S., & Lewis, C. N. Marine microplastics spell big problems for future generations. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 113, n. 9, p. 2331-2333, 2016.

Gardon, et al. Pearl farming micro-nanoplastics affect both oyster physiology and pearl quality. **Research Square**, 2023.

Gatrell, A. C., & Lovett, A. A. Burning questions: incineration of wastes and implications for human health. In: **Waste Location**. Routledge, 2021. p. 143-157.

Gerhardt, T. E., & Silveira, D. T. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S., & Faggio, C. Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects. **Environmental toxicology and pharmacology**, v. 64, p. 164-171, 2018.

Hall, N. M., Berry, K. L. E., Rintoul, L., & Hoogenboom, M. O. Microplastic ingestion by scleractinian corals. **Marine Biology**, v. 162, p. 725-732, 2015.

Henderson, L., & Green, C. Making sense of microplastics? Public understandings of plastic pollution. **Marine pollution bulletin**, v. 152, p. 110908, 2020.

Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. **Environmental science & technology**, v. 46, n. 6, p. 3060-3075, 2012.

Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., & Svendsen, C. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. **Science of the total environment**, v. 586, p. 127-141, 2017.

Huang, J. S., Koongolla, J. B., Li, H. X., Lin, L., Pan, Y. F., Liu, S. He, W. H., Maharana, D., & Xu, X. R. Microplastic accumulation in fish from Zhanjiang mangrove wetland, South China. **Science of the Total Environment**, v. 708, p. 134839, 2020.

Jiang, J. Q. Occurrence of microplastics and its pollution in the environment: A review. **Sustainable production and consumption**, v. 13, p. 16-23, 2018.

Khan, F. R., Syberg, K., Shashoua, Y., & Bury, N. R. Influence of polyethylene microplastic beads on the uptake and localization of silver in zebrafish (*Danio rerio*). **Environmental pollution**, v. 206, p. 73-79, 2015.

Koelmans, AA, Nor, NHM, Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, SM e De France, J. Microplásticos em água doce e potável: Revisão crítica e avaliação da qualidade dos dados. **Pesquisa Hídrica**, 155, 410–422, 2019.

Laist, D. W. Overview of the biological effects of lost and discarded plastic debris in the marine environment. **Marine pollution bulletin**, v. 18, n. 6, p. 319-326, 1987.

Landon-Lane, M. Corporate social responsibility in marine plastic debris governance. **Marine pollution bulletin**, v. 127, p. 310-319, 2018.

Lönnstedt, O. M., & Eklöv, P. RETRACTED: Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology. **Science**, v. 352, n. 6290, p. 1213-1216, 2016.

Le Bihanic, F., Cl´erandeau, C., Cormier, B., Crebassa, J.-C., Keiter, S.H., Beiras, R., Morin, B., B´egout, M.L., Cousin, X., Cachot, J. Organic contaminants sorbed to microplastics affect marine medaka fish early life stages development. **Marine pollution bulletin**, v. 154, p. 111059, 2020.

Lei, L. *et al.* Microplastic particles cause intestinal damage and other adverse effects in zebrafish *Danio rerio* and nematode *Caenorhabditis elegans*. **Science of the total environment**, v. 619, p. 1-8, 2018.

Li, J., Yang, D., Li, L., Jabeen, K., & Shi, H. Microplastics in commercial bivalves from China. **Environmental pollution**, v. 207, p. 190-195, 2015.

Li, J., Green, C., Reynolds, A., Shi, H., & Rotchell, J. M. Microplastics in mussels sampled from coastal waters and supermarkets in the United Kingdom. **Environmental pollution**, v. 241, p. 35-44, 2018.

Li, J., Lusher, A. L., Rotchell, J. M., Deudero, S., Turra, A., Bråte, I. L. N., Sun, C.; Hossain, M. S.; Li, Q.; Kolandhasamy, P.; Kolandhasamy, P., & Shi, H. Using mussel as a global bioindicator of coastal microplastic pollution. **Environmental pollution**, v. 244, p. 522-533, 2019.

Lusher, A. L., Hernandez-Milian, G., O'Brien, J., Berrow, S., O'Connor, I., & Officer, R. Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: the True's beaked whale *Mesoplodon mirus*. **Environmental pollution**, v. 199, p. 185-191, 2015.

Machado, J. A., de Oliveira, S., Nazário, M. G., Fernandes, H., & Krelling, A. P. Análise da presença de microplástico em bivalves (*Perna perna*): um estudo de caso em Matinhos, litoral do Paraná. **Guaju**, v. 7, n. 1, p. 156-179, 2021.

Ma, H., Pu, S., Liu, S., Bai, Y., Mandal, S., & Xing, B. Microplastics in aquatic environments: toxicity to trigger ecological consequences. **Environmental Pollution**, v. 261, p. 114089, 2020.

Mak, C. W., Yeung, K. C. F., & Chan, K. M. Acute toxic effects of polyethylene microplastic on adult zebrafish. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 182, p. 109442, 2019.

Malafaia, G., de Souza, A. M., Pereira, A. C., Gonçalves, S., da Costa Araújo, A. P., Ribeiro, R. X., & Rocha, T. L. Developmental toxicity in zebrafish exposed to polyethylene microplastics under static and semi-static aquatic systems. **Science of the Total Environment**, v. 700, p. 134867, 2020.

Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. 2015.

Meng, Y., Kelly, F. J., & Wright, S. L. Advances and challenges of microplastic pollution in freshwater ecosystems: A UK perspective. **Environmental Pollution**, v. 256, p. 113445, 2020.

Miller, M. E., Hamann, M., & Kroon, F. J. Bioaccumulation and biomagnification of microplastics in marine organisms: A review and meta-analysis of current data. **PLoS one**, v. 15, n. 10, p. e0240792, 2020.

Miralha, A., Contins, M., Carpenter, L. B., Pinto, R. L., Calderari, M. R. M., & Neves, R. A. Leachates of weathering plastics from an urban sandy beach: Toxicity to sea urchin fertilization and early development. **Marine Pollution Bulletin**, v. 199, p. 115980, 2024.

Montagner, C. C., Dias, M. A., Paiva, E. M., & Vidal, C. Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. **Química nova**, v. 44, n. 10, p. 1328-1352, 2021.

Moreira, M. A., & Rosa, P. Mapas conceituais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 3, n. 1, p. 17-25, 1986.

Naveira, C., Rodrigues, N., Santos, F. S., Santos, L. N., & Neves, R. A. Acute toxicity of Bisphenol A (BPA) to tropical marine and estuarine species from different trophic groups. **Environmental Pollution**, v. 268, p. 115911, 2021.

Nelms, S. E. et al. Plastic and marine turtles: a review and call for research. **ICES Journal of Marine Science**, v. 73, n. 2, p. 165-181, 2016.

Neves, R. A., Rodrigues, N., de Luca, G., Oliveira, M. A. A., Carvalho, T. F., Santos, N. S., Adelino, M. E., Caldas, L. B., Miralha, A., Naveira, C., Rodrigues, A. J. S., Miyahira, I. C., Gomes, R., Lagares, N., Bastos, M. P., Correa-Silva, M. D., Gomes, E. S., Fernandes, A. N., Santos, L. N. Evidence of plastics contamination and sewage-derived residues in a Brazilian Hope Spot for conservation of marine biodiversity-Cagarras Islands and surrounding waters. **Marine Pollution Bulletin**, v. 203, p. 116407, 2024.

Ogonowski, M., Gerdes, Z., & Gorokhova, E. What we know and what we think we know about microplastic effects—A critical perspective. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 1, p. 41-46, 2018.

Oliveira, M., Ribeiro, A., Hylland, K., & Guilhermino, L. Single and combined effects of microplastics and pyrene on juveniles (0+ group) of the common goby *Pomatoschistus microps* (Teleostei, Gobiidae). **Ecological indicators**, v. 34, p. 641-647, 2013.

Ory, N. C., Gallardo, C., Lenz, M., & Thiel, M. Capture, swallowing, and egestion of microplastics by a planktivorous juvenile fish. **Environmental pollution**, v. 240, p. 566-573, 2018.

Pagani, R. N., Kovaleski, J. L., & Resende, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, p. 2109-2135, 2015.

Pagani, R. N., Kovaleski, J. L., & de Resende, L. M. M. Advances in the composition of Methodi Ordinatio for systematic literature review. **Ciência da informação**, v. 46, n. 2, p. 161-187, 2017.

Panti, C., Fossi, M. C., Baini, M., & Koelmans, A. A. Microplastic as a vector of chemicals to fin whale and basking shark in the Mediterranean Sea: a model-supported analysis of available data. **MICRO 2016. Fate and Impact of Microplastics in Marine Ecosystems**, p. 143, 2016.

Patterson, J., Jeyasanta, K. I., Laju, R. L., & Edward, J. P. Microplastic contamination in Indian edible mussels (*Perna perna* and *Perna viridis*) and their environs. **Marine Pollution Bulletin**, v. 171, p. 112678, 2021.

Peng, X. et al. Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean. **Geochem. Perspect. Lett**, v. 9, n. 1, p. 1-5, 2018.

Phuong, N. N., Zalouk-Vergnoux, A., Kamari, A., Mouneyrac, C., Amiard, F., Poirier, L., & Lagarde, F. Quantification and characterization of microplastics in blue mussels (*Mytilus edulis*): protocol setup and preliminary data on the contamination of the French Atlantic coast. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 6135-6144, 2018.

Programa das Nações Unidas para o Ambiente. **Perspectiva da Gestão de Resíduos na América Latina e no Caribe**. Disponível em: <<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/26448>>. Acessado em: abril de 2024.

Revel, M., Châtel, A.; Perrein-Ettajani, H.; Bruneau, M.; Akcha, F.; Sussarellu, R.; Rouxel, J.; Costil, K.; Decottignies, P.; Cognie, B.; Lagarde, F.; Mouneyrac, C. Realistic environmental exposure to microplastics does not induce biological effects in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. **Marine pollution bulletin**, v. 150, p. 110627, 2020.

Richardson, S. D., & Kimura, S. Y. Water analysis: emerging contaminants and current issues. **Analytical chemistry**, v. 88, n. 1, p. 546-582, 2016.

Rocha, R. J. M. et al. Do microplastics affect the zoanthid *Zoanthus sociatus*?. **Science of the Total Environment**, v. 713, p. 136659, 2020.

Santana, M. F. M., Ascer, L. G., Custódio, M. R., Moreira, F. T., & Turra, A. Microplastic contamination in natural mussel beds from a Brazilian urbanized coastal region: Rapid evaluation through bioassessment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 106, n. 1-2, p. 183-189, 2016.

Silva, D. C., Vieira, H. A. G., Rolim, V. S., Silva, W. F., Sousa, M. G., Paulino, M. G., & Mariano, W. S. Contaminantes ambientais: efeitos dos microplásticos em organismos aquáticos e terrestres. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e54310716761-e54310716761, 2021.

Simmonds, M. P. Cetaceans and marine debris: the great unknown. **Journal of Marine Sciences**, v. 2012, n. 1, p. 684279, 2012.

Shen, M. et al. Avanços recentes na pesquisa toxicológica de nanoplásticos no meio ambiente: uma revisão. **Poluição Ambiental**, 252, 511–521, 2019.

Spinacé, M. A. D. S., & De Paoli, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química nova**, v. 28, p. 65-72, 2005.

Sussarellu, R., M. Suqueta, Y. Thomasa, C. Lamberta, C. Fabiouxa, M. E. J. Pernet, N. L. Goïca, V. Quilliena, C. Minganta, Y. Epelboina, C. Corporea, J. Guyomarch, J. Robbens, I. Paul-Ponta, P. Soudanta & A. Huveta. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 113, n. 9, p. 2430-2435, 2016.

Tavares, R. Construindo mapas conceituais. **Ciências & Cognição**, Rio de Janeiro. v. 12, p. 72-85, out/dez de 2007. Disponível em: <<http://www.cienciasecognicao.org/pdf/v12/m347187.pdf>>. Acessado em: janeiro de 2024.

Tekman, MB, Gutow, L., Macario, A., Haas, A., Walter, A., Bergmann, M. Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung. 2023. Disponível em: <https://litterbase.awi.de/litter_detail>. Acessado em: maio de 2024.

Teng, J. et al. Microplastic in cultured oysters from different coastal areas of China. **Science of the total environment**, v. 653, p. 1282-1292, 2019.

Thompson, R. C. et al. Lost at sea: where is all the plastic?. **Science**, v. 304, n. 5672, p. 838-838, 2004.

Thompson, R. C., Moore, C. J., Vom Saal, F. S., & Swan, S. H. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. **Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences**, v. 364, n. 1526, p. 2153-2166, 2009.

UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **Ocean literacy for all: a toolkit**. Paris: IOC, 2020. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373449>>. Acessado em: maio de 2024.

Van, A., Rochman, C. M., Flores, E. M., Hill, K. L., Vargas, E., Vargas, S. A., & Hoh, E. Persistent organic pollutants in plastic marine debris found on beaches in San Diego, California. **Chemosphere**, v. 86, n. 3, p. 258-263, 2012.

Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C. R. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. **Environmental pollution**, v. 193, p. 65-70, 2014.

Vethaak, A. D., & Leslie, H. A. Plastic debris is a human health issue. 2016.

Vieira, K. S.; Neto, J.A., Crapez, M.A.C., Gaylarde, C., PierrI, B. DA S., Saldaña-Serrano, M., Bairy, A.C.D., Nogueira, D.J., Fonseca, E.M. Occurrence of microplastics and heavy metals accumulation in native oysters *Crassostrea Gasar* in the Paranaguá estuarine system, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 166, p. 112225, 2021.

Villarrubia-Gómez, P., Cornell, S. E., & Fabres, J. Marine plastic pollution as a planetary boundary threat—The drifting piece in the sustainability puzzle. **Marine policy**, v. 96, p. 213-220, 2018.

Von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., & Köhler, A. Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. **Environmental science & technology**, v. 46, n. 20, p. 11327-11335, 2012.

Walker, T. R. (Micro) plastics and the UN sustainable development goals. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 30, p. 100497, 2021.

Wang, W., Ndungu, A. W., Li, Z., & Wang, J. Microplastics pollution in inland freshwaters of China: A case study in urban surface waters of Wuhan, China. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 1369-1374, 2017.

Zamora, AM, Caterbow, A., Nobre, CR, Duran, C., Muffett, C., Flood, C., et al. Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos. **Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll**, 2020.

Zanette, J. et al. Salinity influences glutathione S-transferase activity and lipid peroxidation responses in the *Crassostrea gigas* oyster exposed to diesel oil. **Science of the total environment**, v. 409, n. 10, p. 1976-1983, 2011.