



AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE *Aspergillus tubingensis* UCP 1208 FRENTE A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO- PCBs

Allem Karolyne Dino da Silva¹
allemdino@gmail.com
Adriana Ferreira de Souza¹
adriana.souza@unicap.br
Sidney Marlon Lopes de Lima²
sidney.lima@ufpe.br
Galba Maria Takaki¹
galba.takaki@unicap.br
Rosileide Fontenele da Silva Andrade¹
rosileide.andrade@unicap.br

¹ Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Superfície de Materiais (CEMACBIOS), Universidade Católica de Pernambuco.

² Universidade Federal de Pernambuco

INTRODUÇÃO

Avanços tecnológicos expandiram o mercado de equipamentos elétrico eletrônicos (EEE), ocasionando uma produção extensiva de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) (Naseri *et al.*, 2023, Vakilchah e Mousavi, 2024). As placas de circuito impresso (PCBs) são componentes essenciais em praticamente todos os dispositivos eletrônicos, desde smartphones e computadores até eletrodomésticos e dispositivos médicos. Esse crescimento na demanda por eletrônicos tem gerado um aumento proporcional na quantidade de REEE, dos quais os PCBs representam uma fração significativa devido à sua complexidade e sua composição com metais valiosos, como cobre, alumínio, prata e ouro, e metais perigosos, como chumbo, estanho, bromo, mercúrio e níquel, que representam riscos ambientais, (Narayanasamy, 2017; Li *et al.*, 2021).

Alguns fungos têm a capacidade de sobreviver em ambientes contendo metais tóxicos devido as suas propriedades fisiológicas, incluindo a produção de enzimas e metabólitos secundários que reduzem a toxicidade do metal (Liu *et al.*, 2024). Além disso, a parede celular do fungo apresenta grupos funcionais que se ligam com metais pesados por meio de adsorção eletrostática ou complexação (Priyadarshini *et al.*, 2021; Liu *et al.* 2024).

Os fungos podem apresentar capacidades de degradar poluentes e minimizar o efeito de metais pesados no meio ambiente (Dusengemungu *et al.*, 2022). Portanto, o objetivo deste trabalho foi testar a capacidade metabólica do fungo filamentoso *Aspergillus tubingensis* UCP1208 em meio contendo partículas de resíduos elétricos triturados de PCBs em diferentes concentrações, visando utilizá-lo em tratamentos biológicos sustentáveis e com baixo custo para biorremediar os poluentes e recuperar metais valiosos presentes nesses resíduos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O meio de cultura utilizado para avaliar a tolerância do fungo *Aspergillus tubingensis* frente a diferentes concentrações de placas de circuito impresso (PCBs) foi Ágar Sabouraud (10 g/L de peptona, 40 g/L de dextrose e 20 g/L de ágar). Os PCBs foram previamente triturados e peneirados com granulometria mesh 60 (250 µm) e adicionados ao meio nas concentrações de 0,3%, 0,6% e 1% (equivalente a 0,03 g/L, 0,06 g/L e 0,1 g/L, respectivamente). Após a adição dos PCBs, o meio foi esterilizado em autoclave e distribuído em placas de Petri. O meio Ágar Sabouraud sem PCBs foi utilizado como controle.

As placas foram incubadas a 28°C por 7 dias. Após o período de incubação, foram realizadas análises macroscópicas e microscópicas para avaliar o crescimento do fungo e possíveis alterações morfológicas em resposta às concentrações de PCBs,

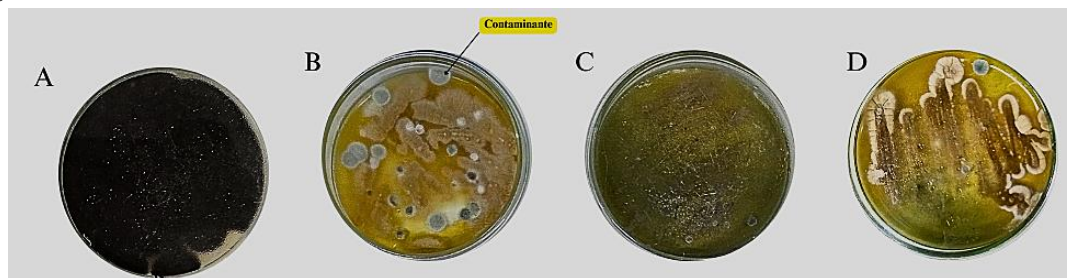


RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tolerância do fungo filamentoso *Aspergillus tubingensis* UCP 1208 foi avaliada utilizando partículas trituradas de PCBs para investigar seu comportamento frente a diferentes concentrações de metais presentes nesses resíduos.

Após 7 dias de exposição, o fungo apresentou alterações na esporulação e no crescimento micelial, como mostrado na Figura 1. Na Figura 1A, correspondente ao controle, observa-se uma produção abundante de esporos pigmentados. No entanto, quando submetido a diferentes concentrações de PCBs, ocorreram alterações significativas na esporulação. Apesar dessas mudanças, o crescimento micelial não foi inibido (Figuras 1B, 1C e 1D). Além disso, a coloração do meio, que inicialmente apresentava uma tonalidade esverdeada devido à presença dos PCBs, tornou-se amarelada após o crescimento do fungo, sugerindo a produção de ácidos (Figuras 1D). Segundo Palanivel *et al.* (2023), fungos desse gênero podem produzir ácidos como oxálico, cítrico, maleico e lático. Quando expostos a metais pesados, esses ácidos são produzidos em maiores quantidades, auxiliando no processo de biolixiviação (Liu *et al.*, 2024).

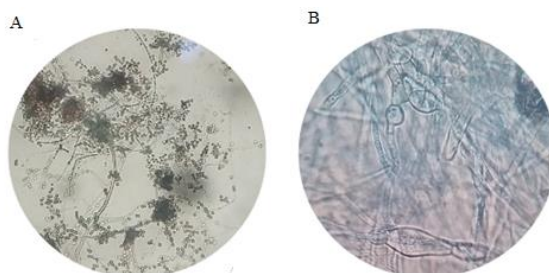
Figura 1 – Aspectos macroscópicos do fungo *Aspergillus tubingensis* em placas de Petri contendo meio Sabouraud com partículas de PCBs. (A) controle. (B) 0.3% de PCBs; (C) 0.6% de PCBs e (D) 1% de PCBs



Fonte: Autor (2024).

Na análise microscópica, como mostra na Figura 2, mostra o *Aspergillus tubingensis* UCP 1208, a produção de estruturas reprodutivas (produção de conídios) e ausência de estruturas de resistência, no meio sem adição do resíduo. Na figura 2B, revela a produção de clamidósporos, estrutura de resistência, resultado do estresse submetido ao resíduo a 1%. A Figura 2B. A produção dessas estruturas indica um mecanismo de resposta desenvolvido pelo microrganismo para se adaptar a um ambiente com altas concentrações de metais tóxicos. Além disso, o micélio se apresentou mais compacto em relação ao controle. Segundo essa alteração é devido a altas concentrações de metais, especialmente o cobre, que interferem na síntese de quitina da parede celular.

Figura 2. Análise Microscópica do *Aspergillus tubingensis* UCP 1208. (A) Meio controle, com o fungo crescendo sem a adição de PCBs, mostrando a produção de estruturas reprodutivas (conídios).; (B) Cultivo com 1% de PCBs, apresentando a presença de clamidósporos, indicativos de estresse devido ao resíduo.



Fonte: Autor (2024).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo confirmou que *Aspergillus tubingensis* UCP 1208 demonstra tolerância e adaptações a diferentes concentrações de partículas de PCBs. A análise macroscópica, mostrou que o crescimento micelial não foi inibido pelas concentrações do resíduo testadas e que a alteração na coloração do meio sugere a produção de ácidos. A análise microscópica indicou a produção estruturas de resistência, em resposta à concentração mais alta de PCBs, indicando uma adaptação ao estresse causado pelos metais.

Esses resultados indicam que *A. tubingensis* UCP 1208 pode ser eficaz na biorremediação de resíduos eletrônicos, devido à sua tolerância a metais pesados e à capacidade de produzir ácidos que favorecem a biolixiviação de metais. As evidências destacam o potencial do fungo para aplicações em processos de biorremediação e recuperação de metais preciosos, contribuindo para a gestão sustentável de resíduos eletrônicos.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência fúngica. PCBs. Fungo filamentoso. Biolixiviação. Metais preciosos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a FACEPE pelo financiamento deste projeto de pesquisa, a UNICAP, ao CEMACBIOS, onde o estudo foi desenvolvido e a CAPES e CNPq pelo uso dos equipamentos.

Referências

- DUSENGEMUNGU, L. *et al.* Potential of bioaugmentation of heavy metal contaminated soils in the Zambian Copperbelt using autochthonous filamentous fungi. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, 1 dez. 2022.
- LI, J. *et al.* Global patterns of electronic waste disposal practices and its impact on human health and the environment. **Science of The Total Environment**, v. 780, p. 146500, 2021.
- LIU, Qianqian *et al.* The interaction between *Aspergillus brasiliensis* and exposed copper circuits in the space microgravity environment. **Corrosion Science**, v. 234, p. 112132, 2024.
- NARAYANASAMY, M. *et al.* Extraction and recovery of precious metals from electronic waste printed circuit boards by bioleaching acidophilic fungi. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 14, p. 1355-1364, 2017.
- NASERI, T. *et al.* A comprehensive review of bioleaching optimization by statistical approaches: recycling mechanisms, factors affecting, challenges, and sustainability. **RSC Advances**, 7 ago. 2023.
- PALANIVEL, Thenmozhi Murugaian; PRACEJUS, Bernhard; NOVO, Luís AB. Bioremediation of copper using indigenous fungi *Aspergillus* species isolated from an abandoned copper mine soil. **Chemosphere**, v. 314, p. 137688, 2023.
- PRIYADARSHINI, E. *et al.* Metal-Fungus interaction: Review on cellular processes underlying heavy metal detoxification and synthesis of metal nanoparticles. **Chemosphere, Elsevier Ltd**, 1 jul. 2021.
- VAKILCHAP, Farzane; MOUSAVI, Seyyed Mohammad. Exploring the untapped practices in bacterial-fungal mixed-based cultures for acidic treatment of metal-enriched printed circuit board waste. **Waste Management**, v. 179, p. 245-261, 2024.