ISSN:2594-6153

Ameaça invisível: citotoxicidade de microfibra natural em uma espécie sentinela de manguezal

Júlia Lino Duz[1], Júlia de Lima Monteiro[2] Beatriz Alvarez Flores[1], Francisco Eduardo Melo dos Santos[1] Yuuri Gabriel de Souza Santos[1] Caio Rodrigues Nobre[2], Rodrigo Brasil Choueri [2], Luis Felipe de Almeida Duarte[1], Paloma Kachel Gusso-Choueri[1]

[1]Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos – SP, Brasil

[2]Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), Santos – SP, Brasil

Email: julia_duz@hotmail.com

Resumo: A intensificação do consumo promovido pelo *Fastfashion*, impulsionou a intensa liberação de microfibras têxteis nos ambientes aquáticos. Embora as fibras de algodão sejam consideradas fibras naturais, durante a produção do têxtil, diversos aditivos químicos são incorporados a ele, tornando potencialmente tóxicos. Este estudo avaliou os efeitos citotóxicos de microfibra de algodão no caranguejo-uçá (*Ucides cordatus)*, após 15 dias de exposição em duas concentrações (0,0001 e 0,1 g), por meio do Teste de Retenção do Corante Vermelho Neutro. Os resultados indicaram um aumento significativo da citotoxicidade com o aumento da concentração de microfibra. Os achados reforçam que, apesar de sua origem natural, a microfibra de algodão pode representar risco a saúde do ecossistema.

Palavras-chave: *Fastfashion*; microfibra; algodão; citotoxicidade; *Ucides cordatus*.

Invisible Threat: Cytotoxicity of Natural Microfiber in a Mangrove Sentinel Species

Abstract: The intensification of consumption driven by fast fashion has led to the substantial release of textile microfibers into aquatic environments. Although cotton fibers are considered natural, various chemical additives are incorporated during textile manufacturing, rendering them potentially toxic. This study evaluated the cytotoxic effects of cotton microfibers on the mangrove crab *Ucides cordatus* after 15 days of exposure at two concentrations (0.0001 and 0.1 g), using the Neutral Red Retention Assay. Results indicated a significant increase in cytotoxicity with rising microfiber concentration. These findings underscore that, despite their natural origin, cotton microfibers may pose a threat to ecosystem health.

Keywords: Fast fashion; microfiber; cotton; cytotoxicity; *Ucides cordatus*.

Introdução

Com a Revolução Industrial, observou-se uma significativa expansão do mercado consumidor, exigindo das empresas uma constante adaptação entre a oferta e a demanda [1]. No setor têxtil, esse fenômeno impulsionou a necessidade de inovação e renovação contínua dos produtos ofertados [2]. À medida que os anos avançavam, as indústrias passaram a adotar modelos de produção em larga escala, permitindo que as lojas de vestuários atualizassem seus estoques de forma quinzenalmente ou até mesmo semanalmente [3,4]. Esse sistema fomentou

um ciclo de consumo acelerado, no qual os consumidores são estimulados, muitas vezes de maneira inconsciente, a adquirir novas peças em um curto espaço de tempo [4,].

Esse modelo ficou conhecido como *Fastfashion*, caracterizado pela disponibilização constante de novas coleções a preços acessíveis [2,3,4,5]. Embora democratize o acesso à moda, tal prática contribui para o crescente descarte [6]. A viabilização desse sistema depende, em grande parte, da utilização de matérias de baixo custo e qualidade inferior, o que compromete a durabilidade das peças [7].

Essa baixa qualidade das peças, acabando gerando um impacto imperceptível, a liberação de microfibras durante a lavagem de roupa [8]. Por terem um tamanho microscópico, dificilmente são removidos pelos sistemas convencionais de tratamento e acabam sendo direcionados aos corpos hídricos, contribuindo significativamente para a poluição aquática [9].

Embora as microfibras de algodão sejam classificadas como de origem natural, o processo industrial de fabricação envolve a adição de diversos compostos químicos, como corantes, amaciantes, retardantes de chama e agentes de acabamento [10]. Esses aditivos incorporados para melhorar as propriedades funcionais do tecido, podem ser liberados por lixiviação quando as microfibras entram em contado com o ambiente aquático podendo acarretar impactos adversos a diversos organismos aquáticos [11].

Este estudo parte-se da hipótese de que as microfibras (MF) de algodão, mesmo sendo de origem natural, induzirão efeitos citotóxicos no caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) após 15 dias de exposição contínua e que a maior concentração de MF será mais citotóxica do que a menor concentração (dose-resposta).

Objetivos

Avaliar os efeitos citotóxicos decorrentes da exposição às microfibras de algodão no caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*), após um período de 15 dias, em duas diferentes concentrações de microfibras: i) 0,0001 g e ii) 0,1 g, através do teste de Tempo de Retenção do Vermelho Neutro.

Material e Método

Para a realização do experimento, foram utilizados três aquários com capacidade de 10 litros, contendo água salobra com salinidade de 25. Os aquários foram mantidos em sala com condições ambientais controladas e divididos em três grupos experimentais: i) controle (sem adição de microfibras); ii) exposição a 0,0001 g de microfibras de algodão; e iii) exposição a 0,1 g de microfibras de algodão. Após 15 dias de exposição, os caranguejos foram removidos

dos aquários, e, utilizando uma seringa acoplada a uma agulha, foi coletado 1 mL de hemolinfa do maior quelípodo de cada indivíduo.

A hemolinfa coletada foi armazenada em microtubos até o preparo da solução de corante vermelho neutro. Para a realização do teste de Retenção do Corante Vermelho Neutro (RCVN), 40 µL de hemolinfa foram depositados em uma lâmina e deixados em repouso por 15 minutos. Em seguida, adicionaram-se 40 µL da solução estoque do corante vermelho neutro, aguardando-se mais 15 minutos antes do início da leitura microscópica.

A análise da dados foi feita a partir do teste de normalidade no SigmaPlot, posteriormente pelo teste de Análise de Variância (ANOVA) para a comparação entre os grupos.

Resultados

Tabela 1. Análise de Variância (ANOVA) comparando o controle com os tratamentos de microfibras de algodão (0,0001 e 0,1). SS: soma dos quadrados; DF: graus de liberdade; MS: média dos quadrados; p: diferença significativa ($p < 0,05$).

ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Treatment (between columns)	3637	2	1818	F (2, 14) = 1,906	P=0,1853
Residual (within columns)	13358	14	954,1		
Total	16994	16			

A partir da Análise de Variância (ANOVA), verificou-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$), conforme apresentado na tabela 1. Quando analisado os resultados do teste de Tempo de Retenção do Corante Vermelho Neutro, indica um aumento na citotoxicidade das microfibras de algodão à medida que se elevam as concentrações de microfibras no ambiente (figura 1).

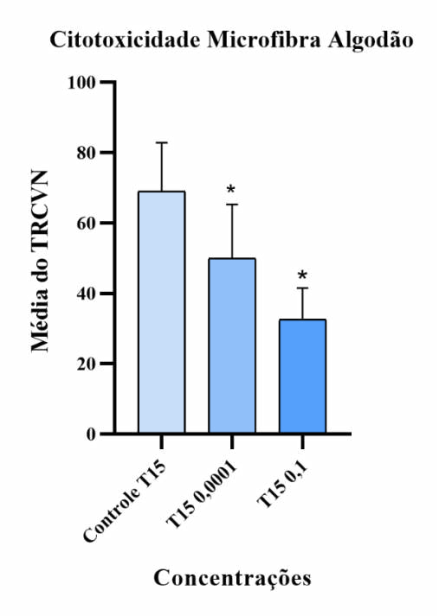


Figura 1. Média do teste de Tempo de Retenção do Corante Vermelho Neutro.

Discussão

A partir dos resultados obtidos do teste do Tempo de Retenção do Corante Vermelho Neutro observa-se um aumento da citotoxicidade confirme há um aumento na concentração das microfibras no ambiente. Essa resposta sugere que, mesmo sendo de origem natural, o algodão pode representar um significativo quando submetido a processos industriais do setor têxtil, que, durante o processo de fabricação, o algodão é tratado com uma variedade de aditivos químicos – como corantes, alvejantes, amaciantes, retardadores de chama e agentes de acabamento – que permanecem incorporados às fibras e podem ser liberados no ambiente por meio da lixiviação [11].

O teste de Retenção do Tempo do Corante Vermelho Neutro, é um importante marcador para a saúde celular, e alterações encontradas podem indicar sinais de efeitos adversos mais graves [12] (Binelli et al., 2009), se relacionando a impactos negativos em diversos níveis de organização biológica, desde subcelulares até comunidades [13] (Dailianis et al., 2003; Moore et al., 2006; Pereira et al., 2007, 2011, 2012).

Tais resultados corroboram com os achados de Duarte et al. (2012) [14], que demostram a relação entre o aumento da concentração de metas e o aumento da citotoxicidade no caranguejo-uçá. Assim como os metais, as microfibras podem atuar como estressores ambientais, sendo capazes de induzir danos celulares progressivos. Outro estudo de Pinheiro et al. (2022) [15] também relata uma redução no tempo de retenção do corante vermelho neutro em espécimes de caranguejo-uçá expostos a ambientes contaminados por desastres locais,

evidenciando o impacto de compostos tóxicos sobre a estabilidade das membranas lisossômicas.

Nobre et al., (2020) [16] também observa um aumento na citotoxicidade em uma espécie de bivalve quando expostos a contaminante presente no ambiente ao longo do tempo, corroborando com o presente estudo que mostra ao efeito da citotoxicidade ao longo de 15 dias de exposição, além do aumento das concentrações de microfibras sugerindo que que os dois fatores, concentração e tempo são fatores para os efeitos adversos observados.

Os biomarcadores citotóxicos são ferramentas fundamentais na avaliação subletal dos efeitos adversos causados por contaminantes presentes nos ecossistemas aquáticos. A análise da citotoxicidade permite identificar alterações celulares precoces, muitas vezes antes da manifestação de danos morfológicos, tornando-se uma abordagem sensível, rápida e eficaz para o monitoramento ambiental [17]. Além disso, seu uso em espécies sentinelas, como o caranguejo-uçá, fornece dados valiosos para a compreensão dos efeitos ecotoxicológicos de contaminantes emergentes.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos neste estudo, observa-se que a microfibra natural apresenta um aumento da citotoxicidade associada à elevação das concentrações de microfibras no ambiente. Essa resposta biológica, sugere que mesmo matérias de origem natural, como o algodão, podem representar riscos à saúde dos organismos aquáticos.

A liberação dessa partícula, especialmente no contexto de consumo acelerado, promovido pelo sistema *Fastfashion*, reforça a necessidade de repensar os atuais modelos de produção, consumo e descarte de roupas, bem como investir em políticas públicas e tecnologias voltadas à mitigação da poluição difusa por microfibras.

Agradecimentos: Os autores gostariam de agradecer o apoio dado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico – (CNPq), pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa (PQ) e ao Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação (PDPG) Emergencial de Consolidação Estratégica dos Programas de Pós-Graduação stricto sensu acadêmicos – Portaria nº 155.

Referências

1. COLOMBO, Luciane Ozelame Ribas; FAVOTO, Thais Brandt; DO CARMO, Sidney Nascimento. A evolução da sociedade de consumo. *Akrópolis: Revista de Ciências Humanas da UNIPAR*, v. 16, n. 3, 2008.
2. HACIOLA, Yasemin; ATILGAN, Turan. Research on fast fashion and fast fashion retailing in Turkish apparel sector. *Textile and Apparel*, v. 24, n. 2, p. 143-150, 2014.
3. ROOZEN, Irene; RAEDTS, Mariet. The power of negative publicity on the fast fashion industry. *Journal of Global Fashion Marketing*, v. 11, n. 4, p. 380-396, 2020.

4. DE GREGORI, Isabel Christine Silva; MAIER, Jackeline Prestes. O modelo de produção fast fashion na ótica da sustentabilidade. *Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável*, v. 20, p. e202414, 2023.
5. DOS SANTOS, Jennifer Barbosa et al. Are microfibers a threat to marine invertebrates? A sea urchin toxicity assessment. *Toxics*, v. 12, n. 10, p. 753, 2024.
6. SHIMAMURA, Erica; SANCHES, Maria Celeste de Fátima. O fast fashion e a identidade de marca. *Projetica*, v. 3, n. 2, p. 66-76, 2012.
7. CALÍOPE, Thalita Silva; PARIS, Ilze Eneida; LEOCÁDIO, Áurio Lúcio. Comportamento de consumo de moda: motivações e atributos no descarte de roupas usadas. *Revista Economia & Gestão*, v. 17, n. 47, p. 44-64, 2017.
8. SUARIA, Giuseppe et al. Microfibers in oceanic surface waters: a global characterization. *Science Advances*, v. 6, n. 23, p. eaay8493, 2020.
9. RAMASAMY, Rathinamoorthy; ARAGAW, Tadele Assefa; BALASARASWATHI SUBRAMANIAN, Raja. Wastewater treatment plant effluent and microfiber pollution: focus on industry-specific wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, n. 34, p. 51211-51233, 2022.
10. RODRIGUES MAIA, Sandra; ROMEIRO, Eduardo; MENDONÇA, Rosangela. Da moda para os oceanos. *ModaPalavra e-periódico*, v. 14, n. 34, 2021.
11. DÉTRÉE, 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**, v. 331, p. 121861, 2023.
12. Binelli A, Provazník J, Gauthier J-M, Lemaire P, Renaud M, Voltolina D, et al. In vivo experiments for the evaluation of genotoxic and cytotoxic effects of Triclosan in Zebra mussel hemocytes. Aquat Toxicol. 2009;91(3):238-44.
13. Dailianis S, Prifti E, Alexandri E, Ruggieri G, Karakassis I, Voutsas E. Evaluation of neutral red retention assay, micronucleus test, acetylcholinesterase activity and a signal transduction molecule (cAMP) in tissues of Mytilus galloprovincialis (L.), in pollution monitoring. Mar Environ Res. 2003;56(4):443-70.
14. DUARTE, Luís FA; SOUZA, Caroline A.; PINHEIRO, Marcelo AA. Impacto cito e genotóxico em Ucides cordatus (Linnaeus, 1763)(Brachyura, Ucididae), relacionado à contaminação por metais (Cd, Cu, Pb, Cr, Mn e Hg), em manguezais paulistas. In: **Resumos do XII Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia. Porto de Galinhas, Brazil**. 2012.
15. PINHEIRO, Marcelo Antonio Amaro et al. Cytotoxicity, genotoxicity, and impact on populations of the mangrove sentinel species, Ucides cordatus (Linnaeus, 1763)(Brachyura, Ocypodidae) after an environmental disaster at Cubatão, São Paulo, Brazil. **Nauplius**, v. 30, p. e2022025, 2022.
16. NOBRE, Caio Rodrigues et al. Effects of microplastics associated with triclosan on the oyster Crassostrea brasiliana: an integrated biomarker approach. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 79, p. 101-110, 2020.
17. ADAM, Mônica L. et al. Espécies sentinelas: Monitoramento Ambiental com base em biomarcadores de efeito cito-e genotóxico. **Revista CEPSUL-Biodiversidade e Conservação Marinha**, v. 12, p. e20230002-e20230002, 2023.