

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM SUSTENTABILIDADE DE ECOSSISTEMAS COSTEIROS E
MARINHOS

Avaliação dos efeitos ecotoxicológicos de fibras têxteis no
desenvolvimento embriolarval de *Echinometra lucunter*

Jennifer Barbosa dos Santos

Santos 2024

Jennifer Barbosa dos Santos

Avaliação dos efeitos ecotoxicológicos de fibras têxteis no desenvolvimento
embrionarval de *Echinometra lucunter*

Dissertação apresentada a Universidade Santa
Cecília como parte dos requisitos para obtenção de
título de Mestre em Ecologia,

Orientação: Prof. Dr. Tomas Angel Del Valls Casillas

Coorientação: Profa. Dra. Paloma Kachel Gusso
Choueri.

SANTOS 2024

571.95
S235a

Santos, Jennifer Barbosa dos.

Avaliação dos efeitos ecotoxicológicos de fibras têxteis no desenvolvimento embriolarval de *Echinometra lucunter* / Jennifer Barbosa dos Santos.

2024.

42 f.

Orientador: Dr. Tomas Angel Del Valls Cassillas.

Coorientador: Dra. Paloma Kachel Gusso Choueri.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Santa Cecília, Programa de pós-graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas Costeiros e Marinheiros, Mestrado em Ecologia, Santos, SP, 2024.

1. Ecotoxicologia. 2. Microfibras. I. Cassillas, Tomas Angel Del Valls . II. Avaliação dos efeitos ecotoxicológicos de fibras têxteis no desenvolvimento embriolarval de *Echinometra lucunter*.

DEDICATORIA

Dedico esse trabalho a minha família que tanto me apoiou durante esse processo e se fez presente em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são diversos, pois várias pessoas se fizeram presentes em algum momento e contribuíram para que este trabalho fosse possível, agradeço imensamente a Professora Dra Paloma Kachel Gusso Choueri pelas orientações e paciência durante toda a construção deste trabalho, aos colegas do programa ECOMAR na qual pude conviver, realizar trabalhos em grupo, em campo e todo aprendizado em conjunto, agradeço também aos colegas do laboratório LECOTOX UNISANTA, por toda ajuda durante os experimentos, e em especial ao amigo Raphael Vitorino por todo apoio, ajuda, auxílio, dicas e etc, durante os experimentos, sem ele eu não teria feito muitas coisas.

Aos professores da pós-graduação por todos os ensinamentos passados com muita maestria e paciência, e desta forma contribuíram imensamente para minha formação.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo a pesquisa.

Epígrafe

“ Os oceanos são o espaço do planeta mais ameaçado, seja pelos microplásticos, seja pelo degelo. Por isso, deve ser uma causa inspiradora para o futuro. Se queremos salvar o planeta, temos mesmo de começar por salvar os oceanos.”
(António Costa, Primeiro-ministro de Portugal)

RESUMO

A contaminação ambiental por microfibras é atualmente um problema de escala global, tendo as indústrias têxteis como um dos principais contribuintes. Esse impacto está fortemente associado à indústria da moda, em especial aos modelos de produção do “fast fashion”, nos quais o poliéster – uma fibra sintética pertencente ao grupo dos microplásticos – desempenha um papel central como matéria-prima. Essas microfibras tem se consolidado como um contaminante ambiental relevante. As microfibras podem ser classificadas em três categorias: naturais, como o algodão; sintéticas, como o poliéster; e mistas, compostas por combinações de duas ou mais fibras. Neste estudo, foram analisadas as microfibras de algodão, poliéster e mistas, com composição de 50% algodão e 50% poliéster. O objetivo foi avaliar os efeitos ecotoxicológicos dessas fibras têxteis em *Echinometra lucunter*, considerada uma espécie-chave nos ecossistemas marinhos. A pesquisa também simulou um cenário em que microfibras foram imersas em água do mar por 30 dias para avaliar alterações na toxicidade ao longo do tempo. A hipótese inicial era de que a contaminação por fibras têxteis de poliéster causaria efeitos no desenvolvimento embrionário desses organismos. Os resultados mostraram que todas as fibras testadas exibiram toxicidade, sendo que as fibras de algodão causaram efeitos no desenvolvimento embrionário, mesmo em concentrações ambientalmente relevantes. Percebeu-se também que a toxicidade das microfibras aumentou com a concentração e a duração da exposição, sendo o poliéster a fibra mais tóxica entre as testadas. Embora as fibras sintéticas tenham sido o foco principal de pesquisas anteriores, este estudo destaca que fibras naturais, como o algodão, frequentemente negligenciadas, também podem ser tóxicas devido à presença de aditivos em sua composição. Essas fibras naturais, apesar de se decompor mais rapidamente do que as sintéticas, podem persistir por períodos prolongados em ambientes aquáticos. Os achados reforçam a necessidade de novas pesquisas tanto sobre microfibras naturais quanto sintéticas, para compreender seus impactos ambientais e os potenciais ameaças aos ecossistemas marinhos e às populações de ouriços-do-mar.

Palavras-Chave: Ecotoxicologia, Microfibras, *Echinometra lucunter*, algodão, poliéster

ABSTRACT

Environmental contamination by microfibers is currently a global-scale problem, with the textile industry being one of the main contributors. This impact is strongly linked to the fashion industry, particularly to “fast fashion” production models, in which polyester—a synthetic fiber belonging to the group of microplastics—plays a central role as a raw material. These microfibers have established themselves as significant environmental contaminants. Microfibers can be classified into three categories: natural, such as cotton; synthetic, such as polyester; and mixed, composed of combinations of two or more fibers. In this study, microfibers of cotton, polyester, and mixed fibers (composed of 50% cotton and 50% polyester) were analyzed to evaluate their ecotoxicological effects on *Echinometra lucunter*, a key species in marine ecosystems. The research also simulated a scenario in which microfibers were immersed in seawater for 30 days to assess changes in toxicity over time. The initial hypothesis was that contamination by polyester textile fibers would negatively affect the embryonic-larval development of these organisms. The results showed that all tested fibers exhibited toxicity, with cotton fibers causing effects on embryonic-larval development even at environmentally relevant concentrations. It was also observed that microfiber toxicity increased with both concentration and exposure duration, with polyester being the most toxic fiber among those tested. Although synthetic fibers have been the primary focus of previous research, this study highlights that natural fibers, such as cotton, which are often overlooked, can also be toxic due to the presence of additives in their composition. These natural fibers, despite decomposing more quickly than synthetic ones, can persist for extended periods in aquatic environments. The findings underscore the critical need for further research on both natural and synthetic microfibers to better understand their environmental impacts and potential threats to marine ecosystems and sea urchin populations.

Key words: Ecotoxicology, Microfibers, *Echinometra lucunter*, cotton, polyester

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 a-b: (a) Organismos acondicionados em caixas térmicas com água do mar e transportados até o laboratório; (b) tanques com temperatura controlada.....	7
Figura 2 Aplicação de KCL na região perioral do ouriço-do-mar para obtenção dos gametas. Fonte: Elaborado pela autora.....	8
Figura 3 Fêmea de ouriço-do-mar liberando os óvulos. Fonte: Elaborado pela autora.....	9
Figura 4 Fecundação de óvulos de <i>Echinometra lucunter</i> . Fonte: Elaborado pela autora.....	9
Figura 5 Representação gráfica do desenho experimental. Fonte: Elaborado pela autora ...	11
Figura 6 Média \pm desvio padrão (DP) do desenvolvimento embriolarval de ouriço-do-mar normal exposto a diferentes concentrações (g) de microfibra de algodão.....	14
Figura 7 . Média \pm desvio padrão (DP) do desenvolvimento embriolarval de ouriço-do-mar normal exposto a diferentes concentrações (g) de microfibra de algodão envelhecido.	14
Figura 8 Média \pm desvio padrão (DP) do desenvolvimento embriolarval de ouriço-do-mar normal expostos a diferentes concentrações (g) de microfibra de poliéster.....	15
Figura 9 Média \pm desvio padrão (DP) do desenvolvimento embrião-larval normal de ouriço-do-mar expostos a diferentes concentrações (g) de microfibra de poliéster envelhecida.....	16
Figura 10 Média \pm desvio padrão (DP) do desenvolvimento embriolarval de ouriço-do-mar normal exposto a diferentes concentrações (g) de microfibra de composição mista (50% de algodão e 50% de poliéster).	17
Figura 11 Média \pm desvio padrão (DP) do desenvolvimento embriolarval de ouriço-do-mar normal exposto a diferentes concentrações (g) de microfibra de composição mista envelhecida (50% de algodão e % 50% de poliéster).	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. PERMANOVA calculada com base no efeito no desenvolvimento larval de *E. lucunter* por exposições a diferentes combinações de dados de microfibras e em análise multivariada. df = graus de liberdade; MS = média quadrada; P(perm) = valor p permutacional; Permissões exclusivas = número de permutações exclusivas. Os valores correspondentes a valores de p significativos estão marcados em negrito. Condição (nova e envelhecida); Concentração (0,0001,0,001,0,01, 0,1 g); Tipo (algodão, poliéster ou misto).....13

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

MFs: Microfibras

PERMANOVA: Análise de variância multivariada permutacional

HPAs: Hidrocarbonetos Aromaticos Policiclicos

DDT: Dicloro difenil tricloroetano

PCBs: Bifenilpoliclorato

df = Graus de liberdade

mg/L: Microgramas por litro

g/L: Gramas por litro

Sumário

1. Introdução	1
2.0 Objetivos	5
3.0 Materiais e métodos	5
3.1 Obtenção das microfibras	5
3.2 Caracterização das Microfibras	6
3.3 Organismo modelo	6
3.4 Coleta dos Ouriços	7
3.5 Obtenção dos gametas	7
3.6 Fecundação	8
3.7 Ensaio de Toxicidade	9
3.8 Análise de dados	11
4 Resultados	12
4.1 Aceitabilidade dos testes	12
4.2 Toxicidade subcrônica para E. lucunter	12
5.0 Discussão	18
6.0 Considerações Finais	24

1. Introdução

A poluição ambiental por microfibras (MFs), tem se tornado um problema ambiental crescente ao longo dos anos, e se tornando um problema global (Le et al., 2022). Nos últimos anos, tem sido apresentado um crescimento expressivo na indústria têxtil, impulsionado pelo aumento do consumo, particularmente no contexto da moda rápida (Fast-Fashion). Este hábito, contribuiu para um aumento de aproximadamente 30% na produção global de fibras sintéticas, resultando em um total de cerca de 120 toneladas de fibras em todo o mundo (Le et al., 2022).

Alguns estudos ainda acrescentam que a moda Fast-Fashion, que já era considerada rápida e contribuía muito para descarte de produtos, passa agora a ser "Ultra-Fashion", onde a produção é ainda maior e culminando no uso de materiais mais baratos, para que o consumidor possa adquirir uma quantidade maior de produtos e com um preço inferior, fazendo assim a economia girar (Bem et al., 2023). Nesse mercado, tecidos como o poliéster e o algodão são os mais utilizados durante as produções, entretanto o poliéster por ser uma fibra sintética é o mais preocupante, pois tem como base o petróleo e é um material com tempo longo de degradação, contudo, o algodão também apresenta seu potencial de danos ao meio ambiente, visto que é um produto de origem natural e pode ter aditivos em suas fibras e contaminante já incorporados em sua produção (Bem et al, 2023).

Nesta nova tendência, os impactos ao meio ambiente são inevitáveis, visto que o consumo por itens com valores mais baixos é alto, e a economia precisa ser mantida, sabe-se que em 2016 uma quantidade de 65 milhões de toneladas de polímeros para obtenção de poliéster foram produzidas, não somente os tecidos que em sua composição tem apenas o poliéster, mas possuem fibras mistas, em sua formação, onde possuem 50% de algodão e 50% de poliéster o que confere ao tecido uma vida mais longa, e o aumento na procura por esses artigos (Pereira et al., 2021).

Como resultado desse aumento na produção, as microfibras (MFs) têm se tornado cada vez mais prevalentes nos ecossistemas marinhos, alcançando uma quantidade anual de 2 milhões de toneladas. Esse fluxo de microfibras em ambientes marinhos está causando a contaminação de diversos organismos, acredita-se que

cerca de 80% do material biológicos coletado vêm apresentando sinais de contaminação (Détrée et al., 2023).

A contribuição das indústrias têxteis de moda para a poluição ambiental é algo ainda pouco discutido, principalmente com relação ao seu impacto como fonte de MFs aos ecossistemas, no entanto, não pode ser negligenciado, visto que para a produção de seus tecidos e produtos uma gama grande de recursos ambientais é usada de maneira intensa e descontrolada (Bem et al., 2023)

Microfibras (MFs) podem ser definidas como partículas alongadas na faixa de micrometros podendo chegar a alguns centímetros, estas microfibras são originárias de diversos produtos, principalmente aqueles de uso diário, como roupas, lenço umedecido, e produtos de higiene pessoal (Bour et al, 2022). Sendo a maior fonte as máquinas de uso doméstico, que acabam liberando através das águas residuais um volume alto de MFs (Napper e Thompson em 2016).

Essas microfibras podem ser de tecidos sintéticos ou naturais, como por exemplo o poliéster ou algodão, ou tecido misto. As sintéticas fazem parte do subgrupo de microplásticos, que por sua vez esse é um grande contaminante aquático, e conseqüentemente contribui para a contaminação das águas, sejam elas marinhas ou não (Yang et al, 2019). O que em uma escala global culmina em aproximadamente 35% de todo o microplástico de origem secundária que chega aos oceanos, sendo oriundos da lavagem de tecidos das residências (Pereira et al., 2021).

As fibras de algodão, são classificadas como fibras naturais, e ainda que não possuam derivados de plástico em sua composição, estão sujeitas a diversos contaminantes em seus múltiplos processos, desde plantio, obtenção de matéria prima e confecção da fibra, principalmente devido ao uso indiscriminado de agrotóxicos nesta cadeia produtiva (Bem, 2023). Essas fibras, quando em contato com a água, têm um período de degradação relativamente curto, em que boa parte delas se decompõe em um período de três a cinco semanas. Porém devido a sua entrada constante nos ecossistemas podem ser classificadas como contaminantes pseudo-persistentes.

As MFs que são subprodutos de origem plástica possuem um tamanho inferior a 5 mm e algumas possuem o diâmetro maior de 5 mm, entretanto ainda se encaixam como microplástico, e ao entrarem no meio ambiente e terem sua estrutura quebrada

e passam a ter o tamanho menor de 5 mm (Le et al,2021). O poliéster é uma fibra sintética de origem das fibras químicas derivadas do petróleo, é uma fibra de cadeias longas, com misturas químicas diversas como os álcoois e ácidos carboxílicos e de um ácido tereftálico, (Lobo; Limeira; Marques, 2014) esse último componente por sua vez é utilizado em forma de resina polietileno tereftalato (PET/poliéster) sendo destinado apenas para a produção de produtos têxteis, sendo que essa composição o torna hidrossolúvel e assim com potencial maior de contaminação (Barbosa, 2016). Além disso, essas microfibras podem ser classificadas como poluentes persistentes no meio ambiente devido à sua resistência à degradação. Essa resistência faz com que esses compostos permaneçam no ambiente por longos períodos, desta forma contribuindo para a contínua poluição ambiental (Pitanga, 2021).

Para a confecção desta fibra são utilizadas grandes quantidades de petróleo e compostos voláteis em sua produção, o que não apenas provoca impactos ambientais significativos, mas também pode afetar a saúde humana, visto que essas substâncias voláteis tendem a causar problemas respiratórios. Pequenos organismos aquáticos podem ingerir essas Mfs, e acabar introduzindo em sua alimentação e, conseqüentemente, na cadeia alimentar dessas espécies, causando danos imensuráveis aos ecossistemas (Rukhaya, 2020). Estudos apontam a ocorrência de microfibras plásticas em todas as regiões e ecossistemas, sendo considerado um contaminante ubíquo, estima-se que aproximadamente 35% desses microplásticos estão depositados nos ecossistemas aquáticos (Sait et al, 2021).

Com a inserção das fibras sintéticas no cenário mundial as indústrias passaram a se dedicar para produzir itens com esse novo produto, neste contexto estão as fibras mistas. A mistura de fibras, como o algodão e o poliéster, gera um tecido mais confortável, maleável e de baixo custo para o consumidor final. Porém durante a junção do poliéster com outros materiais como o algodão, são usados diversos aditivos químicos durante o processo de obtenção e tratamento dessa fibra, sendo que estes contaminantes sofrem variações de acordo o produto ou fio final que será produzido (Santos,2020).

Quando comparamos as fibras e o tempo que elas levam para se degradar no meio ambiente, (Bem,2021), em seus estudos demonstrou que os tecidos de composição em 100% algodão tiveram uma margem de redução em sua composição

de 11,65%, em comparação ao tecido de poliéster quando imersos por 120 dias, esse fato se dá devido a composição da fibra de algodão ser de origem natural. (Bem & Linke, 2023). No que tange a liberação destes diferentes tipos de microfibras no ambiente, tecidos mistos (65% poliéster/35% algodão) tendem a liberar uma quantidade menor de microfibras quando comparados aos tecidos compostos apenas de poliéster (Napper e Thompson, 2016).

Os processos de degradação pelos quais as MFs são submetidas fazem com que ocorra a liberação de compostos químicos presentes na composição dessas fibras, tais como corantes, plastificantes, estabilizantes, dentre outros. Ao serem degradados esses compostos podem passar pelo processo de lixiviação, através da difusão desse material para o meio ambiente, chegando nos ambientes aquáticos. Os estudos envolvendo microplásticos tem mostrado que esses agem como vetores de transportes de contaminantes químicos tais como por exemplo, os bisfenóis, que por sua vez são frequentemente associados aos problemas relacionados ao sistema endócrino, pois estes compostos podem aderir aos microplásticos e assim potencializar os riscos de contaminação dos organismos (Montagner, 2024).

Além dos compostos já presentes em sua formulação, as microfibras também têm a capacidade de adsorver uma ampla variedade de contaminantes presentes no ambiente circundante, tais como metais tóxicos e poluentes orgânicos, como HPAs, DDT, PCBs e dioxinas (Wang et al., 2018; Gaylarde et al., 2021). Apesar de as fibras serem a forma predominante de plástico encontrada nos ecossistemas marinhos (Liu et al., 2021, Xu et al., 2021), ainda existem muitas lacunas no entendimento dos efeitos em invertebrados marinhos relacionados à exposição a esses materiais (Remy et al., 2015; Walkinshaw et al., 2023).

Os estudos ecotoxicológicos desempenham um papel crucial na avaliação da contaminação dos ecossistemas marinhos. Para tal avaliação, são usados protocolos específicos que utilizam organismos marinhos locais como bioindicadores. Dentre os organismos frequentemente utilizados para esses estudos, destaca-se o ouriço-do-mar. Esta escolha deve à sua abundância e facilidade de disponibilidade para coleta, bem como à sua manipulação facilitada. Além disso, o ouriço-do-mar é selecionado por apresentar um ciclo reprodutivo com fecundação e obtenção de gametas relativamente simples, o que favorece a realização de análises ecotoxicológicas. Além

disso, seu desenvolvimento embriolarval rápido permite que sejam realizadas as análises em um curto tempo. Em virtude dessas características, o ouriço-do-mar é comumente escolhido como organismo indicador em estudos ecotoxicológicos, (Bonfim, 2005).

. Há interesse em compreender como esses contaminantes afetam os organismos modelo, e ao estudar a interação entre os microplásticos e os organismos marinhos, buscamos obter mais informações sobre os possíveis impactos desses contaminantes nos ecossistemas aquáticos e, por extensão, na saúde dos organismos e na biodiversidade marinha.

2.0 Objetivos

O objetivo deste trabalho é avaliar os efeitos ecotoxicológicos de diferentes composições de fibras sobre os organismos marinhos. Para isso, os organismos foram expostos a fibras têxteis de algodão, poliéster e de composição mista, começando de uma concentração ambientalmente relevante até uma concentração em que se esperam efeitos nos organismos expostos. Além disso, foi simulado um cenário em que as fibras permaneceram imersas em água marinha por 30 dias para avaliar se sua toxicidade poderia ser alterada conforme permanecem em um ambiente natural. Parte-se da hipótese de que as fibras derivadas de tecidos sintéticos são mais tóxicas do que as fibras naturais e que sua toxicidade pode ser alterada à medida que permanecem no ambiente.

3.0 Materiais e métodos

3.1 Obtenção das microfibras

Para a obtenção das microfibras analisadas neste estudo, foram adquiridos tecidos de algodão e poliéster em estabelecimentos comerciais locais. As microfibras de algodão (100%), poliéster (100%) e mistas (50% algodão e 50% poliéster) foram extraídas manualmente utilizando um removedor de pelos elétricos. Para evitar

possíveis contaminações, cada tipo de tecido foi processado com um removedor exclusivo.

3.2 Caracterização das Microfibras

Após a extração, as microfibras foram armazenadas em recipientes de vidro e mantidas em ambiente escuro. Para confirmar o seu tamanho, amostras foram capturadas em imagens utilizando um microscópio óptico (câmera Motic Cam), e o tamanho médio foi mensurado com o software Image Pro-Plus 3.0.1

3.3 Organismo modelo

Echinometra lucunter

A espécie escolhida para o desenvolvimento da pesquisa foi o *Echinometra Lucunter*. Esta espécie pertence a uma classe com cerca de 950 espécies, cuja coloração varia entre o preto e o roxo. São animais invertebrados do grupo dos equinodermos, caracterizados por possuírem espinhos de tamanhos variados em sua carapaça. Alimentam-se de algas macrófitas, microcrustáceos, esponjas e corais.

Esses organismos são frequentemente utilizados em testes ecotoxicológicos devido à sua sensibilidade às intempéries e comportamento territorial. O estágio de vida mais comumente usados nesses testes é o larval, onde as larvas são chamadas de pluteus. A gametogênese desses animais é regulada pelo fotoperíodo (Soares, 2023).

Os ouriços-do-mar, diferentemente de outros organismos utilizados em testes ecotoxicológicos, não são cultivados em laboratório, mas sim coletados do ambiente natural, são amplamente distribuídos territorialmente, sendo encontrados desde o sul dos EUA até o sul do Brasil (Mello, 2022).

3.4 Coleta dos Ouriços

Os ouriços *E. lucunter* foram coletados por mergulho livre na Ilha das Palmas (São Paulo, Brasil), transportados para o laboratório em uma caixa térmica portátil e mantidos em tanques com água do mar natural até o início dos experimentos (Figura 1 (a-b)), em condições controladas (oxigênio, 5.5 ± 0.5 mg/L; salinidade 34 ± 2 ; pH $8,3 \pm 0,2$; 16/8 h luz/escuro).



Figura 1 a-b: (a) Organismos acondicionados em caixas térmicas com água do mar e transportados até o laboratório; (b) tanques com temperatura controlada.

3.5 Obtenção dos gametas

Para a obtenção dos gametas, foi realizado o procedimento de indução utilizando injeção de 2,5 ml de KCl (0,5 M) (Figura 2) na região perioral dos animais, o organismo foi brevemente agitado e de forma leve para que a solução se espalhasse na cavidade celômica (ABNT NBR 15350, 2020). Já para a obtenção dos gametas das fêmeas, o animal foi deixado com sua parte superior virado para a entrada do Becker contendo água do mar filtrada, os gametas dos machos foram identificados e coletados dos gonóporos com auxílio de uma pipeta Pasteur de ponta fina, e acondicionados nos beckers com gelo (ABNT NBR 15350, 2023).



Figura 2 Aplicação de KCL na região perioral do ouriço-do-mar para obtenção dos gametas. Fonte: Elaborado pela autora

3.6 Fecundação

Para a fecundação, foi utilizada uma solução espermática preparada com esperma e água de diluição, misturada para dissolver os coágulos formados durante o processo. Em seguida, essa solução foi adicionada a uma solução contendo os óvulos (Figura 3), e a mistura foi suavemente agitada por 5 minutos para permitir a fecundação e obter a solução de ovos. Para confirmar a fecundação, 1mL da solução de ovos foi diluído em 100 mL de água de diluição.

A taxa de fertilização foi avaliada sob microscópio (400x) (Figura 4) para garantir pelo menos 90% de fertilização bem-sucedida. A densidade de unidades por volume foi estimada para permitir a adição de organismos suficientes em cada câmara de teste, alcançando uma densidade aproximada de 400 indivíduos mL⁻¹.

Os testes foram realizados utilizando tubos de ensaio de vidro contendo 10 mL de meio experimental, e condições controladas foram mantidas ao longo do experimento (fotoperíodo de 16:8 h claro:escuro; temperatura de 28 ± 2°C; salinidade de 34). Após um período de incubação de 36 h em condições estáticas, as larvas foram fixadas em formaldeído tamponado (10%) e a porcentagem de larvas normais foi determinada sob microscópio óptico (400x) para contagem foi colocado em uma

câmara de Sedgwick-Rafter. O ensaio foi considerado aceitável pois mais de 80% dos organismos no controle atingiram o estágio de pluteus normais, apresentando braços de tamanho igual ou maior ao comprimento do corpo da larva .

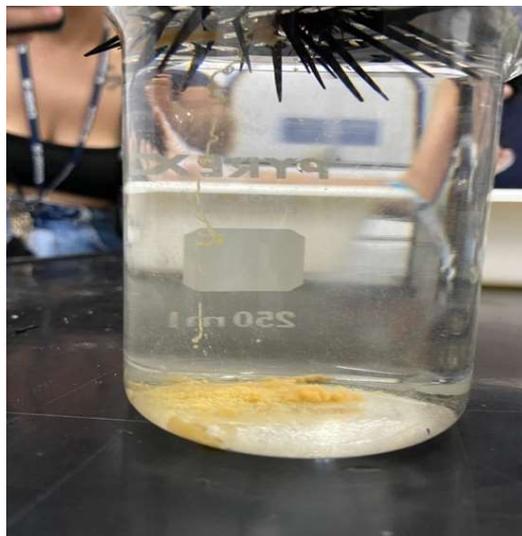


Figura 3 Fêmea de ouriço-do-mar liberando os óvulos. Fonte: Elaborado pela autora

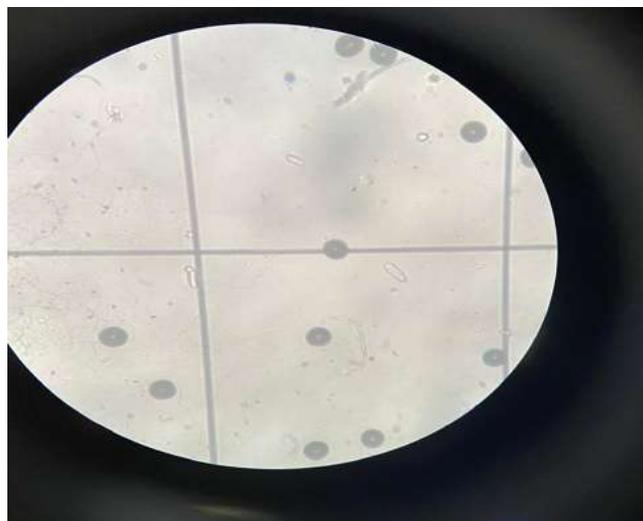


Figura 4 Fecundação de óvulos de Echinometra lucunter. Fonte: Elaborado pela autora

3.7 Ensaio de Toxicidade

Para cada tratamento, foram utilizadas quatro réplicas, e os parâmetros físico-químicos (pH, salinidade, oxigênio dissolvido e temperatura) foram monitorados no início e no final do ensaio. A salinidade foi medida com um refratômetro, o pH foi

determinado utilizando um eletrodo de vidro específico, e o oxigênio dissolvido foi medido com um medidor apropriado.

A efetividade dos testes ecotoxicológicos foi observada controlando a sensibilidade dos organismos, por meio de testes com uma substância de referência tóxica ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) (Environment Canada, 2011) e comparando os resultados com um gráfico de controle mantido pelo laboratório.

Para a realização dos ensaios ecotoxicológicos foi utilizado soluções em diferentes concentrações, 0,1, 0,01,0,001, e 0,0001, além do controle água livre de contaminação. Dois cenários de exposição foram simulados. No primeiro, as microfibras (MFs) foram imediatamente dispostas na água do mar, e a possível toxicidade foi avaliada logo em seguida. No segundo cenário, as fibras permaneceram imersas e envelhecidas na água do mar por 30 dias, em uma temperatura controlada ($\pm 6^\circ C$) e em ambiente escuro. Após esse período, as amostras foram aclimatadas, agitadas e a toxicidade foi avaliada (Figura 5).

Desenho Experimental

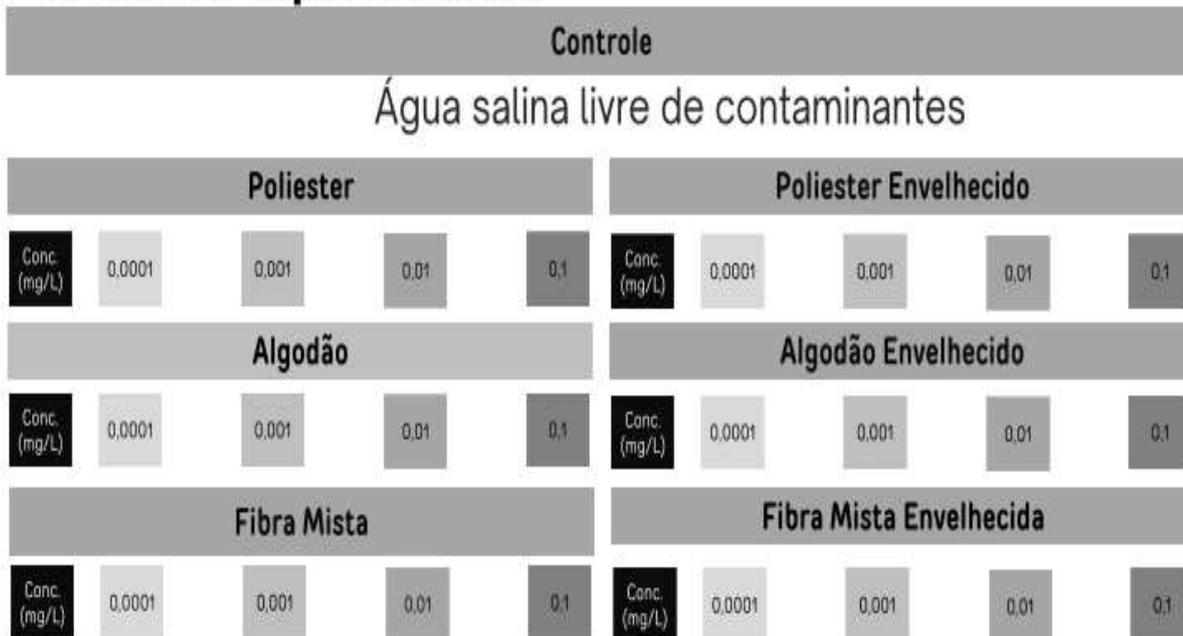


Figura 5 Representação gráfica do desenho experimental. Fonte: Elaborado pela autora

3.8 Análise de dados

A significância das diferenças entre os tratamentos pertencentes aos testes de toxicidade foram avaliados por meio da Análise de Variância Permutacional Univariada ("teste principal" PERMANOVA) (Anderson, 2017) bifatorial para analisar as diferenças dentro de cada tipo de microfibras considerando como fatores fixos a condição (recém adicionada na água e envelhecida) e a concentração (0,0001; 0,001; 0,01; 0,1 g/L) e trifatorial que almejou observar as diferenças de toxicidade entre todos tipos de microfibras, considerando três fatores fixos: tipo de MFs (Poliéster, Algodão e Mista), condição (recém adicionada na água e envelhecida) e concentração (0,0001; 0,001; 0,01; 0,1 g/L). Quando o teste principal apresentou resultado significativo ($p < 0,05$) foi aplicado o teste a posteriori ("teste de comparações

múltiplas pareadas") para identificar quais níveis diferirão entre si. A homogeneidade das variâncias foi analisada usando PERMDISP

4 Resultados

4.1 Aceitabilidade dos testes

A CE50 para ouriços-do-mar foi de 0.34 ZnSO₄, o que indica que a sensibilidade dos organismos estava dentro da faixa aceitável estabelecida pela carta controle mantida no laboratório (0.15 – 0.58 mg/L ZnSO₄).

4.2 Toxicidade subcrônica para *E. lucunter*

Os resultados das análises estatísticas realizadas com os resultados dos testes de toxicidade subcrônica para *E. lucunter* são apresentados na Tabela 1. Inicialmente cada tipo de microfibras (algodão, poliéster ou mista) foi testado de forma bifatorial considerando sua condição (nova ou envelhecida) e as diferentes concentrações. Em sequência foi realizada uma PERMANOVA trifatorial considerando todos os tipos de fibras, suas respectivas condições e concentrações.

Tabela 1. PERMANOVA calculada com base no efeito no desenvolvimento larval de *E. lucunter* por exposições a diferentes combinações de dados de microfibras e em análise multivariada. df = graus de liberdade; MS = média quadrada; P(perm) = valor p permutacional; Permissões exclusivas = número de permutações exclusivas. Os valores correspondentes a valores de p significativos estão marcados em negrito. Condição (nova e envelhecida); Concentração (0,0001,0,001,0,01, 0,1 g); Tipo (algodão, poliéster ou misto).

Main Test	df	MS	Pseudo-F	P (perm)
Cotton				
Condition	1	1500.6	10.099	0.006
Concentration	4	627.55	4.223	0.007
Condition vs. Concentration	4	279.87	1.884	0.114
Polyester				
Condition	1	1210	13.378	0.003
Concentration	4	1224.1	13.533	0.001
Condition vs. Concentration	4	889.12	9.83	0.001
Mixed				
Condition	1	1276.9	9.203	0.002
Concentration	4	495.96	3.575	0.012
Condition vs. Concentration	4	196.09	1.4132	0.26
Trifactorial with all treatments				
Type of MF	1	5922	42.539	0.001
Condition	2	239.95	1.666	0.185
Concentration	3	473.74	3.403	0.025
Type x Condition x Concentration	6	502.04	3.606	0.002

As Figuras 6 e 7 mostram os resultados do teste de toxicidade utilizando a fibra de algodão e variando as concentrações de teste. A análise PERMDISP mostrou que as dispersões entre os níveis destas MFs são heterogêneas. Os resultados ressaltam a interação entre as variáveis testadas (condição e concentração). Houve um aumento significativo na toxicidade dos organismos expostos às fibras envelhecidas. Também foi possível observar uma maior toxicidade nas concentrações de 0.0001; 0.001 e 0.1 mg/L com relação aos tratamentos controle (Tabela 1).

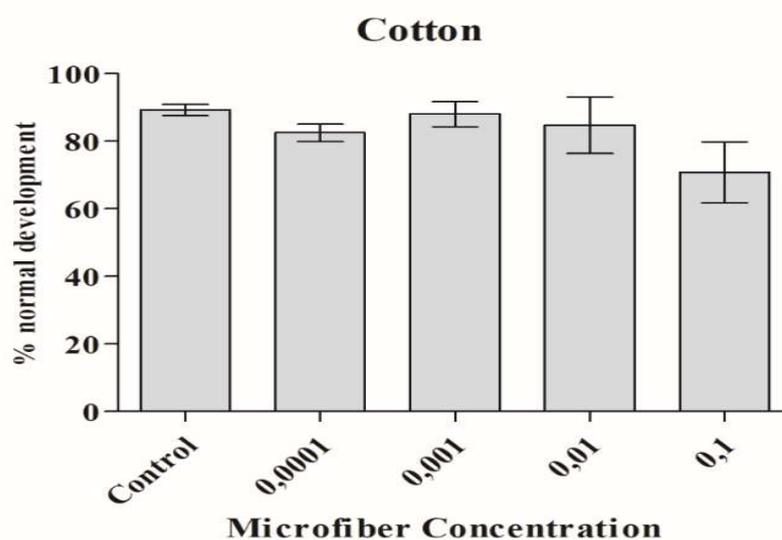


Figura 6 Média \pm desvio padrão (DP) do desenvolvimento embrionário de ouriço-do-mar normal exposto a diferentes concentrações (g) de microfibra de algodão

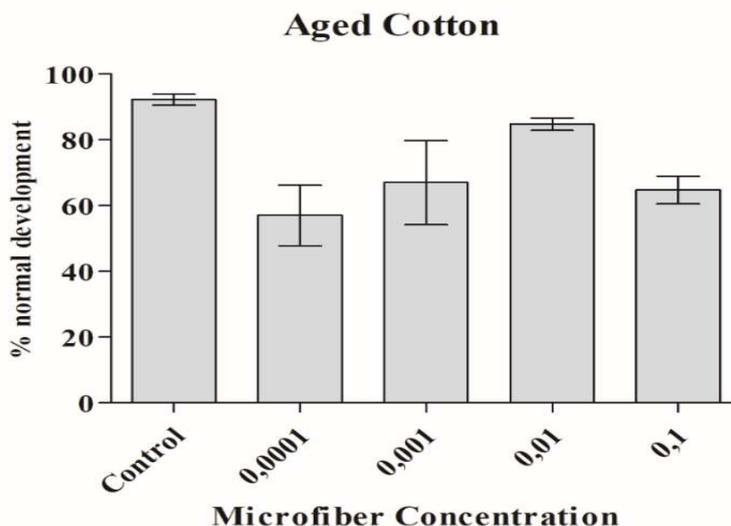


Figura 7 . Média \pm desvio padrão (DP) do desenvolvimento embrionário de ouriço-do-mar normal exposto a diferentes concentrações (g) de microfibra de algodão envelhecido.

As variações entre os tratamentos são heterogêneas (Figuras 8 e 9). A PERMANOVA ressaltou a interação entre as variáveis testadas e os testes post-hoc pareados mostraram que as microfibras envelhecidas são mais tóxicas que as recém adicionadas na água do mar, mas apenas na concentração 0.01 g/L. Analisando as diferenças dentro de cada condição (MFs recém adicionadas ou envelhecidas) verificou-se que as fibras recém adicionadas na água são diferentes e mais tóxicas que o controle nas concentrações 0.001 e 0.1 g/L. Já fibras envelhecidas podem ser consideradas mais tóxicas que o controle, em todas as concentrações avaliadas (Tabela 1).

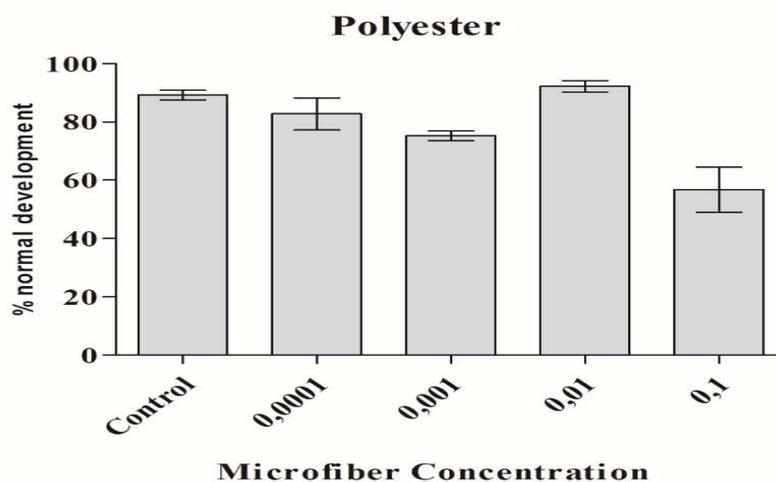


Figura 8 Média \pm desvio padrão (DP) do desenvolvimento embrionário normal de ouriço-do-mar normal expostos a diferentes concentrações (g) de microfibra de poliéster.

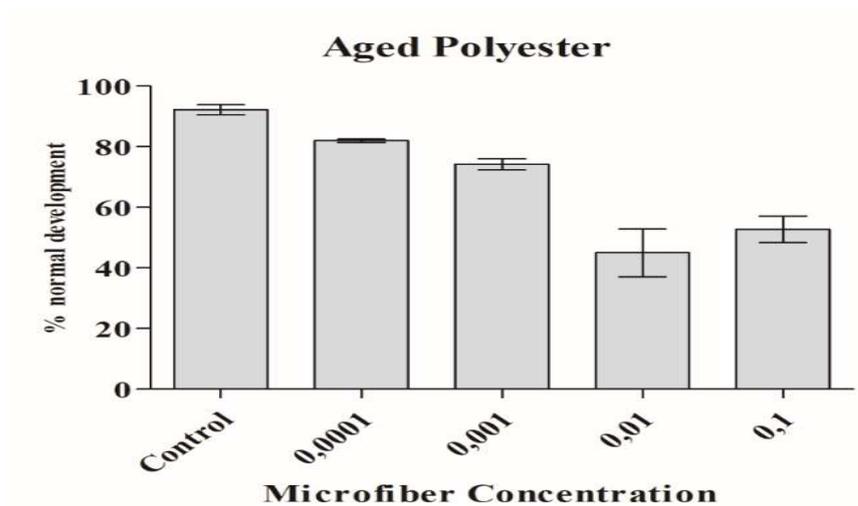


Figura 9 Média \pm desvio padrão (DP) do desenvolvimento embrião-larval normal de ouriço-do-mar expostos a diferentes concentrações (g) de microfibras de poliéster envelhecida.

As microfibras de composição mista (50% algodão e 50% poliéster) também possuem variâncias heterogêneas segundo a análise bem como demonstrou-se que não existe interação entre os fatores testados, mas existe diferenças de toxicidade com relação a condição (recém adicionada ou envelhecida) e entre as diferentes concentrações dentro de um mesmo tratamento (Tabela 1). Mais especificamente os testes post-hoc pareados mostraram que as microfibras envelhecidas são mais tóxicas que as recém adicionadas na água. Com relação aos efeitos dentro de cada tratamento, ainda que a diferenças de toxicidade em relação ao tratamento controle seja relativamente pequena no tratamento das fibras recém adicionadas na água, a análise estatística demonstra que todas as concentrações testadas são tóxicas (Figuras 10 e 11). Isso também foi observado nas microfibras envelhecidas, mas aqui o aumento da toxicidade é mais nítido (Figuras 10 e 11).

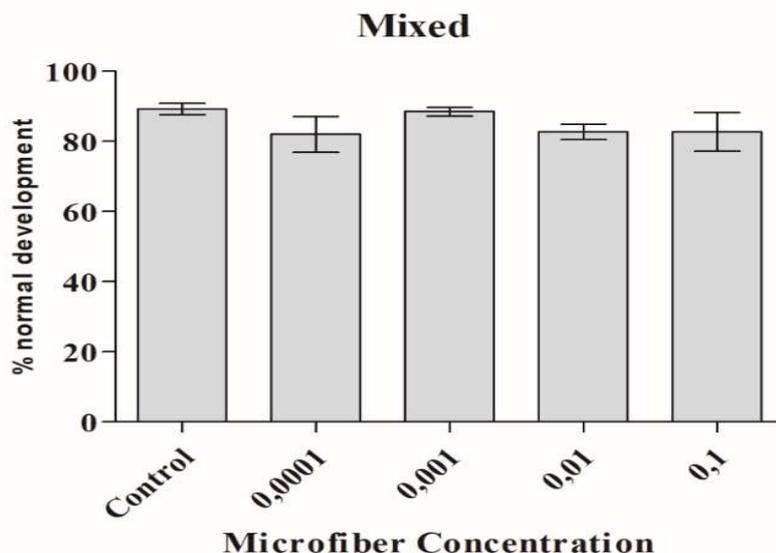


Figura 10 Média \pm desvio padrão (DP) do desenvolvimento embriolarval de ouriço-do-mar normal exposto a diferentes concentrações (g) de microfibras de composição mista (50% de algodão e 50% de poliéster).

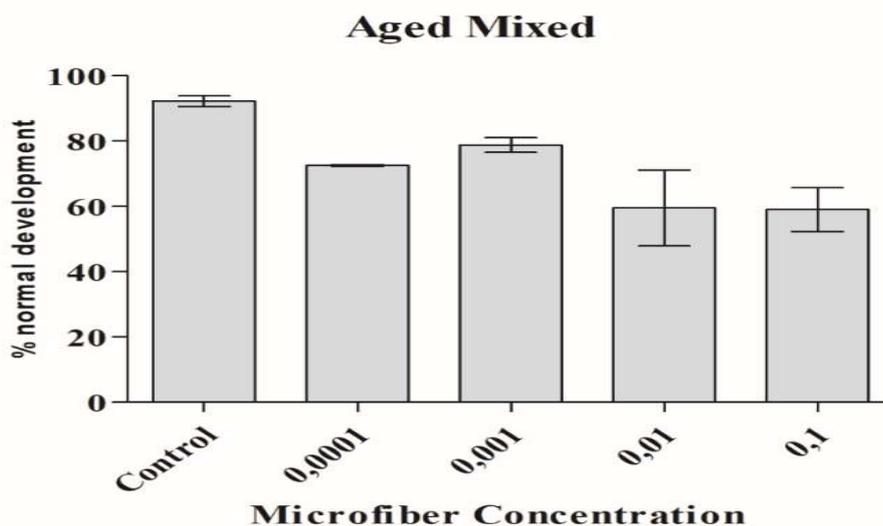


Figura 11 Média \pm desvio padrão (DP) do desenvolvimento embriolarval de ouriço-do-mar normal exposto a diferentes concentrações (g) de microfibras de composição mista envelhecida (50% de algodão e 50% de poliéster).

A análise da PERMANOVA trifatorial que testou os efeitos entre as condições, do tipo e das concentrações das microfibras, ressalta que existe interação entre estes três fatores (tabela 1), ou seja, a diferença de toxicidade entre os tipos (ou composições) de microfibras é dependente da condição de idade e da concentração destas partículas. Os testes pareados ressaltam que para as fibras recém adicionadas na água na concentração ambientalmente relevante (0.0001g/L) todos

os tipos de microfibras são estatisticamente iguais e não tóxicos; e na concentração mais alta (0.1 g/L) todos são igualmente tóxicos. Nas concentrações intermediárias verifica-se que em 0.001 g/L as microfibras de poliéster são mais tóxicas que as demais e em 0.01 g/L o poliéster é mais tóxico apenas que a mistura de microfibras.

Considerando as microfibras que permaneceram na água por mais tempo, curiosamente percebe-se que o poliéster na concentração ambientalmente relevante (0,0001 g/L) é menos tóxico que as demais composições. Na concentração seguinte (0,001 g/L) o poliéster já demonstra uma toxicidade maior que o algodão e em 0,001 e 0, 1 g/L todos os tipos de microfibras são igualmente tóxicos para os organismos.

5.0 Discussão

Os resultados deste estudo demonstraram que todos as três composições de microfibras antropogênicas utilizadas neste estudo (algodão, poliéster e mista) podem ser tóxicas para os organismos tanto nos cenários atuais quanto nos futuros previstos. Entretanto as fibras envelhecidas demonstraram um maior potencial de toxicidade dentro deste grupo as fibras mistas as mais tóxicas. Surpreendentemente observou-se também que as fibras de algodão podem causar efeitos no desenvolvimento embriolarval de *E. lucunter* já em concentrações ambientalmente relevantes (0.0001 mg/L) e desta forma é imprescindível que se tenha mais estudos envolvendo esta fibra, visto que embora seja natural ela apresenta grande potencial de toxicidade. No entanto, a maioria dos estudos sobre a toxicidade das microfibras antropogênicas em organismos aquáticos têm sido conduzidos principalmente utilizando fibras sintéticas (eg. Song et al., 2019; de Orte et al., 2019; Leades et al., 2019; Qiao et al., 2019; Yardy and Callaghan, 2020; Tourinho et al., 2021; Sharma et al., 2024; Harikrishnan et al., 2024). Estudos com fibras naturais ainda são escassos (Kin et al., 2021), desta

forma se faz necessário avançar na compreensão dos efeitos associados as microfibras de todos os tipos, pois os organismos estão expostos a fibras naturais e sintéticas (eg. Caldwell et al., 2022, Granek et al., 2022) portanto é essencial que se tenha mais estudos envolvendo ambas as fibras.

Essa ausência nos estudos em parte se deve ao fato que as microfibras naturais, como as feitas de algodão, tendem a se decompor mais rapidamente do que as fibras sintéticas (Zambrano et al., 2019; Zambrano et al., 2020). Porém, deve-se considerar que estes materiais ainda podem permanecer em ambientes aquáticos por períodos que variam de meses a décadas, conforme o tipo de fibra e os fatores ambientais envolvidos (Zambrano et al., 2019; Zambrano et al., 2020; Athey and Erdle, 2022). Modificações humanas, como o uso de corantes e tratamentos especiais, também podem aumentar o tempo de degradação destas fibras no meio ambiente (Sørensen et al., 2021). Essas características e a entrada constante nos ecossistemas pode fazer com que elas sejam consideradas “pseudo-persistentes”.

Acredita-se que a toxicidade observada neste estudo para os organismos expostos as microfibras de algodão se devem ao fato de que apesar de serem derivadas de materiais naturais, as microfibras de origem natural geralmente contêm uma gama de aditivos químicos, corantes e agentes de acabamento adicionados durante a produção. Estes aditivos químicos podem incluir compostos extremamente tóxicos, como bisfenóis, corantes azo, compostos alquílicos polifluorados (PFAS) e formaldeído e as microfibras plásticas, podem conter ainda mais aditivos (Sørensen et al., 2020; Xue et al., 2017; Compa et al., 2018, Zambrano et al., 2020,).

Assim como no presente estudo, trabalhos pretéritos demonstraram que as microfibras naturais podem ser relativamente menos tóxicas quando comparadas a

microfibras de origem sintéticas, porém são relatadas respostas adversas destas microfibras em termos de crescimento e comportamento alterado em misídeos (*Americamysis bahia*) e peixes (*Menidia beryllina*), (Siddiqui et al., 2023), mexilhões (*Mytilus* spp) (Walkinshaw et al., 2023). Já para artemia (*Artemia franciscana*) os resultados de toxicidade foram semelhantes para duas microfibras comumente sintéticas (polipropileno e tereftalato de polietileno) e uma fibra natural (liocel) (Kim et al., 2021).

Neste estudo constatou-se que conforme a concentração de microfibras na água aumenta, também se aumenta a resposta tóxica e verifica-se que o polietileno é mais tóxico que as outras composições. A literatura também aponta efeitos destas microfibras derivadas de materiais plásticos, tais como efeitos no desenvolvimento embriolarval, redução na taxa de consumo de alimentos, crescimento e reprodução, aumento da mortalidade adulta, diminuição das taxas de filtração, bem como estresse oxidativo e desenvolvimento embrionário negativo (Watts et al., 2015; Au et al., 2015; Jemec et al., 2015; Jemec et al., 2016; Woods et al., 2018, Beiras et al., 2022).

No presente estudo foram testados dois cenários de exposição de fibras para os embriões de *E. lucunter*, o primeiro cenário corresponde a entrada da fibra no ambiente e o segundo é de uma microfibra que permaneceu imersa em água do mar durante 30 dias. Os resultados demonstraram que existe uma tendência de aumento da toxicidade conforme as microfibras ficam mais tempo no ambiente, fato observado para todas as composições testadas (algodão, poliéster e mista).

Acredita-se que este efeito se deva ao processo de lixiviação destes materiais, embora esses químicos não tenham sido investigados neste estudo. De fato, trabalhos recentes sugerem que os aditivos lixiviados são a causa primária de

toxicidade para os organismos aquáticos (Beiras et al., 2021; Manzo and Schiavo, 2022). O impacto dos lixiviados plásticos nos ouriços-do-mar tem sido estudado para vários materiais (Nobre et al., 2015, Martínez-Gómez et al., 2017; Oliviero et al. ., 2019, Beiras et al., 2021, Cormier et al., 2021;; Nobre et al., 2021; Piccardo et al., 2021, Rendell-Bhatti et al., 2021), no entanto existe uma lacuna no conhecimento quando se trata de compreender os efeitos em organismos aquáticos de materiais lixiviados de microfibras têxteis (Detree et al., 2023) e até mesmo pouco se sabe quais são os produtos químicos potencialmente tóxicos em têxteis e como eles lixiviam para meios aquosos sob condições que simulam processos de degradação ambiental (Sait et al 2021). Existe uma preocupação genuína pois os aditivos químicos tendem a não estarem ligados covalentemente à matriz polimérica, esta característica faz com que lixivem mais facilmente para o ambiente aquático (Hermabessiere et al., 2017; Sait et al., 2020; Sorensen et al 2021).

Além disso, são diversas as transformações ambientais que estas partículas podem sofrer em ambiente natural em decorrência de processos de intemperismo e degradação do polímero, o que podem afetar a capacidade de sorção e o comportamento dos MPs em ambientes aquáticos (Velez et al., 2018). No entanto, no presente estudo também não foi abordado como os processos de envelhecimento influenciam as frações bioacessíveis e biodisponíveis dos químicos para os organismos.

O presente estudo buscou analisar a toxicidade nos pontos finais apicais (por exemplo reprodução) já em concentrações ambientalmente realísticas de microfibras; e os resultados demonstraram que nos tratamentos com organismos expostos as microfibras naturais e mistas a toxicidade pode ocorrer. Neste estudo foram utilizadas

concentrações de fibras antropogênicas já encontradas em águas costeiras como que variam de 22 a 251 itens L^{-1}) (Gray et al., 2018; Strady et al., 2020).

A toxicidade observada neste estudo é de preocupação imediata, pois prováveis cenários futuros para microfibras em águas costeiras relatam que à medida que as taxas globais de produção e consumo microfibras aumentam os valores no ambiente podem seguir igualmente uma tendência de aumento exponencial. Estes cenários são particularmente preocupantes em países subdesenvolvidos que muitas vezes as suas estações de tratamento de águas residuais não possuem tecnologia para remover partículas antropogênicas (So et al., 2018), o que implica que estes contaminantes sejam facilmente libertados nos ecossistemas aquáticos. Ademais, devido aos desafios na mensuração e identificação das fibras em amostras ambientais, os resultados reportados de microfibras antropogênicas no meio ambiente marinho podem ser ainda subestimados (Athey and Erdle, 2022)

Embora este estudo aborde apenas efeitos no estágio de desenvolvimento embriolarval dos ouriços-do-mar, já foi relatado o consumo de micropartículas por larvas de ouriço-do-mar (Richardson et al., 2021), estes autores ressaltam que as partículas pequenas ocupam a mesma faixa de tamanho que as espécies de microalgas (ou seja, $<10 \mu m$), podendo ser facilmente confundidos com alimento pelas larvas.

Estudos pretéritos também demonstraram a capacidade destes indivíduos em sua forma adulta de assimilar microfibras em diferentes regiões. No Mar Adriático, foram encontradas 4 microfibras por indivíduo (Avio et al., 2020); no Mar Egeu (Grécia), foram detectadas em média $1,95 \pm 1,70$ microfibras por grama de tecido mole (Hennicke et al., 2021). Na área costeira do norte da china foi documenta

presença de microfibras no sistema digestivo de quatro diferentes espécies de ouriços-do-mar e os valores variaram 2.20 ± 1.50 até 10.04 ± 8.46 itens/indivíduos (Feng et al. 2020). No Mar Mediterrâneo, a média foi de 2,6 itens por indivíduo (Morano et al., 2022). Estes mesmos autores revelaram a presença de microfibras tanto de origem natural quanto sintética e atrelam esta assimilação ao fato destes materiais serem mais densos que a água do mar (algodão: $1,5 \text{ g/cm}^3$; poliéster: $1,4 \text{ g/cm}^3$), o que sugere que essas fibras poderiam se precipitar até o fundo do mar. Aliado a isso, acredita-se que as microfibras são internalizadas pelos ouriços-do-mar através da membrana periestomial e depois passam para os fluidos e as gônadas (Feng et al.,2022).

Os resultados aqui apresentados exploram o efeito das microfibras no desenvolvimento embriolarval de ouriços-do-mar em um ambiente controlado, porém no ambiente marinho, estes organismos estão também expostos a múltiplos fatores de stress, que vão desde diversos poluentes até alterações climáticas (temperaturas mais altas, acidificação).

Os ouriços-do-mar desempenham um papel chave na cadeia alimentar como presas de peixes e crustáceos carnívoros, e quaisquer mudanças na sua reprodução (como reportado neste estudo) sobrevivência ou crescimento podem resultar em alterações em outros níveis no ecossistema (Dupont et al., 2010). Sua fase larval é o período mais sensível no seu ciclo de vida, sendo mais facilmente impactada pelos efeitos dos contaminantes (Byrne et al., 2009), efeitos neste estágio, tais como reduções na taxa de sobrevivência das larvas e no sucesso do assentamento podem comprometer a viabilidade a longo prazo das populações adultas (McEdward e Miner, 2007; Martin et al., 2011). Os ouriços-do-mar também fornecem uma variedade de serviços ecossistêmicos de alta relevância, como sua atuação como agentes

modificadores da comunidade de algas, manutenção da biodiversidade nos ecossistemas marinhos, ciclagem de nutrientes, ciclagem de matéria orgânica em formas que podem ser usadas por outros organismos marinhos, interesse comercial, representando uma fonte de alimento e renda para comunidades pesqueiras (Bernal-Ibáñez et al., 2021).

Considerando o quadro de mudanças globais implacáveis que o planeta está experimentando, assume-se que as microfibras, caso não tenham sua liberação controlada, podem induzir o colapso das populações de ouriços-do-mar e, conseqüentemente, dos ecossistemas bênticos que deles dependem num futuro previsível.(Carreras et al., 2020; Farina et al., 2020)

6.0 Considerações Finais

Tendo em vista o presente cenário apresentado ao longo deste estudo é de suma importância que sejam implementadas medidas e ações para controlar a produção e liberação de microfibras no meio ambiente, essas medidas podem ser realizadas através de regulamentação na produção e descarte bem como através campanhas de conscientização da sociedade sobre o consumo e descarte dos produtos. A preservação das populações de ouriços-do-mar, organismos fundamentais para a manutenção e equilíbrio dos ecossistemas bênticos depende de esforços globais para que assim seja possível mitigar a poluição ambiental por microfibras, aliado a essas ações os avanços em pesquisas ecotoxicológicas são estratégias importantes para diminuir os impactos nos ecossistemas marinhos e na biodiversidade aquática.

REFERENCIAS

ABNT NBR15350 DE 03/2023; Ecotoxicologia Aquática—Toxicidade Crônica de Curta Duração—Método de Ensaio Com Ouriço-Do-Mar (Echinodermata:Echinoidea). ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas: Rio de Janeiro, Brazil, 2023.

AVIO, C.G.; Pittura, L.; d’Errico, G.; Abel, S.; Amorello, S.; Marino, G.; Gorbi, S.; Regoli, F. Distribution and Characterization of Microplastic Particles and Textile Microfibers in Adriatic Food Webs: General Insights for Biomonitoring Strategies. *Environ. Pollut.* **2020**, *258*, 113766. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113766>.

ATHEY, Samantha N.; ERDLE, Lisa M. Are we underestimating anthropogenic microfiber pollution? A critical review of occurrence, methods, and reporting. *Environmental toxicology and chemistry*, v. 41, n. 4, p. 822-837, 2022.

BARBOSA, Priscila & Kaneda, Katherine & Longo, Maria & Junior Rodrigues, Gilberto. (2016). Análise do impacto ambiental de fibras têxteis naturais, sintéticas e artificiais.

BEIRAS, Ricardo et al. Aquatic toxicity of chemically defined microplastics can be explained by functional additives. *Journal of Hazardous Materials*, v. 406, p. 124338, 2021.

BEIRAS, R.; Verdejo, E.; Campoy-López, P.; Vidal. Liñán, L. Aquatic Toxicity of Chemically Defined Microplastics Can Be Explained by Functional Additives. *J. Hazard. Mater.* **2021**, *406*, 124338. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124338>

BERNAL-IBÁÑEZ, Alejandro et al. The role of sea-urchins in marine forests from Azores, Webbnesia, and Cabo Verde: human pressures, climate-change effects and restoration opportunities. *Frontiers in Marine Science*, v. 8, p. 649873, 2021.

BEM, Natani Aparecida; LINKE, Paula Piva. Impactos ambientais das fibras de algodão e poliéster na indústria da moda. *Novos Cadernos NAEA*, [S.l.], v. 26, n. 2, ago. 2023. ISSN 2179-7536. Disponível em:

<<https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/13030/10450>>. Acesso em: 23 abr. 2024. doi:<http://dx.doi.org/10.18542/ncn.v26i2.13030>.

BONFIN, Cíntia Levita Lins do. "Efeitos do fenol e 4-clorofenol sobre o desenvolvimento embriolarval de *Echinometra Lucunter* (Linnaeus, 1758): avaliação dessas substâncias como referência." (2005).

BOUR, Agathe, et al. "A exposição às microfibras têxteis não causa nenhum efeito no sangue, no comportamento e na morfologia dos tecidos do esgana-gata de três espinhos (*Gasterosteus aculeatus*)." *Boletim de Poluição Marinha* 180 (2022): 113755.

CALDWELL, A.; Brander, S.; Wiedenmann, J.; Clucas, G.; Craig, E. Incidence of Microplastic Fiber Ingestion by Common Terns (*Sterna hirundo*) and Roseate Terns (*S. dougallii*) Breeding in the Northwestern Atlantic. *Mar. Pollut. Bull.* **2022**, 177, 113560. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113560>

CARRERAS, C.; GarcíaCisneros, A.; Wangensteen, O.S.; Ordóñez, V.; Palacín, C.; Pascual, M.; Turon, X. East Is East and West Is West: Population Genomics and Hierarchical Analyses Reveal Genetic Structure and Adaptation Footprints in the Key stone Species *Paracentrotus lividus* (Echinoidea). *Divers. Distrib.* **2020**, 26,382–398. <https://doi.org/10.1111/ddi.13016>.

DETREE, Camille, et al. "On the horns of a dilemma: Evaluation of synthetic and natural textile microfibre effects on the physiology of the pacific oyster *Crassostrea gigas*." *Environmental Pollution* 331 (2023): 121861.

FENG, Z.; Wang, R.; Zhang, T.; Wang, J.; Huang, W.; Li, J.; Xu, J.; Gao, G. Microplastics in Specific Tissues of Wild Sea Urchins along the Coastal Areas of Northern China. *Sci. Total Environ.* **2020**, 728, 138660. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138660>

HENNICKE, A.; Macrina, L.; Malcolm, McKay, A.; Miliou, A. Assessment of Microplastic Accumulation in Wild *Paracentrotus lividus*, a Commercially Important Sea Urchin Species, in the Eastern Aegean Sea, Greece. *Reg. Stud. Mar. Sci.* **2021**, 45, 101855. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101855>.

HERMABESSIERE, L.; Dehaut, A.; Paul.Pont, I.; Lacroix, C.; Jezequel, R.; Soudant, P.; Duflos, G. Occurrence and Effects of Plastic Additives on Marine Environments and Organisms: A Review. *Chemosphere* **2017**, *182*, 781–793.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.096>.

KIM, L.; Kim, S.A.; Kim, T.H.; Kim, J.; An, Y.J Synthetic and Natural Microfibers Induce Gut Damage in the Brine Shrimp *Artemia franciscana*. *Aquat. Toxicol.* **2021**, *232*, 105748. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.105748>.

LIU, C.F.; Xu, F.; Sun, J.X.; Ren, J.L.; Curling, S.; Sun, R.C.; Fowler, P.; Baird, M. S. Physicochemical Characterization of Cellulose from Perennial Ryegrass Leaves (*Lolium perenne*). *Carbohydr. Res.* **2006**, *341*, 2677–2687.
<https://doi.org/10.1016/j.carres.2006.07.008>

LI, Y.; Lu, Q.; Xing, Y.; Liu, K.; Ling, W.; Yang, J.; Yang, Q.; Wu, T.; Zhang, J.; Pei, Z.; et al. Review of Research on Migration, Distribution, Biological Effects, and Analytical Methods of Microfibers in the Environment. *Sci. Total Environ.* **2023**, *855*, 158922. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158922>.

LOBO, R. N.; LIMEIRA, E. T. N. P.; Marques, R. N. Fundamentos da tecnologia têxtil: da concepção da fibra ao processo de estamparia. São Paulo: Érica/Saraiva, 2014

MELLO, TAWANY DE SOUZA: ecossistemas costeiros marinhos; Avaliação da toxicidade de microplástico associado ao benzo (a) pireno sobre duas espécies de invertebrados marinhos. Acesso em 14 de junho de 2024.

MONTAGNER, C. C., Dias, M. A., Paiva, E. M., & Vidal, C. (2021). microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. *Química Nova*, *44*(10), 1328–1352. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.2017079> acesso em 25 de maio de 2024.

NAPPER, Imogen E.; THOMPSON, Richard C. Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine pollution bulletin*, v. 112, n. 1-2, p. 39-45, 2016.

NIINIMÄKI, Kirsi et al. The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, v. 1, n. 4, p. 189-200, 2020

NOBRE, C.R.; Santana, M.F.M.; Maluf, A.; Cortez, F.S.; Cesar, A.; Pereira, C.D.S.; Turra, A. Assessment of Microplastic Toxicity to Embryonic Development of the Sea Urchin *Lytechinus variegatus* (Echinodermata: Echinoidea). *Mar. Pollut. Bull.* **2015**, *92*, 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.050>

PEREIRA, Sandra Maia Rodrigues; ROMEIRO FILHO, Eduardo; MENDONÇA, Rosângela Miriam Lemos Oliveira. Da moda para os oceanos. **Modapalavra e-periódico**, Florianópolis, v. 14, n. 34, p. 137–160, 2021. DOI: 10.5965/1982615x14342021137. Disponível em: <https://periodicos.udesc.br/index.php/modapalavra/article/view/19826>. Acesso em: 25 abr 2024.

PICCARDDO, M.; Provenza, F.; Grazioli, E.; Cavallo, A.; Terlizzi, A.; Renzi, M. PE T Microplastics Toxicity on Marine Key Species Is Influenced by pH, Particle Size and Food Variations. *Sci. Total Environ.* **2020**, *715*, 136947. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136947>.

PITANGA, Kamilla da Silva Martins; MILANI, Idel Cristiana Bigliardi. Impactos dos microplásticos em ecossistemas aquáticos brasileiros. 2021.

R. Beiras, E. Verdejo, P. Campoy-López, L. Vidal-Liñán Aquatic toxicity of chemically defined microplastics can be explained by functional additives J. Hazard Mater., 406 (2021), a Article 124338, 10.1016/j.jhazmat.2020.124338

RENDELL, Bahatti, F.; Paganos, P.; Pouch, A.; Mitchell, C.; D’Aniello, S.; Godley, B.J.; Pazdro, ; Arnone, M.I.; Jimenez.Guri, E. Developmental Toxicity of Plastic Leachates on the Sea Urchin *Paracentrotus Lividus*. *Environ. Pollut.* **2021**, *269*, 115744. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115744>.

RICHARDSON, C.R.; Burritt, D.J.; Allan, B.J.M.; Lamare, M.D. Microplastic Ingestion Induces Asymmetry and Oxidative Stress in Larvae of the Sea Urchin *Pseudechinus huttoni*. *Mar. Pollut. Bull.* **2021**, *168*, 112369. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112369>

RUKHAYA, Shalini et al. Sustainable approach to counter the environmental impact of fast fashion. **The Pharma Innovation Journal**, v. 10, n. 8, p. 517-523, 2021

SANTOS, Vanessa Faria dos. Reciclagem textil: algodão e poliéster. 2020. Acesso em 25 de maio de 2024.

SAIT, Shannen TL et al. Microplastic fibres from synthetic textiles: Environmental degradation and additive chemical content. **Environmental Pollution**, v. 268, p. 115745, 2021.

SAIT, S.T.L.; Sørensen, L.; Kubowicz, S.; Vike.Jonas, K.; Gonzalez, S.V.;Asimakopoulos, A.G.; Booth, A.M. Microplastic Fibres from Synthetic Textiles:Environmental Degradation and Additive Chemical Content. *Environ. Pollut.***2021**, 268, 115745. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115745>.

SO, W.K., Chan, K., Not, C., 2018. Abundance of plastic microbeads in Hong Kong coastal water. *Mar. Pollut. Bull.* 133, 500–505.

S. DUPONT, O. Ortega-Martínez, M. Thorndyke Impact of near-future ocean acidification on echinoderms *Ecotoxicology*, 19 (2010), pp. 449-462, 10.1007/s10646-010-0463-6.

S. MARTIN, S. Richier, M.-L. Pedrotti, S. Dupont, C. Castejon, Y. Gerakis, M.-E. Kerros, F. Oberhänsli, J.-L. Teyslié, R. Jeffree, J.-P. Gattuso

Early development and molecular plasticity in the Mediterranean sea urchin *Paracentrotus lividus* exposed to CO₂-driven acidification

J. Exp. Biol., 214 (2011), pp. 1357-1368, 10.1242/jeb.051169

S. MANZO, S. Schiavo Physical and chemical threats posed by micro(nano)plastic to seaurchins *Sci.Total Environ.*, 808 (2022),Article 152105, 10.1016/j.scitotenv.2021.152105

WEIS, Judith S. e Francesca De Falco. “Microfibras: problemas ambientais e soluções têxteis.” *Microplásticos* 1.4 (2022): 626-639.

YANG, L.; Qiao, F.; Lei, K.; Li, H.; Kang, Y.; Cui, S.; An, L. Microfiber Releasefrom Different Fabrics during Washing. *Environ. Pollut.* **2019**, 249, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.011>.

Y. XU, F.K.S. Chan, T. Stanton, *et al.* Synthesis of dominant plastic microfibre prevalence and pollution control feasibility in Chinese freshwater environments.

ZAMBRANO, Marielis C. et al. Microfibers generated from the laundering of cotton, rayon and polyester based fabrics and their aquatic biodegradation. **Marine pollution bulletin**, v. 142, p. 394-407, 2019.

ZAMBRANO, M.C.; Pawlak, J.J.; Daystar, J.; Ankeny, M.; Venditti, R.A. Impact of Dyes and Finishes on the Microfibers Released on the Laundering of Cotton Knitted Fabrics. *Environ. Pollut.* **2021**, 272, 115998.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115998>