



Avaliação do potencial nematicida de nanopartículas de cobre (CuNP) e prata (AgNP) obtidas via síntese verde em no controle de *Panagrellus sp.*

Daniel R.A.A. dos Santos (PG)^{1*}, Andressa M. C. Paiva (PG)¹, Karina T da Silva (PG)¹, Vinicius M. Silva (G)¹, Juliano E. Oliveira (PQ)²
daniel.santos6@estudante.ufla.br

¹ Programa de Pós-graduação Agroquímica- Departamento de Química (DQI) – Universidade Federal de Lavras, UFLA

² Departamento de Engenharia Química e de Materiais (DQM) – Universidade Federal de Lavras, UFLA

RESUMO

Os solos agrícolas abrigam diversas espécies de nematóides que causam prejuízos significativos às culturas. O controle convencional com pesticidas como fluopiram e fluensulfona é limitado por sua toxicidade e pela resistência desenvolvida pelos nematoides. Assim, torna-se necessário buscar alternativas sustentáveis. Nanopartículas (NPs) sintetizadas por rotas verdes, como as de prata (AgNPs) e cobre (CuNPs), têm demonstrado eficácia no controle desses organismos. Este estudo avaliou o efeito nematicida de AgNPs e CuNPs sobre *Panagrellus sp.*, nematoide de vida livre e alta motilidade, adequado como organismo-teste. Os bioensaios, com cinco repetições e diferentes concentrações, mostraram até 93% de mortalidade. As CuNPs apresentaram maior eficácia, mesmo em menores concentrações, destacando-se como uma alternativa promissora e ecologicamente viável aos nematicidas tradicionais

Palavras-chave: nanopartícula, nematicida, alternativa sustentável, rota verde e *Panagrellus*.

25 °C.

Introdução

Os nematoides fitoparasitas representam uma séria ameaça à agricultura, comprometendo a produtividade de culturas de alto valor econômico. Estima-se que causem perdas anuais significativas, com impacto variável entre 5% e 80%, a depender do cultivo (1). O manejo convencional, baseado em nematicidas sintéticos como fluopiram e fluensulfona, é limitado por toxicidade, baixa seletividade e crescente resistência dos organismos-alvo, além de severas restrições regulatórias (EPA, IBAMA). Como alternativa, nanopartículas metálicas sintetizadas por rotas verdes, especialmente AgNPs e CuNPs, têm demonstrado atividade antimicrobiana e nematicida por meio da indução de estresse oxidativo e disfunções celulares (2). Contudo, faltam estudos comparativos padronizados. *Panagrellus sp.*, nematoide de vida livre altamente móvel, tem sido utilizado como modelo bioindicador por sua sensibilidade a efeitos subletais (3). Este estudo avaliou o potencial nematicida de AgNPs e CuNPs frente a *Panagrellus sp.*, contribuindo com evidências sobre o uso sustentável da nanobiotecnologia no manejo de nematoides.

Experimental

Mortalidade de nematoides

A suspensão de *Panagrellus sp.* foi preparada com certa quantidade de nematoides contadas em microscópio (Biofocus – 110 V) na objetiva 4x e em quintuplicada. Em seguida foi realizada uma solução estoque contendo 25 µL de nanopartícula com 475 µL de água deionizada. As análises foram realizadas no controle 50 µL de água deionizada e 50 µL de suspensão de nematóides, e nas concentrações de 0 a 40 µL de NPs por ml de solução (suspensão de nematóides e solução controle) incubados por 24 horas em BOD a

Resultados e Discussão

Os dados obtidos neste estudo evidenciam o potencial das nanopartículas metálicas biossintetizadas como agentes eficientes no controle de nematoides, especificamente *Panagrellus sp.* Ambas as formulações, CuNPs e AgNPs, apresentaram elevada taxa de mortalidade (>90%) após 24 horas de exposição, corroborando estudos prévios que indicam a ação tóxica de nanopartículas metálicas sobre organismos invertebrados de solo (1).

As CuNPs demonstraram maior eficácia comparativa, atingindo a dose letal média (DL₅₀) em concentrações mais baixas e promovendo maior uniformidade na mortalidade dos nematoides ao longo das repetições. Esses resultados sugerem uma maior estabilidade e interação das CuNPs com os alvos biológicos, possivelmente em razão de sua afinidade com componentes da cutícula dos nematoides. Além disso, observou-se indicativo de inibição da eclosão de ovos nas amostras tratadas com CuNPs, o que não foi verificado nas amostras expostas às AgNPs, nas quais foi detectada a presença de juvenis mesmo após 24 horas de incubação.

A menor eficácia das AgNPs na inibição da eclosão pode estar associada a sua menor interação com estruturas embrionárias ou à necessidade de tempos de exposição mais prolongados. Apesar disso, as AgNPs ainda apresentaram efeitos significativos na redução da motilidade e viabilidade dos nematoides, o que indica seu potencial como agente complementar no manejo integrado.

A toxicidade observada para ambas as nanopartículas pode ser explicada por múltiplos mecanismos, incluindo a geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), capazes de induzir estresse oxidativo, desorganização da membrana celular e disfunção metabólica. A carga superficial negativa da cutícula dos nematoides favorece a interação

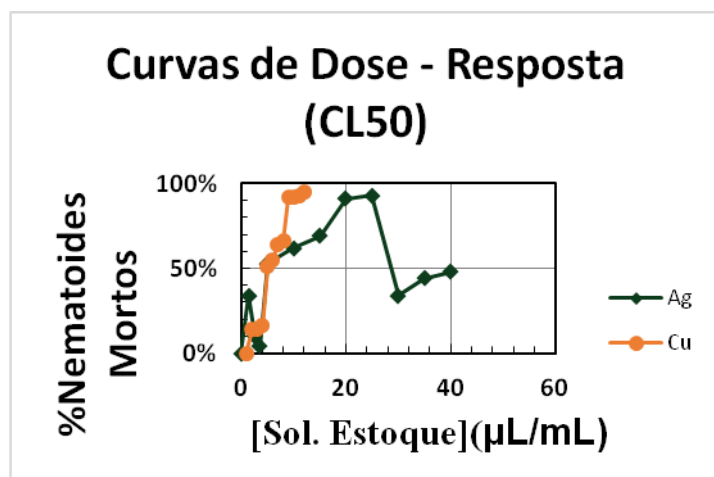


eletrostática com nanopartículas carregadas positivamente, intensificando a penetração e os danos celulares. Esses achados são consistentes com (3), que relatam que a ação tóxica de compostos metálicos está fortemente associada à sua capacidade de provocar estresse oxidativo e lesões irreversíveis em tecidos biológicos.

Além disso, a observação morfológica sob microscópio confirmou a eficácia das nanopartículas na mortalidade dos organismos, com os indivíduos mortos apresentando rigidez, eclodido e sinais típicos de colapso fisiológico.

De maneira geral, os resultados obtidos reafirmam o potencial das nanopartículas metálicas biossintetizadas como alternativas viáveis aos nematicidas sintéticos, com a vantagem adicional de serem provenientes de rotas verdes, de menor impacto ambiental e com menor risco de indução de resistência em populações de nematoides.

Figura 1.
Curva dose- resposta (CL₅₀)



Conclusões

Este estudo evidencia o potencial relevante das nanopartículas de prata (AgNPs) e cobre (CuNPs), obtidas por biossíntese, como agentes de biocontrole ambientalmente sustentáveis no manejo de *Panagrellus sp.*. Os bioensaios indicaram uma taxa de mortalidade de 93% para ambas as nanopartículas, com destaque para as CuNPs, que demonstraram maior eficácia mesmo em concentrações reduzidas. Esses achados reforçam o papel promissor das nanopartículas sintetizadas por rotas verdes como alternativas viáveis e ecologicamente seguras aos nematicidas convencionais, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis na agricultura.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) APQ-05593-24, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) 405802/2022-6, 403724/2023-6, 305532/2024-3, e a Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES). Os autores agradecem as bolsas de estudo e o apoio financeiro e agradecem ao Laboratório de Materiais e Biosistemas e ao Laboratório de Polímeros do Departamento de Engenharia Química e de Materiais (DQM) –ao Departamento de Química (DQI) – pelo fornecimento dos equipamentos para análises microbiológicas e a Universidade Federal de Lavras, UFLA.

Referências

1. A. Khan; H. Mohammad; T. Hussain; A. A. Khan; S. E. Laasli; R. Lahlali, R., et al. (2023). Contra-ataque de agentes de biocontrole: abordagens ambientalmente benignas contra nematoides das galhas (*Meloidogyne spp.*) em culturas agrícolas. *Heliyon* 9:e21653. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e21653.
2. L. Lianming; L. Shuqun; Y. Jinkui; M. Zhaohui, L. Liping; Z. Keqin. Comparação de modelos de homologia e estruturas cristalinas de proteases degradadoras de cutícula de fungos nematófagos: base estrutural da atividade nematicida. *FASEB J.* 2011 jun;25(6):1894-902. doi: 10.1096/fj.10-175653. Epub 2011 fev 24. PMID: 21350115.
3. O. C. Kwok; R. Plattner; D. Weisleder; D. T. Wicklow. Uma toxina nematicida de *Pleurotus ostreatus* NRRL 3526. *J Chem Ecol.* 1992 fev;18(2):127-36. doi: 10.1007/BF00993748. PMID: 24254904.