

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Sofia Elsira de Sá Guse

**Efeito de microplásticos e nanoplásticos no desenvolvimento embrionário:
uma revisão integrativa**

Porto Alegre

2023

Sofia Elsira de Sá Guse

**Efeito de microplásticos e nanoplásticos no desenvolvimento embrionário:
uma revisão integrativa**

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rossana Colla Soletti.

Porto Alegre

2023

Sofia Elsira de Sá Guse

Efeitos dos microplásticos no desenvolvimento embrionário: uma revisão integrativa

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rossana Colla Soletti.

BANCA EXAMINADORA:

Adriana Bos-Mikich
Instituto de Ciências Básicas da Saúde

Gerson Fernandino de Andrade Neto
Campus Litoral Norte

Rossana Colla Soletti
Campus Litoral Norte

CIP - Catalogação na Publicação

Guse, Sofia Elsira de Sá
Efeito de microplásticos e nanoplásticos no
desenvolvimento embrionário: uma revisão integrativa /
Sofia Elsira de Sá Guse. -- 2023.
80 f.
Orientadora: Rossana Colla Soletti.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Biociências, Bacharelado em Ciências Biológicas,
Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Microplástico. 2. Nanoplástico. 3. Embriões. 4.
Gestação. 5. Modelos animais. I. Soletti, Rossana
Colla, orient. II. Título.

Aos meus gatos, Kira e Oliver, que muito me
ajudaram na escrita deste trabalho

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Resplande, pelos cuidados desde sempre. Desculpe meu estresse e obrigada pelas paçocas, cházinhos e palavras de vai dar certo mesmo que eu não acredite na hora. Lhe amo infinitamente.

Às minhas tias por todos os mimos, e aos meus tios também.

Às minhas primas por serem minhas parcerias desde sempre.

À minha irmã, Lúgia, por ter cuidado de mim e da casa nesses últimos dias de hiperprodutividade na escrita deste trabalho.

Aos meus Bioamigos, Karoline, por me acompanhar nessa biojornada desde o início e João, obrigada por oferecer métodos ilícitos para me ajudar nessa reta final, felizmente não precisei utilizar. Também Alessandra, Catarine, Thais e Joice.

Aos meus Físamigos, Luiz, Vitor, Daniela, Laís, Cris, Amanda, Lara, Jhonatan, Vivi, Gabi, Guilherme, Isadora e Stefani que tenho felicidade de ter guardado vocês comigo desde meu início na universidade no temido curso de física. Desirée, muito obrigada por ser a melhor coach de organização, infelizmente não continuei usando todos os *planners* comprados, mas foram úteis para me acalmar nesse processo.

À Amanda, minha amiga, confidente e namorada. Obrigada por todas as conversas edificantes (fofocas), carinhos e os milhares de textos e emails revisados antes de serem enviados.

Agradeço também aos amigos que fui juntando ao longo da vida. Ana, minha amiga mais antiga, semestre que vem nos vemos no campus. Diandra e Katieli, obrigada por todas as revoltas, acho que conseguiremos marcar nosso aniversário conjunto para setembro. Marco, fico feliz de ter encontrado alguém que goste tanto de Taylor Swift e novelas quanto eu, obrigada pelas palavras de incentivo.

Às profs que me orientaram Prof. Daniela Borges Pavani e Prof. Carolina Brito Carvalho dos Santos que me oportunizaram conhecer e amar a Extensão. Também agradeço ao Prof. Gerhard Ernst Overbeck, por ter me orientado no LEVCamp onde me apaixonei pelas gramíneas e pelos campos.

Agradeço ao Programa Meninas na Ciência e ao pessoal do LEVCamp.

Também agradeço aos professores maravilhosos do Curso de Ciências Biológicas, em especial para as Profs. Cláudia Calegaro Marques e Mariana Terossi Rodrigues.

À minha orientadora, Prof. Rossana Colla Soletti, por ter aceitado e me orientado da melhor forma, mesmo à distância. Obrigada por todo o auxílio, lhe admiro muito em sua atuação como cientista, divulgadora científica e como mãe.

Aos professores, Adriana Bos-Mikich e Gerson Fernandino, por terem aceitado participar da banca.

Ao Prof. Sérgio Leite, por ser um professor inspirador, sensível e por ter sido em uma de suas disciplinas que conheci o tema deste trabalho.

Ao Campus do Vale, o melhor campus.

À novela Vai na fé, por ser uma novela maravilhosa e por ter partilhado espaço na minha cabeça com a escrita deste trabalho.

Aos meus gatos que se empenharam comigo virando noites juntos na escrita deste TCC, e a todos os gatos. Á Jolie e todos os animais que cuidei.

Às minhas avós, espero um dia ser tão forte como vocês.

Também ao meu pai.

E à minha mãe de novo, porque sem ela eu nada seria.

EPÍGRAFE

“Pela primeira vez na história do mundo, agora todo ser humano está sujeito ao contato com substâncias químicas perigosas, desde o instante em que é concebido até a sua morte. No período de menos de duas décadas desde que estão em uso, os pesticidas sintéticos foram tão amplamente distribuídos por todo o mundo animado e inanimado que se encontram praticamente em todos os lugares. Eles têm sido encontrados em quase todos os grandes sistemas fluviais e até mesmo nos cursos de água subterrânea que fluem invisíveis pela Terra. Resíduos desses produtos químicos permanecem no solo no qual foram aplicados uma dúzia de anos antes. Eles entram e se alojam no corpo de peixes, pássaros, répteis e animais domésticos e selvagens de forma tão universal que os cientistas que fazem experiências com animais consideram quase impossível localizar espécimes livres de tal contaminação. Essas substâncias foram encontradas até em peixes de remotos lagos situados em montanhas, em minhocas que escavam o solo, em ovos de pássaros -- e nos próprios seres humanos. Isso porque esses produtos químicos estão agora armazenados no corpo da ampla maioria dos seres humanos, independentemente de idade. Eles são encontrados no leite materno e, provavelmente, nos tecidos dos fetos.”

(Rachel Carson)

RESUMO

Na última década a quantidade de estudos detectando a presença de microplásticos (MP), e pouco tempo depois, nanoplásticos (NP), cresceu progressivamente. Essas partículas, advindas da fragmentação de plásticos maiores ou fabricadas propositalmente, foram encontradas em praticamente todos os ambientes, desde as águas marinhas, até alimentos, poeira doméstica, e mais recentemente, no corpo de animais marinhos, do ser humano e até no leite materno. Embora muito presentes na atualidade, seu impacto no ambiente e principalmente nos seres humanos ainda não é completamente compreendido. As condições ambientais influenciam a qualidade de vida dos seres vivos, e condições adversas podem resultar em alterações celulares, fisiológicas, embrionárias e em mudanças epigenéticas. Considerando a sensibilidade do período embrionário e fetal e a onipresença dos MPs e NPs, entender o efeito destas durante o desenvolvimento dos embriões é de suma importância. Na ausência de estudos experimentais em seres humanos, a análise desses efeitos baseia-se na translação de estudos em modelos animais. Sendo assim, este trabalho propõe-se a revisar, de maneira integrativa e seguindo a metodologia PRISMA, os estudos científicos que avaliam os efeitos ocasionados pela exposição à micro e nanoplásticos em modelos animais. Foram utilizadas como plataforma de pesquisa as bases de dados Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), o Pubmed e o buscador Google Acadêmico. Os artigos analisados foram publicados entre 2010 a 2023, na língua inglesa. Após a análise dos artigos retornados e selecionados, os resultados observados foram organizados de acordo com os modelos animais avaliados (aves, bivalves, camundongos, copepódes, dáfrias, ouriços-do-mar, peixes-zebra, rãs, sépias e tunicados), divididos nos quatro filós correspondentes, e com as alterações encontradas (celulares, moleculares, fisiológicas e embrionárias). De forma geral, as MPs e NPs de todos os materiais plásticos acarretam inúmeros efeitos biológicos nos embriões, como alterações enzimáticas, metabólicas e fisiológicas e, em alguns casos, malformações embrionárias e redução da sobrevivência da prole. A partir da síntese dos resultados, foi preparado um material de divulgação científica voltado para gestantes, contendo indicações de como minimizar a exposição a MPs e NPs no período gestacional.

Palavras-chave: Microplástico; Nanoplástico; Gestação; Embrião; Modelos animais.

ABSTRACT

In the last decade, the number of studies detecting the presence of microplastics (MP), and shortly afterwards, nanoplastics (NP), has grown progressively. These particles, which come from the fragmentation of larger plastics or are manufactured on purpose, have been found in practically every environment, from marine waters to food, household dust and, more recently, in the bodies of marine animals, humans and even breast milk. Despite being present everywhere, their impact on the environment and especially on humans is still not fully understood. Environmental conditions influence the quality of life of living beings and adverse conditions can generate cellular, physiological, embryonic and epigenetic changes. Considering the sensitivity of the embryonic and fetal period and the omnipresence of MPs and NPs, understanding their effect on embryo development is of great importance. In the absence of experimental studies in humans, the analysis of their impact is based on the translation of studies in animal models. Therefore, this work aims to review following the PRISMA methodology, scientific studies that evaluate the effects caused by exposure to MP and NP in animal models. The Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), Pubmed and Google Scholar databases were used as search platforms. The articles analyzed were published between 2010 and 2023, in English. After analyzing the articles returned and selected, the results observed were organized according to the animal models evaluated (birds, bivalves, mice, copepods, daphnia, sea urchins, zebra fish, frogs, sepias and tunicates), divided into the four corresponding phyla, and the alterations found (cellular, molecular, physiological and embryonic). In general, MPs and NPs from all plastic materials have numerous biological effects on embryos, such as enzymatic, metabolic and physiological alterations and, in some cases, embryonic malformations and reduced survival of the offspring. Based on the synthesis of the results, materials for science dissemination were prepared, aimed to pregnant people and containing indications on how to minimize exposure to MPs and NPs during pregnancy.

Keywords: Microplastic; Nanoplastic; Pregnancy; Embryo; Animal models.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.2. OBJETIVOS	16
1.2.1. OBJETIVO GERAL	16
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. AVES	17
2.2. BIVALVES	18
2.3. CAMUNDONGOS	18
2.4. COPÉPODES	19
2.5. DÁFNIAS	19
2.6. OURIÇOS-DO-MAR	20
2.7. PEIXES-ZEBRA	20
2.8. RÃS	22
2.9. SÉPIAS	23
2.10. TUNICADOS	23
3 METODOLOGIA	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27

4.1. REVISÃO	27
4.2. FILO MOLLUSCA	27
4.2.1. EFEITO DE MPs E NPs EM BIVALVES	27
4.2.2. EFEITO DE MPs E NPs EM SÉPIAS	31
4.3 FILO ARTHROPODA	32
4.3.1. EFEITO DE MPs E NPs EM COPEPÓDES	32
4.3.2. EFEITO DE MPs E NPs EM DÁFNIAS	34
4.4. FILO ECHINODERMATA	37
4.4.1. EFEITO DE MPs E NPs EM OURIÇOS-DO-MAR	37
4.5. FILO CHORDATA	41
4.5.1. EFEITO DE MPs E NPs EM AVES	41
4.5.2. EFEITO DOS MPs E NPs EM CAMUNDONGOS	42
4.5.3. EFEITO DE MPs E NPs EM PEIXES-ZEBRA	44
4.5.4. EFEITO DE MPs E NPs EM RÃS	50
4.5.5. EFEITO DE MPs E NPs EM TUNICADOS	52
4.6. MATERIAL DE DIVULGAÇÃO	55
5 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	58
APÊNDICE A	72

1 INTRODUÇÃO

A gestação é um período delicado e de significativa importância para o desenvolvimento futuro da prole, com impactos que podem chegar à idade adulta. Agentes químicos, físicos, biológicos ou ambientais que interfiram no desenvolvimento gestacional podem acarretar alterações moleculares, celulares, fisiológicas, malformações ou até mesmo óbito embrionário e fetal (Moore; Persaud; Torchia, 2022).

O ambiente, a alimentação, os hábitos de vida e outros fatores ambientais podem interferir nesse desenvolvimento, e alguns exemplos bem consolidados dessas interferências em modelos animais e em seres humanos são o consumo de bebidas alcoólicas e o tabagismo (Da Silva *et al.*, 2021). Como exemplo, a principal consequência da exposição ao álcool durante a gestação é o desenvolvimento da Síndrome Alcoólica Fetal (SAF), que entre outras características abrange algumas dismorfias faciais, déficit no crescimento e anormalidades no sistema nervoso central (Grinfeld, 2009). O tabagismo também pode provocar alterações no desenvolvimento gestacional, como baixo peso fetal, descolamento da placenta e maior risco de abortamento (Aleixo Neto, 1990), ocorrência de anomalias orofaciais e problemas respiratórios (De Abreu Tacon; Do Amaral; Borges Tacon, 2018).

Dentre os fatores ambientais que têm possibilidade de interferir no desenvolvimento embrionário, estão diversos poluentes antropogênicos, cuja caracterização dos efeitos ainda é incipiente e inconclusiva (Suran, 2022). Um destes exemplos é o plástico, matéria-prima de peças de vestuário, embalagens de produtos de higiene e alimentação, eletrodomésticos, eletrônicos, automóveis e utensílios diversos. É notável a onipresença deste material no mundo moderno, cuja praticidade e vastas possibilidades de se produzir objetos, de natureza flexível, resistente e de baixo custo, substituiu diversos outros materiais ao longo do tempo. Um fator fundamental para o aumento do consumo de plástico foi a cultura do uso de descartáveis que surgiu a partir dos anos 1960 (Cortez, 2011).

Para a fabricação de plástico são utilizados majoritariamente matéria prima obtida da indústria petroquímica (Nielsen, 2020). O plástico se caracteriza por ser formado por polímeros e por seu aspecto moldável. Para a formação desse material é retirado um composto denominado nafta do petróleo, e a nafta após um processo

de craqueamento térmico dá origem aos monômeros, os quais são posteriormente polimerizados (Piatti; Rodrigues, 2005).

Dentre os polímeros plásticos mais utilizados estão o tereftalato de polietileno (PET), o policloreto de vinila (PVC), o polipropileno (PP), o polietileno (PE) e o poliestireno (PS). O PET é um polímero com bastante resistência térmica e química e boa reciclabilidade, empregado em embalagens de bebidas e na forma de fibras de tecidos (Gorni, 2003). O PVC é um material resistente à propagação de chamas, que quando fabricado na forma rígida é utilizado na produção de canos. Para a fabricação da forma flexível do PVC são adicionados plastificantes em sua composição e o PVC flexível é utilizado em cabos elétricos e tintas vinílicas (Gorni, 2003). O PP é um material com bastante resistência química e à impactos (Piatti; Rodrigues, 2005) e que também possui baixo custo e facilidade de moldagem e de coloração, alta degradação, e é muito empregado em embalagens de alimentos, eletrodomésticos e brinquedos (Gorni, 2003). De acordo com Gorni (2003), o PE é um polímero flexível, resistente quimicamente e com propriedades isolantes. Quando fabricado na forma de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), tem um caráter mais rígido, o que o faz ser utilizado em garrafas, bombonas e brinquedos. Já quando fabricado sob a forma de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), possui um caráter mais flexível e é aplicado na produção de sacolas e filmes plásticos (Piatti; Rodrigues, 2005). O PS é um plástico duro e pouco resistente a solventes orgânicos e ao calor, utilizado em copos descartáveis e também encontrado em sua forma expandida (PES) no conhecido Isopor®. PP, PVC, PET, PS e PEs são os tipos mais baratos e amplamente empregados em objetos de pouco valor, sendo considerados polímeros *commodities* (Gorni, 2003).

Uma das problemáticas do plástico é que sua característica durável e permanente torna sua degradação extremamente lenta. Mesmo que existam enzimas capazes de decompor polímeros, atualmente elas não são suficientes para utilização em grande escala frente ao elevado volume de plástico que já foi e que está sendo produzido anualmente (Chow *et al.*, 2023). Estimativas indicam que no ano de 2010 foram gerados 274 milhões de toneladas métricas de resíduos plásticos em um contexto global (Geyer; Jambeck, Law, 2017). Neste cenário, o Brasil é o quarto país que mais gera resíduos plásticos no mundo, por volta de 11 toneladas anualmente. O principal destino desses resíduos produzidos são os aterros

sanitários e o descarte irregular, visto que menos de 2% é reciclado e reinserido na cadeia produtiva (WWF, 2018).

Diante do elevado volume produzido de plástico e a complexidade no seu descarte, um dos percursos que o plástico segue é a sua fragmentação em partículas menores, classificadas como microplástico, quando possuem menos que 5 mm e nanoplástico quando possuem menos que 1 μm (Zhang; Wang; Chen, 2022). Essa fragmentação plástica, responsável por formar os microplásticos secundários, decorre principalmente pelo desgaste decorrente do uso, pela exposição à radiação UV, pelo vento e pela ação das ondas no ambiente marinho (Welden; Lusher, 2020). Outra forma de produção dessas partículas é a industrial, a qual origina os microplásticos primários, que podem ser fabricados na forma de esferas plásticas brutas para posterior derretimento e moldagem em fábricas, chamadas de *pellets*. Microplásticos primários também são utilizados na fabricação de esferas de polímeros plásticos para uso em cosméticos diversos e em produtos de higiene e limpeza (Welden; Lusher, 2020) (Figura 2).

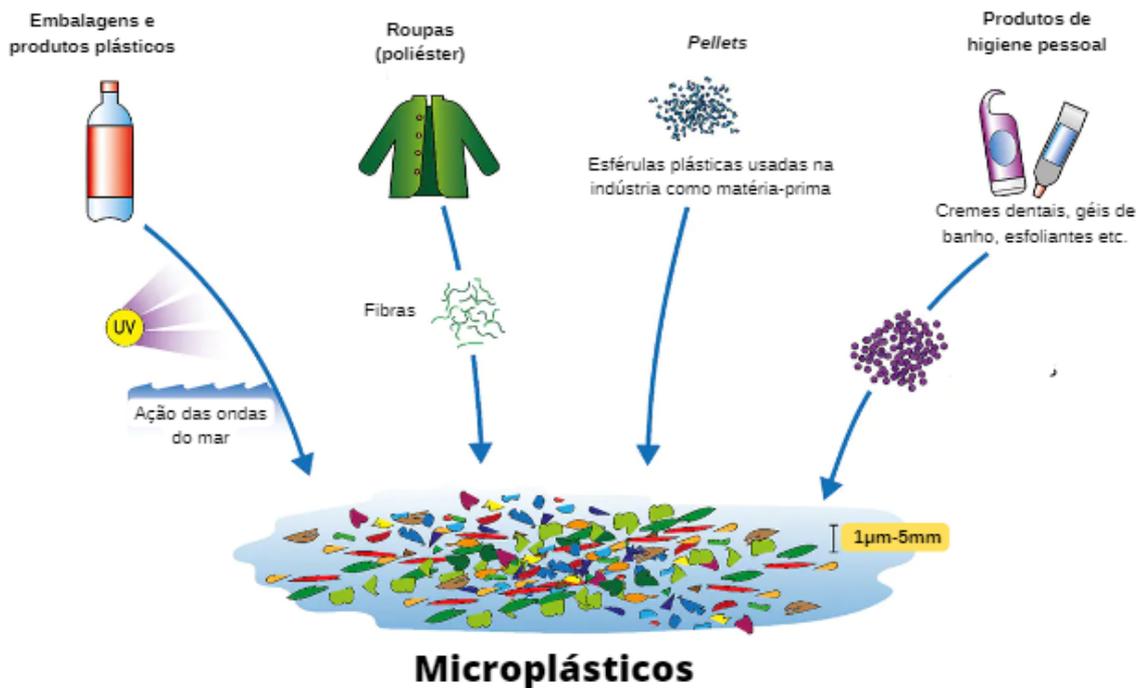


Figura 1. Formação de microplásticos. Formação dos microplásticos de origem primária (*pellets* e produtos de higiene pessoal) e secundária, a partir da degradação de produtos plásticos e roupas formadas com fibras têxteis como poliéster. Tanto os microplásticos de origem primária quanto

secundária são introduzidos no oceano. Imagem adaptada do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

Não é surpreendente que com a demasiada produção e consequente consumo de plástico, pesquisas apontem a onipresença do microplástico, sendo encontrado no sal de cozinha (Peixoto *et al.*, 2019), na água doce (Free *et al.*, 2014), na água engarrafada (Mason; Welch; Neratko, 2018), na atmosfera (Dris *et al.*, 2015) e na poeira e ar domésticos (Dris *et al.*, 2017). Um indicador de sua abundante presença nos ambientes é a sua detecção em seres vivos. Na fauna marinha, já foram detectadas partículas em organismos planctônicos (Lima; Costa; Barletta, 2014), em crustáceos (D'Costa, 2022), em moluscos (Zheng; Li; Zheng, 2022), em peixes ósseos (Wootton; Reis-Santos; Gillanders, 2021) e cartilagosos (Alomar; Deudero, 2017), em aves marinhas (Provencher *et al.*, 2018) e também em mamíferos (Moore *et al.*, 2020). Ademais, há estudos evidenciando a ocorrência de bioacumulação dos microplásticos por meio de sua transferência trófica entre os animais aquáticos, também conhecida como biomagnificação (Hollman; Bouwmeester; Peters, 2013).

Além disso, foi recentemente documentada a presença de microplásticos em tecidos e órgãos humanos como na placenta (Ragusa *et al.*, 2021), no pulmão (Amato-Lourenço *et al.*, 2021), no leite humano (Ragusa *et al.*, 2022) e no coração (Yang *et al.*, 2023). Em Braun *et al.* (2021) foi demonstrada a detecção de microplásticos também no mecônio. No entanto, devido à dificuldade inerente aos estudos em seres humanos, incluindo questões éticas, não existem evidências das implicações concretas que a bioacumulação dessas micropartículas (MP) e nanopartículas (NP) plásticas podem trazer à saúde e ao desenvolvimento embrionário e fetal.

As principais vias de entrada das micro e nanopartículas plásticas no corpo humano são a ingestão de alimentos e líquidos contaminados e também através da inalação (Katyal; Kong; Villanueva, 2020). Entretanto, também há a possibilidade de nanopartículas, devido a seu tamanho diminuto, atravessarem a pele e se translocarem entre órgãos, tecidos e sistemas (Revel; Châtel; Mouneyrac, 2018). Um amplificador das possíveis implicações na saúde é a tendência do microplástico em atuar como vetor de microrganismos patogênicos e compostos químicos, devido à sua facilidade em se conectar a essas partículas (Osatchuk, 2022). Um exemplo da atuação dos MPs como vetor foi demonstrado por Kirstein *et al.* (2016) através da

identificação de espécies patogênicas do gênero de bactérias *Vibrio* encontradas associadas à MPs retirados do oceano.

A busca por evidências das consequências da exposição a MPs e NPs no desenvolvimento embrionário baseia-se em estudos em outros modelos animais como peixes, crustáceos, aves e camundongos. Alguns modelos animais são bastante conhecidos e amplamente utilizados na literatura como ferramentas para entender diversas etapas do desenvolvimento humano, a serem descritas na seção “Referencial teórico”.

A utilização de modelos animais permite mimetizar a exposição ambiental com MPs ou NPs de diversos materiais plásticos, em diferentes concentrações e tempos de incubação, e acompanhar determinados desfechos, como alterações enzimáticas e na expressão gênica, alterações fisiológicas ou comportamentais e índices de sobrevivência. Ainda, na tentativa de mimetizar a exposição dos organismos a diversos poluentes atualmente presentes nos ambientes aquáticos, alguns estudos realizam experimentos de co-exposição de MPs ou NPs com diversos poluentes persistentes, como os PCBs (bifenilas policloradas) e os PBDEs (éteres difenílicos polibromados) ou com poluentes emergentes, como pesticidas, fármacos, ingredientes ativos de cosméticos, protetores solares e metais pesados.

Entender como MPs e NPs interferem no desenvolvimento animal é importante não apenas para prever as consequências da poluição plástica na vida marinha e nos ecossistemas, mas também para prospectar possíveis impactos desses poluentes no desenvolvimento humano. Estudos recentes em modelos animais expostos laboratorialmente aos MPs ou NPs têm resultados conflitantes quanto à diminuição da sobrevivência (Liu *et al.*, 2021; Manuel *et al.*, 2022; Prata *et al.*, 2022; Martin-Folgar *et al.*, 2023) e presença de malformações (Bonfanti *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2022; Xu *et al.*, 2022; Barreto *et al.*, 2023), mas apontam diversas alterações moleculares e fisiológicas agudas. Diante disso, este trabalho realizou uma revisão integrativa da literatura, avaliando a hipótese de que MPs e NPs podem interferir no desenvolvimento embrionário em diversos modelos animais, verificando os efeitos observados com partículas de diferentes materiais plásticos, em diversas concentrações e tempos de exposição. Ainda, os resultados obtidos serviram de base para elaboração de material de divulgação científica a ser distribuído a gestantes, visando minimizar a exposição aos MPs e NPs durante o período gestacional.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Realizar uma revisão da literatura científica, de forma sistemática, sobre as possíveis consequências da exposição a micro e nanoplásticos durante o desenvolvimento embrionário em modelos animais.

1.2.2. Objetivos específicos

- Obter e organizar os resultados da literatura científica acerca dos efeitos de MPs e NPs no desenvolvimento embrionário em diferentes modelos animais;
- Compreender quais efeitos são mais comumente observados com cada tipo de MP e NP em cada modelo animal;
- Utilizar os resultados obtidos para elaboração de material de divulgação científica abordando formas de minimizar a contaminação por microplásticos durante a gestação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Apesar da já detectada presença de MPs e NPs durante o desenvolvimento embrionário humano (Ragusa *et al*, 2021; Ragusa *et al*, 2022), a análise dos impactos dessas partículas para os embriões e fetos baseia-se na translação de estudos em modelos animais. Compreender os efeitos danosos das partículas plásticas para a saúde animal é também importante do ponto de vista ambiental, como forma de prever os impactos destas nos ecossistemas. Devido às especificidades de desenvolvimento de distintas espécies utilizadas como modelos animais nas pesquisas com MPs e NPs, abaixo estão compiladas as principais características de desenvolvimento embrionário de aves, bivalves, camundongos, copepódes, dáfnias, ouriços-do-mar, peixes-zebra, rãs, sépias e tunicados.

2.1. Aves

As aves são animais vertebrados que possuem o corpo recoberto por penas, sendo elas as responsáveis por atuar como isolante térmico corpóreo e por auxiliar na capacidade de voo nas espécies com esta habilidade (Benedito, 2015).

As aves são animais que ao se reproduzirem formam ovos amnióticos, os quais adquirem uma casca mineralizada durante o momento da postura dos ovos (Kardong, 2016). Os óvulos das aves são fertilizados dentro do oviduto (Gilbert, 2019). As aves possuem desenvolvimento direto, onde o embrião após passar pelas fases de clivagem, blástula, gastrulação e neurulação, ao eclodir dará origem a um indivíduo completamente formado. Entretanto, algumas espécies de aves possuem comportamento precocial, no qual seus filhotes nascem cobertos por penas e com capacidade de andar, e outras possuem comportamento altricial, onde seus filhotes nascem sem penas e sem a habilidade de andar ou de voo (Nishida). O tempo para a eclosão varia entre as espécies, em *Gallus gallus*, por exemplo, a eclosão ocorre em cerca de 19 dias (Kardong, 2016).

Dentre os grupos de aves mais afetadas pelo plástico, estão as aves marinhas. A interação desse grupo com os plásticos é responsável pela morte de milhares de indivíduos anualmente (Bowker, 1986, apud Susanti; Mardiasuti; Wardiatno, 2020). Os MPs presentes nos mares são ingeridos por engano pelas aves marinhas, mas a contaminação também pode ocorrer pela ingestão de animais

que já se alimentaram de plástico (Susanti; Mardiasuti; Wardiatno, 2020). A ingestão dos MPs e de plásticos maiores é evidenciada por sua detecção nos tratos digestivos de aves marinhas de diferentes espécies (Hoang; Mitten, 2022).

2.2. Bivalves

Os bivalves são animais invertebrados do filo Mollusca e da classe Bivalvia. O nome bivalvia advém de esses animais possuírem conchas com duas valvas interligadas. A maioria dos bivalves se alimentam por meio da filtração, na qual utilizam as brânquias para capturar os alimentos (Fransozo, 2016).

Dentro da classe Bivalvia, ocorre tanto a fertilização externa, sendo predominante em organismos marinhos, quanto interna, ocorrendo majoritariamente em indivíduos de água doce (Fransozo, 2016). Os embriões das espécies analisadas neste trabalho, ao eclodirem passam por dois estágios larvais até chegar a vida adulta (Morton, 2023). No primeiro estágio, as larvas são chamadas de trocóforas e são caracterizadas por serem pequenas, de formato arredondado, translúcidas e por possuírem cílios dispostos em um anel ao redor do corpo (Britannica, 2015). O último estágio larval é chamado de larva véliger, no qual o animal possui um órgão denominado velum, coberto de cílios longos e responsável pela natação, alimentação e trocas gasosas (Britannica, 2020). É durante a fase de larva véliger que ocorre o desenvolvimento da concha e do pé nos bivalves¹.

2.3. Camundongos

Os camundongos (*Mus musculus*) são vertebrados da classe Mammalia. Portanto, assim como a maioria dos mamíferos, possuem um corpo recoberto por pêlos e amamentam seus filhotes através de glândulas mamárias (Benedito, 2015).

Camundongos são animais de comportamento ágil e que possuem hábito alimentar onívoro (Benedito, 2015; Shiels, 2014). São mamíferos de pequeno porte que pesam por volta de 10 a 24 gramas, com orelhas grandes e cauda com

¹ Informações sobre o desenvolvimento da larva véliger em bivalves foram encontradas no link <https://www.imas.utas.edu.au/zooplankton/image-key/mollusca/veliger-larva>. Acessado em 23 ago. 2023.

comprimento similar ao do resto do corpo, cerca de 15 cm no total (Bonvicino *et al.*, 2008).

Em relação à reprodução dos camundongos, estes são mamíferos placentários que possuem fertilização interna, a qual ocorre dentro das tubas uterinas. O desenvolvimento do embrião acontece dentro do útero das fêmeas e o feto permanece envolto pelo saco amniótico, uma estrutura composta pelo âmnio e pelo córion (Benedito, 2015). A placenta, um tecido composto por tecidos fetais e maternos, é responsável pela nutrição por meio do cordão umbilical, e também pela proteção do feto (Kardong, 2016). A gestação dura em média 19 a 20 dias.

2.4. Copépodes

Os copépodes são crustáceos sem carapaça majoritariamente de vida livre, mas também com algumas espécies com comportamento parasita, pertencentes à subclasse Copepoda. Estes crustáceos são dioicos e se alimentam de fitoplâncton utilizando a segunda antena. São animais bastante abundantes nos oceanos (Brusca, 2018).

Os embriões desta subclasse ao eclodirem surgem como larvas náuplios, as quais passarão por várias mudas até chegar à fase copepodídea, para então realizar mais mudas e atingir a forma adulta (Fransozo, 2016).

Um gênero de crustáceos copépodes muito utilizado em pesquisas toxicológicas é o *Tigriopus*, devido à característica diminuta de seu corpo, cerca de 1mm, a sua coloração em tons de laranja a marrom e a sua alta tolerância a ambientes estressantes (Raisuddin *et al.*, 2007).

2.5. Dáfnias

As dáfnias são crustáceos de comprimento milimétrico e corpo transparente pertencentes à Classe Branchiopoda. São organismos que se alimentam de algas planctônicas por meio da filtração (Ebert, 2005).

As dáfnias são organismos que se reproduzem por via da partenogênese e por via sexual. Em *Daphnia magna*, cada fêmea adulta produz cerca de 100 ovos por ninhada. Os embriões de dáfnias eclodem dos ovos após um dia e são direcionados para a bolsa de criação, onde permanecerão se desenvolvendo por

mais três dias. Ao saírem da bolsa de criação, as dáfrias são semelhantes aos indivíduos adultos, exceto pela ausência de bolsa de criação que surge no estágio juvenil. Uma dáfria se torna adulta em cinco a dez dias de vida (Ebert, 2005).

As dáfrias são utilizadas como modelo animal em pesquisas toxicológicas devido à suas características de sensibilidade e respostas a fatores de estresse. As respostas aos estressores nos experimentos costumam envolver alterações nos padrões reprodutivos e no padrão de deslocamento na coluna d'água, mudanças comportamentais e nos fenótipos (Altshuler *et al.*, 2011).

2.6. Ouriços-do-mar

Os ouriços-do-mar são invertebrados marinhos pertencentes à classe Echinoidea. Os ouriços-do-mar possuem o corpo esférico com projeções espinescentes móveis, os quais são utilizados para a locomoção, juntamente com os pés tubulares. Esses animais são compostos por um endoesqueleto calcário e possuem variados hábitos alimentares, como a herbivoria, a suspensivoria, a detritivoria e, em menor proporção, a predação (Brusca, 2018).

Os espinhos dos ouriços-do-mar também são utilizados para cavar, auxiliar na alimentação e para defesa, visto que ao serem ameaçados liberam toxinas. Caso o animal perca algum desses espinhos, estes se regeneram em até dois meses (Pechenik, 2016).

A reprodução dos equinóides ocorre por fertilização externa, na qual os gametas são liberados e fertilizados na coluna d'água. Após a fertilização, o embrião passa pelos estágios de clivagem, mórula, blástula, gástrula e larva plútea². A fase larval é caracterizada pela simetria bilateral, pelo esqueleto calcário e pela coloração transparente³. Ao atingir a fase adulta o corpo passa a ter simetria radial.

Os ouriços-do-mar são bastante estudados em pesquisas de biologia do desenvolvimento e de cunho genético (Gilbert, 2019).

2.7. Peixes-zebra

² Informações sobre o desenvolvimento dos ouriços-do-mar foram encontradas no link <https://www.vcbio.science.ru.nl/en/virtuallessons/embryology/seaurchinstage/#urchin-pluteus>. Acessado em 23 ago. 2023.

³ Informações sobre o desenvolvimento dos ouriços-do-mar foram encontradas no link <https://www.imas.utas.edu.au/zooplankton/image-key/echinodermata/echinoidea-pluteus-larva>. Acessado em 23 ago. 2023.

Os peixes-zebra (*Danio rerio*) são peixes ósseos de água doce da classe Actinopterygii, que possuem como característica marcante cinco listras horizontais ao longo do corpo⁴.

Os indivíduos de *D. rerio* são dióicos, e a reprodução ocorre por meio de fertilização externa⁵. Os zigotos de peixe-zebra passam pelas fases de clivagem, blástula, gástrula, segmentação e faríngula até eclodir 48 horas após os ovos terem sido fertilizados (Kimmel *et al.*,1995). A eclosão dá origem a uma larva com capacidade de natação e procura de alimento, a qual só se tornará juvenil após trinta dias e adulta passados noventa dias (Kimmel *et al.*, 1995).

Peixes-zebra são bastante utilizados em pesquisas toxicológicas e de biologia do desenvolvimento, devido às suas similaridades fisiológicas e genéticas com os seres humanos, alguns exemplos de semelhanças são a vascularização, musculatura, o cérebro, o trato digestivo e o sistema imune inato (Khan; Alhewairini, 2018). A Figura 2 mostra o desenvolvimento do peixe-zebra em hpf (horas pós-fertilização) e após a etapa de eclosão.

⁴ Informações sobre *Danio rerio* foram encontradas no link <https://www.fishbase.se/summary/Danio-rerio.html>. Acessado em 23 ago. 2023.

⁵ Informações sobre *Danio rerio* foram encontradas no link <https://www.fishbase.se/summary/Danio-rerio.html>. Acessado em 23 ago. 2023.

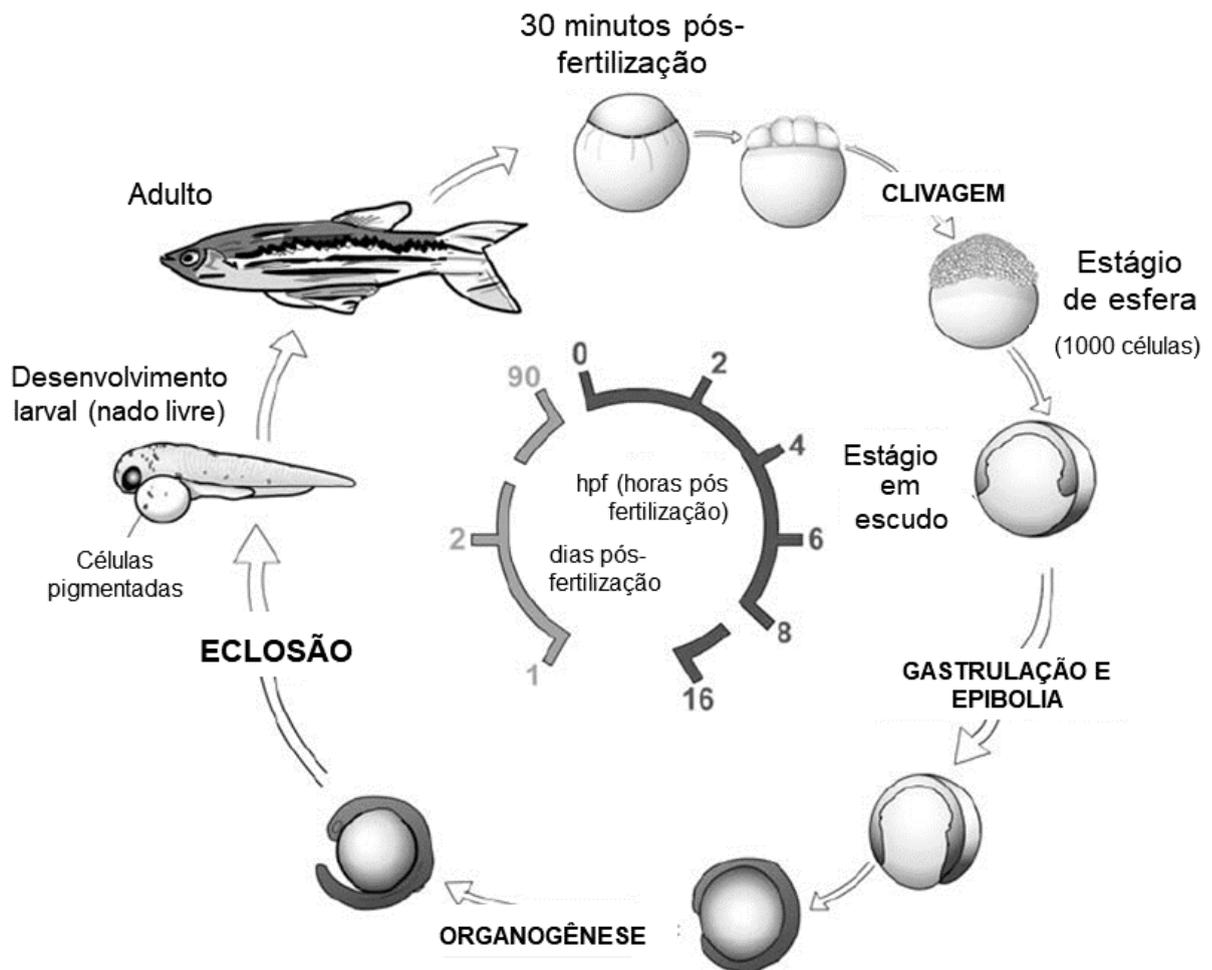


Figura 2. Desenvolvimento do peixe-zebra. O peixe-zebra desenvolve-se rapidamente a partir do zigoto. A gastrulação e a epibolia (movimento em que a ectoderme espalha-se por baixo, cobrindo todo o embrião) iniciam aproximadamente 6 h após a fertilização. A formação dos órgãos e sistemas (organogênese) segue no primeiro dia. A eclosão ocorre cerca de 48 horas após a fertilização e as larvas têm nado livre e alimentação próprias. O peixe-zebra atinge a maturidade sexual por volta dos três meses de idade e pode viver até cinco anos. Imagem adaptada de D'Costa & Shepherd, 2009.

2.8. Rãs

As rãs são animais vertebrados da classe Amphibia. Anfíbios realizam trocas gasosas através da pele e dos pulmões, variando a proporção dos tipos de respiração entre as espécies (Benedito, 2015). Os ovos de rãs não possuem âmnio (Gilbert, 2019). Na vida adulta costumam possuir um tronco curto, ausência de cauda e patas posteriores maiores que as demais e adaptadas para saltos. Além disso, também utilizam vocalizações para se comunicar, sendo distintas entre cada espécie e ocorrendo tanto em fêmeas, quanto machos. O canto produzido pelos anfíbios anuros possui diversas funções, entre elas auxiliar na reprodução, na defesa territorial e evitar predações (Benedito, 2015).

A espécie de rã *Xenopus laevis*, após a fertilização do embrião, passa pelos estágios de clivagem, blástula, gastrulação, neurulação, enrolamento intestinal, pré-metamorfose, pró-metamorfose e metamorfose⁶.

Os embriões de anfíbios são muito utilizados em pesquisas de biologia do desenvolvimento em razão de possuírem células grandes e desenvolvimento rápido (Gilbert, 2019).

2.9. Sépias

As sépias são animais invertebrados do filo Mollusca, classe Cephalopoda, ordem Sepiida e família Sepiidae. As sépias possuem uma concha interna calcária, corpo curto, achatado, oito braços e dois tentáculos. São animais dioicos. Indivíduos do gênero *Sepia* são capazes de alterar sua pigmentação por meio dos cromatóforos que são controlados pelo sistema nervoso (Brusca, 2018).

A reprodução nos cefalópodes ocorre por meio do braço modificado dos machos, o hectocótilo, que transfere os espermatozóides para a membrana bucal das fêmeas. Os ovos são dispostos em substratos rígidos, que quando eclodem dão origem a um organismo de desenvolvimento direto, não possuindo então, metamorfose. Após o período de reprodução os cefalópodes parentais morrem, não ocorrendo, portanto, o cuidado parental (Fransozo, 2016).

2.10. Tunicados

Os tunicados, também chamados de urocordados, são animais marinhos de vida livre ou sésseis, podendo viver sozinhos ou em agrupamentos coloniais. Os tunicados pertencem ao subfilo Tunicata do filo Chordata (Fransozo, 2016). O nome Tunicata advém do tecido que recobre a epiderme, similar a uma túnica que pode variar sua coloração desde o bege ou cinza a cores mais chamativas como vermelhos, roxos, pretos e amarelos (Fransozo, 2016). As túnicas são constituídas de microfibrilas de celulose I e podem ter diversas texturas, tais como coriáceas, membranosas, mucosas, gelatinosas e cartilaginosas (Fransozo, 2016). As túnicas possuem função protetora contra predações e também promovem adesão aos

⁶ Informações sobre o desenvolvimento de *Xenopus laevis* foram encontradas no link <https://www.xenbase.org/xenbase/landmarks-table.do>. Acessado em 23 ago. 2023.

substratos nos animais sésseis. Os tunicados são animais que se alimentam por filtração através de um sifão (Fransozo, 2016).

Os modos reprodutivos nos tunicados tendem a variar entre as classes. Focaremos em descrever a classe Ascidiacea, visto que a ela pertence a espécie *Ciona robusta*, a qual foi estudada em artigos analisados nesta revisão. Em Ascidiacea, a maior e com mais diversidade de Tunicata (Brusca, 2018), a reprodução ocorre por fertilização interna em espécies de característica colonial e por fertilização externa na maioria das espécies de característica sésil. *C. robusta* possui fertilização externa, na qual ambos os gametas são dispersos no ambiente. Após a junção dos gametas ocorre a formação de uma larva composta basicamente por um tronco, uma cauda e uma túnica (Fransozo, 2016). Durante a fase larval de *C. robusta*, esta apresenta comportamento lecitotrófico (não se alimenta) e de vida livre-natante até se fixar num substrato, onde passará por uma metamorfose (Brusca, 2018).

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo foi a revisão integrativa, por possibilitar a combinação e integração dos resultados de pesquisas com diferentes abordagens metodológicas. A revisão baseou-se na metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Re-views and Meta-Analyses*) (Liberati *et al.*, 2009).

As bases de dados utilizadas para a pesquisa foram: Biblioteca Virtual em Saúde (BVS, <https://bvsms.saude.gov.br/>), Pubmed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) e o buscador Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br/>). Para a busca, selecionou-se duas combinações de palavras-chave *microplastic AND “embryo development”* e *nanoplastic AND “embryo development”*. Os critérios de inclusão foram: ser artigo original e avaliar efeitos dos MPs ou NPs no desenvolvimento embrionário em modelos animais. Foram selecionados os trabalhos publicados entre os anos de 2010 a 2023 na língua inglesa, por abranger a maior parte das publicações na área. Nas bases Pubmed e BVS todos os resultados foram selecionados. No buscador Google Acadêmico foram elegidos os resultados das primeiras dez páginas de busca, devido à elevada quantidade de páginas retornadas. Todos os artigos retornados nas bases de dados foram elencados em uma tabela principal, retirando-se os artigos duplicados. A leitura e análise dos artigos foi realizada por dois revisores, e a partir dos dados extraídos, foi construída uma tabela compilando informações dos resultados de cada artigo, bem como o modelo animal estudado, a composição dos MPs e/ou NPs e da presença ou não de substâncias associadas aos MPs/NPs nos experimentos. A partir disso, os resultados encontrados foram separados em alterações moleculares, celulares, fisiológicas e comportamentais nos embriões e em alterações embrionárias, como diminuição da eclosão e malformações, em cada modelo animal.

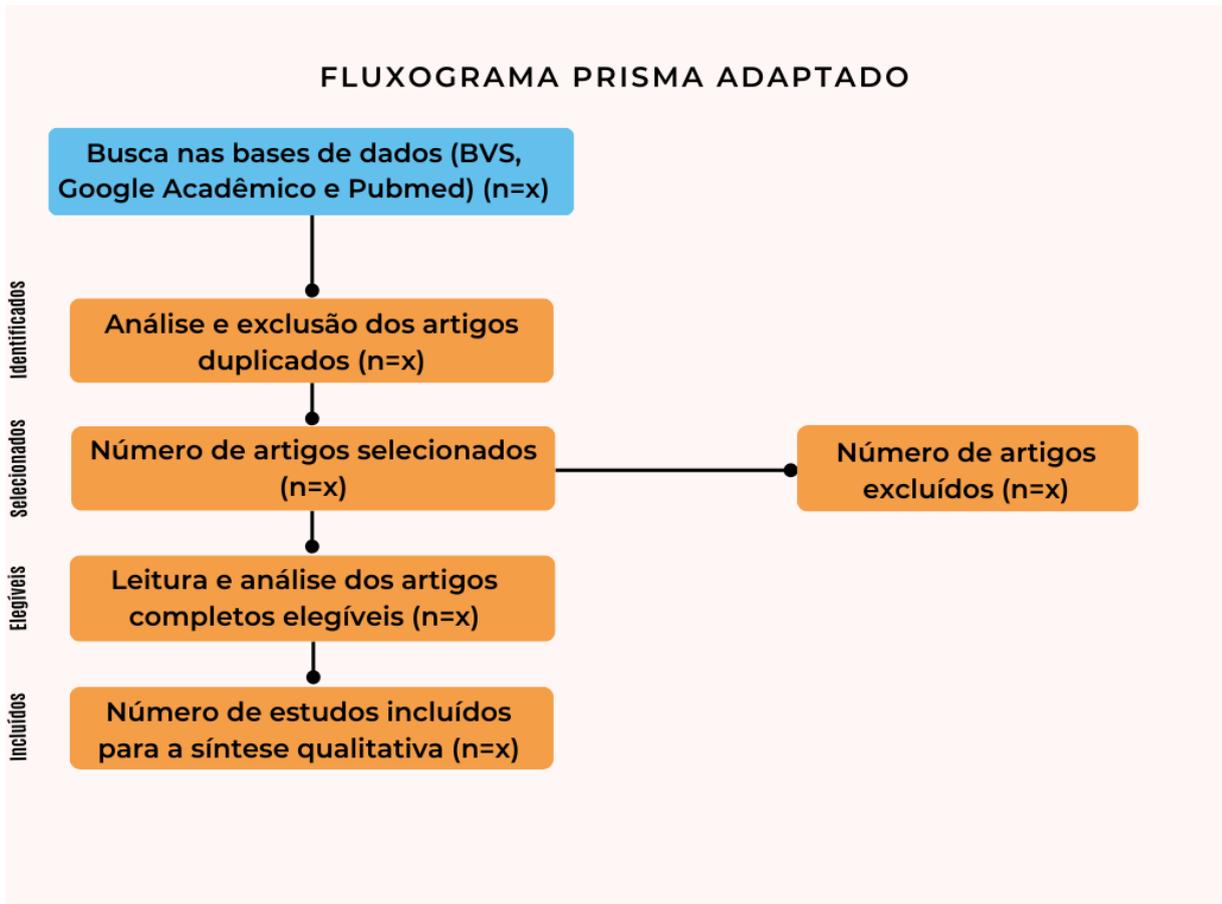


Figura 3: Fluxograma PRISMA adaptado, utilizado para guiar a busca, seleção e análise dos artigos. Fonte: a autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Revisão

Neste estudo, após a procura dos artigos utilizando as palavras-chave *microplastic* AND "embryo development" e *nano plastic* AND "embryo development" nas bases de dados BVS, Google Acadêmico e Pubmed, resultou-se em 268 artigos. Os 268 artigos foram então migrados para o gerenciador de referências *Mendeley*, onde foram organizados alfabeticamente e retiradas suas duplicatas, resultando em 182 artigos. Deste total, foram excluídos os artigos de revisão (35 artigos) ou cujo tema saísse da proposta, não abordando MPs ou NPs como tema de pesquisa (6 artigos); ou não abordando o desenvolvimento embrionário (8 artigos); ou apenas usando modelos vegetais nos experimentos (1 artigo). Também foram excluídos os artigos que não puderam ser acessados na íntegra pelas bases disponíveis no Brasil e na UFRGS (3 artigos) e os resultados da busca que se tratavam de capítulos de livros, teses, resumos publicados em anais de eventos ou outro formato que não correspondesse a um artigo científico (13 itens). A relação dos artigos não analisados está disposta na tabela no apêndice.

A partir da tabela com os resultados, realizou-se a separação em dez grupos de animais assemelhados, como os ouriços-do-mar e bivalves, divididos em ordem filogenética de acordo com os filos pertencentes destes animais, entre eles Arthropoda, Echinodermata, Mollusca e Chordata.

Devido às diferenças no desenvolvimento embrionário das espécies analisadas nos artigos selecionados, e como forma de melhor compreender os efeitos ambientais de MPs e NPs, as análises a seguir foram também agrupadas em: aves, bivalves, camundongos, copépodes, dáfniás, ouriços-do-mar, peixes-zebra, rãs, sépias, tunicados e peixes. Devido à ampla gama de alterações induzidas por MPs e NPs nos trabalhos analisados, foram feitas tabelas com os resultados das alterações moleculares, celulares, metabólicas e embrionárias e com os efeitos nas taxas de eclosão e de sobrevivência.

4.2. Filo Mollusca

4.2.1. Efeito de MPs e NPs em Bivalves

Os artigos analisados nesta seção abordam cinco espécies de moluscos bivalves (*Crassostrea gigas*, *Meretrix meretrix*, *Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Pinctada margaritifera*). Um dos efeitos mais observados nos artigos foram as alterações na transcrição de genes, com todos os quatro registros relatando a ocorrência na mesma espécie, *M. galloprovincialis* (Balbi *et al.*, 2017; Wathsala *et al.*, 2018; Franzellitti *et al.*, 2019; Capolupo *et al.*, 2018). Os registros de efeitos genéticos ocorreram com MPs de PS, estireno e NPs de PS aminado (PS-NH₂). Outros efeitos frequentes foram interferências no desenvolvimento, como a inibição total (Tallec *et al.*, 2018) e redução no desenvolvimento larval (Balbi *et al.*, 2017), a partir das menores doses avaliadas de NPs de PS-NH₂. Também foram relatadas alterações no crescimento larval e na primeira ninhada induzida pela exposição aos MPs (Balbi *et al.*, 2017; Sussarellu, *et al.*, 2016). Em Rist *et al.* (2019) não foram verificadas alterações no crescimento larval. Esses, entre outros efeitos encontrados, estão dispostos na tabela I.

Tabela I. Alterações moleculares, celulares, metabólicas e embrionárias em embriões de bivalves (*Crassostrea gigas*, *Meretrix meretrix*, *Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Pinctada margaritifera*)

Efeito	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Redução no sucesso de fertilização	Poliestireno (PS), NP	entre 1 e 25 µg/mL	Tallec <i>et al.</i> , 2018
Inibição total do desenvolvimento larval	Poliestireno (PS) e Poliestireno modificado com aminoácidos (PS-NH ₂), NP - 50 nm	0.1 µg/mL	Tallec <i>et al.</i> , 2018
Redução no desenvolvimento larval	Poliestireno modificado com aminoácidos (PS-NH ₂), NP	a partir de 0.001 mg/L (efeito dependente da dose)	Balbi <i>et al.</i> , 2017
Interrupção na formação de larvas <i>D-velliger</i>	Poliestireno modificado com aminoácidos (PS-NH ₂), NP	20 mg/L	Balbi <i>et al.</i> , 2017
Redução no rendimento da larva <i>D-Velliger</i>	Poliestireno (PS) e Poliestireno modificado com aminoácidos (PS-NH ₂), NP - 50 nm	25 µg/mL	Tallec <i>et al.</i> , 2018

Ausência de alteração na metamorfose	Poliestireno (PS), Poliestireno modificado com carboxi (PS- COOH) - 50 nm e Poliestireno modificado com aminoácidos (PS-NH ₂), NP - 50 nm	0.1, 1, 10 e 25 µg/mL	Taltec <i>et al.</i> , 2018
Redução no % de espermatozoides móveis	Poliestireno modificado com aminoácidos (PS-NH ₂), NP	10 e 25 µg mL ⁻¹ .	Taltec <i>et al.</i> , 2020
Redução na produção de larvas D	Polipropileno (PP), MP e Polietileno (PE), MP Poliestireno modificado com aminoácidos (PS-NH ₂), NP	100 g.L ⁻¹ 10 e 25 µg mL ⁻¹ .	Gardon <i>et al.</i> , 2020
Ausência de alteração na produção de larvas D	Poliestireno modificado com carboxi (PS- COOH)	10 e 25 µg mL ⁻¹	Taltec <i>et al.</i> , 2020
Presença no trato digestivo/intestinal	Poliestireno (PS), MP.	0.023 mg·L ⁻¹	Sussarellu <i>et al.</i> , 2016
Redução na quantidade e diâmetro dos oócitos	Poliestireno (PS), MP.	0.023 mg·L ⁻¹	Sussarellu <i>et al.</i> , 2016
Crescimento larval retardado da prole	Poliestireno (PS), MP.	0.023 mg·L ⁻¹	Sussarellu <i>et al.</i> , 2016
Crescimento retardado	Poliestireno modificado com aminoácidos (PS-NH ₂), NP	2,5 mg/L a 10 mg/L	Balbi <i>et al.</i> , 2017
Alteração na transcrição de genes relacionados ao sistema imunológico e de desenvolvimento do embrião.	Poliestireno modificado com aminoácidos (PS-NH ₂), NP	0.001 a 20 mg/L	Balbi <i>et al.</i> , 2017
	Estireno	0,01 µg/L a 1 mg/L	Wathsala <i>et al.</i> , 2018
	Poliestireno (PS), MP	50 e 500 particle/mL	Franzellitti <i>et al.</i> , 2019
	Poliestireno (PS), MP	50-10.000 MP mL ⁻¹	Capolupo <i>et al.</i> , 2018

Alteração no desenvolvimento larval	Poliestireno (PS), MP e NP	1,40, 1,05, 0,70 e 0 mg L ⁻¹	Rist <i>et al.</i> , 2019
	Estireno	0,01 µg/L a 1 mg/L	Wathsala <i>et al.</i> , 2018
	Poliestireno (PS), MP	100 e 10.000 MP mL ⁻¹	Capolupo <i>et al.</i> , 2018
Ausência de alteração no crescimento	Poliestireno (PS), MP e NP	1,40, 1,05, 0,70 e 0 mg L ⁻¹	Rist <i>et al.</i> , 2019

Em relação às taxas de mortalidade, um dos experimentos relatou taxa de mortalidade de 100% em embriões expostos a 25 µg/mL de PS carboxiladas (PS-COOH; Tallec *et al.*, 2018). O experimento que utilizou MPs de PE e PP também relatou alterações nas taxas de mortalidade dos indivíduos (Gardon *et al.*, 2020), no entanto dois estudos que utilizam MPs de PS e de estireno não registraram alterações em suas taxas (Wathsala *et al.*, 2018; Capolupo *et al.*, 2018). Os dados descritos acima estão dispostos na tabela II.

Tabela II. Ecloração e sobrevivência de *bivalves* (*Crassostrea gigas*, *Meretrix meretrix*, *Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Pinctada margaritifera*)

Taxa de ecloração ou sobrevivência	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Taxa de mortalidade 100%	Poliestireno modificado com carboxi (PS- COOH) - 50 nm	25 µg/mL	Tallec <i>et al.</i> , 2018
Ausência de alteração na taxa de mortalidade	Estireno	0.01 µg/L a 1 mg/L	Wathsala <i>et al.</i> , 2018
	Poliestireno (PS), MP	50 a 10.000 MP mL ⁻¹	Capolupo <i>et al.</i> , 2018
Alteração na taxa de mortalidade	Polipropileno (PP), MP e Polietileno (PE), MP	100 g.L ⁻¹ (25 g MPs-1 e 25 g MPs-2)	Gardon <i>et al.</i> , 2020

As principais malformações encontradas foram em relação ao desenvolvimento do manto e conchas (Tallec *et al.*, 2020; Balbi *et al.*, 2017),

ocorridas após tratamento com NPs de PS-NH₂, MPs de PS e de PS-COOH. Essas malformações estão dispostas na tabela III. Em Rist *et al.* (2019) foi observada uma correlação entre o maior aparecimento de larvas com defeitos em sua formação e maiores concentrações e tempo de exposição às partículas de PS, entretanto o tamanho das partículas também foi relevante nessa interferência, com MPs de 100 nm ocasionando efeitos com tempos mais curtos de tratamento que MPs menores de 2 µm.

Tabela III. Ocorrências de malformações em embriões de bivalves (*Crassostrea gigas*, *Meretrix meretrix*, *Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Pinctada margaritifera*)

Malformações	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Malformações na larva D-veliger	Estireno	0.01 µg/L a 1 mg/L	Wathsala <i>et al.</i> , 2018
<i>Mineralização parcial da concha</i> , Alteração no comprimento da casca.	Poliestireno modificado com aminoácidos (PS-NH ₂), NP	0,001 a 1 mg/L	Balbi <i>et al.</i> , 2017
Malformações manto e/ou concha	Poliestireno (PS), MP - 50 nm	10 e 25 µg/mL	Talleg <i>et al.</i> , 2020
Alteração de genes que regulam a biogênese da casca	Estireno Poliestireno (PS), MP	0,01 µg/L a 1 mg/L 50 a 10.000 MP mL ⁻¹	Wathsala <i>et al.</i> , 2018 Capolupo <i>et al.</i> , 2018

4.2.2. Efeito de MPs e NPs em Sépias

Dentre todos os artigos analisados, apenas dois correspondiam a espécies de sépias (*Sepia esculenta* e *Sepia officinalis*). Um dos artigos aborda microplásticos de PP e PVC (Chemello *et al.*, 2022) e o outro NPs de PS (Liu *et al.*, 2023). A análise dos efeitos documentados verificou que a exposição às MPs não resultou em alterações no desenvolvimento de órgãos e tecidos, mas reduziu o comprimento dorsal do manto das sépias (tratamento com MPs de PP e PVC de 1.6 µm) (Chemello *et al.*, 2022). A redução do manto foi correlacionada com uma maior quantidade de micropartículas amostradas e a relação inversa também foi demonstrada (Chemello *et al.*, 2022). Foi verificado no estudo de Liu *et al.* (2023) a ocorrência de alterações nos genes associados ao sistema imunológico. Os resultados encontrados estão dispostos na tabela IV.

Tabela IV. Alterações moleculares, celulares, metabólicas e embrionárias em embriões de sépias (*Sepia esculenta* e *Sepia officinalis*)

Efeito	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Ausência de alterações no desenvolvimento de órgão e tecidos	Polipropileno (PP) e Cloreto de polivinila (PVC), MP - 1.6 µm	não informado	Chemello <i>et al.</i> , 2023
Alterações em genes associados ao sistema imunológico	Poliestireno (PS), NP - 50 nm	50 mgL-1L	Liu <i>et al.</i> , 2023

4.3. Filo Arthropoda

4.3.1. Efeito de MPs e NPs em copépodes

Nesta análise foram verificados artigos que abordavam duas espécies de crustáceos pertencentes à subclasse Copepoda, *Tigriopus japonicus* e *Tigriopus fulvus*. Dos efeitos registrados, foram relatadas alterações nas taxas de consumo de oxigênio, filtração e consequente alimentação dos copépodes após exposição a MPs de PS associadas ao elemento Cádmiio (Cd) (Shi *et al.*, 2022). Foi observado em dois estudos que utilizaram MPs de PE a presença e o acúmulo dessas partículas no trato intestinal (Yu *et al.*, 2020; Beiras *et al.*, 2018). A aderência das partículas foi verificada em diversos órgãos dos copépodes, como nas patas, nos segmentos da carapaça, em apêndices de alimentação, nos membros de sustentação, nas antenas e na furca (também chamada de ramo caudal) (Yu *et al.*, 2020). Também foram evidenciadas alterações na atividade enzimática de superóxido dismutase (SOD) e glutathiona redutase, na atividade da proteína glutathiona (GLU), na transcrição de genes, bem como um aumento na geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) após a exposição à MPs de PS em 20 mg/L (Choi; Hong; Park, 2020). Os principais efeitos encontrados estão dispostos na tabela V.

Tabela V. Alterações moleculares, celulares, metabólicas e embrionárias em embriões de copépodes (*Tigriopus japonicus* e *fulvus*)

Efeito	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Diminuição na taxa de	Poliestireno (PS)	10 mg/mL	Shi <i>et al.</i> , 2022

consumo de oxigênio, na taxa de filtração e alimentação	associado ao Cádmio, MP		
Aumento nos níveis de glicose	Poliestireno (PS) associado ao Cádmio, MP	10 mg/mL	Shi <i>et al.</i> , 2022
Crescimento retardado	Poliestireno (PS) associado ao Cádmio, MP	10 mg/mL	Shi <i>et al.</i> , 2022
	Polietileno (PE) e Poliamida-nylon 6 (PA 6), MP	12.5, 25, 50, 100, 200, e 400 mg L ⁻¹	Yu <i>et al.</i> , 2020
Alteração na proporção de fêmeas grávidas	Polietileno (PE) e Poliamida-nylon 6 (PA 6), MP	a partir de 12,5 mg L ⁻¹	Yu <i>et al.</i> , 2020
Acúmulo nas patas de natação e apêndices de alimentação	Poliamida-nylon 6 (PA 6), MP e Polietileno (PE), MP	12.5, 25, 50, 100, 200, e 400 mg L ⁻¹	Yu <i>et al.</i> , 2020
Acúmulo em todo trato intestinal	Polietileno (PE) e Poliamida-nylon 6 (PA 6), MP	12.5, 25, 50, 100, 200, e 400 mg L ⁻¹	Yu <i>et al.</i> , 2020
Acúmulo no fim do trato intestinal	Polietileno (PE), MP	0.1, 1, 10 mg L ⁻¹	Beiras <i>et al.</i> , 2018
Indução de ROS	Poliestireno (PS), MP	20 mg/L	Choi; Hong; Park, 2020
Aumento da atividade enzimática <i>glutathione reductase (GR)</i> e <i>superóxido dismutase (SOD)</i>	Poliestireno (PS), MP	20 mg/L	Choi; Hong; Park, 2020

Em relação à taxa de eclosão e sobrevivência de copépodes após as exposições, verificou-se um efeito transgeracional na redução da eclosão e na sobrevivência desses filhotes, quando expostos à MPs de PS associadas ao Cádmio (Shi *et al.*, 2022). A redução na taxa de sobrevivência também foi observada em embriões expostos à MPs de PE e Poliamida 6 (PA 6) (Yu *et al.*, 2020). No estudo que avaliou a interferência de MPs de PS na taxa de mortalidade dos embriões não foi registrado alterações desta natureza (Choi; Hong; Park, 2020). Os dados descritos estão dispostos na tabela VI.

Tabela VI. Eclosão e sobrevivência de copépodes (*Tigriopus japonicus* e *fulvus*)

Taxa de eclosão ou sobrevivência	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Redução na eclosão na geração F2	Poliestireno (PS) associado ao Cádmio, MP	10 mg/mL	Shi <i>et al.</i> , 2022
Redução na sobrevivência na descendência	Poliestireno (PS) associado ao Cádmio, MP	10 mg/mL	Shi <i>et al.</i> , 2022
Redução na taxa de sobrevivência	Polietileno (PE) e Poliamida-nylon 6 (PA 6), MP	a partir de 12,5 mg L ⁻¹	Yu <i>et al.</i> , 2020
Ausência de alteração na taxa de mortalidade	Poliestireno (PS), MP	20 mg/L	Choi; Hong; Park, 2020

Nos dois estudos que analisaram a presença de malformações nos embriões de copépodes, foram relatados a ausência destas alterações após a exposição a MPs de PE, PA 6 e PS (Yu *et al.*, 2020; Choi, Hong e Park, 2020). Portanto, os efeitos registrados em copépodes se referiram predominantemente aos seus aspectos fisiológicos e reprodutivos do que alterações em sua morfologia.

4.3.2. Efeito de MPs e NPs em dáfrias

Nesta seção foram analisados artigos que abordavam duas espécies de dáfrias (*Daphnia galeata* e *Daphnia magna*). Dentre os efeitos mais frequentes estavam alterações no tamanho corpóreo (Gökçe *et al.*, 2022), ocorridas após exposição à MPs de PMA e PVA, e também alterações na taxa reprodutiva das dáfrias (Liu *et al.*, 2022b), ocorridas após exposição às MPs de PVC. Foi reportado em Song *et al.* (2021) que a exposição à MPs de PE associados à benzofenona-3 (BP-3), uma substância utilizada em protetores solares produziu efeitos como a presença de lesões patológicas no intestino e a redução do desenvolvimento embrionário e do comprimento da prole. Esses, entre outros efeitos encontrados, estão dispostos na tabela VII.

Tabela VII. Alterações moleculares, celulares, metabólicas e embrionárias em embriões de (*Daphnia galeata* e *Daphnia magna*)

Efeito	Tipo de plástico	Concentração	Referência
--------	------------------	--------------	------------

Presença de partículas no intestino	Poliestireno, NP - 25 nm	0.04 a 25 mg L ⁻¹	Brun <i>et al.</i> , 2017
Acúmulo de partículas em gotículas de gordura	Poliestireno, NP - 25 nm	0.04 a 25 mg L ⁻¹	Brun <i>et al.</i> , 2017
Diminuição do tamanho corporal	Álcool polivinílico (PVA), MP	50 mgL ⁻¹	Gökçe <i>et al.</i> , 2022
Aumento do tamanho corporal	Ácido polimetacrílico (PMA), MP	75 mgL ⁻¹	
	Ácido polimetacrílico (PMA), MP	150 mgL ⁻¹	
Redução na taxa reprodutiva	Álcool polivinílico (PVA), MP	50 mgL ⁻¹	Gökçe <i>et al.</i> , 2022
Adsorção de partículas em proteínas específicas	Poliestireno (PS), NP	200 e 400 mgL ⁻¹	Fadare <i>et al.</i> , 2020
Redução no número de filhotes por fêmea	Cloreto de polivinila (PVC), MP - 2 ± 1 µm	não informado	Liu <i>et al.</i> , 2022b
Redução no número de filhotes na primeira ninhada	Cloreto de polivinila (PVC), MP - 50 ± 10 µm	não informado	Liu <i>et al.</i> , 2022b
Aumento na atividade da enzima superóxido dismutase (SOD), glutatona (GSH), CYP314 e CYP360A8	Cloreto de polivinila (PVC), MP - 2 ± 1 µm e 50 ± 10 µm	não informado	Liu <i>et al.</i> , 2022b
Redução na regulação de vitelogenina (VTG)	Cloreto de polivinila (PVC), MP - 2 ± 1 µm e 50 ± 10 µm	não informado	Liu <i>et al.</i> , 2022
Diminuição da atividade de natação	Polietileno com benzofenona-3 (BP-3 - aditivo do plástico), MP	5 mgL ⁻¹	Song <i>et al.</i> , 2021
Redução do desenvolvimento embrionário e do comprimento da prole	Polietileno com benzofenona-3 (BP-3 - aditivo do plástico), MP	5 mgL ⁻¹	Song <i>et al.</i> , 2021
Presença de lesões patológicas no intestino	Polietileno(MP) e Polietileno com benzofenona-3 (BP-3 - aditivo do plástico), MP - 17.35 ± 5.50 µm	não informado	Song <i>et al.</i> , 2022
Diminuição transgeracional da taxa de crescimento	Polietileno(MP) e Polietileno com benzofenona-3 (BP-3 -	não informado	Song <i>et al.</i> , 2022

somático e no número de descendentes	aditivo do plástico), MP - 17.35 ± 5.50 µm		
Diminuição do desenvolvimento embrionário	Benzofenona-3 (BP-3) - 2.85 µm	não informado	Song <i>et al.</i> , 2022
Redução no número de indivíduos grávidos	Poliestireno (PS), NP - 52nm	5 mgL ⁻¹	Cui; Kim; An, 2017
Adesão de partículas na câmara de criação e nos apêndices caudais	Poliestireno (PS), NP - 52nm	5 mgL ⁻¹	Cui; Kim; An, 2017

Em relação às taxas de eclosão de sobrevivência de dáfrias, foi percebido uma alteração de efeitos dependentes da concentração, tendo sido relatada uma ausência de alterações na taxa de mortalidade em concentrações menores de NPs de PS em Brun *et al.* (2017) e em experimentos com as mesmas partículas em concentrações bem mais elevadas, como em Fadare *et al.* (2020), verificou-se um aumento na taxa de mortalidade. Também foram descritos aumentos na taxa de mortalidade em embriões expostos a PS, PS-COOH, PS-NH₂ e PVA (Cui; Kim; An, 2017; Song *et al.*, 2021; Kelpsiene *et al.*, 2020; Gökçe *et al.*, 2022). Os dados descritos acima estão dispostos na tabela VIII.

Tabela VIII. Eclosão e sobrevivência de dáfrias

Taxa de eclosão ou sobrevivência	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Ausência de alteração na taxa de mortalidade	Poliestireno, NP - 25 nm	0.04 a 25 mg L ⁻¹	Brun <i>et al.</i> , 2017
Alta mortalidade	Poliestireno (PS), NP	200 e 400 mgL ⁻¹	Fadare <i>et al.</i> , 2020
Aumento na mortalidade	Poliestireno com carga positiva (aminadas-PS-NH ₂)	0,32 mgL ⁻¹	Kelpsiene <i>et al.</i> , 2020
	Poliestireno carboxilado (PS-COOH)	0,32 a 7 mgL ⁻¹	Song <i>et al.</i> , 2021
	Acetato de polivinila (PVA), MP	a partir de 50 mgL ⁻¹	Gökçe <i>et al.</i> , 2022
	Poliestireno (PS), NP - 52nm	5 mgL ⁻¹	Cui; Kim; An, 2017

A ocorrência de malformações no desenvolvimento em *D. galeata* transcorreram após exposição a concentrações de 5 mgL⁻¹ de NPs de PS maiores (52 nm) (Cui; Kim; An, 2017). Em Brun et al. (2017) não foi detectado aumento na ocorrência de malformações. Os dados descritos estão dispostos na tabela IX.

Tabela IX. Ocorrências de malformações em embriões de dáfnias

Malformações	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Ausência de aumento de malformações	Poliestireno, NP - 25 nm	0.04 a 25 mg L ⁻¹	Brun <i>et al.</i> , 2017
Anormalidades no desenvolvimento embrionário	Poliestireno (PS), NP - 52nm	5 mgL ⁻¹	Cui; Kim; An, 2017

4.4. Filo Echinodermata

4.4.1. Efeito de MPs e NPs em ouriços-do-mar

Os artigos analisados nesta seção abordam quatro espécies de ouriços-do-mar (*Arbacia lixula*, *Lytechinus variegatus*, *Paracentrotus lividus* e *Sphaerechinus granularis*), sendo seis estudos com MPs e um estudo com NPs. Um efeito bastante representativo nesse grupo de animais foi a interrupção do desenvolvimento, sendo presente em trabalhos com *A. lixula*, *P. lividus* e *S. granularis*, com diferentes microplásticos (PS, PMMA e PVC) em diferentes concentrações (0.1, 1, 5, 10, 30 e 50 mg L⁻¹) associados ou não à outras substâncias (Cipermetrina) (Burić *et al.*, 2023; Oliviero *et al.*, 2019; Trifuoggi *et al.*, 2019). Foi relatado ausência de alterações nas taxas de fertilização ao se experimentar com micropartículas de PMMA e presença de alterações nas experimentações com PS (Trifuoggi *et al.*, 2019). O estudo de Oliviero *et al.* (2019) evidenciou diferentes efeitos no crescimento larval dependentes da coloração das MP de PVC. Essa alteração ocorre pela adição de plastificantes, pigmentos e antioxidantes, que conferem as características desejadas ao plástico (Hahladakis *et al.*, 2018), mas que também podem conferir toxicidade ao produto (Özlem; Hatice, 2008). Em Oliviero *et al.* (2019) o lixiviado se mostrou mais tóxico por ocasionar

efeitos em todas as colorações de MP. Esses, entre outros efeitos encontrados, estão dispostos na tabela X.

Tabela X. Alterações moleculares, celulares, metabólicas e embrionárias em embriões de ouriços-do-mar (*Arbacia lixula*, *Lytechinus variegatus*, *Paracentrotus lividus* e *Sphaerechinus granularis*)

Efeito	Tipo de plástico	Concentração	Referência	
Interrupção parcial no desenvolvimento	Poliestireno (PS) e Polimetilmetacrilato (PMMA) + Cipermetrina, MP	PMMA e PS 0.1, 1, 5, 10 e 50 mg L ⁻¹ e cipermetrina 10, 1000 µg L ⁻¹	Burić <i>et al.</i> , 2023	
	Policloreto de vinila (PVC) derivado de brinquedos de cor azul e verde, MP	30 mg L ⁻¹	Oliviero <i>et al.</i> , 2019	
	Poliestireno (PS) e Polimetilmetacrilato (PMMA), MP	5 mg L ⁻¹	Trifuoggi <i>et al.</i> , 2019	
Desenvolvimento retardado	Polimetilmetacrilato (PMMA), MP	0.1, 1, 5, 10 e 50 mg L ⁻¹	Burić <i>et al.</i> , 2023	
Ausência de alteração na taxa de fertilização	Poliestireno (PS) e Polimetilmetacrilato (PMMA) + Cipermetrina, MP	PMMA e PS 0.1, 1, 5, 10 e 50 mg L ⁻¹ e cipermetrina 10, 1000 µg L ⁻¹	Burić <i>et al.</i> , 2023	
		Polimetilmetacrilato (PMMA), MP	1-5 mg L ⁻¹	Trifuoggi <i>et al.</i> , 2019
		Poliestireno (PS), MP	0,1 mg L ⁻¹	Trifuoggi <i>et al.</i> , 2019
Acúmulo de partículas trato digestivo	Poliestireno carboxiladas (PS-COOH), NP	2.5, 5, 10, 25 e 50 µg mL ⁻¹	Torre <i>et al.</i> , 2014	
	Polietileno (PE), MP	0, 1, 3, 10, 30, 100 mg L ⁻¹	Beiras <i>et al.</i> , 2018	
Geração de ROS	Poliestireno aminados (PS-NH ₂), NP	1, 2.5, 3, 5, 10 e 50 µg mL ⁻¹	Torre <i>et al.</i> , 2014	
Ruptura da membrana celular	Poliestireno aminados (PS-NH ₂), NP	1, 2.5, 3, 5, 10 e 50 µg mL ⁻¹	Torre <i>et al.</i> , 2014	
Alterações na regulação do gene associado ao desenvolvimento <i>Abcb1</i>	Poliestireno carboxiladas (PS-COOH), NP	2.5, 5, 10, 25 e 50 µg mL ⁻¹	Torre <i>et al.</i> , 2014	

Alteração nas células primárias mesenquimais	Biobeads lixiviados coletados na praia: 92% de Polietileno (PE) e 8% de Poliamida (PA), MP	10% (v/v)	Rendell-Bhatti <i>et al.</i> , 2021
Atraso na gastrulação	Lixiviado de Policloreto de vinila (PVC), MP	10% (v/v)	Rendell-Bhatti <i>et al.</i> , 2021
Redução da quantidade de células pigmentadas	Lixiviado de Policloreto de vinila (PVC), MP	10% (v/v)	Rendell-Bhatti <i>et al.</i> , 2021
Aumento da quantidade de células pigmentadas	Nurdles lixiviados coletados na praia: 78% Polietileno (PE), 12% de Poliamida (PA) e 10% de Polipropileno (PP), MP	10% v/v	
Redução do crescimento larval	Policloreto de vinila (PVC) derivado de brinquedos verdes e azuis, MP Lixiviados de Policloreto de vinila (PVC) derivado de brinquedos verdes e azuis, MP Lixiviados de Policloreto de vinila (PVC) derivado de brinquedos laranjas, MP	A partir de 10 mg L ⁻¹ Diluição a partir de 3,3% Diluição a partir de 6,25%	Oliviero <i>et al.</i> , 2019
Ausência de efeito no crescimento larval	Policloreto de vinila (PVC) derivado de brinquedos laranjas, MP	0,3, 1, 3, 10 e 30 mg L ⁻¹	

Dos artigos analisados, apenas um avaliou a taxa de mortalidade, não sendo observadas alterações, apesar da ocorrência de interferências no desenvolvimento larval (Burić *et al.*, 2023).

Foram observadas alterações no desenvolvimento neuronal com a exposição a lixiviados coletados na praia contendo MPs de PE, poliamida (PA) e PP, como alteração na quantidade de neurônios serotoninérgicos (Rendell-Bhatti *et al.*, 2021). Em relação às malformações em ouriços-do-mar, foi observado aumento da taxa de aparecimento de larvas com desenvolvimento anômalo a partir da exposição a tipos de plástico em micro e nanopartículas (Nobre *et al.*, 2015; Rendell-Bhatti *et al.*, 2021; Torre *et al.*, 2014). No estudo de Trifuoggi *et al.* (2019) foi verificada ausência na

ocorrência de malformações. Esses, entre outros efeitos encontrados, estão dispostos na tabela XI.

Tabela XI. Ocorrências de malformações em embriões de ouriços-do-mar

Malformações	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Redução de 10-20% na taxa de larvas com morfologia normal	Polimetilmetacrilato (PMMA), MP	0.1, 1, 5, 10 e 50 mg L ⁻¹	Burić <i>et al.</i> , 2023
Aumento na frequência de desenvolvimento anômalo de larvas até 10%	Pellets coletados na praia, MP	Não informado	Nobre <i>et al.</i> , 2015
entre 52,0% a 84,6%	Grânulos de polietileno virgem, MP	Não informado	Rendell-Bhatti <i>et al.</i> , 2021
86%	Pellets de Policloreto de vinila (PVC), MP	10% v/v	Torre <i>et al.</i> , 2014
Aumento de embriões com malformações	Poliestireno carboxiladas (PS-COOH), NP	2.5, 5, 10, 25 and 50 µg mL ⁻¹	Trifuoggi <i>et al.</i> , 2019
	Poliestireno (PS) e polimetilmetacrilato (PMMA), MP	0,1-5 mg L ⁻¹	
Malformações esqueléticas	Polimetilmetacrilato (PMMA), MP	0.1, 1, 5, 10 e 50 mg L ⁻¹	Burić <i>et al.</i> , 2023
Alteração no fenótipo no estágio plutei	Lixiviado de Policloreto de vinila (PVC), MP	10% (v/v)	Rendell-Bhatti <i>et al.</i> , 2021
	Pellets lixiviados coletados na praia: 78% Polietileno (PE), 12% de Poliamida (PA) e 10% de Polipropileno (PP), MP	10% (v/v)	
	Biobeads lixiviados coletados na praia: 92% de Polietileno (PE) e 8% de Poliamida (PA), MP	10% (v/v)	

4.5. Filo Chordata

4.5.1. Efeito de MPs e NPs em aves

Nesta revisão foram encontrados dois artigos que abordam a espécie de aves *Gallus gallus*. Ambos os estudos utilizaram nanopartículas de poliestireno, e obtiveram como resultado muitos e variados efeitos de toxicidade, tais quais o acúmulo de partículas em partes do corpo do embrião, como fígado, sangue, cérebro, sistema cardiovascular e olhos (Nie *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2023a). Também foram verificadas alterações no peso, comprimento e no desenvolvimento do embrião (Nie *et al.*, 2021). Esses, entre outros efeitos encontrados, estão dispostos na tabela XII.

Tabela XII. Alterações moleculares, celulares, metabólicas e embrionárias em embriões de *Gallus gallus*

Efeito	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Acúmulo no fígado e trabéculas cardíacas	Poliestireno (PS), NP - 25 nm	Injeção de 50 µL	Wang <i>et al.</i> , 2023a
Acúmulo na membrana corioalantóica (CAM), fígado, sangue, cérebro, coração e olhos	Poliestireno (PS), NP - 60 nm	0,5 a 50 mgL ⁻¹	Nie <i>et al.</i> , 2021
Morte celular nas células da crista neural	Poliestireno (PS), NP - 25 nm	5 mg ml ⁻¹	Wang <i>et al.</i> , 2023a
Aumento no peso embrionário	Poliestireno (PS), NP - 900 nm	50 mgL ⁻¹	Nie <i>et al.</i> , 2021
Atraso no desenvolvimento embrionário	Poliestireno (PS), NP - 60 e 900 nm	0,5 a 50 mgL ⁻¹	Nie <i>et al.</i> , 2021
Redução no comprimento dos embriões	Poliestireno (PS), NP - 60 nm	0,5 a 50 mgL ⁻¹	Nie <i>et al.</i> , 2021

Nos dois estudos analisados verificou-se um aumento significativo na taxa de mortalidade dos embriões expostos a concentrações distintas de NP (Wang *et al.*, 2023a; Nie *et al.*, 2021).

As malformações registradas foram majoritariamente descritas em Wang *et al.* (2023a) e abrangem uma variedade de defeitos graves induzidas por NP (0,5 a 50 mgL⁻¹): defeitos na formação crânio-facial, defeitos na placa e tubo neural, alterações na cauda, alargamento anormal dos vasos sanguíneos vitelinos, alterações na frequência cardíaca e no sistema cardiovascular, fusão ectópica das duas aortas dorsais em alguns embriões, miocárdio anormalmente fino, malformações do coração e das grandes artérias. Além disso, todos os embriões que sobreviveram à exposição aos NPs de PS apresentaram atrasos e malformações em seu desenvolvimento.

4.5.2. Efeito de MPs e NPs em camundongos

Nesta seção foram analisados os três artigos coletados na revisão que estudavam os efeitos das NPs e MPs em camundongos (*Mus musculus*). Apesar do número reduzido de artigos, as interferências no organismo de *M. musculus* foram várias. Foram verificadas alterações relacionadas ao peso cerebral e do corpo destes animais (Jeong *et al.*, 2022; Nie *et al.*, 2021). Foi percebido um acúmulo de nanopartículas de PS em diversas partes do corpo de *M. musculus*, sendo presentes no cérebro dos filhotes e nos intestinos, no sangue e nas glândulas mamárias das fêmeas lactantes (Jeong *et al.*, 2022). Também foram relatados efeitos no processo reprodutivo, desde a fertilização até a gestação (Zhang *et al.*, 2023a; Nie *et al.*, 2021).

Foi documentada a ausência de defeitos de locomoção nos animais expostos. No entanto, alguns efeitos comportamentais atingiram mais as fêmeas das ninhadas, como por exemplo a redução na frequência e tempo de exploração. Esse efeito, atrelado ao sexo dos filhotes, parece estar associado à também documentada redução de receptor de estrogênio (ER α) no hipocampo e de fosfo-erk, que ocasiona deficits cognitivos em fêmeas, visto que o estrogênio é necessário para a maturação cerebral (Jeong *et al.*, 2022). Esses, entre outros efeitos encontrados estão dispostos na tabela XIII.

Tabela XIII. Alterações moleculares, celulares, metabólicas e embrionárias em embriões de camundongos (*Mus musculus*).

Efeito	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Alteração no peso cerebral e/ou corporal da prole <i>aumento ambos</i>	Poliestireno (PS), NP	10 a 500 µg/dia	Jeong <i>et al.</i> , 2022
<i>Redução ambos</i>	Poliestireno (PS), NP	1000 µg/dia	Nie <i>et al.</i> , 2021
<i>Redução do peso dos embriões</i>	Poliestireno (PS), NP	3.125–100 mg/L	Nie <i>et al.</i> , 2021
Presença de partículas no encéfalo, nos intestinos, no sangue e nas glândulas mamárias das fêmeas lactantes	Poliestireno (PS), NP	10 a 500 µg/dia	Jeong <i>et al.</i> , 2022
Alteração na quantidades de células do hipocampo	Poliestireno (PS), NP	500-1000 µg/dia	Jeong <i>et al.</i> , 2022
Redução na produção de ATP	Poliestireno (PS), NP	25 µg/ml	Jeong <i>et al.</i> , 2022
Alteração na regulação de genes associados à divisão e proliferação celular	Poliestireno carboxilado (PS-COOH), NP	25 µg/ml	Jeong <i>et al.</i> , 2022
Redução de receptor de estrogênio (ER α) no hipocampo e de fosfo-erk nas fêmeas	Poliestireno (PS), NP	10 a 500 µg/dia	Jeong <i>et al.</i> , 2022
Ausência de alteração na quantidade de embriões	Poliestireno (PS), NP	3.125–100 mg/L	Nie <i>et al.</i> , 2021
Alteração no tamanho da ninhada	Polietileno (PE), MP	40 mg/kg	Zhang <i>et al.</i> , 2023a
Redução no peso e diâmetro da placenta	Poliestireno (PS), NP	3.125–100 mg/L	Nie <i>et al.</i> , 2021
Extravasamento da placenta	Poliestireno (PS), NP	60-nm, 3.125–100 mg/L	Nie <i>et al.</i> , 2021
Redução na taxa de fertilização	Polietileno (PE), MP	a partir de 40 mg/kg	Zhang <i>et al.</i> , 2023a
Alteração na geração de ROS nos oócitos	Polietileno (PE), MP	0.4, 4, e 40 mg/kg	Zhang <i>et al.</i> , 2023a
Alteração na atividade	Polietileno (PE), MP	0.4, 4, e 40 mg/kg	Zhang <i>et al.</i> , 2023a

enzimática <i>GSH-Px, GSH, CAT</i>			
---------------------------------------	--	--	--

Apenas um artigo pesquisou alterações nas taxas de sobrevivência, detectando uma redução, após exposições de MPs de PE em concentrações a partir de 40 mg/kg. Também foi verificado um aumento na taxa de apoptose precoce em oócitos, após exposições em diferentes concentrações de MPs de PE (Zhang *et al.*, 2023a).

A única malformação encontrada foi a redução do comprimento neuronal, após exposição a 25 µg/ml de NPs de PS (Jeong *et al.*, 2022).

4.5.3. Efeito de MPs e NPs em peixes-zebra

Nesta seção foram analisados artigos que verificaram os efeitos de MPs e NPs em peixes da espécie *Danio rerio*, englobando a maior parte dos artigos coletados nesta revisão. Os principais efeitos coletados se referem ao aumento da aparição de espécies reativas de oxigênio e da adesão e acúmulo dos MPs e NPs nas partes dos animais. Vários estudos detectaram a aderência das partículas ao córion, e também o acúmulo em diversos órgãos tais como cérebro, brânquias, fígado, coração, olhos, rins e trato gastrointestinal (Bashirova *et al.*, 2023, Duan *et al.*, 2020, Zhang *et al.*, 2023b, Cheng *et al.*, 2022, Chen *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2022; Duan *et al.*, 2023; Contino *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023b; Torres-Ruiz *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2022; Zuo *et al.*, 2021). Em Zuo *et al.* (2021) foi detectado o acúmulo nas gônadas e a transferência das partículas para prole. Outras modificações que apareceram com frequência nos organismos expostos foi as alterações na locomoção dos peixes, tendo sido evidenciada em micro e nano partículas de PS sozinhos (Rabazanahary *et al.*, 2023; Torres-Ruiz *et al.*, 2023), e também em associações de NPs de PS com a substância utilizada em protetores solares avobenzona (AVO) (Liu *et al.*, 2021) ou com o anti-histamínico difenidramina (Barreto *et al.*, 2023). Foram também registradas alterações no sistema cardiovascular dos peixes-zebra em distintas concentrações de nanopartículas de PE, PMMA e PS, e de micropartículas de PS e PP de origem primária e secundária (Sun *et al.*, 2021; Gao *et al.*, 2023; Manuel *et al.*, 2022; Park *et al.*, 2023; Duan *et al.*, 2023; Prata *et al.*, 2022; Rabazanahary *et al.*, 2023). Os defeitos cardíacos se

mostram preocupantes por serem uma característica não letal, mas de caráter crônico aos indivíduos.

Dois estudos relataram alterações no desenvolvimento do sistema nervoso após exposição a NPs de poliestireno e poliestireno associado à avobenzona (Torres-Ruiz *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2021). Alterações na transcrição de genes também foram verificadas após exposição às mesmas partículas.

Esses, e outro efeitos encontrados, estão dispostos na tabela XIV:

Tabela XIV. Alterações moleculares, celulares, metabólicas e embrionárias em embriões de *Danio rerio*

Efeito	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Aumento de ROS	Politereftalato de etileno (PET)	> 100 ppm	Bashirova <i>et al.</i> , 2023
	Poliestireno (PS), NP	0,2-5 mg/L.	Li <i>et al.</i> , 2021
	Poliestireno (PS), MP e NP.	10 mg-L-1.	Cheng <i>et al.</i> , 2022
	Poliestireno (PS), NP, associada a salicilato de octila (EHS)	10µg/L PS e 10µg/L EHS	Zhou <i>et al.</i> , 2021
	Poliestireno (PS), MP		
	Poliestireno (PS), NP	0,1-3 ppm	Martin-Folgar <i>et al.</i> , 2023
	Poliestireno virgem (V-PS) poliestireno fotoenvelhecido (P-PS)	1-10 mg/L 100 µg/L	Wang <i>et al.</i> , 2023b Ding <i>et al.</i> , 2023
	Politereftalato de etileno (PET) obtidas de garrafas de água mineral	> 10 ppm	Ji <i>et al.</i> , 2020
	Poliestireno modificadas com amino (PS- NH ₂), NP	10-20 mg/L	Contino <i>et al.</i> , 2023
<i>Adesão e acúmulo nos tecidos biológicos:</i> Adesão ao córion	Politereftalato de etileno (PET)	> 100 ppm	Bashirova <i>et al.</i> , 2023

	Poliestireno (PS), MP e NP.	0,1 mg/L	Duan <i>et al.</i> , 2020
	Poliestireno (PS), MP	250 mg/L	Zhang <i>et al.</i> , 2023b
	Poliestireno (PS), MP e NP.	0.1 mg·L ⁻¹	Cheng <i>et al.</i> , 2022
	Polietileno (PE), Tereftalato de Polietileno (PET), Polipropileno (PP) e Poliestireno (PS) e Dióxido de Silício	0.1 mg·L ⁻¹	Chen <i>et al.</i> , 2023
	Poliestireno (PS), NP	0,2-5 mg/L.	Li <i>et al.</i> , 2022
	Poliestireno (PS), NP	1000-5000 ppm	Duan <i>et al.</i> , 2023
	Poliestireno modificadas com amino (PS- NH ₂), NP	10-20 mg/L	Contino <i>et al.</i> , 2023
Acúmulo no sistema circulatório, trato intestinal e regiões excretoras	Poliestireno (PS), NP	10 mg/L	Zhang <i>et al.</i> , 2022
Acúmulo no saco vitelino, olho e cérebro	Poliestireno (PS), NP	> 10 ppm	Wang <i>et al.</i> , 2023b
Acúmulo no trato digestório, olhos e cérebro	Poliestireno (PS), NP	0,5 mg/L	Torres-Ruiz <i>et al.</i> , 2023
Acúmulo no córion, cérebro, brânquias, boca, tronco, coração, fígado e trato digestivo	Poliestireno (PS), NP	10 mg/L	Wang <i>et al.</i> , 2022
Acúmulo nas gônadas e transferência para a prole	Poliestireno (PS), NP	100 µg L ⁻¹	Zuo <i>et al.</i> , 2021
Aumento da atividade da acetilcolinesterase;	Nanoesferas fluorescentes de poliestireno (PS), NP e avobenzona (AVO)	2-5 mg/L	Liu <i>et al.</i> , 2022a
	Poliestireno (PS), NP	0,5 mg/L	Torres-Ruiz <i>et al.</i> , 2023
	Poliestireno virgem (V-PS) poliestireno	100 µg/L	Ding <i>et al.</i> , 2023

	fotoenvelhecido (P-PS)		
Alteração no desenvolvimento do sistema nervoso	Poliestireno (PS), NP, associado a metoxidibenzoilmetano (BMDBM)	10µg/L BMDBM e 10µg/L PS-NPBs	Liu <i>et al.</i> , 2021
	Poliestireno (PS), NP	0,1-3 mg/L	Torres-Ruiz <i>et al.</i> , 2023
Alteração em genes associados ao desenvolvimento: <i>gfap, tubb5, pax3a, pax6a, pax6b, six3b, sox2, her2 e notch3</i> e na via de sinalização <i>notch</i> <i>gfap, mbp e syn2a</i> <i>Gap43, C-fos, Bdnf e Shh</i> <i>bmp2, bmp4</i>	Poliestireno (PS-NPBs), NP, associada a metoxidibenzoilmetano (BMDBM)	10µg/L BMDBM e 10µg/L PS-NPBs	Liu <i>et al.</i> , 2021
	Poliestireno (PS), NP	100-5000 ppm	Zhang <i>et al.</i> , 2020
	Poliestireno (PS) NP.	0,1-3 mg/L	Torres-Ruiz <i>et al.</i> , 2023
	Poliestireno (PS), NP	0,2-5 mg/L.	Li <i>et al.</i> , 2022
Alteração na biossíntese e metabolismo de aminoácidos	Poliestireno (PS), NP	0,1 mg·L ⁻¹ .	Duan <i>et al.</i> , 2023
	Poliestireno (PS), MP e NP.	0.1 mg·L ⁻¹ a 10 mg·L ⁻¹	Cheng <i>et al.</i> , 2022
Alteração na atividade locomotora	Poliestireno (PS), NP, associado a avobenzona (AVO)	10 mg/L	Liu <i>et al.</i> , 2021
	Poliestireno(PS), NP, + difenidramina	100-1000 µg/mL	Barreto <i>et al.</i> , 2023
	Poliestireno (PS), MP	0,1-3 mg/L	Rabazanahary <i>et al.</i> , 2023
	Poliestireno,(PS) NP	100 µg/L	Torres-Ruiz <i>et al.</i> , 2023
Alterações cardíacas Edema pericárdico	Polietileno (PE), NP	25-1000 µg/mL	Sun <i>et al.</i> , 2021
	Poliestireno (PS) NPs	não informado	Gao <i>et al.</i> , 2023

Diminuição na área sistólica e diastólica	Poliestireno (PS) e Polimetilmetacrilato (PMMA)	100 mg.L-1	Manuel <i>et al.</i> , 2022
	Poliestireno (PS), NP	50 mg/L	Park <i>et al.</i> , 2023
Redução da frequência cardíaca	Poliestireno (PS), NP	0,1 mg-L-1.	Duan <i>et al.</i> , 2023
	Polipropileno virgem (PP-V), Polipropileno desgastado (PP-W), Poliestireno virgem (PS-V) e Poliestireno desgastado (PS-W), MPs	20.000-200.000 MP.L-1	Prata <i>et al.</i> , 2022
	Poliestireno (PS), MP	1000 µg/mL	Rabazanahary <i>et al.</i> , 2023

Em relação às taxas de eclosão e sobrevivência de *D. rerio*, foram encontradas reduções nas taxas de eclosão, mas essas sendo poucas e dependentes do momento de exposição (Torres-Ruiz *et al.*, 2023). Já referente às taxas de sobrevivência, foram encontrados resultados contraditórios. É importante salientar que, mesmo nos trabalhos que não encontraram aumento de mortalidade e malformações, diversos efeitos moleculares, celulares e metabólitos são observados, comprovando o efeito maléfico das MPs e NPs no desenvolvimento embrionário. Tais efeitos podem inclusive resultar em morte precoce dos animais, embora este efeito a médio e longo prazo não seja estudado nas pesquisas avaliadas. Os dados descritos estão dispostos na tabela XV.

Tabela XV. Eclosão e sobrevivência de *Danio rerio*

Taxa de eclosão ou sobrevivência	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Redução na taxa de eclosão	Poliestireno (PS), NP, associada a salicilato de octila (EHS)	10µg/L PS e 10µg/L EHS	Zhou <i>et al.</i> , 2021
	Poliestireno (PS), NP	10 e 100 µg/L	Teng <i>et al.</i> , 2022
	Poliestireno (PS), NP	5 mg/L	Geum; Yeo, 2022

Redução na sobrevivência	Politereftalato de etileno (PET) Poliestireno (PS), NP + difenidramina Poliestireno (PS) e Polimetilmetacrilato (PMMA) Polipropileno virgem (PP-V), Polipropileno desgastado (PP-W), Poliestireno virgem (PS-V) e Poliestireno desgastado (PS-W), MPs	> 100 ppm NP + 10 mg/L de DPH 100 mg.L-1 20.000-200.000 MP.L-1 ou 12.5–100 mg L ⁻¹	Bashirova <i>et al.</i> , 2023 Barreto <i>et al.</i> , 2023 Manuel <i>et al.</i> , 2022 Prata <i>et al.</i> , 2022
Sem alteração	Poliestireno (PS) NPs e acetaminofeno Poliestireno (PS-NPBs) (NPs) associada com protetor solar butil metoxidibenzoilmetano (BMDBM) Polietileno (PE) e polipropileno (PP), MP Poliestireno (PS), MP Poliestireno (PS), NP Poliestireno (PS), NP	100 mg.L-1 10µg/L BMDBM e 10µg/L PS-NPBs 0,1-100µg/L 0,1-3 ppm 0-150 mg/L 0, 0.015-150 mg/L	Gao <i>et al.</i> , 2023 Liu <i>et al.</i> , 2021 Bonfanti <i>et al.</i> , 2021 Martin-Folgar <i>et al.</i> , 2023 Barreto <i>et al.</i> , 2021 Santos <i>et al.</i> , 2022

Foram relatadas tanto malformações como ausência dessas alterações nos artigos estudados. Nos artigos que não observaram malformações visíveis nos peixes-zebra (Sun *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2022a; Cormier *et al.*, 2021; Gao *et al.*, 2023; Zhao *et al.*, 2020; Bonfanti *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2022) os plásticos utilizados compreendiam MPs de PP e PE; NPs de PE e PS; associações de MPs de PS com Hidroxianisol butilado (BHA), NPs de PS com AVO; e um lavado de micropartículas encontrados em praias. No entanto, no grupo de artigos que apresentaram malformações em *D. rerio* (Barreto *et al.*, 2023; Xu *et al.*, 2022; Torres-Ruiz *et al.*, 2023) foram utilizadas NPs de PS e PS associado à substâncias, neste caso sugere-se que a indução de malformações não esteja apenas relacionada ao tipo de partícula, mas também ao seu tamanho, concentração e

tempo de exposição. As malformações observadas se concentraram nas regiões caudais, da coluna vertebral, dos olhos e da cabeça. Estas informações estão dispostas na tabela XVI.

Tabela XVI. Ocorrências de malformações em embriões de *Danio rerio*

Malformações	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Sem malformações visíveis	Polietileno (PE), NP	25-1000 µg/MI	Sun <i>et al.</i> , 2021
	Nanoesferas fluorescentes de Poliestireno (PS), NP e avobenzona (AVO)	2-5 mg/L	Liu <i>et al.</i> , 2022a
	Lavado de microplásticos encontrados em praias	3,3-10 g/L	Cormier <i>et al.</i> , 2021
	Poliestireno (PS) NPs	100 mg.L-1	Gao <i>et al.</i> , 2023
	Poliestireno (PS), MP, + Hidroxianisol butilado (BHA)	2 mg/L	Zhao <i>et al.</i> , 2020
	Polietileno (PE) e polipropileno (PP), MP	0,1-100µg/L	Bonfanti <i>et al.</i> , 2021
	Poliestireno (PS), NP	0.015-150 mg/L	Santos <i>et al.</i> , 2022
<i>Malformações</i> Coluna vertebral	Poliestireno (PS) NPs e acetaminofeno	5-10 mg/L	Barreto <i>et al.</i> , 2023
Diminuição no tamanho dos olhos e cabeça	Poliestireno (PS), NP	10 mg/L de DPH	Xu <i>et al.</i> , 2022
	Poliestireno (PS), NP, + difenidramina	50 mg/L	Barreto <i>et al.</i> , 2023
	Poliestireno (PS), NP	0,1-3 mg/L	Torres-Ruiz <i>et al.</i> , 2023

4.5.4. Efeito de MPs e NPs em rãs

Foram encontrados dois artigos que estudavam anfíbios anuros, ambos da espécie *Xenopus laevis*. Um dos artigos possuía um enfoque maior em análise de modificações genéticas, após a exposição diária por seis semanas em *X. laevis* verificou-se diminuição significativa nos níveis de expressão de alguns genes e

proteínas nos embriões expostos e em embriões em que um dos parentais foi exposto às MPs de PVC com alto peso molecular (HMW-PVC) (Pekmezekmek *et al.*, 2021). Outros efeitos significativos foram as alterações relacionadas à redução no tamanho de embriões expostos à MPs de HMW-PVC (Pekmezekmek *et al.*, 2021), e de aumento no tamanho de embriões de gerações F1 e F2 após exposição a MPs de PE e PP (Bonfanti *et al.*, 2021). Efeitos como vasocongestão e adesão ao epitélio intestinal também foram reportados (Pekmezekmek *et al.*, 2021; Bonfanti *et al.*, 2021). Esses, entre outros efeitos encontrados, estão dispostos na tabela XVII.

Tabela XVII. Alterações moleculares, celulares, metabólicas e embrionárias em embriões de *Xenopus laevis*

Efeito	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Diminuição significativa dos níveis de expressão dos genes <i>Pax6</i> e <i>Bmp4</i> e da proteína Hsp70	Cloreto de polivinil de alto peso molecular (HMW-PVC), MP	1% do peso corporal/duas vezes por semana por 6 semanas	Pekmezekmek <i>et al.</i> , 2021
Diminuição no comprimento corporal	Cloreto de polivinil de alto peso molecular (HMW-PVC), MP	1% do peso corporal/duas vezes por semana por 6 semanas	Pekmezekmek <i>et al.</i> , 2021
Aumento no comprimento corporal em F1	Polietileno (PE) e Polipropileno (PP), MP	0.1–1–10–100 mg/L	Bonfanti <i>et al.</i> , 2021
Aumento no comprimento corporal em F2	Polietileno (PE) e Polipropileno (PP), MP	1 e 10 mg/L	
Vasos sanguíneos congestionados	Cloreto de polivinil de alto peso molecular (HMW-PVC), MP	1% do peso corporal/duas vezes por semana por 6 semanas	Pekmezekmek <i>et al.</i> , 2021
Acúmulo de partículas no trato digestivo em F1 e F2	Polietileno (PE) e Polipropileno (PP), MP	100 mg/L	Bonfanti <i>et al.</i> , 2021
Adesão no epitélio intestinal	Polietileno (PE) e Polipropileno (PP), MP	100 mg/L	Bonfanti <i>et al.</i> , 2021

Nos estudos analisados, foi verificado um aumento nas taxas de mortalidade e de desenvolvimento anormal nos embriões expostos à MPs de HMW-PVC (Pekmezekmek *et al.*, 2021), contudo não foram observadas alterações na taxa de

mortalidade dos embriões expostos a MPs de PE e PP em todas as concentrações testadas (Bonfanti *et al.*, 2021). Os dados descritos estão dispostos na tabela XVIII.

Tabela XVIII. Eclosão e sobrevivência de *Xenopus laevis*

Taxa de eclosão ou sobrevivência	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Aumento significativo da mortalidade	Cloreto de polivinil de alto peso molecular (HMW-PVC), MP	1% do peso corporal/duas vezes por semana por 6 semanas	Pekmezekmek <i>et al.</i> , 2021
Ausência de alteração na taxa de mortalidade	Polietileno (PE) e Polipropileno (PP), MP	0.1–1–10–100 mg/L	Bonfanti <i>et al.</i> , 2021

Dentre as malformações encontradas no estudo, para o experimento com MPs de PE e PP, essas foram consideradas poucas e não resultantes da influência das partículas (Bonfanti *et al.*, 2021). Já para o estudo de Pekmezekmek *et al.* (2021) as malformações foram sim associadas às exposições, tendo ocorrido em maior número na região caudal das rãs. Os dados descritos estão dispostos na tabela XIX.

Tabela XIX. Ocorrências de malformações em embriões de *Xenopus laevis*

Malformações	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Taxa inferior a 10% em F1 e F2	Polietileno (PE) e Polipropileno (PP), MP	10 e 0,1 mg/L	Bonfanti <i>et al.</i> , 2021
Malformações na cauda	Cloreto de polivinil de alto peso molecular (HMW-PVC), MP	1% do peso corporal/duas vezes por semana por 6 semanas	Pekmezekmek <i>et al.</i> , 2021

4.5.5. Efeito de MPs e NPs em tunicados

Dos três artigos analisados que abordam animais do subfilo Tunicata, todos estudam a espécie *Ciona robusta*. Dos efeitos com maior ocorrência se destacam interferências no desenvolvimento larval, alterações comportamentais e o acúmulo de partículas em regiões do corpo. O comportamento de natação foi prejudicado em larvas expostas à NPs de PS-NH₂, e esse aspecto foi intensificado mediante a concentração das partículas (Eliso *et al.*, 2023). No entanto, não foram verificadas alterações na natação em larvas expostas à NPs de PS carboxilado (PS-COOH)

(Eliso *et al.*, 2020). Diferentes estudos relataram a adesão de partículas plásticas em áreas como córion, vesícula cerebral, gânglio visceral, palpos das larvas, e ao longo de todo o tronco (mesênquima e endoderme) (Eliso *et al.*, 2020; Eliso *et al.*, 2023). Esses, entre outros efeitos encontrados, estão dispostos na tabela XX.

Tabela XX. Alterações moleculares, celulares, metabólicas e embrionárias em embriões de *Ciona robusta*

Efeito	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Adesão ao redor do córion de PS-NH ₂	Poliestireno aminadas (PS-NH ₂), NP - 50nm	10 e 15 µg mL ⁻¹	Eliso <i>et al.</i> , 2023
Alteração no comportamento de natação	Poliestireno aminadas (PS-NH ₂), NP - 50nm	10 e 15 µg mL ⁻¹	Eliso <i>et al.</i> , 2023
Alteração de genes envolvidos no metabolismo bioquímico, resposta imune e formação da matriz extracelular;	Poliestireno aminadas (PS-NH ₂), NP - 50nm	10 e 15 µg mL ⁻¹	Eliso <i>et al.</i> , 2023
Alteração do desenvolvimento larval	Poliestireno aminadas (PS-NH ₂), NP - 50nm	10 e 15 µg mL ⁻¹	Eliso <i>et al.</i> , 2023
Ausência de alteração do desenvolvimento larval	Poliestireno não funcionalizados (PS) + BPA, NP Poliestireno modificadas com carboxi (PS-COOH), NP	PS NPs 1 µg/mL + BPA 10 µM até 100 µg mL ⁻¹	Ferrari <i>et al.</i> , 2022 Eliso <i>et al.</i> , 2020
Redução da metamorfose	Poliestireno aminadas (PS-NH ₂), NP - 50nm	10 e 15 µg mL ⁻¹	Eliso <i>et al.</i> , 2023
Acúmulo na vesícula cerebral ao redor do ocelo + nos palpos das larvas + em todo o tronco (mesênquima e endoderme)	Poliestireno modificadas com amino (PS-NH ₂), NP	7,5 µg mL ⁻¹ 10 µg mL ⁻¹ 15 µg mL ⁻¹	Eliso <i>et al.</i> , 2020

Na análise dos efeitos relacionados à eclosão e sobrevivência, verificou-se que em ambos os estudos que pesquisaram esse aspecto, foi relatada a redução na taxa de eclosão de ovos que passaram por exposição à NPs de PS aminado

(PS-NH₂) (Eliso *et al.*, 2020; Eliso *et al.*, 2023). Os dados descritos estão dispostos na tabela XXI.

Tabela XXI. Eclosão e sobrevivência de *Ciona robusta*

Taxa de eclosão ou sobrevivência	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Diminuição da eclosão dos ovos	Poliestireno modificadas com amino (PS-NH ₂), NP - 50nm	10 e 15 µg mL ⁻¹	Eliso <i>et al.</i> , 2023
Alteração no sucesso de eclosão dependente da dose	Poliestireno modificadas com amino (PS-NH ₂), NP	não informado	Eliso <i>et al.</i> , 2020
Ausência de eclosão em larvas malformadas	Poliestireno modificadas com amino (PS-NH ₂), NP	15 µg mL ⁻¹	Eliso <i>et al.</i> , 2020

Em um dos experimentos foi verificada a ocorrência de fenótipos graves, que aumentavam expressivamente em frequência à medida que aumentava-se a concentração de NPs de PS-NH₂ do meio (Eliso *et al.*, 2020). No mesmo estudo, foi registrado que as regiões mais afetadas pelas malformações foram o tronco e a cauda dos embriões expostos. Em Ferrari *et al.* (2022) foi verificada uma baixa pigmentação nos embriões expostos à NPs de PS associados ao composto Bisfenol A (BPA). Os dados descritos acima estão dispostos na tabela XXII.

Tabela XXII. Ocorrências de malformações em embriões de *Ciona robusta*

Malformações	Tipo de plástico	Concentração	Referência
Baixa pigmentação	Poliestireno não funcionalizados (PS) + BPA, NP	PS NPs 0.1 e 1 µg/mL, BPA 4.5 e 10 µM, e combinações.	Ferrari <i>et al.</i> , 2022
Malformações no tronco	Poliestireno modificadas com amino (PS-NH ₂), NP	7.5–10-15 µg mL ⁻¹ .	Eliso <i>et al.</i> , 2020
Ausência de Malformações	Poliestireno modificadas com amino (PS-NH ₂), NP	2.5-7.5–10-15 µg mL ⁻¹	Eliso <i>et al.</i> , 2020
Fenótipo grave <i>mais de 70% dos embriões</i>	Poliestireno modificadas com amino (PS-NH ₂), NP	15 µg mL ⁻¹	Eliso <i>et al.</i> , 2020

40% dos embriões	Poliestireno modificadas com amino (PS-NH ₂), NP	10 µg mL ⁻¹	
menos de 20% dos embriões	Poliestireno modificadas com amino (PS-NH ₂), NP	7,5 µg mL ⁻¹	

4.6. Material de divulgação

O material de divulgação elaborado foi no modelo infográfico intitulado “Microplásticos na gestação”. Este é dirigido ao público-alvo de gestantes, dados os inúmeros efeitos adversos aos embriões observados nos artigos constantes desta revisão integrativa. O texto comenta brevemente que MPs e NPs “estão presentes em todos os ambientes e são uma ameaça à natureza e à saúde. Apesar de não sabermos o que podem causar à saúde humana, experimentos em animais expostos a altas concentrações sugerem alterações no metabolismo e no desenvolvimento”. Para evitar a exposição aos microplásticos na gestação, foram citados:

- Evitar o uso de cosméticos com *glitter* e polímeros plásticos, que podem ser diferenciados pelo rótulo com nomes e siglas como: Polietileno (PE), Polimetilmetacrilato (PMMA), Polietileno de Tereftalato (PET) e Polipropileno (PP);
- Preferir alimentos naturais;
- Preferir o uso de roupas que não são feitas de poliéster e assemelhados sintéticos, para reduzir a quantidade de fibras dispostas nos ambientes domésticos;
- Evitar embalagens alimentícias que sejam plásticas, principalmente as com alimentos quentes e também esquentar potes plásticos com alimentos;
- Preferir o uso de garrafas de água reutilizáveis, preferencialmente de materiais não plásticos;

O material produzido será enviado em grupos de *Whatsapp* formado por assistentes sociais, profissionais da saúde e gestantes em vulnerabilidade social do Litoral Norte (Programa Gestar, da Secretaria de Assistência Social de Tramandaí/RS). Além disso, será divulgado em mídias sociais e impresso para colocação em murais de postos de saúde do Litoral Norte e Porto Alegre.

Ilustração: Material de Divulgação “Microplásticos na gestação”

MICROPLÁSTICOS NA GESTAÇÃO

SAIBA MAIS

O QUE SÃO?

MICROPLÁSTICOS SÃO MINÚSCULAS PARTÍCULAS PLÁSTICAS, QUE ALÉM DE SEREM UM PROBLEMA POR SI SÓ, PODEM ABSORVER **OUTRAS SUBSTÂNCIAS NOCIVAS**. ESSAS PARTÍCULAS JÁ **ESTÃO EM TODOS OS AMBIENTES** E SÃO UMA **AMEAÇA À NATUREZA E À SAÚDE**.

ONDE ESTÃO?

NOS ÚLTIMOS ANOS, MICROPLÁSTICOS FORAM ENCONTRADOS NA **PLACENTA HUMANA, NO CORDÃO UMBILICAL E NO LEITE MATERNO**.

AINDA NÃO SABEMOS O QUE PODEM CAUSAR À NOSSA SAÚDE, MAS ESTUDOS EM ANIMAIS EXPOSTOS A ALTAS CONCENTRAÇÕES SUGEREM **ALTERAÇÕES NO METABOLISMO E NO DESENVOLVIMENTO**.

O QUE FAZER PARA DIMINUIR A EXPOSIÇÃO AOS MICROPLÁSTICOS?

- **EVITE UTILIZAR COSMÉTICOS COM GLITTER**
- **ALGUNS INGREDIENTES PLÁSTICOS PODEM APARECER EM NOMES E SIGLAS COMO: POLIETILENO (PE), POLIMETILMETACRILATO (PMMA), POLIETILENO TEREFTALATO (PET) E POLIPROPILENO (PP)**
- **EVITE PLÁSTICOS DESCARTÁVEIS**
- **PREFIRA ALIMENTOS NATURAIS**
- **EVITE ARMAZENAR ALIMENTOS E BEBIDAS, PRINCIPALMENTE QUENTES, EM POTES PLÁSTICOS OU DE ISOPOR**
- **USE UMA GARRAFA REUTILIZÁVEL PARA A ÁGUA, PREFERENCIALMENTE NÃO PLÁSTICA**



5 CONCLUSÃO

Através do estudo realizado foi possível compreender as variadas consequências que embriões de distintos modos de reprodução e habitats estão sujeitos com a exposição a MPs e NPs. Foi constatado que em todos os grupos animais verificou-se efeitos decorrentes da toxicidade das micro e nanopartículas plásticas. Em alguns casos, como no de *X. laevis* foi possível visualizar resultados conflitantes, onde sob alguns tipos de partículas houve aumento na taxa de mortalidade e sob outras não. No entanto, ainda que MPs e NPs não interfiram diretamente na mortalidade dos embriões, como é observado em muitos casos, é evidenciada a quantidade de efeitos moleculares, metabólicos e fisiológicos que reduzem a qualidade de vida e podem acarretar em outros problemas de saúde e até na morte precoce. Além disso, muitos trabalhos, principalmente os que utilizam como modelo o peixe-zebra (*Danio rerio*), evidenciam que MPs ou NPs podem aumentar a toxicidade de poluentes persistentes (como bifenilas policloradas) ou emergentes, como resíduos de fármacos, pesticidas, produtos de higiene pessoal e cosméticos.

Diante do grande corpo de evidências de alterações embrionárias induzidas por MPs e NPs em diversos modelos animais, e da onipresença dessas partículas até mesmo no desenvolvimento fetal humano, faz-se necessária a divulgação da temática para que a população esteja ciente dos riscos e saiba prevenir a exposição excessiva. Além disso, este trabalho reitera a necessidade de políticas públicas que promovam a diminuição e o controle na produção e uso dos materiais plásticos.

REFERÊNCIAS

- ALEIXO NETO, Antonio. Efeitos do fumo na gravidez. **Revista de Saúde Pública**, v. 24, p. 420-424, 1990.
- ALOMAR, C.; DEUDERO, S. Evidence of microplastic ingestion in the shark galeus melastomus rafinesque, 1810 in the continental shelf off the western mediterranean sea. **Environmental pollution**, Elsevier, v. 223, p. 223–229, 2017.
- ALTSHULER, I.; DEMIRI, B.; XU, S.; CONSTANTIN, A.; YAN, N. D.; CRISTESCU, M. E. An integrated multi-disciplinary approach for studying multiple stressors in freshwater ecosystems: Daphnia as a model organism. **Integrative and comparative biology**, Oxford University Press, v. 51, n. 4, p. 623-633, 2011.
- AMATO-LOURENÇO, L. F.; CARVALHO-OLIVEIRA, R.; JÚNIOR, G. R.; GALVÃO, L. dos S.; ANDO, R. A.; MAUAD, T. Presence of airborne microplastics in human lung tissue. **Journal of Hazardous Materials**, Elsevier, v. 416, p. 126124, 2021.
- BALBI, T.; CAMISASSI, G.; MONTAGNA, M.; FABBRI, R.; FRANZELLITTI, S.; CARBONE, C.; DAWSON, K.; CANESI, L. Impact of cationic polystyrene nanoparticles (ps-nh₂) on early embryo development of mytilus galloprovincialis: Effects on shell formation. **Chemosphere**, Elsevier, v. 186, p. 1–9, 2017.
- BARRETO, A.; SANTOS, J.; AMORIM, M. J.; MARIA, V. L. Polystyrene nanoplastics can alter the toxicological effects of simvastatin on danio rerio. **Toxics**, MDPI, v. 9, n. 3, p. 44, 2021.
- BARRETO, A.; SANTOS, J.; CALISTO, V.; ROCHA, L. S.; AMORIM, M. J.; MARIA, V. L. Cocktail effects of emerging contaminants on zebrafish: Nanoplastics and the pharmaceutical diphenhydramine. **NanoImpact**, Elsevier, v. 30, p. 100456, 2023.
- BASHIROVA, N.; POPPITZ, D.; KLÜVER, N.; SCHOLZ, S.; MATYSIK, J.; ALIA, A. A mechanistic understanding of the effects of polyethylene terephthalate nanoplastics in the zebrafish (danio rerio) embryo. **Scientific Reports**, Nature Publishing Group UK London, v. 13, n. 1, p. 1891, 2023.
- BEIRAS, R.; BELLAS, J.; CACHOT, J.; CORMIER, B.; COUSIN, X.; ENGWALL, M.; GAMBARDELLA, C.; GARAVENTA, F.; KEITER, S.; BIHANIC, F. L. et al. Ingestion and contact with polyethylene microplastics does not cause acute toxicity on marine zooplankton. **Journal of hazardous materials**, Elsevier, v. 360, p. 452–460, 2018.
- BENEDITO, Evanilde. **Biologia e Ecologia de Vertebrados**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2015. E-book. ISBN 978-85-277-2698-6. Disponível em:

<https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-277-2698-6/>. Acesso em: 23 ago. 2023.

BONFANTI, P.; COLOMBO, A.; SAIBENE, M.; MOTTA, G.; SALIU, F.; CATELANI, T.; MEHN, D.; SPINA, R. L.; PONTI, J.; CELLA, C. et al. Microplastics from miscellaneous plastic wastes: Physico-chemical characterization and impact on fish and amphibian development. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Elsevier, v. 225, p. 112775, 2021.

BONVICINO, C. R.; De Oliveira, J. A.; D'Andrea, P. S. Guia dos roedores do Brasil, com chaves para gêneros baseadas em caracteres externos. **Série de Manuais Técnicos**; **11**, 2008.

BRASIL é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico. **WWF - World Wide Fund for Nature**, 4 mar. 2019. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>>. Acesso em: 23 ago. 2023.

BRAUN, T.; EHRLICH, L.; HENRICH, W.; KOEPEL, S.; LOMAKO, I.; SCHWABL, P.; LIEBMANN, B. Detection of microplastic in human placenta and meconium in a clinical setting. **Pharmaceutics**, v. 13, n. 7, p. 921, 2021.

BRITANNICA, The Editors of Encyclopaedia. "trochophore". **Encyclopedia Britannica**, 29 Oct. 2015. Disponível em: <<https://www.britannica.com/science/trochophore>> Acesso em 23 ago. 2023.

BRITANNICA, The Editors of Encyclopaedia. "veliger". **Encyclopedia Britannica**, 23 Jan. 2020. Disponível em: <<https://www.britannica.com/science/veliger>>. Acesso em 23 ago. 2023.

BRUN, N. R.; BEENAKKER, M. M.; HUNTING, E. R.; EBERT, D.; VIJVER, M. G. Brood pouch-mediated polystyrene nanoparticle uptake during daphnia magna embryogenesis. **Nanotoxicology**, Taylor & Francis, v. 11, n. 8, p. 1059–1069, 2017.

BRUSCA, R.; MOORE, W.; SHUSTER, S. M. **Invertebrados**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018.

BURIĆ, P.; KOVAČIĆ, I.; JURKOVIĆ, L.; TEZ, S.; ORAL, R.; LANDEKA, N.; LYONS, D. M. Polymer chemical identity as a key factor in microplastic–insecticide antagonistic effects during embryogenesis of sea urchin *Arbacia lixula*. **International Journal of Molecular Sciences**, MDPI, v. 24, n. 4, p. 4136, 2023.

CAPOLUPO, M.; FRANZELLITTI, S.; VALBONESI, P.; LANZAS, C. S.; FABBRI, E. Uptake and transcriptional effects of polystyrene microplastics in larval stages of the

mediterranean mussel *mytilus galloprovincialis*. **Environmental Pollution**, Elsevier, v. 241, p. 1038–1047, 2018.

CHEMELLO, G.; FARAONI, V.; NOTARSTEFANO, V.; MARADONNA, F.; CARNEVALI, O.; GIOACCHINI, G. First evidence of microplastics in the yolk and embryos of common cuttlefish (*sepia officinalis*) from the central adriatic sea: evaluation of embryo and hatchling structural integrity and development. **Animals**, MDPI, v. 13, n. 1, p. 95, 2022.

CHEN, Y.; DUAN, M.; XU, X.; WU, C. Multi-biomarkers hazard assessment of microplastics with different polymers by acute embryo test and chronic larvae test with zebrafish (*danio rerio*). **Aquatic Toxicology**, Elsevier, p. 106595, 2023.

CHENG, H.; DUAN, Z.; WU, Y.; WANG, Y.; ZHANG, H.; SHI, Y.; ZHANG, H.; WEI, Y.; SUN, H. Immunotoxicity responses to polystyrene nanoplastics and their related mechanisms in the liver of zebrafish (*danio rerio*) larvae. **Environment International**, Elsevier, v. 161, p. 107128, 2022.

CHOI, J. S.; HONG, S. H.; PARK, J.-W. Evaluation of microplastic toxicity in accordance with different sizes and exposure times in the marine copepod *tigriopus japonicus*. **Marine environmental research**, Elsevier, v. 153, p. 104838, 2020.

CHOW, J.; PEREZ-GARCIA, P.; DIERKES, R.; STREIT, W. R. Microbial enzymes will offer limited solutions to the global plastic pollution crisis. **Microbial Biotechnology**, Wiley Online Library, v. 16, n. 2, p. 195-217, 2023.

CONTINO, M.; FERRUGGIA, G.; PECORARO, R.; SCALISI, E. M.; CAVALLARO, G.; BONACCORSO, C.; FORTUNA, C. G.; SALVAGGIO, A.; CAPPARUCCI, F.; BOTTARI, T. *et al.* Uptake routes and biodistribution of polystyrene nanoplastics on zebrafish larvae and toxic effects on development. **Fishes**, MDPI, v. 8, n. 3, p. 168, 2023.

CORMIER, B.; GAMBARDELLA, C.; TATO, T.; PERDRIAT, Q.; COSTA, E.; VECLIN, C.; BIHANIC, F. L.; GRASSL, B.; DUBOCQ, F.; KÄRRMAN, A. *et al.* Chemicals sorbed to environmental microplastics are toxic to early life stages of aquatic organisms. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Elsevier, v. 208, p. 111665, 2021.

CORTEZ, A. T. C. Embalagens: o que fazer com elas? **Revista Geográfica de América Central**, Universidad Nacional, v. 2, p. 1-15, 2011.

CUI, R.; KIM, S. W.; AN, Y.-J. Polystyrene nanoplastics inhibit reproduction and induce abnormal embryonic development in the freshwater crustacean *daphnia*

galeata. **Scientific reports**, Nature Publishing Group UK London, v. 7, n. 1, p. 12095, 2017.

D'COSTA, A.; SHEPHERD, I. T. Zebrafish development and genetics: introducing undergraduates to developmental biology and genetics in a large introductory laboratory class. **Zebrafish**, Mary Ann Liebert, Inc., v. 6, n. 2, p. 169-177, 2009.

D'COSTA, A. H. Microplastics in decapod crustaceans: Accumulation, toxicity and impacts, a review. **Science of The Total Environment**, v. 832, p. 154963, 2022.

DA SILVA, M. E. et al. Agentes teratogênicos e desenvolvimento fetal: Uma revisão narrativa. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e0210514555-e0210514555, 2021.

DE ABREU TACON, F.S.; DO AMARAL, W.N.; BORGES TACON, K.C. Tabagismo e gravidez: influência na morfologia fetal. **Femina**, v. 46, n. 3, p. 197-201, 2018.

DING, P.; XIANG, C.; LI, X.; CHEN, H.; SHI, X.; LI, X.; HUANG, C.; YU, Y.; QI, J.; LI, A. J. et al. Photoaged microplastics induce neurotoxicity via oxidative stress and abnormal neurotransmission in zebrafish larvae (danio rerio). **Science of The Total Environment**, Elsevier, v. 881, p. 163480, 2023.

DRIS, R.; GASPERI, J.; MIRANDE, C.; MANDIN, C.; GUERROUACHE, M.; LANGLOIS, V.; TASSIN, B. A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. **Environmental pollution**, Elsevier, v. 221, p. 453–458, 2017.

DRIS, R.; GASPERI, J.; ROCHER, V.; SAAD, M.; RENAULT, N.; TASSIN, B. Microplastic contamination in an urban area: a case study in greater paris. *Environmental Chemistry*, CSIRO Publishing, v. 12, n. 5, p. 592–599, 2015.

DUAN, Z.; DUAN, X.; ZHAO, S.; WANG, X.; WANG, J.; LIU, Y.; PENG, Y.; GONG, Z.; WANG, L. Barrier function of zebrafish embryonic chorions against microplastics and nanoplastics and its impact on embryo development. **Journal of hazardous materials**, Elsevier, v. 395, p. 122621, 2020.

DUAN, Z.; WANG, J.; ZHANG, H.; WANG, Y.; CHEN, Y.; CONG, J.; GONG, Z.; SUN, H.; WANG, L. Elevated temperature decreases cardiovascular toxicity of nanoplastics but adds to their lethality: A case study during zebrafish (danio rerio) development. **Journal of Hazardous Materials**, Elsevier, p. 131679, 2023.

EBERT, D. **Ecology, Epidemiology, and Evolution of Parasitism in Daphnia**. Bethesda: National Center for Biotechnology Information, 2005.

ELISO, M. C.; BERGAMI, E.; BONCIANI, L.; RICCIO, R.; BELLI, G.; BELLI, M.; CORSI, I.; SPAGNUOLO, A. Application of transcriptome profiling to inquire into the mechanism of nanoplastics toxicity during *Ciona robusta* embryogenesis. **Environmental Pollution**, Elsevier, v. 318, p. 120892, 2023.

ELISO, M. C.; BERGAMI, E.; MANFRA, L.; SPAGNUOLO, A.; CORSI, I. Toxicity of nanoplastics during the embryogenesis of the ascidian *Ciona robusta* (phylum chordata). **Nanotoxicology**, Taylor & Francis, v. 14, n. 10, p. 1415–1431, 2020.

FADARE, O. O.; WAN, B.; LIU, K.; YANG, Y.; ZHAO, L.; GUO, L.-H. Eco-corona vs protein corona: effects of humic substances on corona formation and nanoplastic particle toxicity in *Daphnia magna*. **Environmental science & technology**, ACS Publications, v. 54, n. 13, p. 8001–8009, 2020.

FERRARI, E.; ELISO, M. C.; BELLINGERI, A.; CORSI, I.; SPAGNUOLO, A. Short-term exposure to nanoplastics does not affect bisphenol A embryotoxicity to marine ascidian *Ciona robusta*. **Biomolecules**, MDPI, v. 12, n. 11, p. 1661, 2022.

FRANSOZO, Adilson. **Zoologia dos Invertebrados**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2016. *E-book*. ISBN 9788527729215. Disponível em: <<https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527729215/>> Acesso em: 13 set. 2023.

FRANZELLITTI, S.; CAPOLUPO, M.; WATHSALA, R. H.; VALBONESI, P.; FABBRI, E. The multixenobiotic resistance system as a possible protective response triggered by microplastic ingestion in mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*): Larvae and adult stages. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, Elsevier, v. 219, p. 50–58, 2019.

FREE, C. M.; JENSEN, O. P.; MASON, S. A.; ERIKSEN, M.; WILLIAMSON, N. J.; BOLDGIV, B. High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. **Marine pollution bulletin**, Elsevier, v. 85, n. 1, p. 156–163, 2014.

GAO, X.; ZHANG, Y.; HOU, L.; ZHAO, Y.; ZHANG, H.; JIA, Z.; WANG, S.; LI, H.; PAN, X.; LIU, X. et al. Co-exposure to nanoplastics and acetaminophen causes skeletal dysplasia and behavioral abnormalities in zebrafish. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Elsevier, v. 253, p. 114640, 2023.

GARDON, T.; HUVET, A.; PAUL-PONT, I.; CASSONE, A.-L.; KOUA, M. S.; SOYEZ, C.; JEZEQUEL, R.; RECEVEUR, J.; MOULLAC, G. L. Toxic effects of leachates from plastic pearl-farming gear on embryo-larval development in the pearl oyster *Pinctada margaritifera*. **Water research**, Elsevier, v. 179, p. 115890, 2020.

GEUM, S. W.; YEO, M.-K. Reduction in toxicity of polystyrene nanoplastics combined with phenanthrene through binding of jellyfish mucin with nanoplastics. **Nanomaterials**, MDPI, v. 12, n. 9, p. 1427, 2022.

GILBERT, S. F.; BARRESI, M. J. F. **Biologia do desenvolvimento**. 11 ed. Porto Alegre: Grupo A, 2019. *E-book*. ISBN 9788582715147. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582715147/>. Acesso em: 22 ago. 2023.

GÖKÇE, D.; SEFTALICIOĞLU, M. D.; ERDEN, B. A.; KÖYTEPE, S. Chronic and acute water-soluble microplastics uptake and effects on growth and reproduction of daphnia magna. **Water, Air, & Soil Pollution**, Springer, v. 233, n. 11, p. 434, 2022.

GORNI, A. A. Introdução aos plásticos. **Revista plástico industrial**, v. 10, n. 09, 2003.

GRINFELD, Hermann. Consumo nocivo de álcool durante a gravidez. **Álcool e suas consequências: uma abordagem multiconceitual**. São Paulo: Manole, v. 8, n. 3, p. 179-99, 2009

HAHLADAKIS, J. N.; VELIS, C. A.; WEBER, R.; IACOVIDOU, E.; PURNELL, P. An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. **Journal of hazardous materials**, Elsevier, v. 344, p. 179–199, 2018.

HOANG, T. C.; MITTEN, S. Microplastic accumulation in the gastrointestinal tracts of nestling and adult migratory birds. **Science of the Total Environment**, v. 838, p. 155827, 2022.

HOLLMAN, P. C.; BOUWMEESTER, H.; PETERS, R. J. B. **Microplastics in aquatic food chain: sources, measurement, occurrence and potential health risks**. Wageningen: RIKILT Wageningen UR (University & Research centre), 2013.

JEONG, B.; BAEK, J. Y.; KOO, J.; PARK, S.; RYU, Y.-K.; KIM, K.-S.; ZHANG, S.; CHUNG, C.; DOGAN, R.; CHOI, H.-S. et al. Maternal exposure to polystyrene nanoplastics causes brain abnormalities in progeny. **Journal of Hazardous Materials**, Elsevier, v. 426, p. 127815, 2022.

JI, Y.; WANG, C.; WANG, Y.; FU, L.; MAN, M.; CHEN, L. Realistic polyethylene terephthalate nanoplastics and the size-and surface coating-dependent toxicological impacts on zebrafish embryos. **Environmental Science: Nano**, Royal Society of Chemistry, v. 7, n. 8, p. 2313–2324, 2020.

KARDONG, K. V. **Vertebrados: anatomia comparada, função e evolução**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

KATYAL, D.; KONG, E.; VILLANUEVA, J. Microplastics in the environment: impact on human health and future mitigation strategies. **Environmental Health Review**, NRC Research Press, v. 63, n. 1, p. 27–31, 2020.

KELPSIENE, E.; TORSTENSSON, O.; EKVALL, M. T.; HANSSON, L.-A.; CEDERVALL, T. Long-term exposure to nanoplastics reduces life-time in daphnia magna. **Scientific reports**, Nature Publishing Group UK London, v. 10, n. 1, p. 5979, 2020.

KHAN, F. R.; ALHEWAIRINI, S. S. Zebrafish (danio rerio) as a model organism. **Current trends in cancer management**, IntechOpen London, UK, v. 27, p. 3-18, 2018.

KIMMEL, C. B.; BALLARD, W. W.; KIMMEL, S. R.; ULLMANN, B.; SCHILLING, T. F. Stages of embryonic development of the zebrafish. **Developmental dynamics**, Wiley Online Library, v. 203, n. 3, p. 253-310, 1995.

KIRSTEIN, I. V.; KIRMIZI, S.; WICHELS, A.; GARIN-FERNANDEZ, A.; ERLER, R.; LÖDER, GERDTS, G. Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. **Marine environmental research**, v. 120, p. 1-8, 2016.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science advances**, v. 3, n. 7, p. e1700782, 2017.

LI, Y.; LIU, S.; WANG, Q.; ZHANG, Y.; CHEN, X.; YAN, L.; JUNAID, M.; WANG, J. Polystyrene nanoplastics aggravated ecotoxicological effects of polychlorinated biphenyls in on zebrafish (danio rerio) embryos. **Geoscience Frontiers**, Elsevier, v. 13, n. 3, p. 101376, 2022.

LIBERATI, A.; ALTMAN, D. G.; TETZLAFF, J.; MULROW, C.; GØTZSCHE, P. C.; IOANNIDIS, J. P.; CLARKE, M.; DEVEREAUX, P. J.; KLEIJNEN, J.; MOHER, D. The prisma statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Annals of internal medicine*, **American College of Physicians**, v. 151, n. 4, p. W–65, 2009.

LIMA, A.; COSTA, M.; BARLETTA, M. Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary. **Environmental research**, Elsevier, v. 132, p. 146–155, 2014.

LIU, X.; BAO, X.; WANG, X.; LI, C.; YANG, J.; LI, Z. Time-dependent immune injury induced by short-term exposure to nanoplastics in the sepia esculenta larvae. **Fish & Shellfish Immunology**, Elsevier, v. 132, p. 108477, 2023.

LIU, Y.; WANG, Y.; LI, N.; JIANG, S. Avobenzonone and nanoplastics affect the development of zebrafish nervous system and retinal system and inhibit their locomotor behavior. **Science of The Total Environment**, Elsevier, v. 806, p. 150681, 2022a.

LIU, Y.; WANG, Y.; LING, X.; YAN, Z.; WU, D.; LIU, J.; LU, G. Effects of nanoplastics and butyl methoxydibenzoylmethane on early zebrafish embryos identified by single-cell rna sequencing. **Environmental Science & Technology**, ACS Publications, v. 55, n. 3, p. 1885–1896, 2021.

LIU, Y.; ZHANG, J.; ZHAO, H.; CAI, J.; SULTAN, Y.; FANG, H.; ZHANG, B.; MA, J. Effects of polyvinyl chloride microplastics on reproduction, oxidative stress and reproduction and detoxification-related genes in daphnia magna. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, Elsevier, v. 254, p. 109269, 2022b.

MANUEL, P.; ALMEIDA, M.; MARTINS, M.; OLIVEIRA, M. Effects of nanoplastics on zebrafish embryo-larval stages: A case study with polystyrene (ps) and polymethylmethacrylate (pmma) particles. **Environmental Research**, Elsevier, v. 213, p. 113584, 2022.

MARTIN-FOLGAR, R.; TORRES-RUIZ, M.; ALBA, M. de; CAÑAS-PORTILLA, A. I.; GONZÁLEZ, M. C.; MORALES, M. Molecular effects of polystyrene nanoplastics toxicity in zebrafish embryos (danio rerio). **Chemosphere**, Elsevier, v. 312, p. 137077, 2023.

MORTON, B. Bivalve. **Encyclopedia Britannica**. 1 Feb. 2023. Disponível em <<https://www.britannica.com/science/bivalve>>. Acesso em: 23 ago. 2023.

MASON, S. A.; WELCH, V. G.; NERATKO, J. Synthetic polymer contamination in bottled water. **Frontiers in chemistry**, Frontiers, p. 407, 2018.

MOORE, K. L.; PERSAUD, T.; TORCHIA, M. G. **Embriologia Básica**. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

MOORE, R.; LOSETO, L.; NOEL, M.; ETEMADIFAR, A.; BREWSTER, J.; MACPHEE, S.; BENDELL, L.; ROSS, P. Microplastics in beluga whales (delphinapterus leucas) from the eastern beaufort sea. **Marine Pollution Bulletin**, Elsevier, v. 150, p. 110723, 2020.

NIE, J.-h.; SHEN, Y.; ROSHDY, M.; CHENG, X.; WANG, G.; YANG, X. Polystyrene nanoplastics exposure caused defective neural tube morphogenesis through caveolae-mediated endocytosis and faulty apoptosis. **Nanotoxicology**, Taylor & Francis, v. 15, n. 7, p. 885–904, 2021.

NIELSEN, T.D.; HASSELBALCH, J.; HOLMBERG, K.; STRIPPLE, J. Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic life cycle. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment**, v. 9, n. 1, p. e360, 2020.

NISHIDA, Sílvia Mitiko. Como se reproduzem e como são os ninhos? Biologia Geral das Aves. Universidade Estadual Paulista - UNESP. Disponível em <https://www2.ibb.unesp.br/Museu_Escola/Ensino_Fundamental/Animais_JD_Botânico/aves/aves_biologia_geral_ninhos.htm> Acesso em 12. set. 2023.

NOBRE, C.; SANTANA, M.; MALUF, A.; CORTEZ, F.; CESAR, A.; PEREIRA, C.; TURRA, A. Assessment of microplastic toxicity to embryonic development of the sea urchin *Lytechinus variegatus* (echinodermata: Echinoidea). **Marine pollution bulletin**, Elsevier, v. 92, n. 1-2, p. 99–104, 2015.

OLIVIERO, M.; TATO, T.; SCHIAVO, S.; FERNÁNDEZ, V.; MANZO, S.; BEIRAS, R. Leachates of micronized plastic toys provoke embryotoxic effects upon sea urchin *paracentrotus lividus*. **Environmental Pollution**, Elsevier, v. 247, p. 706–715, 2019.

OSATCHUK, B. C. M. **Avaliação de microplásticos presentes em concentrados de plaquetas**. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) — Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2022.

ÖZLEM, Ç. A.; HATICE, P. Effects of bisphenol a on the embryonic development of sea urchin (*paracentrotus lividus*). **Environmental Toxicology: An International Journal**, Wiley Online Library, v. 23, n. 3, p. 387–392, 2008.

PARK, I. H.; GEUM, S. W.; YEO, M.-K. Reduced cellular process and developmental process genotoxicity of polystyrene nanoplastics in zebrafish embryogenesis using *aurelia aurita* proteins. **Molecular & Cellular Toxicology**, Springer, p. 1–14, 2023.

PECHENIK, J. A. **Biologia dos invertebrados**. 7 ed. Porto Alegre: Grupo A, 2016. *E-book*. ISBN 9788580555813. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555813/>. Acesso em: 13 set. 2023.

PEIXOTO, D.; PINHEIRO, C.; AMORIM, J.; OLIVA-TELES, L.; GUILHERMINO, L.; VIEIRA, M. N. Microplastic pollution in commercial salt for human consumption: A review. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, Elsevier, v. 219, p. 161–168, 2019.

PEKMEZEKMEK, A. B.; EMRE, M.; ERDOGAN, S.; YILMAZ, B.; TUNC, E.; SERTDEMIR, Y.; EMRE, Y. Effects of high-molecular-weight polyvinyl chloride on xenopus laevis adults and embryos: the mrna expression profiles of myf5, esr1, bmp4, pax6, and hsp70 genes during early embryonic development. **Environmental Science and Pollution Research**, Springer, p. 1–13, 2021.

PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**. Maceió: EDUFAL, 2005.

PRATA, J. C.; VENÂNCIO, C.; GIRÃO, A. V.; COSTA, J. P. da; LOPES, I.; DUARTE, A. C.; ROCHA-SANTOS, T. Effects of virgin and weathered polystyrene and polypropylene microplastics on raphidocelis subcapitata and embryos of danio rerio under environmental concentrations. **Science of The Total Environment**, Elsevier, v. 816, p. 151642, 2022.

PROVENCHER, J. F.; VERMAIRE, J. C.; AVERY-GOMM, S.; BRAUNE, B. M.; MALLORY, M. L. Garbage in guano? microplastic debris found in faecal precursors of seabirds known to ingest plastics. **Science of the Total Environment**, Elsevier, v. 644, p. 1477–1484, 2018.

RABEZANAHARY, A. N. A.; PIETTE, M.; MISSAWI, O.; GARIGLIANY, M.-M.; KESTEMONT, P.; CORNET, V. Microplastics alter development, behavior, and innate immunity responses following bacterial infection during zebrafish embryo-larval development. **Chemosphere**, Elsevier, v. 311, p. 136969, 2023.

RAGUSA, A.; NOTARSTEFANO, V.; SVELATO, A.; BELLONI, A.; GIOACCHINI, G.; BLONDEEL, C.; ZUCHELLI, E.; LUCA, C. D.; D'AVINO, S.; GULOTTA, A. *et al.* Raman microspectroscopy detection and characterisation of microplastics in human breastmilk. **Polymers**, MDPI, v. 14, n. 13, p. 2700, 2022.

RAGUSA, A.; SVELATO, A.; SANTACROCE, C.; CATALANO, P.; NOTARSTEFANO, V.; CARNEVALI, O.; PAPA, F.; RONGIOLETTI, M. C. A.; BAIOTTO, F.; DRAGHI, S. *et al.* Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. **Environment international**, Elsevier, v. 146, p. 106274, 2021.

RAISUDDIN, S.; KWOK, K. W.; LEUNG, K. M.; SCHLENK, D.; LEE, J.-S. The copepod tigrionus: a promising marine model organism for ecotoxicology and environmental genomics. **Aquatic Toxicology**, v. 83, n. 3, p. 161-173, 2007.

RENDELL-BHATTI, F.; PAGANOS, P.; POUCH, A.; MITCHELL, C.; D'ANIELLO, S.; GODLEY, B. J.; PAZDRO, K.; ARNONE, M. I.; JIMENEZ-GURI, E. Developmental toxicity of plastic leachates on the sea urchin paracentrotus lividus. **Environmental Pollution**, Elsevier, v. 269, p. 115744, 2021.

REVEL, M.; CHÂTEL, A.; MOUNEYRAC, C. Micro (nano) plastics: a threat to human health? **Current Opinion in Environmental Science & Health**, Elsevier, v. 1, p. 17–23, 2018.

RIST, S.; BAUN, A.; ALMEDA, R.; HARTMANN, N. B. Ingestion and effects of micro-and nanoplastics in blue mussel (*mytilus edulis*) larvae. **Marine pollution bulletin**, Elsevier, v. 140, p. 423–430, 2019.

SANTOS, J.; BARRETO, A.; SOUSA, É. M.; CALISTO, V.; AMORIM, M. J.; MARIA, V. L. The role of nanoplastics on the toxicity of the herbicide phenmedipham, using danio rerio embryos as model organisms. **Environmental Pollution**, Elsevier, v. 303, p. 119166, 2022.

SHI, W.; GUO, H.; WANG, J.; HAN, X.; CAI, W. Adverse effects of co-exposure to cd and microplastic in *tigriopus japonicus*. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, MDPI, v. 19, n. 20, p. 13215, 2022.

SHIELS, A. B.; PITT, W. C. A review of invasive rodent (*Rattus* spp. and *Mus musculus*) diets on Pacific islands. 2014.

SONG, J.; KIM, C.; NA, J.; SIVRI, N.; SAMANTA, P.; JUNG, J. Transgenerational effects of polyethylene microplastic fragments containing benzophenone-3 additive in *daphnia magna*. **Journal of hazardous materials**, Elsevier, v. 436, p. 129225, 2022.

SONG, J.; NA, J.; AN, D.; JUNG, J. Role of benzophenone-3 additive in chronic toxicity of polyethylene microplastic fragments to *daphnia magna*. **Science of the Total Environment**, Elsevier, v. 800, p. 149638, 2021.

SUN, M.; DING, R.; MA, Y.; SUN, Q.; REN, X.; SUN, Z.; DUAN, J. Cardiovascular toxicity assessment of polyethylene nanoplastics on developing zebrafish embryos. **Chemosphere**, Elsevier, v. 282, p. 131124, 2021.

SURAN, M. Microplastics are found outside in nature and inside the body—but evidence of health risks is inconclusive. **JAMA**, v. 328, n. 10, p. 911-913, 2022.

SUSANTI, N. K. Y.; MARDIASTUTI, A.; WARDIATNO, Y. Microplastics and the impact of plastic on wildlife: a literature review. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2020. p. 012013.

SUSSARELLU, R.; SUQUET, M.; THOMAS, Y.; LAMBERT, C.; FABIoux, C.; PERNET, M. E. J.; GOÏC, N. L.; QUILLIEN, V.; MINGANT, C.; EPELBOIN, Y. *et al.* Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics.

Proceedings of the national academy of sciences, National Acad Sciences, v. 113, n. 9, p. 2430–2435, 2016.

TALLEC, K.; HUVET, A.; POI, C. D.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, C.; LAMBERT, C.; PETTON, B.; GOÏC, N. L.; BERCHEL, M.; SOUDANT, P.; PAUL-PONT, I. Nanoplastics impaired oyster free living stages, gametes and embryos. **Environmental pollution**, Elsevier, v. 242, p. 1226–1235, 2018.

TALLEC, K.; PAUL-PONT, I.; BOULAIS, M.; GOÏC, N. L.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, C.; GRAND, F. L.; BIDEAU, A.; QUÉRÉ, C.; CASSONE, A.-L.; LAMBERT, C. et al. Nanopolystyrene beads affect motility and reproductive success of oyster spermatozoa (*crassostrea gigas*). **Nanotoxicology**, Taylor & Francis, v. 14, n. 8, p. 1039–1057, 2020.

TENG, M.; ZHAO, X.; WANG, C.; WANG, C.; WHITE, J. C.; ZHAO, W.; ZHOU, L.; DUAN, M.; WU, F. Polystyrene nanoplastics toxicity to zebrafish: dysregulation of the brain–intestine–microbiota axis. **ACS nano**, ACS Publications, v. 16, n. 5, p. 8190–8204, 2022.

TORRE, C. D.; BERGAMI, E.; SALVATI, A.; FALERI, C.; CIRINO, P.; DAWSON, K.; CORSI, I. Accumulation and embryotoxicity of polystyrene nanoparticles at early stage of development of sea urchin embryos *paracentrotus lividus*. **Environmental science & technology**, ACS Publications, v. 48, n. 20, p. 12302–12311, 2014.

TORRES-RUIZ, M.; GONZÁLEZ, M. de A.; MORALES, M.; MARTIN-FOLGAR, R.; GONZÁLEZ, M. C.; CAÑAS-PORTILLA, A. I.; VIEJA, A. De la. Neurotoxicity and endocrine disruption caused by polystyrene nanoparticles in zebrafish embryo. **Science of the Total Environment**, Elsevier, v. 874, p. 162406, 2023.

TRIFUOGGI, M.; PAGANO, G.; ORAL, R.; PAVIČIĆ-HAMER, D.; BURIĆ, P.; KOVAČIĆ, I.; SICILIANO, A.; TOSCANESI, M.; THOMAS, P. J.; PADUANO, L. et al. Microplastic-induced damage in early embryonal development of sea urchin *sphaerechinus granularis*. **Environmental research**, Elsevier, v. 179, p. 108815, 2019.

WANG, M.; RÜCKLIN, M.; POELMANN, R. E.; MOOIJ, C. L. de; FOKKEMA, M.; LAMERS, G. E.; BAKKER, M. A. de; CHIN, E.; BAKOS, L. J.; MARONE, F. et al. Nanoplastics causes extensive congenital malformations during embryonic development by passively targeting neural crest cells. **Environment International**, Elsevier, v. 173, p. 107865, 2023a.

WANG, Q.; CHEN, G.; TIAN, L.; KONG, C.; GAO, D.; CHEN, Y.; JUNAID, M.; WANG, J. Neuro-and hepato-toxicity of polystyrene nanoplastics and polybrominated

diphenyl ethers on early life stages of zebrafish. **Science of The Total Environment**, Elsevier, v. 857, p. 159567, 2023b.

WANG, Q.; LI, Y.; CHEN, Y.; TIAN, L.; GAO, D.; LIAO, H.; KONG, C.; CHEN, X.; JUNAID, M.; WANG, J. Toxic effects of polystyrene nanoplastics and polybrominated diphenyl ethers to zebrafish (*danio rerio*). **Fish & Shellfish Immunology**, Elsevier, v. 126, p. 21–33, 2022.

WATHSALA, R. H. G. R.; FRANZELLITTI, S.; SCAGLIONE, M.; FABBRI, E. Styrene impairs normal embryo development in the mediterranean mussel (*mytilus galloprovincialis*). **Aquatic toxicology**, Elsevier, v. 201, p. 58–65, 2018.

WELDEN, N. A.; LUSHER, A. Microplastics: from origin to impacts. In: TREVOR, L. M. (Ed.). **Plastic waste and recycling: Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions**. 1. ed. Cambridge: Academic Press, 2020. p. 223–249.

WOOTTON, N.; REIS-SANTOS, P.; GILLANDERS, B. M. Microplastic in fish—a global synthesis. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, Springer, p. 1–19, 2021.

XU, K.; AI, W.; WANG, Q.; TIAN, L.; LIU, D.; ZHUANG, Z.; WANG, J. Toxicological effects of nanoplastics and phenanthrene to zebrafish (*danio rerio*). **Gondwana Research**, Elsevier, v. 108, p. 127–132, 2022.

YANG, Y.; XIE, E.; DU, Z.; PENG, Z.; HAN, Z.; LI, L.; ZHAO, R.; Qin, Y.; XUE, M.; LI, F.; HUA, K.; YANG, X. Detection of Various Microplastics in Patients Undergoing Cardiac Surgery. **Environmental Science & Technology**, v. 57, n. 30, p. 10911-10918, 2023.

YU, J.; TIAN, J.-Y.; XU, R.; ZHANG, Z.-Y.; YANG, G.-P.; WANG, X.-D.; LAI, J.-G.; CHEN, R. Effects of microplastics exposure on ingestion, fecundity, development, and dimethylsulfide production in *tigriopus japonicus* (*harpacticoida*, copepod). **Environmental Pollution**, Elsevier, v. 267, p. 115429, 2020.

ZHANG, P.; WANG, Y.; ZHAO, X.; JI, Y.; MEI, R.; FU, L.; MAN, M.; MA, J.; WANG, X.; CHEN, L. Surface-enhanced raman scattering labeled nanoplastic models for reliable bio-nano interaction investigations. **Journal of Hazardous Materials**, Elsevier, v. 425, p. 127959, 2022.

ZHANG, R.; SILIC, M. R.; SCHABER, A.; WASEL, O.; FREEMAN, J. L.; SEPÚLVEDA, M. S. Exposure route affects the distribution and toxicity of polystyrene nanoplastics in zebrafish. **Science of the Total Environment**, Elsevier, v. 724, p. 138065, 2020.

ZHANG, W.; WANG, Q.; CHEN, H. Challenges in characterization of nanoplastics in the environment. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, Springer, v. 16, p. 1–3, 2022.

ZHANG, Y.; WANG, X.; ZHAO, Y.; ZHAO, J.; YU, T.; YAO, Y.; ZHAO, R.; YU, R.; LIU, J.; SU, J. Reproductive toxicity of microplastics in female mice and their offspring from induction of oxidative stress. **Environmental Pollution**, Elsevier, v. 327, p. 121482, 2023a.

ZHANG, Z.; LI, X.; LI, J.; PAN, Y.; ZHUANG, Z.; ZHANG, X.; CHEN, C.; LIU, Y.; ZHANG, L.; LUO, Y. et al. The combined toxic effects of polystyrene microplastics and different forms of arsenic on the zebrafish embryos (danio rerio). **Science of The Total Environment**, Elsevier, v. 887, p. 164017, 2023b.

ZHAO, H.-J.; XU, J.-K.; YAN, Z.-H.; REN, H.-Q.; ZHANG, Y. Microplastics enhance the developmental toxicity of synthetic phenolic antioxidants by disturbing the thyroid function and metabolism in developing zebrafish. **Environment International**, Elsevier, v. 140, p. 105750, 2020.

ZHENG, J.; LI, C.; ZHENG, X. Toxic effects of polystyrene microplastics on the intestine of amphioctopus fangsiao (mollusca: Cephalopoda): From physiological responses to underlying molecular mechanisms. **Chemosphere, Elsevier**, v. 308, p. 136362, 2022.

ZHOU, R.; LU, G.; YAN, Z.; JIANG, R.; SUN, Y.; ZHANG, P. Interactive transgenerational effects of polystyrene nanoplastics and ethylhexyl salicylate on zebrafish. **Environmental Science: Nano**, Royal Society of Chemistry, v. 8, n. 1, p. 146–159, 2021.

ZUO, J.; HUO, T.; DU, X.; YANG, Q.; WU, Q.; SHEN, J.; LIU, C.; HUNG, T.-C.; YAN, W.; LI, G. The joint effect of parental exposure to microcystin-Lr and polystyrene nanoplastics on the growth of zebrafish offspring. **Journal of Hazardous Materials**, Elsevier, v. 410, p. 124677, 2021.

APÊNDICE A — TABELA DE ARTIGOS ENCONTRADOS NÃO ANALISADOS POR NÃO ABORDAREM A PROPOSTA DA REVISÃO

Tabela A.

Referência	Título	Motivo da exclusão
(Yuan et al., 2019)	New Perspective on the Nanoplastics Disrupting the Reproduction of an Endangered Fern in Artificial Freshwater. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.9b02882 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Aborda apenas modelo vegetal
(Lyons et al., 2021)	Effects of two types of microplastics (car tire abrasion and polystyrene) on earthworms <i>Eisenia andrei</i> at multiple levels of biological organisation. Disponível em: https://www.proquest.com/openview/368d23cc6f4254ed9b416177f6bcb4ff/1?pq-origsite=gscholar&cbl=105786 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Yang et al. 2022)	First evidence of nanoplastic uptake by the maturing oocyte. Disponível em: https://animal-reproduction.org/journal/animreprod/article/62ffa0b6a95395437528eb23 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Lyons et al., 2021)	Impact of polystyrene and polymethylmethacrylate microplastics on sea urchin <i>Paracentrotus lividus</i> embryogenesis. Disponível em: https://www.proquest.com/openview/fd6c70639f3bb551156e12fc0777f68a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=105786 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Auguste et al., 2020)	What Can Model Polystyrene Nanoparticles Can Teach Us on the Impact of Nanoplastics in Bivalves? Studies in <i>Mytilus</i> from the Molecular to the Organism Level. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-45909-3_5 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Harmon, 2018)	The effects of microplastic pollution on aquatic organisms. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128137475000084 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Gallo; Tosti, 2019)	Effects of ecosystem stress on reproduction and development. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Elisabetta-Tosti/publication/333171690_Effects_of_ecosystem_stress_on_reproduction_and_development/links/5c9e25d37a6fdccc9ddb624/Effects-of-ecosystem-stress-on-reproduction-and-development.pdf . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Rahman, 2020)	Effects of sperm ultra-acute exposure to nanoplastics on European whitefish (<i>Coregonus lavaretus</i>) sperm motility, embryo mortality and offspring swimming. Disponível em: https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/23228/urn_nbn_fi_uef-20201142.pdf . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Scherer et al., 2018)	Interactions of microplastics with freshwater biota. Disponível em: https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/42902/1/2018_Book_FreshwaterMicroplastics.pdf#page=161 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro

(Xhonneux et al., 2022)	P-156 cellular uptake of polystyrene nanoplastics by oocytes and their impact on subsequent embryo development: a preliminary insight using a bovine in vitro. Disponível em: https://academic.oup.com/humrep/article/37/Supplement_1/deac107.151/6620532 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Merril, 2022)	Assessing Embryonic Toxicity and End Fates of Nanoplastics in Freshwater Environments Using Gastropod Biomphalaria glabrata. Disponível em: https://www.proquest.com/openview/525b898ad82c0efd6216c3ef5f936e8b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Marbach, 2021)	Evaluating the Uptake and Effects of Polystyrene Nanoplastic Pollution on Stress Gene Response in the Zebrafish (Danio rerio) Embryo. Disponível em: https://www.proquest.com/openview/421a42f9d061ab5cf25c5b63138318c6/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Corsi et al., 2022)	Nanoplastics in Urban Waters: Recent Advances in the Knowledge Base. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119759379.ch13 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Canesi; Auguste; Bebianno, 2019)	Sublethal effects of nanoparticles on aquatic invertebrates, from molecular to organism level. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=YayoDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA38&dq=Sublethal+effects+of+nanoparticles+on+aquatic+invertebrates,+from+molecular+to+organism+level.&ots=bfRmvdRI_&sig=5o2wDNxfhaNvukvq8qeeaC_si20#v=onepage&q=Sublethal%20effects%20of%20nanoparticles%20on%20aquatic%20invertebrates%2C%20from%20molecular%20to%20organism%20level.&f=false . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Havlicek et al., 2022)	Collection of embryos and fluid from the bovine oviduct. Disponível em: https://animal-reproduction.org/article/6303e73fa9539538b4068ef3/pdf/animreprod-19-2-6303e73fa9539538b4068ef3.pdf . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Safarian et al., 2022)	P-155 Follicular fluid antibodies associated with quality of oocytes and fertilization rate in IVF-ICSI cycles. Disponível em: https://academic.oup.com/humrep/article/37/Supplement_1/deac107.150/6620533? . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Harmon, 2018)	The effects of microplastic pollution on aquatic organisms. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128137475000084 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Lagalla et al., 2022)	P-157 Embryo culture under high humidity conditions in time lapse system does not improve ongoing pregnancy rates: a retrospective propensity score model study. Disponível em: https://academic.oup.com/humrep/article/37/Supplement_1/deac107.152/6620531 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Capítulo de livro/tese/outro
(Beckwith; Fuentes, 2018)	Microplastic at nesting grounds used by the northern Gulf of Mexico loggerhead recovery unit. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X1830225X . Acesso em: 22 ago. 2023.	Não aborda desenvolvimento.

(Li et al., 2021)	Ultrafiltration membrane fouling by microplastics with raw water: Behaviors and alleviation methods. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S138589472034290X . Acesso em: 22 ago. 2023.	Não aborda desenvolvimento.
(Okamoto et al., 2022)	Color preferences and gastrointestinal-tract retention times of microplastics by freshwater and marine fishes**. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749122004675 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Não aborda desenvolvimento.
(Wang et al., 2021)*	Gut microbiota protects honey bees (<i>Apis mellifera</i> L.) against polystyrene microplastics exposure risks**. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389420318173 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Não aborda desenvolvimento.
(Murano et al., 2020)	How sea urchins face microplastics: uptake, tissue distribution and immune system response**. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119378121 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Não aborda desenvolvimento.
(Moriwaki; Komori; Akiyama, 2022)	Interaction between nanoplastics and pectin, a water-soluble polysaccharide, in the presence of Fe (III) ion. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343722009277 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Não aborda desenvolvimento.
(Kelpsiene et al., 2020)**	Long-term exposure to nanoplastics reduces life-time in <i>Daphnia magna</i> **. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41598-020-63028-1 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Não aborda desenvolvimento.
(Suckling; Richard, 2020) **	Short-Term Exposure to Storm-Like Scenario Microplastic and Salinity Conditions Does not Impact Adult Sea Urchin (<i>Arbacia punctulata</i>) Physiology**. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00244-020-00706-1 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Não aborda desenvolvimento.
(Chen et al., 2023)	A preliminary study on the mechanism of InP/ZnS quantum dots influencing embryo incubation of rare minnow (<i>Gobiocypris rarus</i>). Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166445X23001960 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Não aborda MP/NP
(Qin et al., 2023)	Embryo developmental toxicity in marine medaka (<i>Oryzias melastigma</i>) due to parental and embryonic 17 α -ethinylestradiol exposure. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722076975 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Não aborda MP/NP
(Depeursing e et al., 2010)	Fusing Visual and Clinical Information for Lung Tissue Classification in HRCT Data. Disponível em: https://core.ac.uk/download/pdf/54041068.pdf . Acesso em: 22 ago. 2023.	Não aborda MP/NP
(Eliso et al., 2022)	Phenotypic and Gene Expression Profiles of Embryo Development of the Ascidian <i>Ciona robusta</i> Exposed to Dispersants. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/14/10/1539 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Não aborda MP/NP
(Wang et al., 2021)	Ecotoxicological Effects of Microplastics on Bird Embryo Development by Hatching without Eggshell. Disponível em: https://www.jove.com/t/61696/ecotoxicological-effects-microplastics-on-bird-embryo-development . Acesso em: 22 ago. 2023.	Não encontrado

(Zhang et al., 2023)	Mitochondrial dysfunction and lipometabolic disturbance induced by the co-effect of polystyrene nanoplastics and copper impede early life stage development of zebrafish (<i>Danio rerio</i>). Disponível em: https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/en/d2en00710j/unauth . Acesso em: 22 ago. 2023.	Não encontrado
(Fei et al., 2021)	Effects of Polystyrene Microplastics on Growth and Reproduction of Parental Generation and Development of Filial Generation of Marine Medaka (<i>Oryzias melastigma</i>).	Não encontrado
(Yin et al., 2021)	A comparative review of microplastics and nanoplastics: Toxicity hazards on digestive, reproductive and nervous system. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721008251 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Yang; Nowack, 2020)	A meta-analysis of ecotoxicological hazard data for nanoplastics in marine and freshwater systems. Disponível em: https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/etc.4887 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Mortensen et al., 2019)	Biological interactions between nanomaterials and placental development and function following oral exposure. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0890623818306701 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Zaki; Aris, 2022)	An overview of the effects of nanoplastics on marine organisms. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722018502 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Sendra et al., 2021)	An overview of the internalization and effects of microplastics and nanoplastics as pollutants of emerging concern in bivalves. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720355534 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Bhagat et al, 2022)	Application of omics approaches for assessing microplastic and nanoplastic toxicity in fish and seafood species. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993622001571 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Weis, 2020)	Aquatic microplastic research—a critique and suggestions for the future. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/12/5/1475 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Liu et al., 2021)	Current progress on marine microplastics pollution research: A review on pollution occurrence, detection, and environmental effects. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/13/12/1713?utm_campaign=releaseissue_waterutm_medium=emailutm_source=releaseissueutm_term=doilink97 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Liu et al., 2020)	Ecotoxicoproteomic assessment of microplastics and plastic additives in aquatic organisms: A review. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1744117X20300605 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Yu; Cole; Chan, 2020)	Effects of microplastic on zooplankton survival and sublethal responses. Disponível em: https://library.open.org/handle/20.500.12657/43149 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão

(Urly <i>et al.</i> , 2023)	Impact of Microplastics and Nanoplastics on Livestock Health: An Emerging Risk for Reproductive Efficiency. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-2615/13/7/1132 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Singh <i>et al.</i> , 2022)	Micro (nano) plastics in wastewater: A critical review on toxicity risk assessment, behaviour, environmental impact and challenges. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521036419 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Kögel <i>et al.</i> , 2020)	Micro-and nanoplastic toxicity on aquatic life: Determining factors. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719360462 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Franzellitti <i>et al.</i> , 2019)	Microplastic exposure and effects in aquatic organisms: A physiological perspective. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1382668918305647 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Mason <i>et al.</i> , 2022)	Microplastics alter multiple biological processes of marine benthic fauna. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722044606 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Huang <i>et al.</i> , 2021)	Microplastics and associated contaminants in the aquatic environment: A review on their ecotoxicological effects, trophic transfer, and potential impacts to human health. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389420321774 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Ziccardi <i>et al.</i> , 2016)	Microplastics as vectors for bioaccumulation of hydrophobic organic chemicals in the marine environment: A state-of-the-science review. Disponível em: https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etc.3461 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Yang; Chen; Wang, 2021)	Microplastics in the Marine Environment: Sources, Fates, Impacts and Microbial Degradation. Disponível em: https://www.mdpi.com/2305-6304/9/2/41 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Zhang <i>et al.</i> , 2022)	Microplastics may be a significant cause of male infertility. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/15579883221096549 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(D'Angelo; Meccariello, 2021)	Microplastics: A Threat for Male Fertility. Disponível em: https://www.mdpi.com/1660-4601/18/5/2392 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Ferreira <i>et al.</i> , 2019)	Nanoplastics and marine organisms: What has been studied? Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1382668918305623 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Gonçalves; Bebianno, 2021)	Nanoplastics impact on marine biota: A review. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026974912100004X . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Haldar <i>et</i>	Nanoplastics Toxicity Specific to Liver in Inducing Metabolic Dysfunction—A	Revisão

al., 2023)	Comprehensive Review. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4425/14/3/590 . Acesso em: 22 ago. 2023.	
(Manzo; Schiavo, 2022)	Physical and chemical threats posed by micro (nano) plastic to sea urchins. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721071813 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Han et al., 2022)	Potential toxicity of nanoplastics to fish and aquatic invertebrates: Current understanding, mechanistic interpretation, and meta-analysis. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389421028399 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Weis; Palmquist, 2021)	Reality check: experimental studies on microplastics lack realism. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/11/18/8529 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Shen et al., 2019)	Recent advances in toxicological research of nanoplastics in the environment: A review. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119311066 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Thomas et al., 2021)	Resolving the effects of environmental micro-and nanoplastics exposure in biota: A knowledge gap analysis. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721016028 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Ferrante et al., 2022)	The pressing issue of micro-and nanoplastic contamination: profiling the reproductive alterations mediated by oxidative stress. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3921/11/2/193 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Latchere et al., 2021)	The need to investigate continuums of plastic particle diversity, brackish environments and trophic transfer to assess the risk of micro and nanoplastics on aquatic organisms. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749121000270 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Torres-Ruiz et al., 2021)	Toxicity of nanoplastics for zebrafish embryos, what we know and where to go next. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896972104198X . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Gong et al., 2023)	Toxicity of nanoplastics to aquatic organisms: Genotoxicity, cytotoxicity, individual level and beyond individual level. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030438942202060X . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Zhu et al., 2023)	Transport of microplastics in the body and interaction with biological barriers, and controlling of microplastics pollution. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651323003226 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
(Baghat et al., 2020)	Zebrafish: An emerging model to study microplastic and nanoplastic toxicity. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720322245 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão

(Punyauppa-path1; Punyauppa-path, 2019)	Microplastics: Origin, Environmental impact, Food and Beverage contamination and Management methods. Disponível em: https://www.journal.nu.ac.th/NUJST/article/view/Vol-28-No-2-2020-72-80 . Acesso em: 22 ago. 2023.	Revisão
---	--	---------