



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

GABRIELA MARIANO MELAZZO

**QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES DE SOJA TRATADAS
COM NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINCO NO ARMAZENAMENTO**

UBERLÂNDIA-MG

2025

GABRIELA MARIANO MELAZZO

**QUALIDADE FISOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES DE SOJA TRATADAS
COM NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINCO NO ARMAZENAMENTO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Agronomia,
da Universidade Federal de Uberlândia, como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Hugo César R. M. Catão

UBERLÂNDIA-MG

2025

GABRIELA MARIANO MELAZZO

**QUALIDADE FISOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES DE SOJA TRATADAS
COM NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINCO NO ARMAZENAMENTO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Agronomia,
da Universidade Federal de Uberlândia, como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheira Agrônoma.

Uberlândia, 29 de setembro de 2025.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Hugo Cesar Rodrigues Moreira Catão
Orientador

Dr. Adílio de Sá Júnior
Membro da Banca

Ms. Ricardo Ferreira Domingues
Membro da Banca

UBERLÂNDIA-MG
2025

RESUMO

MELAZZO, G.M. **Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja tratadas com nanopartículas de óxido de zinco no armazenamento.** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

As nanopartículas (NPs) apresentam propriedades físico-químicas promissoras para o controle antimicrobiano, sendo essencial que sejam biocompatíveis e específicas para evitar problemas como fitotoxicidade e seleção de microrganismos resistentes. No caso da cultura da soja, o tratamento de sementes com NPs pode oferecer uma abordagem eficiente e ambientalmente responsável para o controle de fungos fitopatogênicos, protegendo-as e preservando sua armazenabilidade. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de nanopartículas de óxido de zinco no controle de patógenos e qualidade fisiológica de sementes de soja armazenadas. O ensaio foi instalado em delineamento inteiramente casualizado com os tratamentos distribuídos em esquema 6 x 3, sendo seis tratamentos de sementes [ZnO:Mo; ZnO:K; ZnO; ZnO:Mg; Fungicida (Tiofanato-Metílico + Fluazinam); Controle (água)] e três períodos de armazenamento (0; 45 e 90 dias), com quatro repetições. As variáveis de qualidade física e fisiológica analisadas foram: teor de água, teste de germinação com adicional de vermiculita, teste de emergência em bandeja com areia, comprimento de plântulas, índice de crescimento, índice de uniformidade e índice de vigor. Também foram realizadas análises quanto a qualidade sanitária por meio do blotter test. As nanopartículas foram eficientes no tratamento de sementes de soja e demonstraram potencial no controle dos fungos fitopatogênicos durante o armazenamento. Os tratamentos com ZnO e ZnO:Mg obtiveram controle semelhante ao fungicida comercial em *Cladosporium* spp.. A nanopartícula de ZnO:K apresentou potencial no tratamento de sementes de soja, contribuindo na manutenção da qualidade fisiológica e no controle de fungos fitopatogênicos durante o armazenamento, com maior eficiência contra *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp.

Palavras-chave: *Glycine max*; nanotecnologia; qualidade de sementes; sanidade de sementes

ABSTRACT

MELAZZO, G. M. **Physiological and sanitary quality of soybean seeds treated with zinc oxide nanoparticles in storage.** 2025. Undergraduate Thesis (Undergraduate in Agronomy) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia.

Nanoparticles (NPs) exhibit promising physicochemical properties for antimicrobial control, and it is essential that they are biocompatible and specific to avoid issues such as phytotoxicity and the selection of resistant microorganisms. In the case of soybean cultivation, seed treatment with NPs may offer an efficient and environmentally responsible approach for the control of phytopathogenic fungi, protecting seeds and preserving their storability. The objective of the present study was to evaluate the efficiency of zinc oxide nanoparticles in controlling pathogens and maintaining the physiological quality of stored soybean seeds. The experiment was conducted in a completely randomized design with treatments arranged in a 6×3 factorial scheme, consisting of six seed treatments [ZnO:Mo; ZnO:K; ZnO; ZnO:Mg; Fungicide (Thiophanate-Methyl + Fluazinam); Control (water)] and three storage periods (0, 45, and 90 days), with four replications. The physical and physiological quality variables analyzed were: moisture content, germination test with vermiculite addition, seedling emergence test in sand trays, seedling length, growth index, uniformity index, and vigor index. Seed health quality was also assessed using the blotter test. Nanoparticles were effective in soybean seed treatment and showed potential in controlling phytopathogenic fungi during storage. Treatments with ZnO and ZnO:Mg achieved control similar to that of the commercial fungicide against *Cladosporium* spp. The ZnO:K nanoparticle demonstrated potential in soybean seed treatment, contributing to the maintenance of physiological quality and the control of phytopathogenic fungi during storage, with greater efficiency against *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp.

Keywords: *Glycine max*; nanotechnology; seed quality; seed health

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso contou com a ajuda de algumas pessoas, dentre as quais agradeço ao Prof. Dr. Hugo Cesar R. M. Catão, meu orientador, pela oportunidade de desenvolver este trabalho, pela confiança, dedicação, paciência, pelas orientações valiosas e por sempre estar disposto a me auxiliar nos momentos em que mais precisei no decorrer da pesquisa. Estendo também meus agradecimentos à mestrande Brenda Santos Pontes, cujo projeto e auxílio foi fundamental para a execução deste trabalho e pela parceria durante esse processo.

Agradeço a todos os integrantes do grupo NEPSem, que contribuíram de maneira significativa nas avaliações e discussões do projeto, em especial Airson Ludovino, Ana Laura Santos, Caroline Motta e Ricardo Domingues, pelo companheirismo e apoio constante.

Agradeço de forma especial à minha família, meu porto seguro, expresso todo o meu amor e gratidão, por todo o suporte e incentivo à minha mãe Mary Luce M. de S. Melazzo, meu maior exemplo de força e carinho, ao meu pai Marcelo S. Melazzo, sempre presente com palavras de incentivo e sabedoria, à minha irmã Marcela M. Melazzo, por estar ao meu lado em todos os momentos e ao meu namorado Paulo Antônio Neto, pelo apoio, compreensão e amor incondicional. Estendo esse agradecimento a todos os meus familiares que sempre estiveram ao meu lado, acreditando e torcendo pela minha vitória.

Aos meus amigos, que estiveram comigo em cada etapa, seja com uma palavra de apoio, um gesto de carinho ou simplesmente pela presença nos momentos difíceis, deixo também meu sincero agradecimento.

Este trabalho é resultado não apenas do meu esforço, mas também do apoio e do carinho de todas essas pessoas que caminharam comigo nessa trajetória.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ag	Prata
Au	Ouro
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>
CH	Comprimento do hipocótilo
cm	Centímetro
CR	Comprimento de raiz
Cu	Cobre
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
E	Emergência
EROs	Espécies reativas de oxigênio
G	Germinação
ICIAG	Instituto de Ciências Agrárias
K	Potássio
LASEM	Laboratório de Sementes
Mg	Magnésio
Mo	Molibdênio
NPs	Nanopartículas
O	Oxigênio
RAS	Regras para Análise de Sementes
TA	Teor de água
Ti	Titânio
TS	Tratamento de semente
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UR	Umidade Relativa
Zn	Zinco
ZnO	Óxido de Zinco
ZnO:K	Óxido de Zinco dopado com Potássio
ZnO:Mg	Óxido de Zinco dopado com Magnésio
ZnO:Mo	Óxido de Zinco dopado com Molibdênio

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Teor de água de sementes de soja tratadas com nanopartículas em diferentes períodos de armazenamento.....15
- Figura 2.** Porcentagem de germinação com vermiculita de sementes de soja tratadas com nanopartículas em diferentes períodos de armazenamento. Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre os tratamentos e minúsculas entre os tempos de armazenamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.....16
- Figura 3.** Porcentagem de emergência de sementes de soja tratadas com nanopartículas (A) e em diferentes períodos de armazenamento (B). Médias seguidas de mesma letra entre os tratamentos não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.....17
- Figura 4.** Comprimentos do hipocótilo (CH) (A) e raiz (CR) (B) de sementes de soja tratadas com nanopartículas em diferentes períodos de armazenamento. Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre os tratamentos e minúsculas entre os tempos de armazenamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância 18
- Figura 5.** Índice de uniformidade (A), de crescimento (B) e de vigor (C) de sementes de soja tratadas com nanopartículas em diferentes períodos de armazenamento. Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre os tratamentos e minúsculas entre os tempos de armazenamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.....20
- Figura 6.** Incidência (%) de *Penicillium* spp. em sementes de soja tratadas com nanopartículas em diferentes períodos de armazenamento. Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre os tratamentos e minúsculas entre os tempos de armazenamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.....21
- Figura 7.** Incidência (%) de *Aspergillus* spp. em sementes de soja tratadas com nanopartículas (A) em diferentes períodos de armazenamento (B). Médias seguidas de mesma letra entre os tratamentos não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.....22

Figura 8. Incidência (%) de *Cladosporium* spp. em sementes de soja tratadas com nanopartículas (A) em diferentes períodos de armazenamento (B). Médias seguidas de mesma letra entre os tratamentos não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.....23

Figura 9. Incidência (%) de *Fusarium* spp. em sementes de soja tratadas com nanopartículas em diferentes períodos de armazenamento. Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre os tratamentos e minúsculas entre os tempos de armazenamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.....24

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	11
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4.	CONCLUSÃO.....	26
	REFERÊNCIAS.....	26

1. INTRODUÇÃO

O sucesso da produção agrícola em grandes *commodities* como a soja (*Glycine max*), uma aleuro-oleaginosa, fonte vital de alimento e matéria-prima para a agroindústria, depende intrinsecamente da qualidade e sanidade das sementes, fatores que determinam a armazenabilidade, o vigor e o potencial de germinação da lavoura. Nesse contexto, a avaliação da qualidade fisiológica por meio de testes de vigor torna-se fundamental, uma vez que permite identificar distinguir pequenas variações nos estágios de deterioração de lotes de sementes com germinação semelhante. Com esses testes, é possível distinguir pequenas variações nos estágios de deterioração (Marcos-Filho, 2015a), sendo recomendados, entre outros, os de emergência e crescimento de plântulas (Vieira, *et al.*, 2003).

Contudo, garantir um alto potencial germinativo e vigor, ao mesmo tempo em que se previne a proliferação de patógenos é um desafio na agricultura moderna. A presença de patógenos em sementes de soja durante o armazenamento é um dos fatores limitantes para a preservação da qualidade fisiológica e sanitária da semente, sendo capaz de comprometer tanto a germinação quanto o estabelecimento inicial das plântulas em campo (Pedroso *et al.*, 2018).

Os fungos associados às sementes podem ser classificados em dois grandes grupos: fungos de campo e de armazenamento. Os fungos de campo, como *Fusarium* sp. e *Cladosporium* sp., encontram condições favoráveis de desenvolvimento no período pré-colheita, quando as sementes apresentam elevado teor de água, podendo ser transportados até as etapas de beneficiamento e armazenamento. Já os fungos de armazenamento, como *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp., colonizam predominantemente após a colheita, em condições de alta umidade e temperaturas elevadas, promovendo deterioração direta das sementes (Amza, 2018; Sobrinho *et al.*, 2020; Nascimento *et al.*, 2022).

Atualmente, o tratamento de sementes com fungicidas químicos é a prática padrão para proteger as plantas desde o início do seu ciclo de vida (Reed *et al.*, 2022). No entanto, essa abordagem traz desvantagens conhecidas, como a possível fitotoxicidade, a seleção de microrganismos resistentes e a redução da viabilidade das sementes ao longo do armazenamento (Seixas *et al.*, 2020). A nanotecnologia em particular manifesta-se como uma solução inovadora em resposta a esses desafios.

As nanopartículas (NPs) possuem propriedades físico-químicas promissoras para o controle antimicrobiano, principalmente devido à sua escala nanométrica. Essa característica lhes confere uma maior relação superfície-volume, reatividade, mobilidade e capacidade de absorção, o que as torna eficazes contra os patógenos (Rajput *et al.*, 2018). Quando produzidas

com compostos metálicos, como o de óxido de zinco (ZnO) e dopadas com outros íons, seu potencial de controle de microrganismos fitopatogênicos pode ser significativamente amplificado (Karasenkov *et al.*, 2015).

As nanopartículas metálicas de óxido de zinco (ZnO) estão sendo consideradas promissoras para o amplo espectro de atividade antimicrobiana (Pathak *et al.*, 2019). Estas são caracterizadas pela alta biodegradabilidade, biocompatibilidade (Javadi *et al.*, 2019) e disponibilidade, aliadas a baixa toxicidade e custo (Anjum *et al.*, 2021). Embora os mecanismos de ação das NPs possam ser desconhecidos, a literatura apresenta algumas hipóteses que ajudam a explicar seu papel de controle desses microrganismos. Wahab *et al.* (2014) observaram que as NPs de ZnO podem provocar um aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) no interior das células fúngicas. Esse estresse oxidativo pode danificar proteínas por meio de desnaturação, danos ao DNA e a membrana celular do patógeno, comprometendo a sua viabilidade podendo levar à sua morte.

Visando maximizar a capacidade de controlar organismos fitopatogênicos, o uso de estratégias como a dopagem com íons metálicos, como prata (Ag), ouro (Au), molibdênio (Mo), potássio (K) e magnésio (Mg), têm sido utilizadas para aprimorar a atividade fungicida das NPs de ZnO. Essa modificação altera a estrutura eletrônica do material, favorecendo maior geração de EROs, aumento da condutividade e maior estabilidade em diferentes condições ambientais (Brintha e Ajitha, 2016; Sharma *et al.*, 2016; Vijayaprasath *et al.*, 2016).

Diante do desafio em encontrar alternativas inovadoras e sustentáveis para o tratamento de sementes de soja, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência das nanopartículas de óxido de zinco e suas respectivas dopagens (ZnO, ZnO:Mg, ZnO:K e ZnO:Mo) no controle de patógenos e qualidade fisiológica de sementes de soja armazenadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos com sementes de soja NEO680IPRO, no Laboratório de Sementes (LASEM), do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG, Brasil. As nanopartículas (NP) de ZnO, ZnO:Mg, ZnO:K e ZnO:Mo foram sintetizadas no Laboratório de Novos Materiais Isolantes e Semicondutores, do Instituto de Física da UFU, de acordo com a metodologia descrita por Silva *et al.* (2018). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, em arranjo fatorial de 6 x 3, sendo seis tratamentos de sementes [quatro nanopartículas (ZnO, ZnO:Mg, ZnO:K e ZnO:Mo); um fungicida (Tiofanato- metílico + Fluazinam); e o controle (água destilada)], em três períodos de armazenamento (0; 45 e 90 dias).

Tratamento das sementes de soja com nanopartículas

O processo de tratamento foi efetuado em máquina Momesso Arktos Laboratório L2K, para simulação do tratamento industrial em bateladas. As sementes foram tratadas com as nanopartículas na concentração de 0,21 g para 11 mil sementes, diluindo em 10 mL de água destilada cada NP. Para o fungicida Tiofanato-metílico + Fluazinam (Certeza[®] N) foi utilizada a dose recomendada pelo fabricante (180 mL p.c./100 Kg de sementes), sendo 1,8 mL adicionado a 10 mL de água destilada. Para a testemunha também foi utilizado 10 mL de água destilada para padronização dos tratamentos. Após esta etapa, todas as sementes foram recobertas com o polímero Azul Labfix (2 mL.kg de semente). Posteriormente, as sementes foram secas em temperatura ambiente por 24 horas e em seguida armazenadas em câmara fria em condições de temperatura regulada previamente para 15 °C e umidade relativa (UR) de 55% ± 5%.

Avaliação da qualidade fisiológica das sementes de soja

Inicialmente foi realizada a caracterização inicial pelos testes teor de água (14%), germinação (89%) segundo as Regras para Análise de Sementes - RAS (Brasil, 2025) e envelhecimento acelerado (81%) (Krzyzanowski *et al.*, 2020). Para a avaliação da qualidade das sementes, durante os períodos (0; 45 e 90 dias) de armazenamento, foram utilizados os seguintes testes:

Teor de água: mensurado por meio do método da estufa (24 horas a 105 °C), sendo os valores expressos em porcentagens (Brasil, 2025).

Germinação com vermiculita: sendo a semeadura realizada sobre a folha de papel de germinação, umedecida com 3,0 vezes seu peso seco, vertendo-se 100 ml de vermiculita, umedecida na proporção de 1 para 1 (mg/ml), sobre as sementes, que em sequência foram cobertas por outra folha de papel, confeccionando quatro repetições (rolos) de 50 sementes (Carvalho *et al.*, 2024). Foram mantidos em incubadora do tipo BOD à 25 °C, com fotoperíodo de 12 h luz/ 12 h escuro. As contagens de plântulas normais foram realizadas ao 8º dia após a semeadura (Brasil, 2025). Os resultados foram expressos em porcentagem.

Comprimento de plântulas: foram utilizadas vinte sementes para cada tratamento, com quatro repetições. As sementes foram distribuídas entre papel de germinação (rolos), umedecidos com água destilada em quantidade equivalente à 2,5 vezes o peso do papel seco. Os rolos de germinação foram acondicionados dentro da BOD, durante três dias à 25 °C. As plântulas tiveram seu comprimento mensurado por meio de imagens avaliadas pelo *software* ImageJ®, obtendo-se o comprimento do hipocótilo e da raiz em centímetros (cm). Os índices de crescimento, vigor e uniformidade, foram calculados a partir dessas medidas pelo pacote SeedCalc disponibilizado pelo *Software* R (Silva *et al.*, 2019), a partir das seguintes fórmulas:

$$\text{Índice de Crescimento} = (\bar{X}_h * w_h) + (\bar{X}_r * w_r)$$

Onde: $\bar{X}_h$: comprimento médio de hipocótilo; $\bar{X}_r$: comprimento médio de radícula; w_h e w_r : pesos ajustáveis para hipocótilo e radícula, com valores de referência de 10 e 90, respectivamente (Sako *et al.*, 2001).

$$\text{Índice de Uniformidade} = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X|}{n \times X} \right] \times 100 - \left[n_{mortas} \times \left(\frac{50}{n_{total}} \right) \right]$$

Onde: X_i : comprimento das plântulas analisadas; X : média dos comprimentos das plântulas; n : variável do número total de plântulas; n_{mortas} : número de sementes não germinadas; n_{total} : número de sementes não germinadas (Christiansen (1942), adaptado por Castan *et al.* (2018)).

$$\text{Índice de Vigor} = (\text{Índice de crescimento} * w_g) + (\text{Índice de Uniformidade} * w_u)$$

Onde: w_g : peso ajustável para o índice de crescimento; w_u : peso ajustável para o índice de uniformidade, com valores de referência de 70 e 30, respectivamente (Sako *et al.*, 2001).

Emergência: para a semeadura foram utilizadas 4 repetições de 50 sementes acondicionadas em bandejas plásticas contendo substrato areia mantidas em casa de vegetação à temperatura ambiente. O substrato foi irrigado à aproximadamente 60% da capacidade de campo e posteriormente conforme necessidade de maneira uniforme. A contagem de emergência de plântulas normais foi realizada no 8º após a semeadura, sendo os resultados expressos em porcentagem (Krzyzanowski *et al.*, 2020).

Avaliação da qualidade sanitária das sementes de soja

A qualidade sanitária inicial das sementes de soja (pré-tratamento de sementes) e a incidência dos fungos (pós-tratamento de sementes) foram avaliadas pelo blotter test (Brasil, 2009). As sementes foram colocadas sobre duas folhas de papel mata-borrão esterilizado, umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do substrato, em caixas tipo gerbox (12 cm x 12 cm x 5cm). Foram utilizadas 200 sementes, sendo oito repetições de 25. As caixas foram incubadas em incubadora do tipo BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) à temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 horas, com fotoperíodo de 12 h luz / 12 h escuro. Posteriormente, foram transferidas para o freezer à $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas e em seguida incubadas novamente à $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 7 dias. A identificação dos fungos presentes nas sementes foi realizada com o auxílio de um microscópio estereoscópico e microscópio óptico, quantificando-se a incidência dos fungos em porcentagem.

Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e ao teste de homogeneidade (OneillMathews). Para dados que atenderam pelo menos a homogeneidade foi feita a análise de variância e o agrupamento das médias pelo teste de Scott- Knott a 5% de probabilidade. Para todas as análises, foi utilizado o *software* estatístico R 4.1.1. (R Core Team, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No teor de água das sementes tratadas com nanopartículas houve poucas alterações ao longo dos períodos de armazenamento. A diferença observada entre os tratamentos foi inferior à 2% (Figura 1), que segundo Marcos-Filho (2015a), essa variação no grau de umidade das amostras não comprometem os resultados obtidos, garantindo a confiabilidade das avaliações

do potencial fisiológico das sementes.

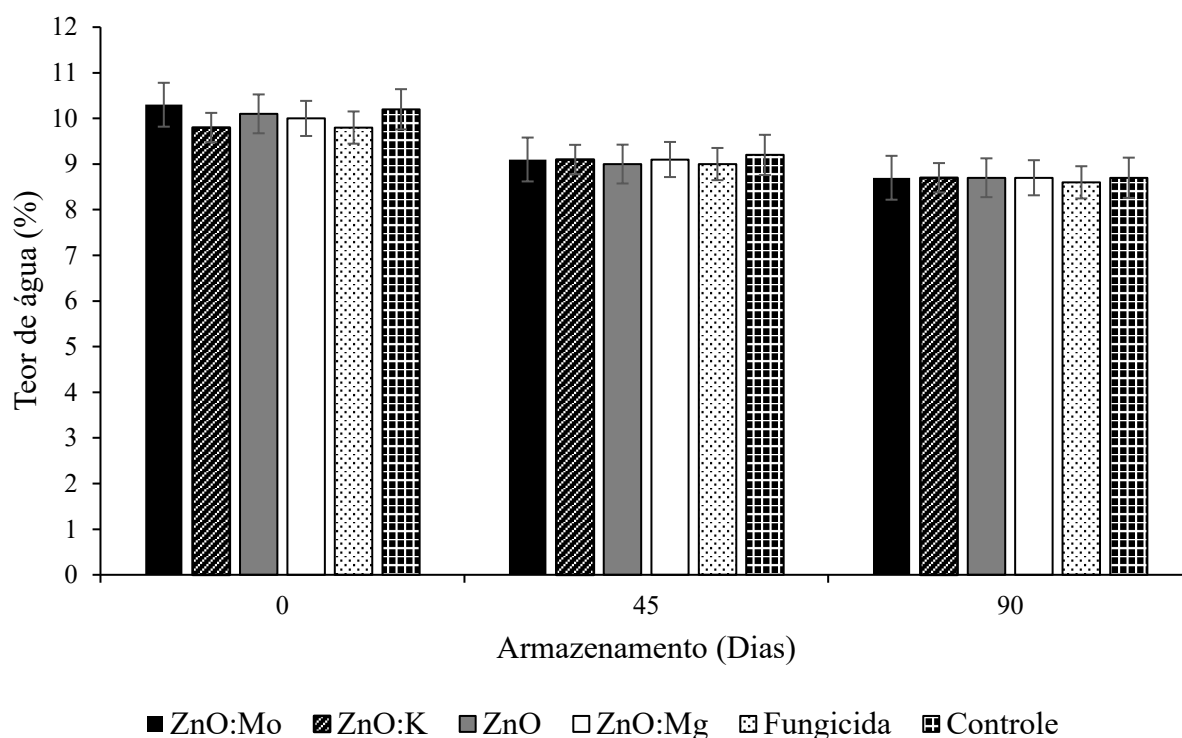


Figura 1. Teor de água (%) de sementes de soja tratadas com nanopartículas em diferentes períodos de armazenamento.

No teste de germinação com vermiculita, observou-se no período zero, sementes tratadas com ZnO:K e o fungicida apresentaram resultados semelhantes e superiores aos demais. Aos 90 dias, o tratamento com ZnO:Mo e ZnO:K obtiveram resultados inferiores aos demais tratamentos (Figura 2). Aos 45 dias, o tratamento ZnO:Mg obteve melhor resultado quando comparado ao 0 e 90 dias. A germinação é um dos testes mais utilizados para avaliar a viabilidade de uma semente, identificando o potencial máximo expressado em condições ideais para cada cultura (Panda e Mondal, 2020). Esse processo começa com a embebição das sementes, que promove a reidratação dos tecidos e a intensificação da respiração, reativando uma sequência ordenada de processos metabólicos. Eventos estes que culminam no crescimento do eixo embrionário e no rompimento do tegumento pela radícula (Araújo *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2018).

Os testes de germinação conduzidos em laboratório utilizam metodologias em que há o contato direto da semente com a água, geralmente em substrato de papel. Nesse cenário, o tratamento das sementes se dissipa no substrato, formando halos com grande concentração de princípio ativo do produto, que permanecem em contato direto com a semente durante todo o período do teste, impedindo que ela expresse seu real potencial germinativo. Dessa forma, o uso da vermiculita entre papel é uma

alternativa amenizadora ao contato direto da semente com o excesso de ingrediente ativo no substrato (Rocha *et al.*, 2020; Carvalho *et al.*, 2024), logo, ao analisar o comportamento das sementes utilizando o substrato vermiculita, acredita-se que essa semelhança entre os tratamentos se deve ao controle de menor efeito fitotóxico realizado pela vermiculita.

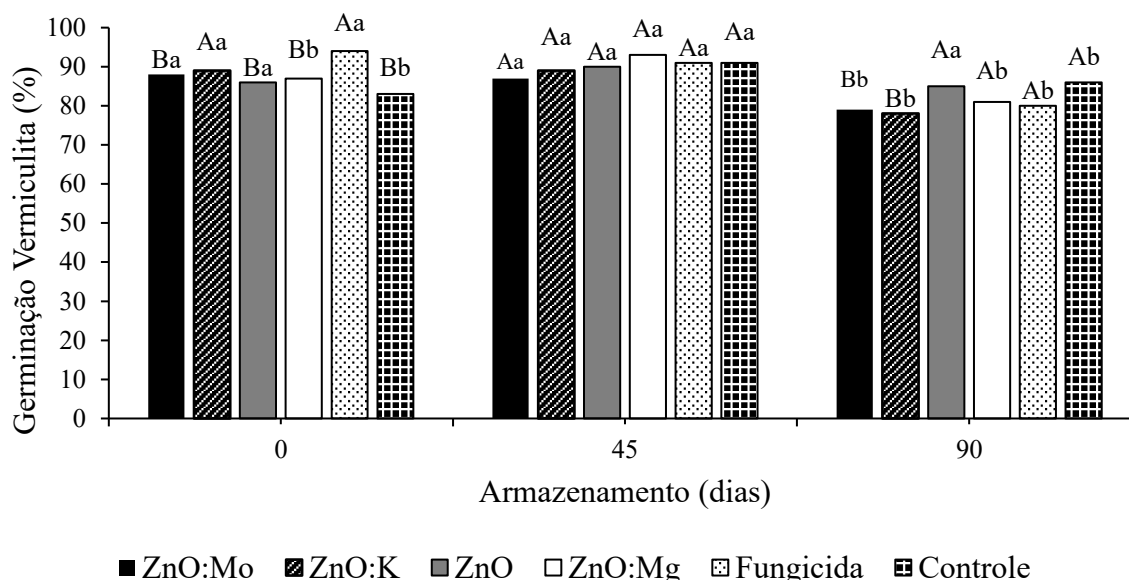


Figura 2. Porcentagem de germinação (%) com vermiculita de sementes de soja tratadas com nanopartículas em diferentes períodos de armazenamento. Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre os tratamentos e minúsculas entre os tempos de armazenamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.

No teste de emergência não houve interação entre os tratamentos das sementes e os tempos de armazenamento (Figura 3). Avaliando os fatores tratamentos verificou-se que estes não diferiram entre si (Figura 3A). Esse resultado sugere que o uso de nanopartículas de ZnO:Mo, ZnO:K, ZnO e ZnO:Mg não interferem negativamente no desenvolvimento inicial das plântulas, o que pode estar relacionado ao efeito do substrato, que auxilia na diluição de possíveis efeitos fitotóxicos do contato direto das partículas com as sementes. Segundo Zamora-Ledezma *et al.* (2025), a resposta das plantas às nanopartículas é influenciada não apenas pelas suas características físico-químicas, mas também pelo meio em que são aplicadas, reforçando que o substrato pode ter atuado como atenuador do efeito fitotóxico, neste estudo.

Por outro lado, ao avaliar os períodos de armazenamento (Figura 3B), observou-se maior emergência aos 45 dias, com menor aos 0 e 90 dias. Esse comportamento indica que, embora as sementes mantenham alta capacidade germinativa, pode haver alteração fisiológica ao longo do armazenamento, refletindo-se em variações no vigor das plântulas (Marcos-Filho, 2015b).

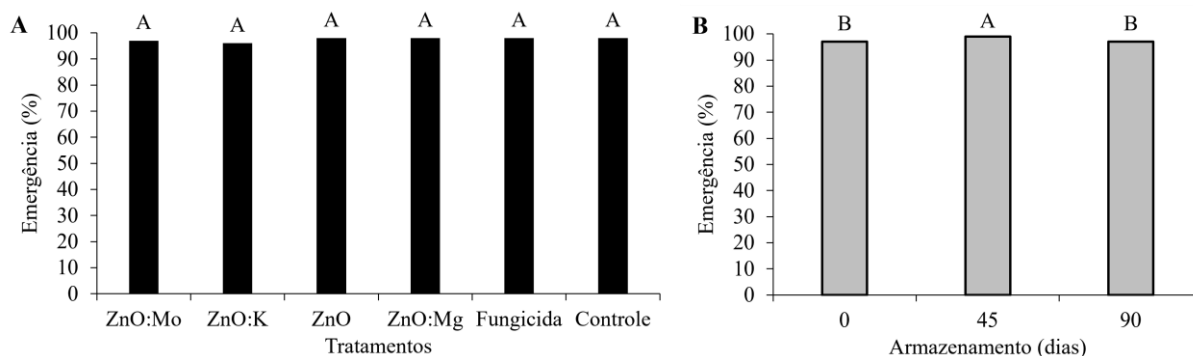


Figura 3. Porcentagem de emergência (%) de sementes de soja tratadas com nanopartículas (A) e em diferentes períodos de armazenamento (B). Médias seguidas de mesma letra entre os tratamentos não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.

O teste de comprimento de plântulas é considerado um dos parâmetros mais sensíveis para avaliar o vigor, pois reflete diretamente a eficiência da semente em mobilizar e converter suas reservas para o crescimento inicial da plântula (Vanzolini e Carvalho, 2002; Bewley; Black, 1994). De acordo com Marcos-Filho (2015b) trata-se de uma ferramenta eficaz para avaliar o potencial fisiológico das sementes. Sementes mais vigorosas apresentam maior eficiência nos mecanismos de reparo de membranas, na retomada da síntese de DNA e na mobilização das reservas para o eixo embrionário, características que favorecem a formação de plântulas com maior taxa de crescimento (Matthews *et al.*, 2010).

Ao analisar separadamente os componentes do eixo, observa-se comportamento distinto entre hipocótilo e radícula (Figura 4). No comprimento do hipocótilo (Figura 4A), observou-se não haver diferenças nos tempos zero e 45 dias de armazenamento. Sobretudo aos 90 dias, nota-se que houve melhor resultado no tratamento com as nanopartículas de ZnO:Mo e ZnO.

Do ponto de vista fisiológico, os efeitos observados são coerentes com o papel do zinco no crescimento: o Zn participa da síntese de triptofano que é um aminoácido essencial que auxilia na síntese de DNA e é precursor da formação de AIA (auxina), influenciando o alongamento celular, além de atuar no metabolismo de aminoácidos, na síntese de ácidos nucleicos e na manutenção da integridade de membrana (Alloway, 2008).

Em concentrações elevadas o Zn pode induzir fitotoxicidade por aumento das espécies reativas de oxigênio (EROs) e comprometimento de membranas, reduzindo o crescimento (Cabrera *et al.*, 2009; Faleiros *et al.*, 2019).

No comprimento de raiz (Figura 4B), o padrão foi diferente: no tempo zero os maiores comprimentos radiculares foram observados nos tratamentos: ZnO e fungicida. Com 45 dias o tratamento: ZnO:Mg apresentou o desempenho superior. No período de 90 dias destacaram os tratamentos: ZnO:Mo e ZnO:Mg. Ao analisar o comprimento de raiz nos tempos, verificou-se que a nanopartícula ZnO não diferiu, independentemente do tempo de armazenamento.

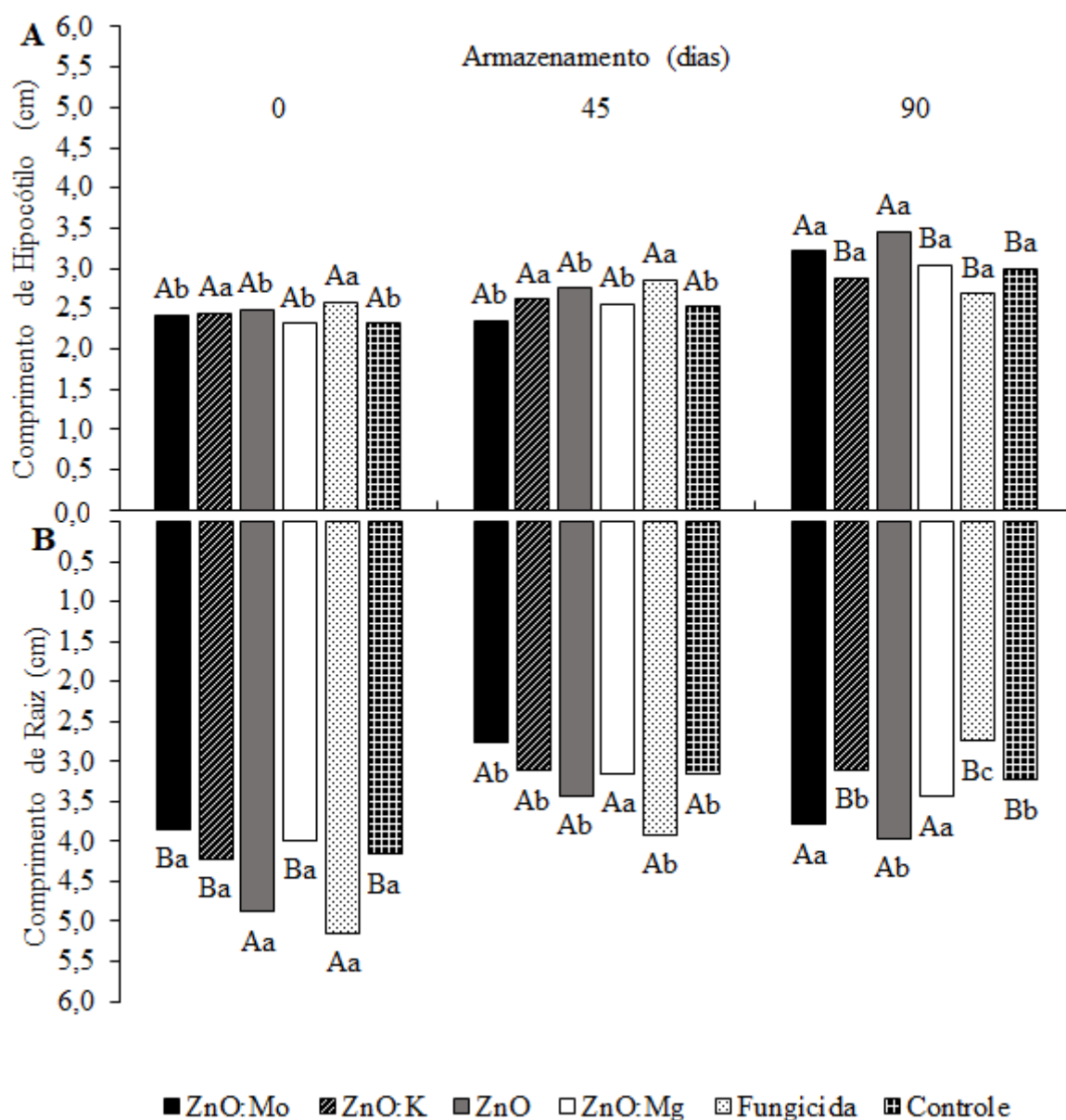
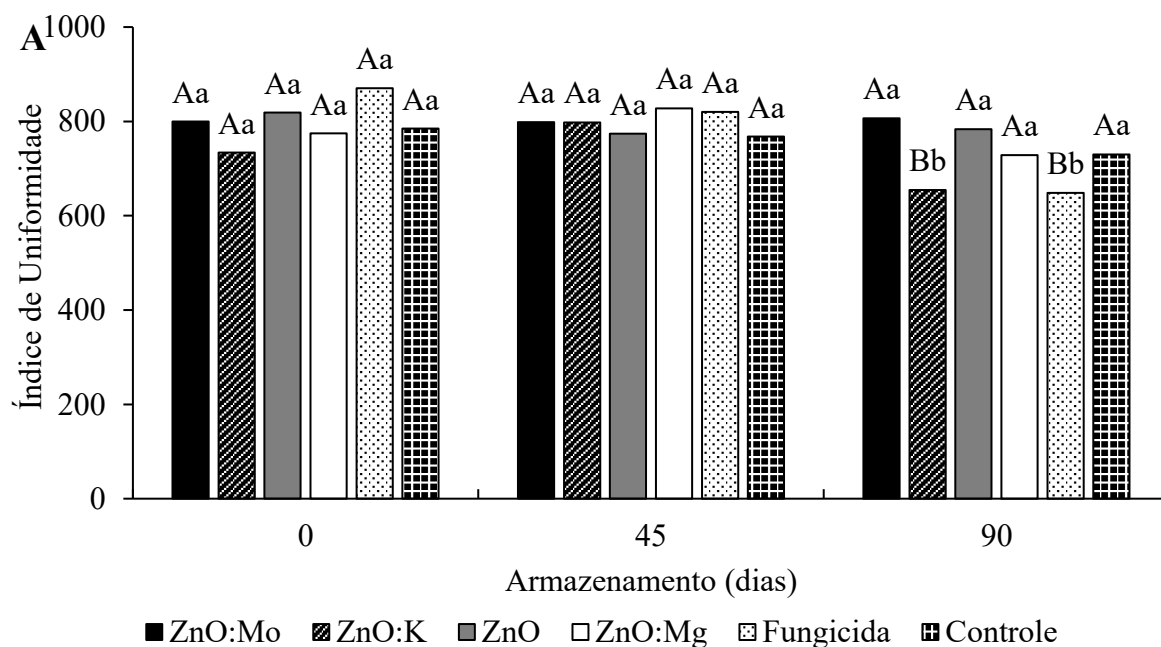


Figura 4. Comprimentos do hipocótilo (cm) (CH) (A) e raiz (cm) (CR) (B) de sementes de soja tratadas com nanopartículas em diferentes períodos de armazenamento. Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre os tratamentos e minúsculas entre os tempos de armazenamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.

Analisando o índice de uniformidade (Figura 5A) manteve-se elevado em todos os tratamentos, com reduções observadas apenas aos 90 dias, nos tratamentos ZnO:K e fungicida. Esse resultado indica que, de maneira geral, a uniformidade das plântulas foi preservada durante o armazenamento, corroborando com Krzyzanowski *et al.* (2020), que destacaram a uniformidade como característica menos sensível a variações ambientais quando comparada a outros parâmetros fisiológicos.

Nos índices de crescimento e de vigor (Figura 5B e 5C), verifica-se maior sensibilidade às condições de armazenamento. No período zero, os tratamentos com ZnO e fungicida foram os que apresentaram plântulas mais vigorosas e com maior crescimento, sugerindo efeito positivo na mobilização de reservas e no estabelecimento inicial das plântulas (Marcos-Filho, 2015b). Aos 45 dias, não houve diferença estatística entre os tratamentos. Aos 90 dias, houve maior índice de vigor nos tratamentos com ZnO:Mo e ZnO. Ao analisar o índice de crescimento nos tempos, verificou-se que ZnO:Mo, ZnO:K, ZnO, ZnO:Mg e fungicida não diferiram entre si nos primeiros 45 dias. No tempo 90 dias de armazenamento os tratamentos ZnO:K e fungicida apresentaram os piores resultados.



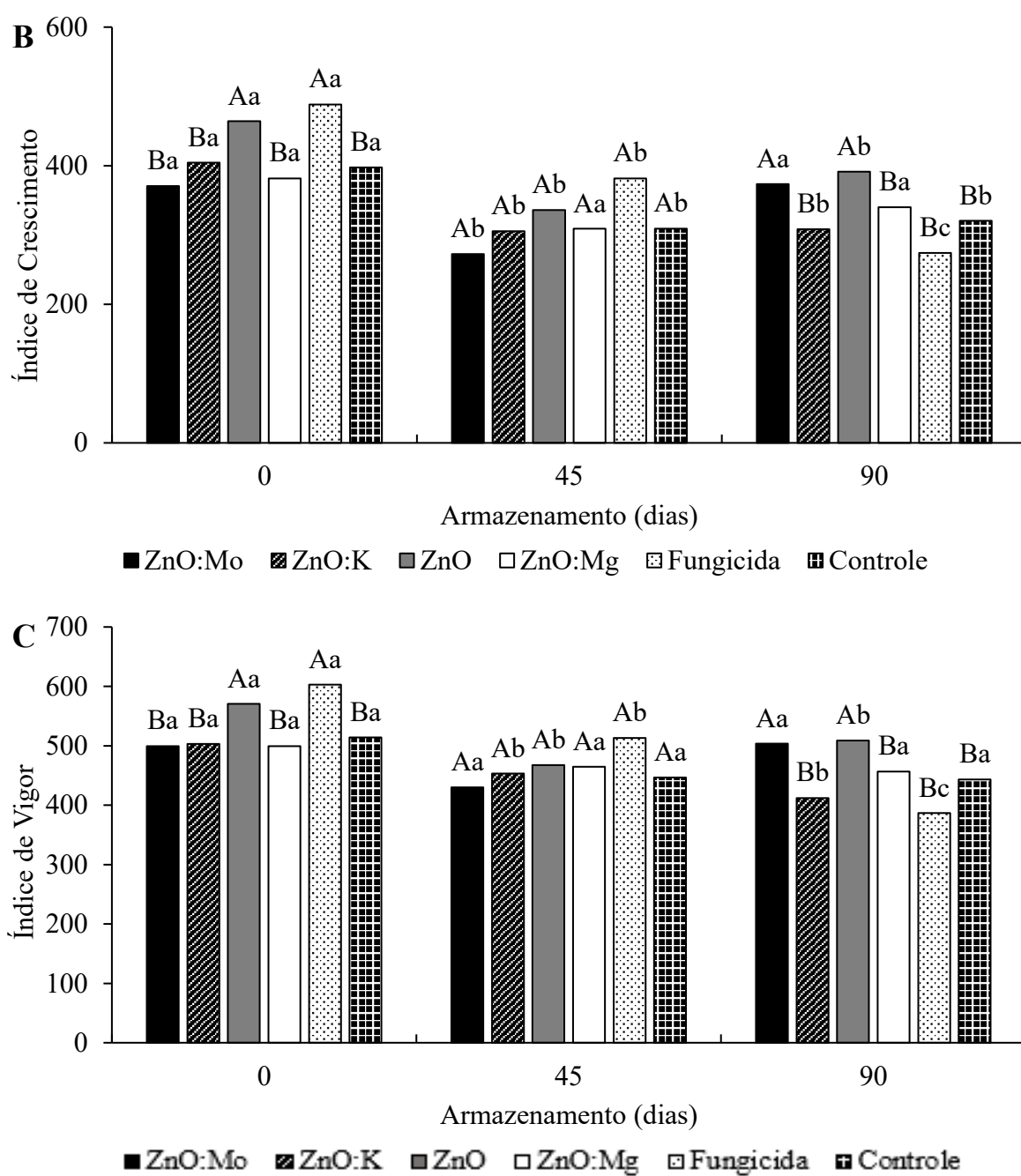


Figura 5. Índice de uniformidade (A), de crescimento (B) e de vigor (C) de sementes de soja tratadas com nanopartículas em diferentes períodos de armazenamento. Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre os tratamentos e minúsculas entre os tempos de armazenamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.

Não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos para a incidência de *Penicillium* spp. nas sementes de soja, aos primeiros 45 dias. Aos 90 dias, os tratamentos com nanopartículas de ZnO:Mo, ZnO e ZnO:Mg obtiveram menor eficácia no controle do fungo (Figura 6).

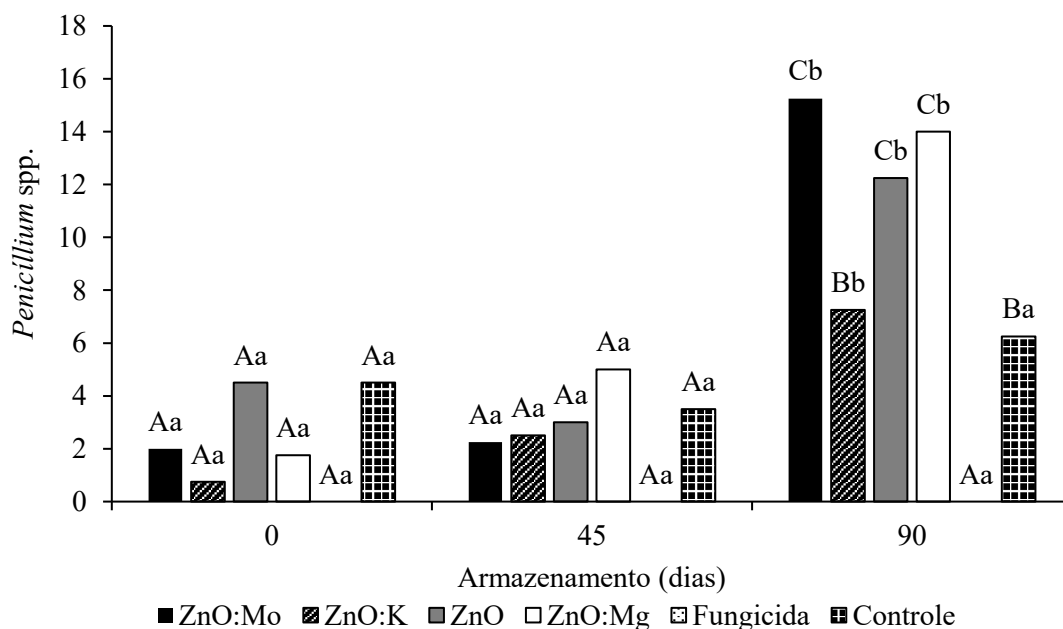


Figura 6. Incidência (%) de *Penicillium* spp., em sementes de soja tratadas com nanopartículas em diferentes períodos de armazenamento. Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre os tratamentos e minúsculas entre os tempos de armazenamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.

Esse comportamento pode ser explicado pela natureza do fungo. Segundo Machado (2000) e Christensen & Kaufmann (1974), fungos de armazenamento, como *Penicillium* e *Aspergillus*, encontram condições favoráveis de desenvolvimento em ambientes com maior umidade e em períodos prolongados de armazenamento, colonizando principalmente sementes com danos mecânicos ou fisiológicos. Assim, o aumento significativo da incidência após 90 dias está de acordo com a literatura, reforçando que a longevidade das sementes está diretamente relacionada ao controle de patógenos durante o armazenamento.

Os tratamentos ao longo do tempo mostram que ZnO:Mo, ZnO e ZnO:Mg perderam eficácia após 90 dias, permitindo maior incidência de *Penicillium* spp. A nanopartícula de ZnO:K e o fungicida mantiveram-se mais estáveis ao longo do armazenamento, indicando melhor efeito residual. O controle, embora tenha apresentado valores relativamente baixos, também mostrou aumento significativo da incidência aos 90 dias.

Na incidência de *Aspergillus* spp. analisando os fatores de forma independente, verifica-se que os tratamentos com ZnO:K e fungicida apresentaram maior eficiência no

controle do fungo, enquanto o tratamento com ZnO:Mo resultou em maior incidência de *Aspergillus* spp. (Figura 7A).

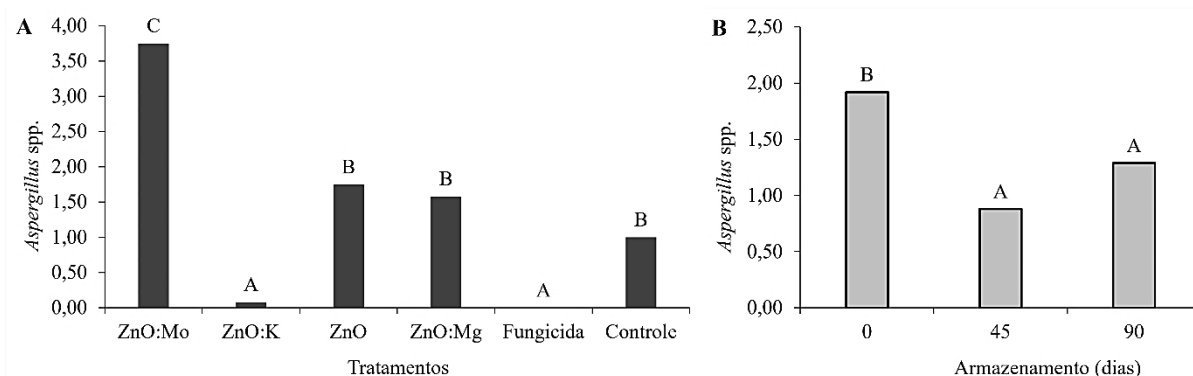


Figura 7. Incidência (%) *Aspergillus* spp. em sementes de soja tratadas com nanopartículas (A) e em diferentes períodos de armazenamento (B). Médias seguidas de mesma letra entre os tratamentos não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.

A eficácia antifúngica das nanopartículas de ZnO já foi amplamente relatada segundo Raghupathi *et al.* (2011) e Salah *et al.* (2021), essas nanopartículas atuam por diferentes mecanismos, incluindo a geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), a desestabilização da membrana celular e a liberação de íons metálicos, levando à morte celular fúngica. No entanto, a dopagem do ZnO pode alterar propriedades como solubilidade, tamanho de partícula e atividade catalítica, o que explica a variação nos resultados observados entre diferentes tratamentos.

Em relação ao armazenamento, verificou-se redução da incidência de *Aspergillus* spp. aos 45 e 90 dias em comparação ao tempo inicial (Figura 7B). Essa tendência pode estar associada à diminuição da viabilidade dos propágulos do fungo ao longo do tempo, principalmente em condições menos favoráveis de temperatura e umidade. De acordo com Christensen & Kaufmann (1974) e Machado (2000), fungos de armazenamento como *Aspergillus* possuem maior capacidade de colonizar sementes em condições de alta umidade e temperatura, mas sua sobrevivência tende a decrescer quando essas condições não são atingidas durante a armazenagem.

Na incidência de *Cladosporium* spp. analisando os fatores de forma isolada, observa-se que os tratamentos com ZnO:Mo e ZnO:K apresentaram as maiores incidências do fungo (Figura 8A). Os tratamentos com ZnO, ZnO:Mg, fungicida e controle mantiveram baixa incidência.

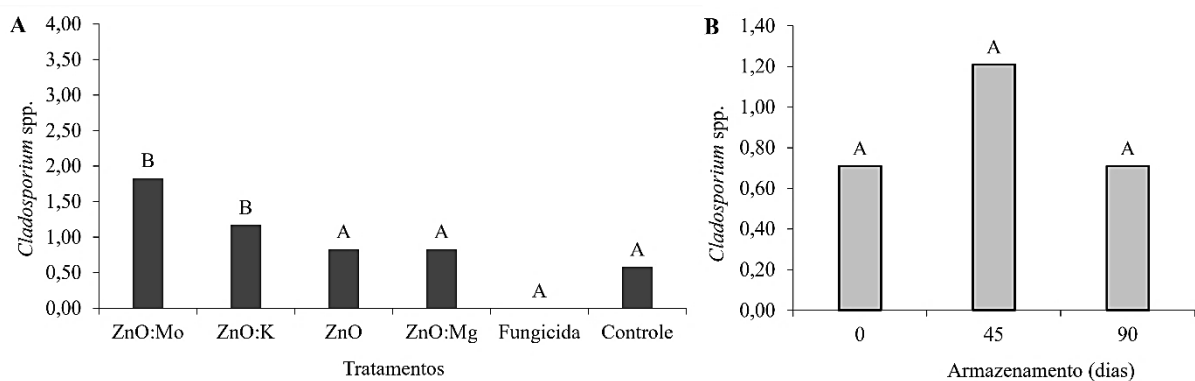


Figura 8. Incidência (%) *Cladosporium* spp. em sementes de soja tratadas com nanopartículas (A) e em diferentes períodos de armazenamento (B). Médias seguidas de mesma letra entre os tratamentos não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.

Em relação aos períodos de armazenamento, não foram observadas diferenças estatísticas (Figura 8B), indicando que a presença de *Cladosporium* spp. não foi influenciada pelo tempo de armazenamento. Esse comportamento está associado às características biológicas do fungo, uma vez que espécies de *Cladosporium* spp. são tipicamente classificadas como fungos de campo (Christensen & Kaufmann, 1974; Machado, 2000). Dessa forma, sua incidência tende a refletir principalmente as condições da lavoura e do beneficiamento das sementes, apresentando menor relação com o ambiente de armazenamento.

Segundo Lucca-Filho (1998) e Henning *et al.* (2016), fungos de campo como *Cladosporium* spp. e *Fusarium* spp. são frequentemente associados à deterioração da qualidade fisiológica e sanitária das sementes, mas a sua sobrevivência em armazenamento é limitada quando comparada a fungos de armazenamento, como *Aspergillus* e *Penicillium*. Assim, a ausência de variação significativa ao longo do tempo reforça que a presença desse patógeno está relacionada sobretudo às condições iniciais de produção e não ao período de armazenamento.

Na incidência de *Fusarium* spp. observou-se que no período 0 dias os tratamentos com ZnO:Mo, ZnO e ZnO:Mg e Controle apresentaram os piores desempenhos em reduzir a colonização do fungo, sendo o melhor tratamento o fungicida (Figura 9). Já aos 45 dias de armazenamento, a nanopartícula de ZnO:Mg reduziu a incidência de *Fusarium* spp. se igualando ao fungicida. Aos 90 dias de armazenamento, não houve diferença estatística entre os tratamentos, sugerindo que o tempo de armazenamento também possa ter reduzido a pressão de infecção de *Fusarium* spp. bem como a ação dos tratamentos das sementes.

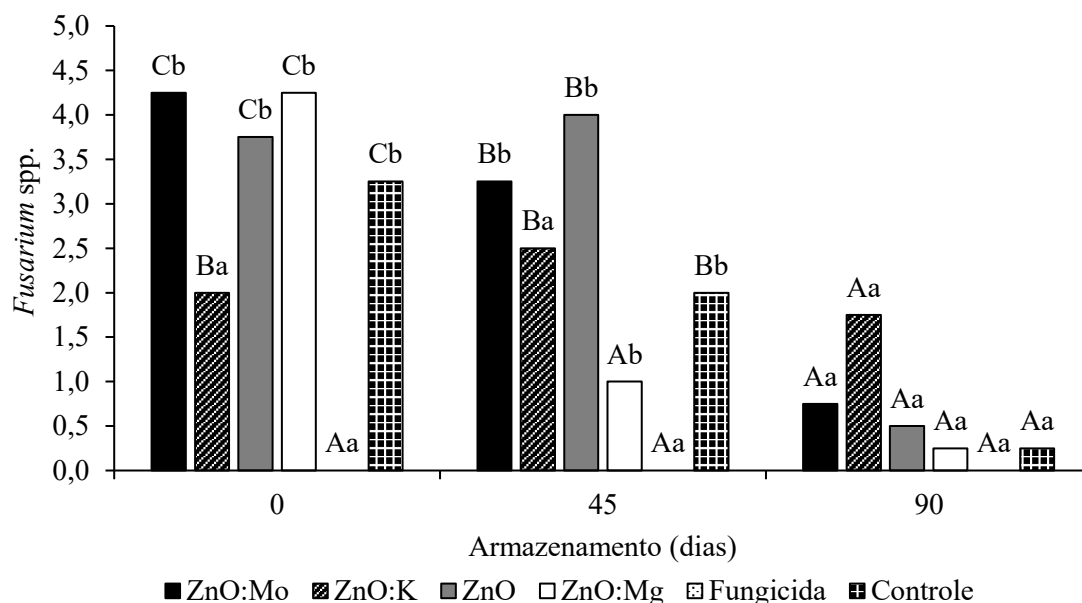


Figura 9. Incidência (%) *Fusarium* spp., em sementes de soja tratadas com nanopartículas em diferentes períodos de armazenamento. Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre os tratamentos e minúsculas entre os tempos de armazenamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância.

A menor incidência de fungos foi consistentemente observada com o uso de fungicida (Tiofanato-metílico + Fluazinam), que se destacou em todos os períodos de avaliação. Esse resultado pode ser explicado pela ação combinada de seus princípios ativos. O Tiofanato-metílico é sistêmico e age na síntese de DNA, apresentando ação preventiva e curativa (Nene & Thapliyal, 1993). Já o Fluazinam atua como fungicida protetor e inibidor da fosforilação oxidativa, interferindo diretamente na respiração celular dos fungos (Meyer *et al.*, 2018). A complementaridade desses mecanismos explica a maior eficiência desse tratamento em comparação às nanopartículas.

Embora o desempenho das nanopartículas tenha sido inferior ao do fungicida, diversos estudos destacam seu potencial no controle de patógenos. Segundo Sirelkhatim *et al.* (2015), a atividade antifúngica das NPs de ZnO pode ocorrer por múltiplas vias, incluindo a interação com a parede celular, alteração da permeabilidade da membrana e inibição de enzimas essenciais. Fernando, Gunasekara & Holton (2018) sugeriram que propriedades físico-químicas, como a dosagem, a carga superficial e a morfologia das nanopartículas, podem influenciar diretamente sua eficiência contra diferentes gêneros de fungos.

Além disso, Miri *et al.* (2019) e Gabrielyan *et al.* (2019) relataram que a liberação de íons Zn^{2+} e a geração de espécies reativas de oxigênio (EROs) são mecanismos centrais de toxicidade celular, promovendo estresse oxidativo, danos ao DNA e ruptura da membrana. Quando em

concentrações elevadas, esse efeito pode comprometer a sobrevivência fúngica, embora a resposta seja variável de acordo com a espécie do patógeno e as condições do meio.

Assim, os resultados obtidos sugerem que, apesar de apresentarem efeito inicial limitado contra *Fusarium* spp., as nanopartículas de ZnO ainda possuem potencial de aplicação, mas sua eficácia depende de ajustes relacionados à formulação e ao tipo de dopagem utilizada. Em contrapartida, o tratamento químico convencional demonstrou maior estabilidade e eficiência no controle dos fungos ao longo do armazenamento.

4. CONCLUSÃO

As nanopartículas de ZnO:K apresentam potencial no tratamento de sementes de soja, contribuindo na manutenção da qualidade fisiológica e no controle de fungos fitopatogênicos durante o armazenamento, com maior eficiência contra *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp.

REFERÊNCIAS

- ALLOWAY, B. J. **Zinc in soils and crop nutrition**. 2. ed. Brussels: International Zinc Association; Paris: International Fertilizer Industry Association, 2008.
- AMZA, J. Seed borne fungi; food spoilage, negative impact and their management: A review. **Food Science and Quality Management**, [s.l.], v. 81, p. 70–79, 2018. <https://core.ac.uk/download/pdf/234684834.pdf>
- ANJUM, S.; HASHIM, M.; MALIK, S. A.; KHAN, M.; LORENZO, J. M.; ABBASI, B. H.; HANO, C. Recent Advances in Zinc Oxide Nanoparticles (ZnO NPs) for Cancer Diagnosis, Target Drug Delivery, and Treatment. **Cancers**, [s.l.], v. 13, n. 18, p. 4570, 12 set. 2021.
- ARAÚJO, M. L.; MAGALHÃES, A. C. M.; ABREU, M. G. P.; MACIEL, J. A.; FILHO, A. L. M. Efeito de diferentes potenciais osmóticos sobre a germinação e o desenvolvimento de plântulas de feijão enxofre. **Ensaio**, v. 22, n. 3, p. 201-204, 2018.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum Press, 1994.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Manual de análise sanitária de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/lfd/legislacao-metodos-da-rede-lfd/sementes-mudas/manual-de-sementes-site.pdf>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação-Geral de Laboratórios Agropecuários – CGAL. Brasília: MAPA, 2025. https://wikisda.agricultura.gov.br/pt-br/Laborat%C3%B3rios/Metodologia/Sementes/RAS_2024

BRINTHA, S.; AJITHA, M. Synthesis, Structural and Antibacterial Activity of Aluminium and Nickel Doped ZnO Nanoparticles by Sol-gel Method. **Asian Journal of Chemical Sciences**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1–9, 10 jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.9734/AJOCS/2016/29704>

CABRERA, R. I.; NEILSEN, D.; PETERSON, J. C. **Phytotoxicity of micronutrients in plants**. Journal of Plant Nutrition, New York, v. 32, n. 10, p. 1653-1675, 2009.

CARVALHO, E. R.; REIS, V. U. V.; CARVALHO, M. L. M.; ROCHA, D. K.; CAETANO, C. C.; FERNANDES, N. Validation of the methodology of the germination test using a rolled paper plus vermiculite for treated soybean seeds. **Journal of Seed Science**, v. 46, p. e202446020, 2024. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v46282001>

CASTAN, D.O.C.; GOMES-JUNIOR, F.G.; MARCOS-FILHO, J. Vigor-S, a new system for evaluating the physiological potential of maize seeds. **Scientia Agricola**, v.75, n.2, p.167-172, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0401>.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by Sprinkling**. University of California, Berkeley, CA, USA. (California Agriculture Experiment Station Bulletin, 670). 1942.

CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: Christensen, C. M. (ed.) **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul: AACC., 1974. p.158-192.

FALEIROS, F. P.; OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, R. M.; PEREIRA, C. E. – **Toxicidade de metais pesados em sementes e plântulas: implicações fisiológicas e bioquímicas**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 14, n. 2, p. 1-8, 2019.

FERNANDO, S.S.N.; GUNASEKARA, T.D.C.P.; HOLTON, J. Antimicrobial Nanoparticles: applications and mechanisms of action. Sri Lankan Journal Of Infectious Diseases, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 2, 6 maio 2018. <http://dx.doi.org/10.4038/sljid.v8i1.8167>

GABRIELIAN, L.; HAKOBYAN, L.; HOVHANNISYAN, A.; TRCHOUNIAN, A. Effects of iron oxide (Fe₃O₄) nanoparticles on Escherichia coli antibiotic-resistant strains. **Journal of applied microbiology**, [s.l.], v. 126, n. 4, p. 1108-1116, 2019. <https://doi.org/10.1111/jam.14214>

HENNING, F., PÁDUA, G. D., LORINI, I. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2016.

JAVADI, E., GHAFARI, M., BAHLAKEH, G., & TAHERI, P. Photocatalytic, corrosion protection and adhesion properties of acrylic nanocomposite coating containing silane treated nano zinc oxide: A combined experimental and simulation study. **Progress in Organic Coatings**, [s.l.], v. 135, p. 496–509, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.06.039>

KARASENKOV, Y.; FROLOV, G.; POGORELSKY, I.; LATUTA, N.; GUSEV, A.; KUZNETSOV, D.; LEONTEV, 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**, [s. l.], v. 98, p. 012038, nov. 2015. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/98/1/012038>.

KRYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, Julio. **Vigor de Sementes: Conceitos e Testes**. Londrina: Abrates, 2020.

LUCCA FILHO, O. A. **Qualidade fisiológica e sanitária de sementes fiscalizadas de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.), produzidas no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (Tese de Doutorado em Fitotecnia). Porto Alegre, 1998.

MACHADO, J.C. **Tratamento de sementes no controle de doenças**. Lavras: LAPS/UFLA/FAEPE, 2000. 138p.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. ABRATES, Londrina, ed.2, 2015a.

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: a overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, n.4, p. 363 – 374, 2015b. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007>

MATTHEWS, S.; EL-KHADEM, R.; CASARINI, E.; KHAJEH-HOSSEINI, M.; NASEHZADEH, M.; WAGNER, M.H. Rate of physiological germination compared with the cold test and accelerated ageing as a repeatable vigour test for maize. **Seed Science and Technology**, v.38, n.2, p.379-389, 2010. <https://doi.org/10.15258/sst.2010.38.2.11>

MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; SEII, A. H.; DIAS, A. R.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; JULIATTI, F. C.; NUNES JUNIOR, J.; SILVA, L. H. C. P.; SATO, L. N.; MARTINS, M. C.; VENANCIO, W. S.. Eficiência de fungicidas para controle de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em soja, na safra 2017/18: Resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: **Embrapa Soja, Cir. Téc.** 140, p.1-6,2018.

MIRI, A.; MAHDINEJAD, N.; EBRAHIMY, O.; KHATAMI, M.; SARANI, M. Zinc oxide nanoparticles: Biosynthesis, characterization, antifungal and cytotoxic activity. *Materials Science and Engineering C*, [s.l.], v. 104, p 109981, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.109981>.

NASCIMENTO, N. F.; SILVA, G. C. C.; REIS FREITAS, F. G.; SALES, N. D. L. P.; CARVALHO, L. R.; CABACINHA, C. D.; CARVALHO, C. C. S. G. Tratamentos antifúngicos e qualidade fisiológica de sementes de fava d'anta. In: BRAGA, D. L. S. (Org.). **Pesquisas e Inovações Nacionais em Engenharias, Ciências Agrárias, Exatas e da Terra**, p. 26-41, 2022.

NENE Y. L.; THAPLIYAL, P. N. Systemic fungicides, p. 209-455. In Y.L. Nene & P.N. Thapliyal (eds.), **Fungicides in plant disease control**. New York, International Science, p.455,1993.

PANDA, D.; MONDAL, S. Seed enhancement for sustainable agriculture: an overview of recent trends. **Plant Arch**, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 2320-2332, 2020. Disponível em: https://www.academia.edu/download/88894446/2320_20-2332_20407.pdf

PATHAK, T. K.; KROON, R. E.; CRACIUN, V.; POPA, M.; CHIFIRIUC, M. C.; SWART, H. C. Influence of Ag, Au and Pd noble metals doping on structural, optical and antimicrobial properties of zinc oxide and titanium dioxide nanomaterials. **Heliyon**,[s.l.], v. 5, n. 3, p. e01333, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01333>.

PEDROSO, D. C.; LEMES, E. L.; OLIVEIRA, S. de.; TUNES, L. M. de.; JUNGES, E.; MUNIZ, M. F. B. Tratamento químico e biológico: qualidade fisiológica e sanitária de sementes de cenoura durante o armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.23, n.1, p.173, 2018. <https://doi.org/10.12661/pap.2018.001>

R Core Team. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2023. <http://www.R-project.org/>.

Raghupathi, KR, Koodali, RT e Manna, AC (2011) **Inibição do crescimento bacteriano dependente do tamanho e mecanismo de atividade antibacteriana de nanopartículas de óxido de zinco**. *Langmuir*, 27, 4020-4028. <https://doi.org/10.1021/la104825u>

RAJPUT, V. D.; MINKINA, T.; SUSKOVA, S.; MANDZHIEVA, S.; TSITSUASHVILI, V.;

REED, R. C.; BRADFORD, K. J.; KHANDAY, I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. **Heredity**, v. 128, n. 6, p. 450-459, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>

ROCHA, D. K.; CARVALHO, E. R.; PIRES, R. M. D. O.; SANTOS, H. O. D.; PENIDO, A. C.; ANDRADE, D. B. D. Does the substrate affect the germination of soybean seeds treated with phytosanitary products? **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 44, p. e020119, 2020. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044020119>.

Salah OH, Yusof ZM, Mohamed H (2021) The determinant factors for the adoption of CRM in the Palestinian SMEs: **The moderating effect of firm size**. *PLoS ONE* 16(3): e0243355. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243355>

SAKO, Y.; MCDONALD, M.B.; FUJIMURA, K.; EVANS, A.F.; BENNETT, M.A. A system for automated seed vigor assessment. **Seed Science and Technology**, v.29, n.3, p.625-636, 2001. <https://www.eurofinsus.com/media/162083/seed-vigor-imaging-system.pdf>

SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. DE C. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, p. 347, 2020.

SHARMA, R. K.; GHOSE, R. Synthesis of zinc oxide nanoparticles by homogeneous precipitation method and its application in antifungal activity against *Candida albicans*. **Ceramics International**, [s.l.], v. 41, n. 1, p. 967-975, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.09.016>

SILVA, A. C. A. *et al.* **Biocompatibilidade de semicondutores dopados, nanocristais e nanocompósitos**. In: CELIK, T. A. (Ed.) *Citotoxicidade*. Londres, Reino Unido: InTech. pág. 149-161, 2018.

SILVA, L. J.; MEDEIROS, A. D.; OLIVEIRA, A. M. S. SeedCalc, a new automated R software tool for germination and seedling length data processing. **Journal Of Seed Science**, [S.L.], v. 41, n. 2, p. 250-257, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v42n2217267>.

SIRELKHATIM, A., MAHMUD, S., SEENI, A., KAUS, N. H. M., ANN, L. C., BAKHORI, S. K. M., HASAN, H., MOHAMAD, D. Review on Zinc Oxide Nanoparticles: antibacterial activity and toxicity mechanism. **Nano-Micro Letters**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 219-242, 19 abr. 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/s40820-015-0040-x>.

SOBRINHO, C. A.; SANTOS, A. R. B.; DA SILVA, P. H. S. **Fungos em sementes de Feijão Caupi: detecção, qualidade sanitária e controle alternativo**. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

SOUZA, P. A.; SANTOS, A. F.; GONÇALVES, D. S.; VENTURIN, N. Efeito da reidratação na germinação de sementes de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.17, n. 2, p. 286-291, 2018. <https://doi.org/10.5965/223811711722018286>

VANZOLINI, S.; CARVALHO, N. M. Efeito do vigor de sementes de soja sobre o seu desempenho em campo. **Revista Brasileira de Sementes**. Brasília, v. 24, n.1, p.33-41, 2002. <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/30fd1b5f-257e-4fda-94cd15de764a7463/content>

VIEIRA, R.D.; BITTENCOURT, S.R.M.; PANOBIANCO, M. Seed vigour - an important component of seed quality in Brazil. **ISTA - Seed Testing International**, n. 126, p. 21-22, 2003

VIJAYAPRASATH, G.; MURUGAN, R.; PALANISAMY, S.; PRABHU, N. M.; MAHALINGAM, T.; HAYAKAWA, Y.; RAVI, G. Role of nickel doping on structural, optical, magnetic properties and antibacterial activity of ZnO nanoparticles. **Materials Research Bulletin**, [s. l.], v. 76, p. 48–61, abr. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2015.11.053>.

ZAMORA-LEDEZMA, E. et al. Phytotoxic Effects and Agricultural Potential of Nanofertilizers: A Case Study Using Zeolite, Zinc Oxide, and Titanium Dioxide Under Controlled Conditions. **Journal of Xenobiotics**, v. 15, n. 4, p. 123–123, 1 ago. 2025.

WAHAB, R. et al. ZnO nanoparticles induced oxidative stress and apoptosis in HepG2 and MCF-7 cancer cells and their antibacterial activity. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 117, p. 267–276, maio 2014.