

## **SÍNTESE VERDE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE COBRE E SUA ATIVIDADE CONTRA FITOPATÓGENOS**

Alexandre Santos Hey<sup>1</sup>, Guilherme Garcia Bessegato<sup>2</sup>, Maristela dos Santos Rey Borin<sup>3</sup>

**RESUMO:** A antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum*, representa uma ameaça significativa à produção de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), ocasionando perdas econômicas substanciais. O manejo tradicional da doença utiliza fungicidas químicos que, apesar de sua eficácia, têm impactos adversos sobre o meio ambiente e a saúde humana. Este estudo tem como objetivo avaliar a atividade antifúngica das nanopartículas de óxido de cobre (CuO-NPs), sintetizadas a partir de extrato aquoso de folhas de jabuticabeira (*Plinia* sp.), como uma alternativa sustentável ao controle da antracnose. A síntese das CuO-NPs foi realizada pela mistura de 167 mL de solução de sulfato de cobre (5 mM) com 33 mL de extrato aquoso de jabuticabeira, o que resultou na formação das nanopartículas, confirmada pela precipitação e mudança de cor observada na suspensão aquosa. As CuO-NPs foram testadas *in vitro* contra *Colletotrichum lindemuthianum* em meio Mathur, nas concentrações de 25, 50 e 100 ppm, e os resultados foram comparados com controles negativo e positivo. A eficácia dos tratamentos foi avaliada utilizando a Porcentagem de Inibição de Crescimento Micelial (PIC). Embora o controle positivo tenha mostrado uma inibição significativa do crescimento do fungo, as CuO-NPs a 25 ppm apresentaram alguma inibição, enquanto as concentrações de 50 e 100 ppm não apenas falharam em inibir o crescimento, mas também promoveram o crescimento do fungo. Assim, ainda são necessários novos experimentos para otimizar os parâmetros de síntese e realizar uma caracterização mais detalhada das nanopartículas para confirmar sua composição e morfologia.

**Palavras-chave:** Nanotecnologia. Nanopartículas de óxido de cobre. Antifúngico.

### **1 INTRODUÇÃO**

A antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum*, é uma das doenças mais prejudiciais que afetam a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), podendo levar a perdas severas de produtividade, especialmente em condições de alta umidade (PADDER et al., 2017). O controle tradicional da antracnose é realizado através do uso de cultivares resistentes, uso de sementes de qualidade e por meio de fungicidas químicos, os quais, além de representarem um risco à saúde humana e ao meio ambiente, podem induzir resistência em patógenos (SARTORATO; RAVA, 1994). Nos últimos anos, a

---

<sup>1</sup> Graduando em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, alexandrehey@alunos.utfpr.edu.br

<sup>2</sup> Doutor, Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, bessegato@utfpr.edu.br

<sup>3</sup> Doutora, Professora, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, maristelarey@utfpr.edu.br

nanotecnologia tem se destacado como uma alternativa promissora para o manejo de doenças fúngicas, com o uso de nanopartículas de óxidos metálicos, como o óxido de cobre (CuO), ganhando relevância devido às suas propriedades antimicrobianas e antifúngicas (ILIGER et al., 2020; HUANG et al., 2021). Neste contexto, nanopartículas de óxido de cobre (CuO-NPs) sintetizadas a partir de extratos vegetais oferecem uma abordagem mais sustentável, ecológica e de baixo custo (HU et al., 2023; YING et al., 2022). O presente trabalho visa avaliar o efeito antifúngico dessas CuO-NPs sintetizadas com extrato aquoso de folhas de jabuticabeira (*Plinia sp.*) sobre o fungo *Colletotrichum lindemuthianum*, propondo um controle alternativo e ambientalmente amigável para a antracnose no feijoeiro.

## 2 METODOLOGIA

A síntese das nanopartículas de óxido de cobre (CuO-NPs) está resumida na Figura 1 e foi realizada utilizando extrato aquoso de folhas de jabuticabeira (*Plinia sp.*), obtido pela maceração de 25 g de folhas frescas com 100 mL de água deionizada. A mistura foi agitada em banho ultrassônico a 60°C por 1 hora e, após filtração, foi combinada a 167 mL de solução de sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O) 5 mM, em proporção 1:5. A síntese das CuO-NPs foi confirmada pela mudança de cor da solução e as nanopartículas foram purificadas por centrifugação e liofilizadas.

Para o ensaio antifúngico, discos de 5 mm de diâmetro contendo micélio de *Colletotrichum lindemuthianum* foram repicados para o centro de placas de Petri contendo meio Mathur, ao qual foram adicionados os tratamentos com CuO-NPs. As nanopartículas foram testadas nas concentrações de 25, 50 e 100 ppm. Placas controle negativo (testemunha) e controle positivo (Estrobilirina + Triazol 100ppm) também foram preparadas. Os tratamentos foram mantidos em estufa do tipo BOD, com ciclo de luminosidade de 12 horas e temperatura média de 20°C e o crescimento micelial foi medido em intervalos de 3, 6 e 9 dias. A eficácia antifúngica foi avaliada pela Percentagem de Inibição de Crescimento Micelial (PIC), calculada conforme a Equação 1:

$$PIC = \left( \frac{\text{diâmetro da testemunha} - \text{diâmetro do tratamento}}{\text{diâmetro da testemunha}} \right) \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

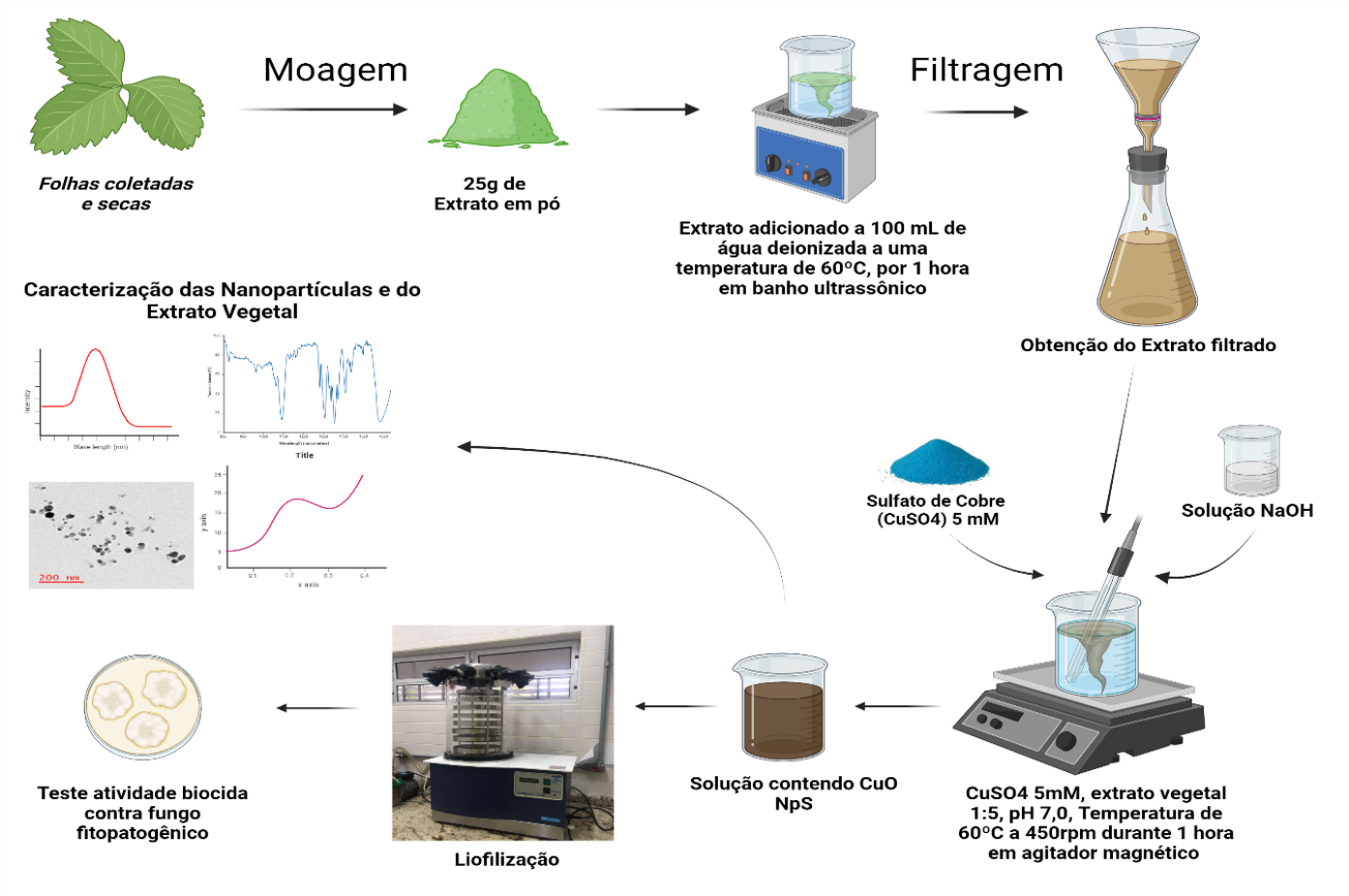


FIGURA 1 – Esquema ilustrativo da síntese, caracterização e aplicação das CuO NPs. Fonte: Autoria própria, 2024.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores de Percentagem de Inibição de Crescimento Micelial (PIC) para as diferentes condições e controles utilizados nos experimentos biocidas com nanopartículas de óxido de cobre (CuO-NPs). A Figura 2 exhibe as fotografias das placas no nono dia de avaliação. O controle positivo, tratado com fungicida à base de Estrobilurina e Triazol, demonstrou uma inibição significativa do crescimento de *Colletotrichum lindemuthianum* em todos os dias avaliados, confirmando a eficácia esperada do produto. A concentração de 25 ppm de CuO-NPs resultou em uma leve inibição do crescimento micelial no sexto dia, com estabilização até o nono dia, embora não tenha atingido a eficácia observada no controle positivo. Em contrapartida, as concentrações de 50 e 100 ppm de CuO-NPs não apenas falharam em inibir o crescimento, mas em alguns casos, estimularam o desenvolvimento fúngico, resultando

em valores negativos de PIC. Esse comportamento pode estar relacionado à interação das nanopartículas com os componentes do meio de cultivo, ou à indução de processos que favorecem a produção de metabólitos secundários. Esses compostos, embora não essenciais ao crescimento do fungo, desempenham um papel crucial na defesa e adaptação ao estresse, e podem ter valor econômico em aplicações farmacêuticas, agrícolas ou industriais, dependendo de suas propriedades. Assim, ao invés de focar exclusivamente na inibição do fungo, o uso de nanopartículas em concentrações ajustadas pode representar uma estratégia inovadora para induzir a biossíntese de metabólitos secundários valiosos. Isso seria particularmente relevante em fungos benéficos ou aplicados em biotecnologia, como na produção de biofertilizantes e biofungicidas.

Esses resultados indicam que as concentrações de CuO-NPs testadas não foram adequadas para inibir *Colletotrichum lindemuthianum*, sugerindo a necessidade de ajustes nos parâmetros de síntese das nanopartículas e o uso de concentrações mais elevadas para alcançar uma ação antifúngica significativa. A observação de estímulo ao crescimento em baixas concentrações reforça a necessidade de aprofundar o entendimento sobre a interação entre as nanopartículas e os organismos fúngicos. Além disso, variáveis experimentais como temperatura e intensidade de luz durante a incubação podem ter influenciado o desempenho das CuO-NPs. Otimizações nesses parâmetros são recomendadas para melhorar a eficácia dos tratamentos.

TABELA 1 - Percentagem de Inibição de Crescimento Micelial (PIC) para os diferentes tratamentos.

TRATAMENTO	Dia 3 - Média PIC (%)	Dia 3 - Média PIC (%)	Dia 9 - Média PIC (%)
Controle Positivo	5.56	32.75	36.53
CuO NPs 25 PPM	-13.89	7.32	-0.73
CuO NPs 50 PPM	-27.78	-1.73	-10.71
CuO NPs 100 PPM	-19.44	-11.91	-33.56

Fonte: Autoria própria, 2024.

## AVALIAÇÃO - DIA 9

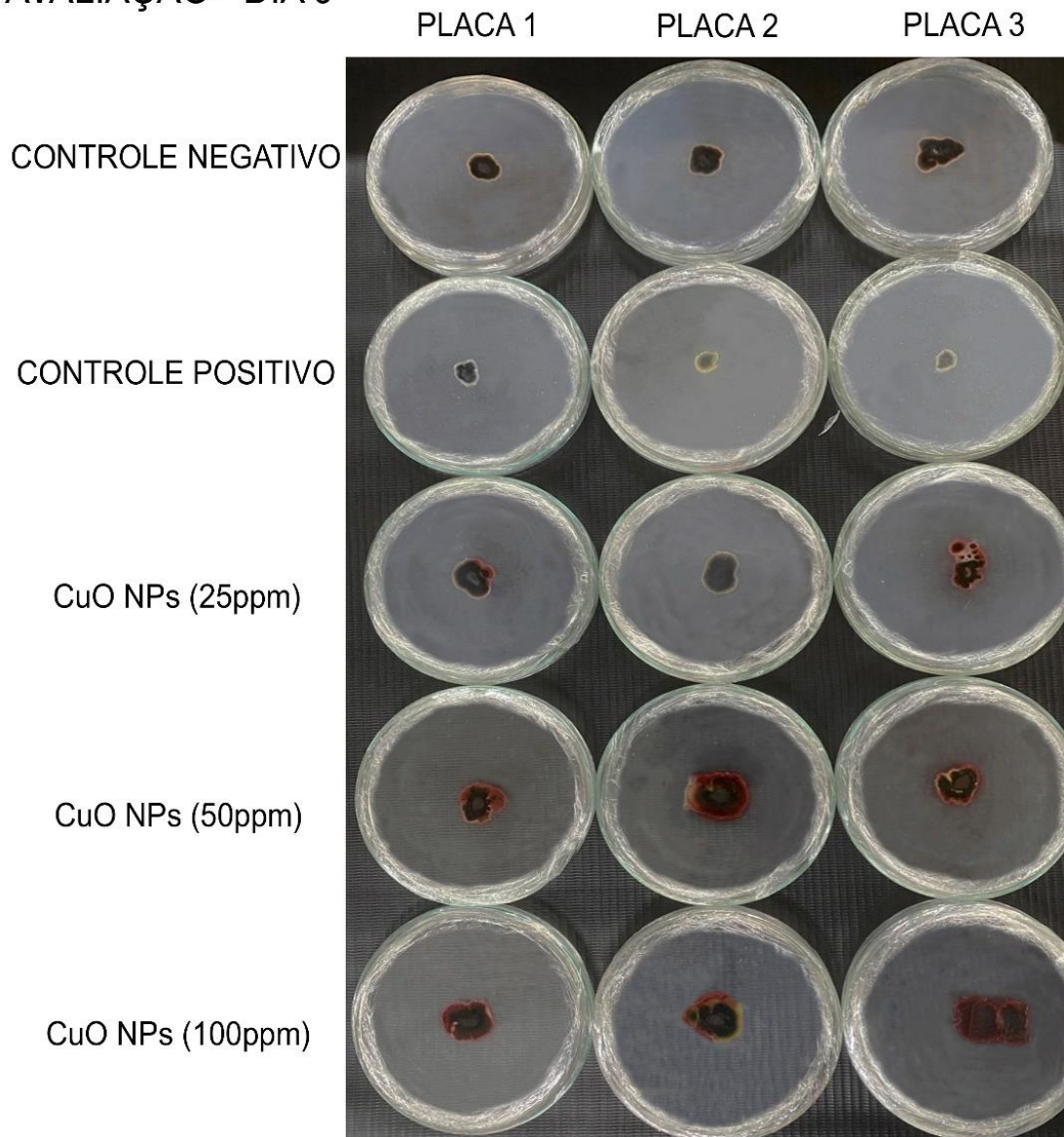


FIGURA 2 – Efeitos de diferentes tratamentos sobre o crescimento de *Colletotrichum lindemuthianum*.

Fonte: Autoria própria, 2024.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou que as nanopartículas de óxido de cobre (CuO-NPs) sintetizadas a partir de extrato aquoso de folhas de jabuticabeira (*Plinia sp.*) não mostraram o potencial esperado como uma alternativa sustentável para o controle da antracnose nas doses testadas. No entanto, as nanopartículas ainda não foram devidamente caracterizadas, o que limita a compreensão completa de suas propriedades e eficácia. A ausência de uma caracterização detalhada impede a avaliação precisa das características físico-químicas das CuO-NPs, como tamanho, forma e distribuição, que são cruciais para entender seu

comportamento antifúngico. Futuramente, a caracterização dessas nanopartículas será realizada por meio de técnicas como Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Espectrofotometria de UV-Visível (UV-VIS), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) e Potencial Zeta. Essas análises permitirão uma compreensão mais detalhada das propriedades estruturais e de estabilidade das CuO-NPs, facilitando a otimização dos parâmetros de síntese para melhorar a eficácia antifúngica.

### **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Laboratório Multiusuário Central de Análises (LabCA) pelo suporte técnico e ao CNPq pelo financiamento. Agradeço ao professor Guilherme Garcia Bessegato e à professora Maristela Rey Borin. E agradeço também a minha mãe por todo o apoio.

### **REFERÊNCIAS**

**HU, C.; ZHU, W.; LU, Y., et al.** Alpinia officinarum mediated copper oxide nanoparticles: synthesis and its antifungal activity against *Colletotrichum gloeosporioides*. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, p. 28818–28829, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24225-9>

**HUANG, W., et al.** Optimised green synthesis of copper oxide nanoparticles and their antifungal activity. *Micro Nano Letters*, v. 16, p. 374–380, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1049/mna2.12060>

**ILIGER, Krishnananda S., et al.** Copper nanoparticles: Green synthesis and managing fruit rot disease of chilli caused by *Colletotrichum capsici*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 28, p. 1477–1486, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.003>

**PADDER, B.A., et al.** *Colletotrichum lindemuthianum*, the causal agent of bean anthracnose. *Journal of Plant Pathology*, v. 99, n. 2, p. 317–330, 2017. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/44686776>.

**SARTORATO, A.; RAVA, C. A. (Ed.).** Principais doenças do feijoeiro comum e seu controle. Brasília: Embrapa-SPI, 1994.

**YING, S.; GUAN, Z.; OFOEGBU, P. C.; CLUBB, P.; RICO, C.; HE, F.; HONG, J. J. E. T.** Green synthesis of nanoparticles: Current developments and limitations. *Environmental Technology & Innovation*, v. 26, p. 102336, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102336>