# NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINCO NO TRATAMENTO DE SEMENTES: UMA REVISÃO DE LITERATURA

**Patricia Alvarez Cabanez[1], Andrezza da Silva Machado Neto[1], Letícia Peixoto Gomes[1], Caio Nepomuceno Verdeiro[2], Lucimara Ribeiro Venial[2], Rômulo André Beltrame[1]**

[1]Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Avenida Lourival Martins Beda, 1200, Parque Varanda do Visconde - 28178-000 - Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil, patriciacabanez@gmail.com, andrezzamachado@ufrrj.br, leticiap.gomes@ufrrj.br, romulobeltrame@ufrrj.br.
[2]Universidade Federal do Espírito Santo, BR-101, km 60, Litorâneo - 29932-540 - São Mateus - ES, Brasil, caioverdeiro@gmail.com, venialluci@gmail.com.

**Resumo**
O uso de nanopartículas produzidas com compostos metálicos, como o de óxido de zinco e com a inserção controladas de outros íons, pode aumentar significativamente a eficiência no controle de fitopatógênos. Este trabalho teve como objetivo realizar o levantamento bibliográfico sobre nanopartículas de óxido de zinco (ZnO) no controle de fitopatógenos associados às sementes, analisando os efeitos nas diferentes culturas agrícolas. A metodologia consistiu em levantamento bibliográfico em bases científicas, utilizando palavras-chave relacionadas ao nanocondicionamento e controle de doenças. Os resultados evidenciam que a utilização das nanopartículas com óxido de zinco deve ser padronizada e se deve considerar a dose utilizada. O uso de nanopartículas de óxido de zinco dopadas ou não com íons metálicos apresentou efeito significativo no controle de doenças em sementes de plantas. Conclui-se que a utilização de nanopartículas de óxido de zinco é eficiente no controle de doenças fúngicas e bacterianas em sementes de plantas.

**Palavras-chave**: Nanotecnologia. Nanocondicionamento. Óxido metálico. Controle de doenças. Qualidade de sementes.

**Área do Conhecimento:** Ciências Agrárias / Agronomia

## Introdução

As sementes são consideradas uma via de disseminação de fitopatógenos nas culturas, podendo introduzir ou aumentar a quantidade de inóculo nas áreas cultivadas (Correa et al., 2008) e, por isso, há a necessidade de se utilizar material propagativo de boa qualidade fitossanitária (Menten et al., 2005). Grande parte das sementes armazenadas está contaminada por fungos transmitidos por sementes, o que leva à sua deterioração. Portanto, o desenvolvimento de um agente antifúngico eficaz que possa ser utilizado no revestimento de sementes e conferir proteção contra esses fungos tem recebido atenção significativa nas últimas décadas (Lakshmeesha et al., 2020). Em locais onde o acesso a sementes de elevada qualidade fisiológica é limitado ou em áreas com grande quantidade de inóculo de fitopatógenos, torna-se primordial realizar o tratamento de sementes, visando a manutenção do potencial produtivo da cultura (Menten; Morais, 2010).

O uso de sementes sadias constitui uma das principais medidas no manejo de doenças, contribuindo para reduzir a disseminação e a introdução de patógenos em novas áreas, além de proteger as sementes contra novas infecções que possam favorecer a ocorrência de damping-off e comprometer a produtividade (Nascimento et al., 2021). Dentre os tipos de tratamento que podem ser utilizados em sementes tem-se o tratamento químico, por meio do uso de produtos químicos, que possuem alta toxicidade (Menten; Morais, 2010). Assim, estudos com nanopartículas para o tratamento de sementes mostram-se importantes por ser considerado viável e ambientalmente seguro (Mattoso et al., 2005). Nanopartículas possuem propriedades físico-químicas com elevado potencial para o controle antimicrobiano, principalmente devido às suas dimensões extremamente pequenas. Devido à sua escala nanométrica, há uma maior relação superfície-volume, reatividade, mobilidade e capacidade de absorção, o que as torna eficazes contra os patógenos (Rajput et al., 2018). Essas nanopartículas produzidas com compostos metálicos, como o de óxido de zinco (ZnO) e com a inserção controladas

de outros íons, podem aumentar significativamente a eficiência no controle de microrganismos fitopatogênicos (Karasenkov et al., 2015).

As nanopartículas de elementos metálicos possuem diversas propriedades que apresentam importância, entre elas, alta tolerância às variações de temperatura e de alterações em sua composição química (Silva et al., 2017) e o seu processo de produção ser considerado de baixo custo, ecologicamente sustentável e seguro, podendo ser aplicadas em produtos naturais (Thakur et al., 2020). Também, as nanopartículas têm grande área superficial o que possibilita uma maior interação com as membranas dos microrganismos (Silva et al., 2017) e os efeitos de fungicida e antimicrobiano dessas nanopartículas impedem que os microrganismos criem resistência (Mahendra et al., 2017). Nanopartículas de óxido de zinco (ZnO-NPs) apresentam grande estabilidade química e térmica, e o seu comportamento será uniforme em diferentes situações (Zhang et al., 2007). As ZnO-NPs destacam-se entre os nanomateriais com propriedades como semicondutores e aplicações versáteis (Kong et al., 2004).

Diante da importância do uso de material propagativo com qualidade sanitária adequada, é fundamental compreender os efeitos do uso de nanopartículas no controle de fitopatógenos em culturas agrícolas. Nesse contexto, objetivou-se com esta revisão de literatura realizar o levantamento bibliográfico sobre nanopartículas de óxido de zinco (ZnO) no controle de fitopatógenos associados às sementes, analisando os efeitos nas diferentes culturas agrícolas.

## Metodologia

Trata-se de uma pesquisa bibliográfica, de abordagem qualitativa, caracterizada como um estudo sistematizado, desenvolvido a partir de publicações sobre o assunto, com o objetivo de sintetizar informações relevantes e recentes acerca da temática proposta.

Foram utilizadas referências bibliográficas publicadas nos últimos anos e os dados foram acessados nas plataformas eletrônicas Google Acadêmico, Wiley Online Library, Science Direct e ACS Publications, assim como em comunicados técnicos, livros e resumos científicos, utilizando os descritores “nanopartículas”, “nanopartículas metálicas”, “controle de doença”, “fitopatógenos”, “nanopartícula produzida com óxido de zinco”, “óxidos metálicos”, “fitotoxicidade”, “tratamento de sementes” e “patógenos associados às sementes”.

A triagem dos resultados foi feita manualmente, considerando a correspondência com o tema e objetivos desta pesquisa. Os dados obtidos foram analisados quanto ao seu conteúdo e apresentados em forma de texto.

## Resultados

Observou-se, por meio desta pesquisa bibliográfica, que a utilização das nanopartículas com óxido de zinco deve ser padronizada, quando produzidas em laboratório.

O uso de nanopartículas para o tratamento de sementes visando o controle de fitopatógenos deve considerar a dose utilizada, visando garantir eficiência no controle e, também, para que seja mantida a qualidade fisiológica das sementes tratadas. Concentrações elevadas podem afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas e doses baixas podem não apresentar o efeito significativo, confirmando que a resposta ao tratamento da nanopartícula está relacionada à concentração aplicada e ao tipo de nanopartícula utilizada (Lima, 2026).

A síntese de nanopartículas de óxido de zinco utilizando partes de plantas mostrou-se uma alternativa viável e ambientalmente adequada.

A partir do estudo, observa-se que o uso de nanopartículas foi eficiente no controle de patógenos associados às sementes.

## Discussão

O aumento do número de publicações relacionadas ao controle de patógenos com nanopartículas nos últimos anos reflete uma tendência em busca de um manejo mais sustentável, visando o uso de práticas mais seguras e menos agressivas ao ambiente. Apesar desse aumento, o controle químico de doenças ainda é o mais utilizado (Aria et al.,2025).

Os patógenos podem causar inúmeros prejuízos nas sementes, inclusive sua morte devido à ação de enzimas e toxinas produzidas pelos patógenos, antes do início da germinação, durante este processo ou após a emergência das plântulas. Além do mais, podem ocorrer efeitos na planta já formada, como podridões radiculares, bloqueio no transporte de água e nutrientes e colonização sistêmica, resultando em desenvolvimento reduzido, porte inadequado e sintomas de deficiência nutricional (Menten, 1991). Assim, o tratamento de sementes tem como objetivo preservar e favorecer a qualidade fisiológica e sanitária das sementes, proporcionando condições adequadas para a germinação, a emergência e o estabelecimento inicial das plântulas, de modo a contribuir para o desenvolvimento uniforme da cultura e para o alcance de seu potencial produtivo em campo.

Diversos estudos mostraram que o uso de nanopartículas de óxido de zinco dopadas ou não com íons metálicos apresentaram efeito significativo no controle de doenças em sementes de plantas.

Sementes de soja tratadas com nanopartículas de óxido de zinco associadas ao potássio (nanopartículas na concentração de 0,21 g diluídos em 10 mL de água destilada) demonstraram potencial no controle de fungos fitopatogênicos durante o armazenamento, com maior eficiência contra *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. (Melazzo, 2025).

Para o tratamento da mancha branca, causada por *Pantoea ananatis*, na cultura do milho, foram utilizadas nanopartículas de óxido de zinco dopadas com manganês e cobre, promovendo a redução da severidade da doença (Mamede et al., 2022). Nesse trabalho, observou-se que as nanopartículas de ZnO:Cu demonstraram melhor efeito na diluição de 10 mg $mL^{-1}$, o que pode ser explicado pela alta solubilidade dos íons Cu em diferentes concentrações, formando espécies reativas de oxigênio (ROS) que degradam as membranas microbianas (Ahamed et al., 2014).

Os autores observaram que as diferentes concentrações de nanopartículas de ZnO dopadas com Ag, Au, Cu, Fe, Mn ou Ni a 100 mg $mL^{-1}$ e 10 mg $mL^{-1}$ inibiram o crescimento bacteriano de *Pantoea ananatis* (Mamede et al., 2022).

Nanopartículas de óxido de zinco utilizando cinamomo (*Melia azedarach*) na sua composição (tamanho de 23,72 a 32,95 nm) foram preparadas pela técnica de combustão em solução e mostraram-se eficientes no controle dos fungos *Cladosporium cladosporioides* e *Fusarium oxysporum* em sementes de soja. Estas nanopartículas foram nomeadas de MaZnO e são recomendadas para o tratamento de sementes de soja (Lakshmeesha et al., 2020). A produção de ZnO-NPs utilizando partes vegetais mostrou-se superior às técnicas sintéticas, devido ao menor impacto ambiental e à sua economia (Kharissova et al., 2013). Diferentes partes de plantas, como folhas, caules, flores e sementes, têm sido utilizadas para sintetizar nanopartículas (Kumar; Yadav, 2009), sendo que as plantas apresentam vantagens por serem livres de substâncias tóxicas, atuarem como agentes estabilizantes naturais e apresentarem um menor custo (Mittal et al., 2013).

O uso de nanopartículas de ZnO:1Ag foi eficiente na inibição do crescimento micelial de *Alternaria alternata* in vitro no tratamento de sementes de trigo e, também, quando aplicadas diretamente nas sementes. Os tratamentos com nanopartículas (ZnO, ZnO: 1Ag, ZnO: 1Cu, ZnOCl, ZnOCl: 0,1Ag, ZnOCl: 1Cu) na concentração de 5 mg $mL^{-1}$ não apresentaram toxidade para as sementes de trigo, não afetando negativamente a qualidade fisiológica das sementes. As nanopartículas demonstraram enorme potencial de uso para o controle de patógenos em sementes (Duarte, 2022).

## Conclusão

A utilização de nanopartículas de óxido de zinco são eficientes no controle de doenças fúngicas e bacterianas em sementes de plantas.

É importante que se amplie a gama de fitopatógenos que são comprovadamente controlados por nanopartículas produzidas com compostos metálicos, além de estudos que envolvam o tipo e a caracterização físico-química da nanopartícula utilizada e a eficiência do controle de fitopatógenos em outras culturas agrícolas principalmente aquelas de grande importância econômica.

O controle de doenças transmitidas por sementes com o uso de nanopartículas de óxido de zinco aparece como uma alternativa estratégica para promover práticas agrícolas mais sustentáveis. Contudo, ainda existem desafios significativos para sua consolidação no campo, entre eles a variabilidade de desempenho em condições ambientais distintas, o uso em diferentes culturas agrícolas, a definição da dose adequada, os custos de produção e a necessidade de maior aceitação pelos agricultores. Apesar das barreiras, o interesse crescente da comunidade científica e o aumento

das publicações nessa área revelam que esse tipo de controle tem grande potencial para aumentar seu uso em condições de campo.

**Referências**

AHAMED, M.; ALHADLAQ, H.A.; KHAN, M.A.M.; KARUPPIAH, P.; AL-DHABI, N.A. Synthesis, characterization, and antimicrobial activity of copper oxide nanoparticles. **Journal of Nanomaterials**, v. 2014, 2014. DOI: https://doi.org/10.1155/2014/637858. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1155/2014/637858. Acesso em: 13 jul. 2026.

ARIA, F.R.; KARIMI, F.; FAKOOR, M.Y.; FAIZI, G.R.; SUN, X. An overview of biological control of plant disease in Afghanistan. **Biological Control**, v. 204, 2025. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2025.105753. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964425000635?via%3Dihub. Acesso em: 24 jul. 2026.

CORRÊA, B.O.; MOURA, A.B.; DENARDIN, N.D.Á.; SOARES, V.N.; SCHÄFER, J.T.; LUDWIG, J. Influência da microbiolização de sementes de feijão sobre a transmissão de Colletrichum Lindemuthianum (Saac e Magn). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0101-31222008000200019. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbs/a/rLY3NrmkGvxYkrzysKd67bp/abstract/?lang=pt. Acesso em: 10 jul. 2026.

DUARTE, L.C. **Nanopartículas e terapia fotodinâmica no tratamento de sementes de trigo**. 2022. 40 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

KARASENKOV, Y.; FROLOV, G.; POGORELSKY, I.; LATUTA, N.; GUSEV, A.; KUZNETSOV, D.; LEONT'EV, V. Colloidal metal oxide nanoparticle systems: the new promising way to prevent antibiotic resistance during treatment of local infectious processes. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 98, 2015. DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/98/1/012038. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/98/1/012038/pdf. Acesso em: 15 jul. 2026.

KHARISSOVA, O.V.; DIAS, H.V.R.; KHARISOV, B.I.; PÉREZ, B.O.; PÉREZ, V.M.J. The greener synthesis of nanoparticles. **Trends in Biotechnology**, v. 31, n. 4, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.01.003. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167779913000152. Acesso em: 24 jul. 2026.

KONG, X.Y.; DING, Y.; YANG, R.; WANG, Z.L. Single-crystal nanorings formed by epitaxial self-coiling of polar nanobelts. **Science**, v. 303, n.5662, 2004. DOI: 10.1126/science.1092356. Disponível em: https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1092356. Acesso em: 8 jul. 2026.

KUMAR, V.; YADAV, S.K. Plant-mediated synthesis of silver and gold nanoparticles and their applications. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 84, n. 2, 2009. DOI: https://doi.org/10.1002/jctb.2023. Disponível em: https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jctb.2023. Acesso em: 8 jul. 2026.

LAKSHMEESHA, T.R.; MURALI, M.; ANSARI, M.A.; UDAYASHANKAR, A.C.; ALZOHAIRY, M.A.; ALMATROUDI, A.; ALOMARY, M.N.; ASIRI, S.M.M.; ASHWINI, B.S.; KALAGATUR, N.K.; NAYAK, C.S.; NIRANJANA, S.R. Biofabrication of zinc oxide nanoparticles from Melia azedarach and its potential in controlling soybean seed-borne phytopathogenic fungi. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, n. 8, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.06.013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X20302527?via%3Dihub. Acesso em: 22 jul. 2026.

LIMA, J.F. **Nanotecnologia aplicada à soja: potencial funcional de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO) e ferro ($Fe_2O_3$) - uma revisão de escopo**. 2026. 76 f. Trabalho de conclusão do curso

(Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, 2026.

MAHENDRA, C.; MURALI, M.; MANASA, G.; PONNAMMA, P.; ABHILASH, M.R.; LAKSHMEESHA, T.R.; SATISH, A.; AMRUTHESH, K.N.; SUDARSHANA, M.S. Antibacterial and antimitotic potential of bio-fabricated zinc oxide nanoparticles of *Cochlospermum religiosum* (L.). **Microbial Pathogenesis**, v. 110, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.07.051. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0882401017306745?via%3Dihub. Acesso em: 01 jul. 2026.

MAMEDE, M.C.; MOTA, R.P.; SILVA, A.C.A.; TEBALDI, N.D. Nanoparticles in inhibiting *Pantoea ananatis* and to control maize white spot. **Ciência Rural**, v. 52, n. 7, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210481. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cr/a/bqm4S6YrG3Bqyh8YBj8SR8B/?lang=en. Acesso em: 10 jul. 2026.

MATTOSO, L.H.C.; MEDEIROS, E.S.; MARTIN NETO, L. A Revolução nanotecnológica e o potencial para o agronegócio. **Revista de Política Agrícola**, n. 4, 2005. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/revista-de-politica-agricola/2000-a-2016/revista-de-politica-agricola-n4-2005.pdf. Acesso em: 3 jul. 2026.

MELAZZO, G.M. **Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja tratadas com nanopartículas de óxido de zinco no armazenamento**. 2025. 30 f. Trabalho de conclusão do curso (Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2025.

MENTEM, J.O.M. **Patógenos em sementes**: detecção, danos e controle químico. Piracicaba: ESALQ/FEALQ, 1991. 321p.

MENTEN, J.O.M.; LIMA, L.C.S.F.; FRARE, V.C.; RABALHO, A.A. Evolução dos produtos fitossanitários para tratamento de sementes no Brasil. *In*: ZAMBOLIM, L., ed. **Sementes: qualidade fitossanitária.** Viçosa: UFV, 2005.

MENTEN, J.O.; MORAES, M.H.D. Tratamento de sementes: Históricos, Tipos, Características e Benefício. **Informativo Abrates**, v. 20, n. 3, 2010.

MITTAL, A.K.; CHISTI, Y.; BANERJEE, U.C. Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. **Biotechnology Advances**, v. 31, 2013. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2013.01.003. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975013000050?via%3Dihub. Acesso em: 6 jul. 2026.

NASCIMENTO, D. M.; RIBEIRO-JUNIOR, M.R.; SANTOS, P.L.; PEREIRA, A.E.; KRONKA, A.Z. Óleos essenciais no tratamento de sementes. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 27, 2021. DOI: 10.31976/0104-038321v270004. Disponível em: https://sbfitopatologia.org.br/files/uploads/papers/file_7G4IPQmqcwG2.pdf. Acesso em: 2 jul. 2026.

RAJPUT, V.D.; MINKINA, T.; SUSKOVA, S.; MANDZHIEVA, S.; TSITSUASHVILI, V.; CHAPLIGIN, V.; FEDORENKO, A. Effects of copper nanoparticles (CuO NPs) on crop plants: a mini review. **BioNanociência**, v. 8, n. 1, 2018. DOI: 10.1007/s12668-017-0466-3. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320990324_Effects_of_Copper_Nanoparticles_CuO_NPs_on_Crop_Plants_a_Mini_Review#full-text. Acesso em: 4 jul. 2026.

SILVA, M.M.P.; AGUIAR, M.I.F.D.; RODRIGUES, A.B.; MIRANDA, M.D.C.; ARAÚJO, M.Â.M.; ROLIM, I.L.T.P. Utilização de nanopartículas no tratamento de feridas: revisão sistemática. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 51, n. 1, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/s1980-220x2016043503272. Disponível em: https://www.scielo.br/j/reeusp/a/P5kDmSYWLXVm9gDRjP8zbFJ/?lang=pt. Acesso em: 10 jul. 2026.

THAKUR, A.; SHARMA, N.; BHATTI, M.; SHARMA, M.; TRUKHANOV, A.V.; TRUKHANOV, S.V.; PANINA, L.V.; ASTAPOVICH, K.A.; THAKUR, P. Synthesis of barium ferrite nanoparticles using rhizome extract of Acorus Calamus: Characterization and its efficacy against different plant phytopathogenic fungi, **Nano-Structures & Nano-Objects**, v. 24, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2020.100599. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352507X20300950?via%3Dihub. Acesso em: 14 jul. 2026.

ZHANG, L.; JIANG, Y.; DING, Y.; POVEY, M.; YORK, D, Investigation into the antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles (ZnO nanofluids). **Journal of Nanoparticle Research**, v. 9, 2007. DOI: https://doi.org/10.1007/s11051-006-9150-1. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11051-006-9150-1. Acesso: 15 jul. 2026.