

AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR MICROFIBRAS EM UMA ESPÉCIE SENTINELA DE MANGUEZAIS

ASSESSMENT OF MICROFIBER CONTAMINATION IN A MANGROVE SENTINEL SPECIES

Beatriz Alvarez, Júlia Lino Duz, Paloma Kachel Gusso-Choueri

¹Universidade Santa Cecília, Curso de Ciências Biológicas

E-mail para contato: beatrizalvarezx@outlook.com

RESUMO – O estudo buscou investigar se as microfibras de poliéster terão um impacto genotóxico maior em *Ucides cordatus* do que as microfibras de algodão. Dois experimentos foram conduzidos, um utilizando microfibras de poliéster e outro de algodão. Os caranguejos foram distribuídos aleatoriamente em 15 aquários de 10 litros com água salobra (salinidade 25). Cada aquário conteve 6 animais e foi designado para um dos seguintes tratamentos: 1) Controle (água isenta de contaminação), 2) Concentração nominal de 0,0001g/L e 3) Concentração nominal de 0,1g/L de microfibras. Para avaliação dos efeitos genotóxicos (células micronucleadas), amostras de hemolinfa foram coletadas do maior quelípode do organismo. Os resultados da PERMANOVA indicaram efeito significativo do tempo de exposição e maior genotoxicidade na concentração de 0,1g/L, evidenciando resposta dose-dependente. Embora ainda recentes, os estudos sobre genotoxicidade das microfibras são essenciais para avaliação de riscos socioambientais e para subsidiar políticas públicas e práticas sustentáveis no setor têxtil.

Palavras-chave: Microfibras; Genotoxicidade; Micronúcleo; Caranguejo-uçá; Ecotoxicologia.

ABSTRACT – Microfibers have a diameter of less than 50 μm and variable lengths ranging from 1 μm to 5 mm. In addition to their versatility in applications such as textiles, filters, and medical products, these materials also act as potential carriers of additives, including antibacterial agents and dyes, which can leach into the environment and affect local fauna. The effects of these contaminants on organisms, such as the mangrove crab (*Ucides cordatus*), are assessed through biomarkers—particularly micronuclei—which allow for the detection of non-lethal genotoxic damage. The proposed study investigates whether polyester microfibers exert greater genotoxic effects on *Ucides cordatus* than cotton microfibers. Two experiments were conducted, one using polyester microfibers and the other cotton microfibers. Crabs were randomly allocated into fifteen 10-L aquaria filled with brackish water (salinity 25). Each aquarium contained six individuals and was assigned to one of the following treatments: (1) Control (fiber-free water), (2) nominal concentration of 0.0001 g/L, and (3) nominal concentration of 0.1 g/L of microfibers. To

evaluate genotoxic effects (micronucleated cells), hemolymph samples were collected from the major cheliped of each organism. PERMANOVA results indicated a significant effect of exposure time and increased genotoxicity at 0.1 g/L, demonstrating a dose-dependent response. Although still emerging, studies on microfiber-induced genotoxicity are essential for socio-environmental risk assessment and for informing public policies and sustainable practices in the textile sector.

Keywords: Microfibers; Genotoxicity; Micronucleus; Mangrove crab (*Ucides cordatus*); Ecotoxicology.

INTRODUÇÃO

As indústrias têxteis são apontadas como uma das principais fontes de microfibra no meio ambiente, porém não são apenas elas que liberam o fragmento para o ambiente, que também é associada aos efluentes domésticos (Hernandez et al., 2017). Como são pequenos fragmentos de materiais, as microfibras podem ser liberadas durante o processo de lavagem sendo estimado que para cada 1 kg de tecido sintético sejam liberados cerca de 23.333 a 116.666 microfibras (Yang et al., 2019) junto com a água para o sistema de esgoto, e uma vez nesse sistema, as microfibras seguem o caminho até o ambiente marinho. Uma variedade de aditivos é frequentemente incorporada às fibras têxteis com o objetivo de melhorar suas propriedades e desempenho em diferentes aplicações, esses aditivos podem incluir agentes antibacterianos, retardadores de chama, corantes, plastificantes, agentes antiestáticos e antioxidantes (Rovira e Domingo, 2019). No entanto é importante notar que muitos desses aditivos não são ligados às fibras e podem ser lixiviados (Wiesinger et al., 2021) ou liberados do tecido ao longo do tempo, tendo consequências quando persistem causando contaminação no ambiente e na fauna presente. Sendo que os efeitos para a segunda ainda permanece pouco compreendidos (Rist et al., 2023).

Os poluentes podem estimular os organismos a gerarem respostas subletais causadas pelo estresse ambiental que são possíveis de identificação e quantificação por meio da utilização de ensaios experimentais conhecidos como biomarcadores (Amiard-Triquet, 2013). As respostas citotóxicas e genotóxicas possuem a capacidade de elucidar os mecanismos de ação e a toxicidade de contaminantes em diferentes níveis de organização biológica (Duarte et al. 2016, 2017, 2019, 2020). A abrangência e integração dos resultados obtidos são inovadores e altamente relevantes para futuras tomadas de

decisão em processos que envolvam esse tipo de contaminação e ainda ignoradas pelas regulamentações ambientais brasileiras.

A espécie de caranguejo *Ucides cordatus*, conhecido popularmente como caranguejo-uçá, é considerada uma espécie sentinela de qualidade de manguezais, tanto por acumular contaminantes em seus tecidos como também por apresentar efeitos subletais (dose-resposta) à exposição (Duarte et al. 2016, 2017, 2019, 2020). A espécie possui um papel ecológico essencial na oxigenação, drenagem dos sedimentos e ciclos biogeoquímicos de diferentes elementos no habitat em que ele vive (Dias et al., 2022). Além da sua importância ecológica e para o monitoramento ambiental, o caranguejo-uçá também desempenha um papel fundamental na economia local, proporcionando renda e servindo como fonte de alimento para as comunidades costeiras (Araújo et al., 2008).

O objetivo deste estudo é analisar os efeitos genotóxicos das fibras têxteis, de algodão e de poliéster, em diferentes concentrações, sobre a espécie de crustáceo *Ucides cordatus* (caranguejo-uçá). A hipótese de trabalho é que a exposição a microfibras de poliéster terá um impacto genotóxico maior na espécie de caranguejo *Ucides cordatus* em comparação com a exposição a microfibras de algodão, devido aos aditivos e agentes utilizados na produção de tecidos sintéticos. Além disso, espera-se que a espécie sentinela apresente maior genotoxicidade em função das concentrações de fibras (dose-resposta).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do experimento, organismos da espécie *Ucides cordatus* foram coletados por catadores autorizados na Estação Ecológica Juréia-Itatins, localizada no litoral sul do Estado de São Paulo (SP). Os animais foram transportados, lavados, e alocados em tanques com aeração constante, parâmetros controlados (pH 7.4, salinidade 25, temperatura 23°C e fotoperíodo 12h claro/ 12h escuro), e alimentados a cada 48 horas durante 15 dias correspondendo ao período de aclimação. Na sala determinada para a realização do experimento, foram alocados 15 aquários, contendo 10 litros de água salobra (salinidade 25), quatro canos de aeração e 6 caranguejos para cada aquário de acordo com os seguintes tratamentos: 1) Controle (água isenta de contaminação, 2) Concentração ambiental de 0,0001g/L e 3) Concentração extrema de 0,1g/L de microfibras.

Os tecidos utilizados no estudo foram adquiridos em lojas de comércio local, as microfibras de algodão (100%) e poliéster (100%) foram extraídas manualmente com o auxílio de um removedor de pelos de roupas elétricos. Para evitar possíveis contaminações, cada tecido possuiu seu próprio removedor. Após o processo de extração e pesagem, as microfibras foram armazenadas e preservadas em recipientes de vidro, em ambiente escuro. Para confirmação do tamanho, amostras das microfibras tiveram imagens capturadas em microscópio óptico (câmera Motic Cam) e o tamanho médio foi mensurado com o auxílio do programa Image Pro-Plus 3.0.1.

Cada experimento foi conduzido durante 30 dias para os diferentes tipos de microfibra, sendo primeiro poliéster e em seguida de algodão. Foram realizadas seis leituras: no início (T0), 3 dias (T3), 7 dias (T7), 15 dias (T15), 22 dias (T22) e 30 dias (T30) de exposição. Parâmetros como pH, salinidade, oxigênio dissolvido e amônia foram monitorados continuamente a cada 48 horas, assim como a alimentação. O fotoperíodo foi mantido em ciclo de 12h claro/ 12h escuro e a temperatura mantida a 23°C. A troca da água dos aquários foi realizada a cada 7 dias devido a vermelhidão possivelmente em consequência das altas concentrações de amônia excretada pelos animais.

Para cada tempo realizado no ensaio foram coletadas biometrias (comprimento e largura da carapaça e peso) e amostras de hemolinfa de 6 caranguejos por tratamento para a quantificação de micronúcleos, conforme protocolos descritos por Duarte *et al.* (2016). A hemolinfa foi coletada com seringas (1mL) e então passada para as lâminas (três réplicas por organismo) pela técnica de esfregaço e deixadas para secar em temperatura ambiente durante 20 minutos. Para a fixação das células, as lâminas foram submersas em Carnoy (metanol/ ácido acético 3:1) por 20 minutos, secas a temperatura ambiente, e então imersas novamente em solução Giemsa 2% também por 20 minutos. Após esse procedimento, as lâminas foram lavadas com água destilada, secas a temperatura ambiente durante 24 horas, e então aderidas a lâminas com resina histológica.

O número de células micronucleadas por 1.000 analisadas (MN%) foi quantificada para cada animal sob aumento de 1.000x em microscópio óptico. As células micronucleadas foram identificadas pela estrutura micronuclear, possuindo tamanho $<1/3$ do núcleo celular e coloração similar (ou mais clara) que o núcleo, conforme descrito por Duarte *et al.*, (2016).

A significância das diferenças entre os tratamentos pertencentes aos testes de genotoxicidade foram avaliada por meio da Análise de Variância Permutacional Univariada ("teste principal" PERMANOVA) trifatorial para observar as diferenças de toxicidade entre os dois tipos de microfibras, considerando três fatores fixos: tipo de MFs (Poliéster e Algodão) e tempo (3,7, 15, 22 e 30 dias) e concentração (0,0001 e 0,1 g/L). Quando o teste principal apresentar resultados significativos ($p < 0,05$) será aplicado o teste Pairwise Test para identificar quais níveis diferirão entre si. A homogeneidade das variâncias será analisada usando PERMDISP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados foram gerados a partir de uma análise trifatorial, considerando os fatores tipo de fibra, concentração, e tempo de exposição. A análise PERMDISP mostrou homogeneidade entre os resultados. A análise de variância (PERMANOVA) (Tabela 1) revelou que o tempo de exposição tem efeito independentemente do tipo de fibra estudado, já o tipo de fibra e a concentração apresentaram interação, sugerindo que o tipo de fibra possui efeito dependendo da concentração e vice-versa

TABELA 1. PERMANOVA resultados baseados no efeito genotóxico do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) em análises multivariadas. df = graus de liberdade; MS = quadros médios; P(perm) = valor de p permutacional; perms = número de permutações únicas. Ty = tipo de microfibra; Co = Concentração (0,0001g/L e 0,1g/L); Ti = Tempo.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms
Ty	1	83.786	83.786	32.897	0,001	995
Co	2	381,27	190,63	74.848	0,001	998
Ti	4	41.525	10.381	4.076	0,008	998
TyxCo	2	69.378	34.689	13,62	0,001	999
TyxTi	4	47.339	11.835	0,46466	0,753	998
CoxTi	8	23,19	28.987	11.381	0,335	999
TyxCoxTi	7	56.715	0,81021	0,31811	0,95	999

Ainda, sobre o efeito do tempo, foi observado no T7 uma diferença significativa entre os tempos T15 e T22 (Tabela 2), um ponto de virada para a genotoxicidade em

ambas as concentrações, 0,0001g/L e 0,1g/L, observando um aumento na média de micronúcleos para ambas as microfibras (algodão e poliéster) (Figura 2). Esse padrão sugere que a duração da exposição dos organismos às microfibras pode intensificar os danos genéticos, devido ao estresse celular, reforçando a relevância de avaliar não apenas a natureza e a concentração das fibras, mas também o tempo de exposição.

TABELA 2. PAIRWISE resultados do efeito do tempo. P(perm) = valor de p permutacional; perms = número de permutações únicas.

Groups	t	P(perm)	perms	P(MC)
T3, T7	20.087	0,051	997	0,039
T3, T15	17.438	0,095	997	0,103
T3, T22	0,83208	0,397	997	0,38
T3, T30	8,21E+02	0,938	997	0,921
T7, T15	36.022	0,003	995	0,001
T7, T22	28.036	0,007	993	0,004
T7, T30	20.218	0,061	996	0,051
T15, T22	0,95179	0,338	996	0,347
T15, T30	0,89614	0,371	997	0,345
T22, T30	0,50339	0,644	995	0,603

Relacionando o tipo de fibra com a concentração, independentemente do tempo, observa-se que o controle é significativamente diferente das duas concentrações (0,0001gL e 0,1gL) para a fibra de algodão e de poliéster, mas quando comparado as concentrações entre si não apresentam diferença significativa (Tabelas 3 e 4, respectivamente). A concentração mais alta (0,1g/L) apresenta maior genotoxicidade, para as duas microfibras (Figura 1). Esse resultado sugere um padrão de dose-dependente, no qual o aumento da carga de microfibra intensifica a ocorrência de danos genéticos nos organismos expostos. Estudos de Da Silva et al., (2025) verificou efeitos genotóxicos na espécie de peixe *Astyanax lacustris* expostas a efluentes têxtil bruto, resultados esse que reforça que os contaminantes da indústria têxtil podem induzir danos genéticos em organismos aquáticos.

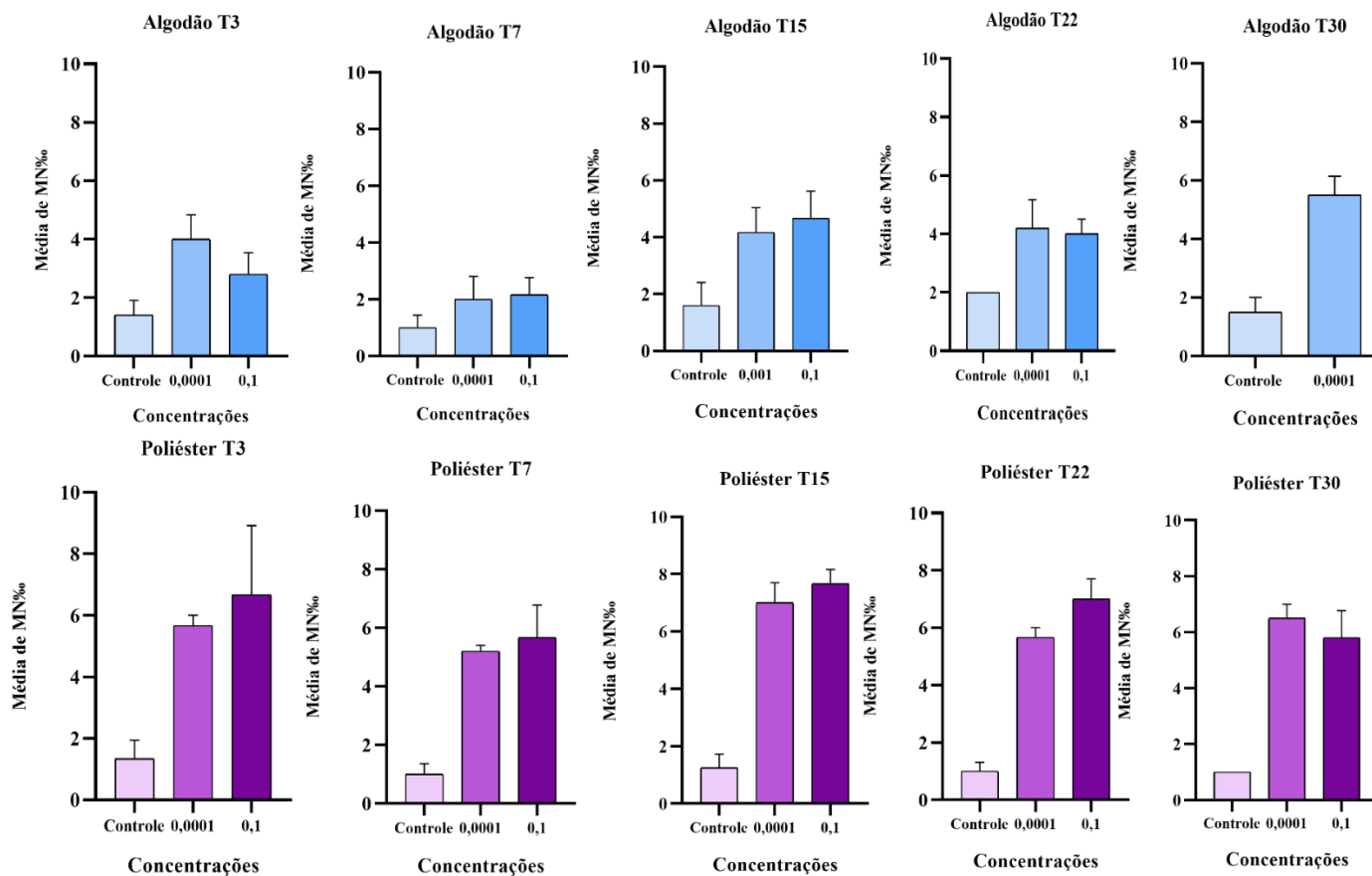
TABELA 3. PAIRWISE resultados entre as concentrações da microfibra de algodão.

Groups	t	P(perm)	perms	P(MC)
[Controle], [0,0001]	51.403	0,001	998	0,001
[Controle], [0,1]	39.664	0,002	996	0,002
[0,0001], [0,1]	0,33025	0,745	995	0,739

TABELA 4. PAIRWISE resultados entre as concentrações da microfibras de poliéster

Groups	t	P(perm)	perms	P(MC)
[Controle], [0,0001]	16.736	0,001	998	0,001
[Controle], [0,1]	11.392	0,001	997	0,001
[0,0001], [0,1]	10.465	0,3	997	0,295

Figura 1. Gráficos das médias de frequência de micronúcleo dos dois tipos de microfibras: algodão (azul) e poliéster (roxo) ao longo do tempo (T3, T7, T15, T22, T30)



Devido sua composição baseada em polímeros petroquímicos, as microfibras de poliéster apresentam uma menor taxa de degradação, podendo permanecer no ambiente por anos contribuindo para efeitos adversos nos organismos aquáticos, diferentemente as microfibras de algodão, por serem consideradas naturais, possuem uma degradação significativamente mais alta do que as microfibras sintéticas (Zambrano et al., 2019 e 2021), porém, estudos de Mishra et al., (2019) demonstra que o Oceano Atlântico recebe cerca de 150 milhões de microfibra diariamente, evidenciando a constante contaminação e os riscos associados à exposição contínua.

Estudos de Souza e Pinheiro (2016), demonstraram que *Ucides cordatus* apresentam uma porcentagem mais de células micronucleadas em áreas de manguezais historicamente contaminados comparados a manguezais dentro de áreas de conservação ambiental. Este estudo demonstram a importância de entender os efeitos de poluentes, já que estudos revelaram que a maioria de microplásticos encontrados em ambiente aquático são apresentados como microfibras plásticas (Leung et al., 2021; Liu et al., 2024)

Os impactos das microfibras não se restringem apenas ao ecossistema aquático, ela alcança também a esfera socioeconômica, o caranguejo-uçá é um recurso fundamental para comunidades caiçaras, que dependem de sua coleta e comercialização como fonte primária de subsistência (Barbosa et al., 2008). A contaminação desses organismos para as microfibras pode comprometer a saúde desses organismos, refletindo não apenas na dinâmica populacional da espécie, mas também na segurança alimentar e na estabilidade econômica das populações humanas que dependem dele (Da Nóbrega Alvez e Kioharu Nishida, 2003; Mendonça e Lucena, 2009; Muad e Terra, 2007).

Embora já existem estudos sobre o impacto do microplástico, incluindo alterações fisiológicas, reprodutivas, comportamentais (Mazzoni et al., 2024; Mota et al., 2021; Lucio et al., 2019) em diversas espécies aquáticas, como peixes, bivalves e invertebrados (Naidoo e Glassom, 2019; Besseling et al., 2014; Leung et al., 2021) as pesquisas à cerca dos efeitos genotóxicos das microfibras, especialmente das microfibras naturais, ainda são pouco consolidadas, e precisa ser mais explorada e melhor explicada. O entendimento desse processo é fundamental não apenas para avaliar os riscos ambientais e sociais decorrentes, mas também para fundamentar políticas públicas e promover estratégias de produção mais sustentáveis no setor têxtil.

CONCLUSÃO

As microfibras de algodão e de poliéster têm potencial de causar efeito genotóxico nos indivíduos da espécie *Ucides cordatus*. Conforme o estudo, o efeito ocorre na concentração ambientalmente relevante de 0,0001g/L, e na concentração extrema de 0,1g/L, e que com a passagem do tempo, a exposição aos contaminantes intensifica a quantidade de micronúcleos presentes nas células dos caranguejos. Os dados apontam que as microfibras de poliéster causam maior genotoxicidade, isso pode estar relacionado a sua dificuldade de degradação e aos aditivos incorporados em suas matrizes. Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMIARD-TRIQUET, C.; COSSU-LEGUILLE, C. & MOUNEYRAC, C. 2013. Biomarkers of defense, tolerance and ecological consequences. In: AMIARD-TRIQUET, C.; AMIARD, J.C. & RAINBOW, P.S. (ed.). Ecological Biomarkers. CRC Press / Taylor & Francis Group, 450p.

ARAÚJO, Marina SLC; CALADO, Tereza CS. Bioecologia do caranguejo-uçá *Ucides cordatus* (Linnaeus) no complexo estuarino lagunar Mundáu/Manguaba (CELMM), Alagoas, Brasil. Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management, v. 8, n. 2, p. 169-181, 2008.

BARBOZA, Roberta Sá Leitão et al. Fui no mangue catar lixo, pegar caranguejo, conversar com o urubu”: Estudo socioeconômico dos catadores de caranguejo no litoral norte de Pernambuco. Revista Brasileira de Engenharia de Pesca, v. 3, n. 2, p. 117-134, 2008.

BESSELING, E.; Wang, B.; Luerling, M.; Koelmans, A. A. Nanoplastic affects growth of *S. obliquus* and reproduction of *D. magna*. Environ. Sci. Technol. 2014, 48, 14065.
BURATTI, S.; Ramos-Gómez, J.; Fabrini, E.; Delvalls, T.A. 2012. Application of neutral red retention assay to caged clams (*Ruditapes decussatus*) and crabs (*Carcinus maenas*) in the assessment of dredged material. Ecotoxicology. 21:75-86.

DA SILVA, Josiane Rodrigues Rocha et al. Cyto and genotoxicity induced by exposure to textile production effluents on *Astyanax lacustris* (Pisces: Characidae) can be reduced after treatment through a vertical flow constructed wetland system. Neotropical Ichthyology, v. 23, n. 2, p. e250007, 2025.

DA NÓBREGA ALVES, Rômulo Romeu; KIOHARU NISHIDA, Alberto. Aspectos socioeconômicos e percepção ambiental dos catadores de caranguejo-uçá *Ucides cordatus* (L. 1763)(Decapoda, Brachyura) do estuário do rio Mamanguape, Nordeste do Brasil. Interciencia, v. 28, n. 1, p. 36-43, 2003.

DIAS, Rubens Ramos et al. Caracterização socioeconômica da atividade pesqueira do Caranguejo-uçá em uma RESEX da Amazônia Brasileira. Revista Caparaó, v. 4, n. 2, p. e76-e76, 2022.

DUARTE, L.F.A.; MORENO, J.B.; CATHARINO, M.G.M.; MOREIRA, E.G.; TROMBINI, C.; NOBRE, C.R.; MORENO, B.B.; ABESSA, D.M.S. & PEREIRA, C.D.S. 2020. Lead toxicity on a sentinel species subpopulation inhabiting mangroves with different status conservation. Chemosphere. 251, p. 126394. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.126394.

DUARTE, L.F.A.; MORENO, J.B.; CATHARINO, M.G.M. MOREIRA, E.G. TROMBINI, C.; PEREIRA, C.D.S. 2019. Mangrove metal pollution induces biological tolerance to Cd on a crab sentinel species subpopulation. Science of the Total Environment. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.039.

LEUNG, Matthew Ming-Lok et al. Determination of microplastics in the edible green-lipped mussel *Perna viridis* using an automated mapping technique of Raman microspectroscopy. Journal of hazardous materials, v. 420, p. 126541, 2021.

LIU, Shaochong et al. Fibrous microplastics in the environment: Sources, occurrence, impacts, and mitigation strategies. Aquatic Toxicology, v. 276, p. 107119, 2024.

LUCIO, Fabiola Terra et al. Disponibilidade e influência dos microplásticos nos seres vivos e ambiente: uma revisão. Conexão Ciência (Online), v. 14, n. 1, p. 47-55, 2019.

MAZZONI, Talita Sarah et al. A invisibilidade dos microplásticos-uma macroameaça ao meio ambiente e à saúde humana. Saneamento, Saúde e Ambiente Volume 2, p. 82.

MAUAD, Luana Paula; TERRA, R. P. Diagnóstico sócio-ambiental dos catadores de caranguejo-*Ucides cordatus*-no manguezal de gargaú, norte do estado do rio de janeiro. In: Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil. 2007. p. 1-2.

MENDONÇA, Jocemar Tomasino; LUCENA, Alineide Costa Pereira. Avaliação das capturas de caranguejo-uçá *Ucides cordatus* no município de Iguape, litoral sul de São Paulo, Brasil. Boletim do Instituto de Pesca, v. 35, n. 2, p. 169-179, 2009.

MISHRA, S.; RATH, C.C.; DAS, A.P (2019). Marine microfiber pollution: A review on present status and future challenges. Marine Pollution Bulletin, v.140.

SOUZA, C. A.; PINHEIRO, MAA. 286-O EFEITO SAZONAL SOBRE A CITOTENOTOXICIDADE DO CARANGUEJO-UÇÁ (*Ucides cordatus*), VISANDO CATEGORIZAR O ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE MANGUEZAIS BRASILEIROS.

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, Marielis C. et al. Impact of dyes and finishes on the microfibers released on the laundering of cotton knitted fabrics. *Environmental Pollution*, v. 272, p. 115998, 2021.