



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**



**POLIANA BRANCO MATTEI**

**CONDICIONAMENTO FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE TOMATE COM**  
**NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINCO**

**Uberlândia - MG**

**2025**

**POLIANA BRANCO MATTEI**

**CONDICIONAMENTO FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE TOMATE COM  
NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINCO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Hugo César Rodrigues  
Moreira Catão

Uberlândia - MG

2025

## RESUMO

A cultura do tomateiro é uma das hortaliças mais consumidas no mundo e o Brasil se destaca como um grande produtor, especialmente em Goiás para processamento e em Minas Gerais e São Paulo para o consumo in natura. A qualidade das sementes é crucial para a produtividade e é assegurada pela interação de qualidade fisiológica, genética, sanitária e física. O condicionamento fisiológico, ou “priming”, melhora a tolerância das sementes a estresses bióticos e abióticos, promovendo uma melhor germinação e vigor. O nanopriming, que utiliza nanopartículas de óxido de zinco (ZnO), é uma técnica promissora, pois essas partículas melhoram a taxa de germinação e o crescimento das plantas. Esse trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho fisiológico de sementes de tomate, hidro e osmocondicionadas, com uso de diferentes concentrações de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO). O experimento na UFU, em 2024, utilizou sementes híbridas de tomate Gytotone, aplicando o hidrocondicionamento e o osmocondicionamento com diferentes concentrações de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO). Germinação e emergência foram avaliadas em condições controladas e dados de crescimento foram analisados com o software SeedCalc. O delineamento foi inteiramente casualizado. O desempenho fisiológico de sementes de tomate hidro e osmocondicionadas com crescentes concentrações de nanopartículas de ZnO foi comprometido decorrente de fitotoxidez.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum*; vigor de sementes; priming; nanotecnologia; fitotoxidez.

## SUMÁRIO

|          |                                     |           |
|----------|-------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>             | <b>5</b>  |
| <b>2</b> | <b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>     | <b>6</b>  |
| <b>3</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b> | <b>9</b>  |
| <b>4</b> | <b>CONCLUSÕES.....</b>              | <b>14</b> |
| <b>5</b> | <b>REFERÊNCIAS .....</b>            | <b>14</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) tem grande importância no cenário nacional. Muito apreciado por seu sabor, seja *in natura* ou processado, é uma das hortaliças mais consumidas no mundo. O Brasil não só é um grande consumidor de tomate, mas também é um eficiente produtor desta hortaliça (Siqueira, 2022).

No cenário de tomates para processamento, o Brasil é o 5º maior produtor mundial e no segmento de tomate de mesa, também se destaca tanto pelo volume produzido como pelas tecnologias disponíveis e adotadas para a produção. O estado de Goiás se destaca como maior produtor do segmento voltado para o processamento industrial, característico pelo cultivo em grandes áreas. Já no segmento adotado pelo tomate de mesa, os estados de Minas Gerais e São Paulo são os maiores produtores e consumidores do fruto *in natura* (EMBRAPA, 2022).

A qualidade de sementes é um fator de extrema importância para garantia da excelência da produtividade, do desenvolvimento e, principalmente, da qualidade de uma cultura. Essa qualidade é garantida quando existe uma interação de quatro componentes principais, sendo elas a qualidade física, fisiológica, genética, sanitária (França-Neto, 2009). Quando esse conjunto apresenta índices excelentes, é garantido um bom padrão de qualidade a um determinado lote de sementes.

O condicionamento fisiológico (“*priming*”) é um fator marcante no que diz respeito a manutenção da qualidade de sementes. Essa estratégia mostra-se eficaz para conferir tolerância a fatores estressantes, bióticos e abióticos; além de facilitar o manejo da germinação, \*aplicados tratamentos pré-germinativos que controlam o nível de hidratação da semente, promovendo, durante a fase de embebição, uma absorção de água maior e, ainda, a síntese de proteínas e atividades respiratórias (Rudnev, 2017; Orobinsky *et al.*, 2018; Waqas *et al.*, 2019).

Existem duas maneiras em que o *priming* de sementes pode ser realizado: convencional ou físico. No método convencional, existe um processo de hidratação controlada, em relação ao período de exposição, sendo necessário após este processo uma secagem para reduzir a quantidade de água antes do armazenamento das sementes; enquanto no físico, ocorre a ação de métodos não invasivos, sem a hidratação (mesmo que eles ocorram em água, como processo de dissipação dos agentes), por fim as sementes podem ser semeadas (Farooq *et al.*, 2019).

Dentro dos métodos físicos de *priming*, existe o *nanopriming*. Nele, são utilizadas nanopartículas de tamanho inferior a 100 nm (como exemplos: cálcio-fosfato, SiO<sub>2</sub>, ZnO e Ag), diminuindo a necessidade excessiva de fertilizantes, podendo aumentar a germinação e o vigor

das sementes. O mecanismo por trás da alta germinação de sementes com o uso desse método é viabilizada pelo pequeno tamanho destas partículas que permite a entrada em meio as membranas de maneira facilitada (Waqas et al., 2019), contribuindo no condicionamento das sementes.

Em geral, as nanopartículas de ZnO são amplamente aplicadas na agricultura, sendo o condicionamento de sementes a principal escolha devido à sua maior eficácia. Porém, a combinação entre os métodos convencionais e físicos para o condicionamento fisiológico de sementes ainda são incipientes e as técnicas têm sido realizadas de maneira isolada (Nicodemos, 2021).

O polietilenoglicol (PEG) é um polímero osmótico que não pode permear células de sementes. Por ser um composto quimicamente inerte, o PEG não impõe efeitos prejudiciais aos embriões de sementes. O priming com PEG expõe as sementes a um meio com baixo potencial hídrico, reduzindo a taxa de entrada de água nas sementes e impedindo a germinação visível. Estudos recentes descobriram que o priming com PEG afeta a taxa de germinação das sementes, a vitalidade das sementes e o desenvolvimento das plântulas, promovendo a germinação de sementes duras ou envelhecidas (Ma et al., 2024).

De maneira geral, têm sido utilizadas as técnicas de hidrocondicionamento (com utilização exclusiva de água para a hidratação das sementes) e de osmocondicionamento (emprego de soluções de polietilenoglicol, manitol, sais), porém, sem o emprego de nanopartículas. Outra questão limitante é definir a concentração (dosagem) de nanopartículas que não causa possíveis efeitos fitotóxicos.

Diante do exposto, esse trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho fisiológico de sementes de tomate, hidro e osmocondicionadas, com uso de diferentes concentrações de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO).

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido durante o ano de 2024, no Laboratório de Sementes (LASEM) da Universidade Federal de Uberlândia, localizado no Campus Umuarama, Uberlândia - MG. Foram utilizados sementes híbridas de tomate Gyottone, provenientes da safra 2023/2024.

As sementes foram submetidas ao condicionamento fisiológico em diferentes concentrações de nanopartículas de Óxido de Zinco (ZnO). As nanopartículas de ZnO foram

sintetizadas no Laboratório de Novos Materiais Isolantes e Semicondutores (LNMIS), do Instituto de Física da UFU, de acordo com a metodologia descrita por Silva et al. (2018).

As sementes foram submetidas ao hidrocondicionamento e osmocondicionamento. As sementes submetidas ao hidrocondicionamento foram por imersão em água destilada, por 24 horas. Já as sementes submetidas ao osmocondicionamento foram por imersão em 500 mL de solução de polietilenoglicol (PEG 6000) a -1,0 MPa (296 g.L<sup>-1</sup>), por 24 horas.

Para compor os tratamentos em ambos condicionamentos fisiológicos, foram adicionados as concentrações de 2 mg/mL, 4 mg/mL e 6 mg/mL de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO). O tratamento controle consistiu de sementes de tomate não condicionadas. As sementes foram mantidas em solução, em frasco Erlenmeyer (capacidade de 500 mL), a 15 °C, em câmara B.O.D. Os frascos Erlenmeyer foram selados e submetidos à aeração forçada por bomba de ar e sob iluminação constante.

Após os períodos de condicionamento fisiológico, as sementes foram lavadas em água corrente e secas à temperatura de  $25 \pm 2$  °C, câmara B.O.D., até o equilíbrio higroscópico (aproximadamente 10% de umidade), que foi monitorado por pesagens sucessivas. Para cada um dos tratamentos foram realizadas 4 repetições com 50 sementes, totalizando 200 sementes por tratamento.

Para avaliação do desempenho fisiológico, as sementes foram submetidas aos testes de:

**Germinação:** no qual foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes em caixas acrílicas tipo *gerbox* semeadas sobre duas folhas de papel mata-borrão umedecidas com volume de água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso seco do papel. O teste de germinação foi realizado na temperatura de 25 °C, sob fotoperíodo de 12 horas. As avaliações ocorreram aos 5 e 14 dias após a instalação do teste, quando foi computada a porcentagem de plântulas normais na primeira e contagem final de germinação (Brasil, 2009).

**Emergência:** conduzida em condições controladas de temperatura, 25 °C, em regime alternado de luz e escuro (12 horas). Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes semeadas em caixas acrílicas tipo *gerbox* contendo areia umedecida (60% da capacidade de retenção do substrato). Foi computado o número de plântulas normais emergidas, calculando-se a porcentagem inicial e final de emergência.

**Análise computadorizada de imagens de plântulas:** foram utilizadas sementes de tomate de cada tratamento e testemunha, sendo distribuídas entre duas folhas de papel para germinação, umedecidos com água destilada com volume igual a 2,5 vezes o peso seco do papel. Em seguida, produziu-se 4 rolos de papel contendo 20 sementes cada, totalizando 80

sementes por tratamento. Os rolos contendo as sementes foram acondicionados em sacos plásticos e conduzidos em prateleiras em sala de germinação com temperatura de 25 °C, sob fotoperíodo de 12 horas. A avaliação do comprimento de plântulas foi realizada no décimo dia e as imagens processadas de forma automatizada pelo software ImageJ®. As plântulas de cada repetição foram transferidas do rolo de papel de germinação para uma folha de EVA (etil vinil acetato) de coloração azul com dimensões de 30 cm x 22 cm.

Em seguida, realizou-se a digitalização das imagens em câmera fotográfica digital. Os dados obtidos no teste crescimento de plântulas foram processados por meio do pacote SeedCalc® no software RStudio®, sendo calculado os seguintes parâmetros:

**Comprimento médio de parte aérea:** (Nakagawa et al., 1999)

$$Média_{pa} = \frac{\sum_{i=1}^k HL}{n}$$

HL é o comprimento da parte aérea de cada plântula e n é o número total de plântulas avaliadas

**Comprimento médio de raiz:** (Nakagawa et al., 1999)

$$Média_{raiz} = \frac{\sum_{i=1}^k RL}{n}$$

RL é o comprimento da raiz de cada plântula, e n é o número total de plântulas avaliadas.

**Comprimento total:** (Nakagawa et al., 1999)

$$Média_{total} = \frac{\sum_{i=1}^k SL}{n}$$

SL é o comprimento total de cada plântula, e n é o número total de plântulas avaliadas.

**Índice de uniformidade:** (Christiansen (1942) adapted by Castan et al., (2018))

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

Xi é o comprimento da plântula analisada, X é o comprimento médio das plântulas do lote de sementes analisado, n é a variável do número total de plântulas avaliadas,  $n_{mortas}$  é o número de sementes não germinadas ou mortas presentes, e  $n_{total}$  é o número total de plântula.

**Índice de crescimento:** (Sako et al., 2001)

$$Crescimento = [(média(h) \times wh) + (média(r) \times wr)]$$

Média (H) e Média (R) são as médias aritméticas do comprimento da parte aérea e do comprimento da raiz, respectivamente. wh e wr são pesos ajustáveis na fórmula para parte aérea e raiz, porém, com valores de referência de 10 e 90, respectivamente.

**Índice de vigor:** (Sako et al., 2001)

$$Vigor = (crescimento \times wg) + (uniformidade \times wu)$$

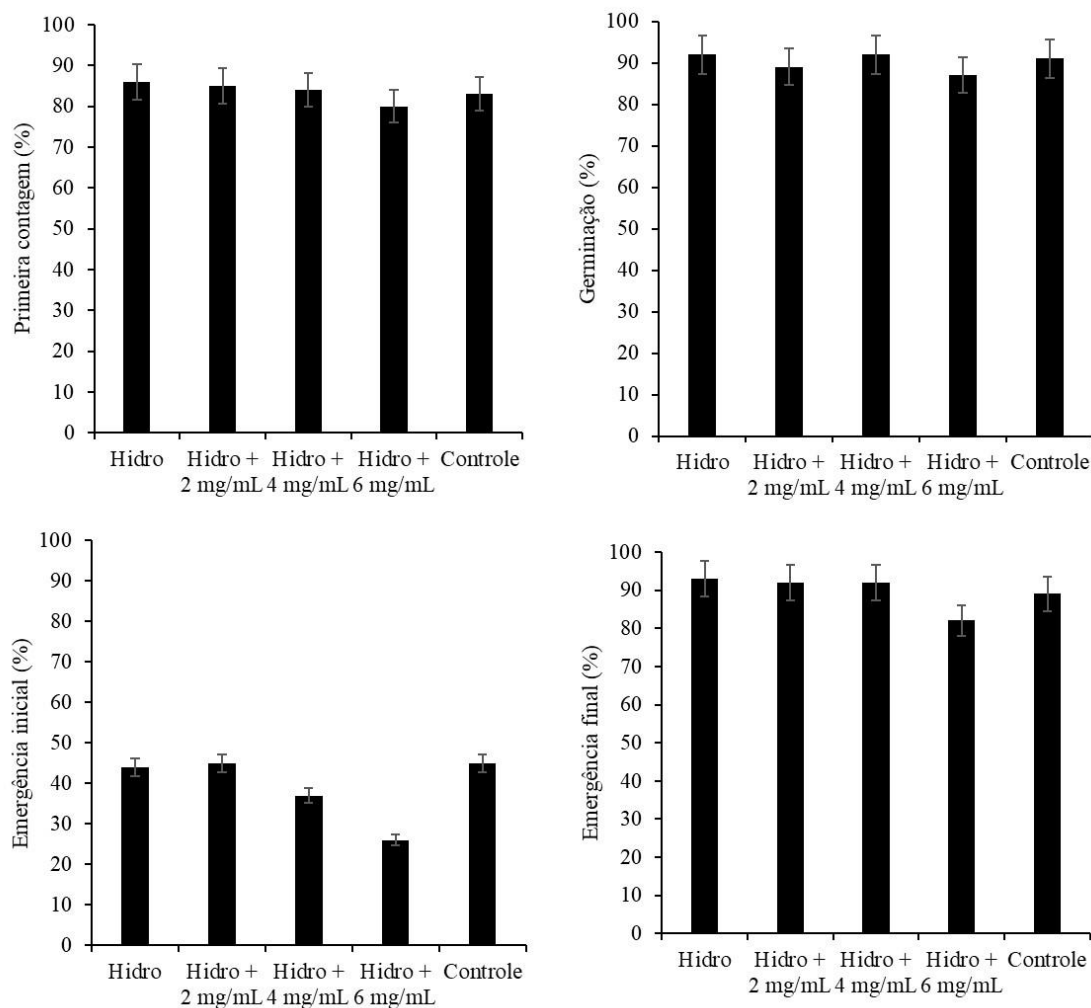
Crescimento é o índice de crescimento e Uniformidade é o índice de uniformidade escolhido pelo usuário. Wg e WU são pesos ajustáveis na fórmula para crescimento e uniformidade, porém, com valores padrão de 70 e 30, respectivamente.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições e cinco tratamentos (concentrações de nanopartículas). Os dados fornecidos pelo SeedCalc foram submetidos à análise de estatística pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e a análise de variância a 5% de significância. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. As análises foram realizadas por meio do software R 3.6® (R Core Team, 2023).

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

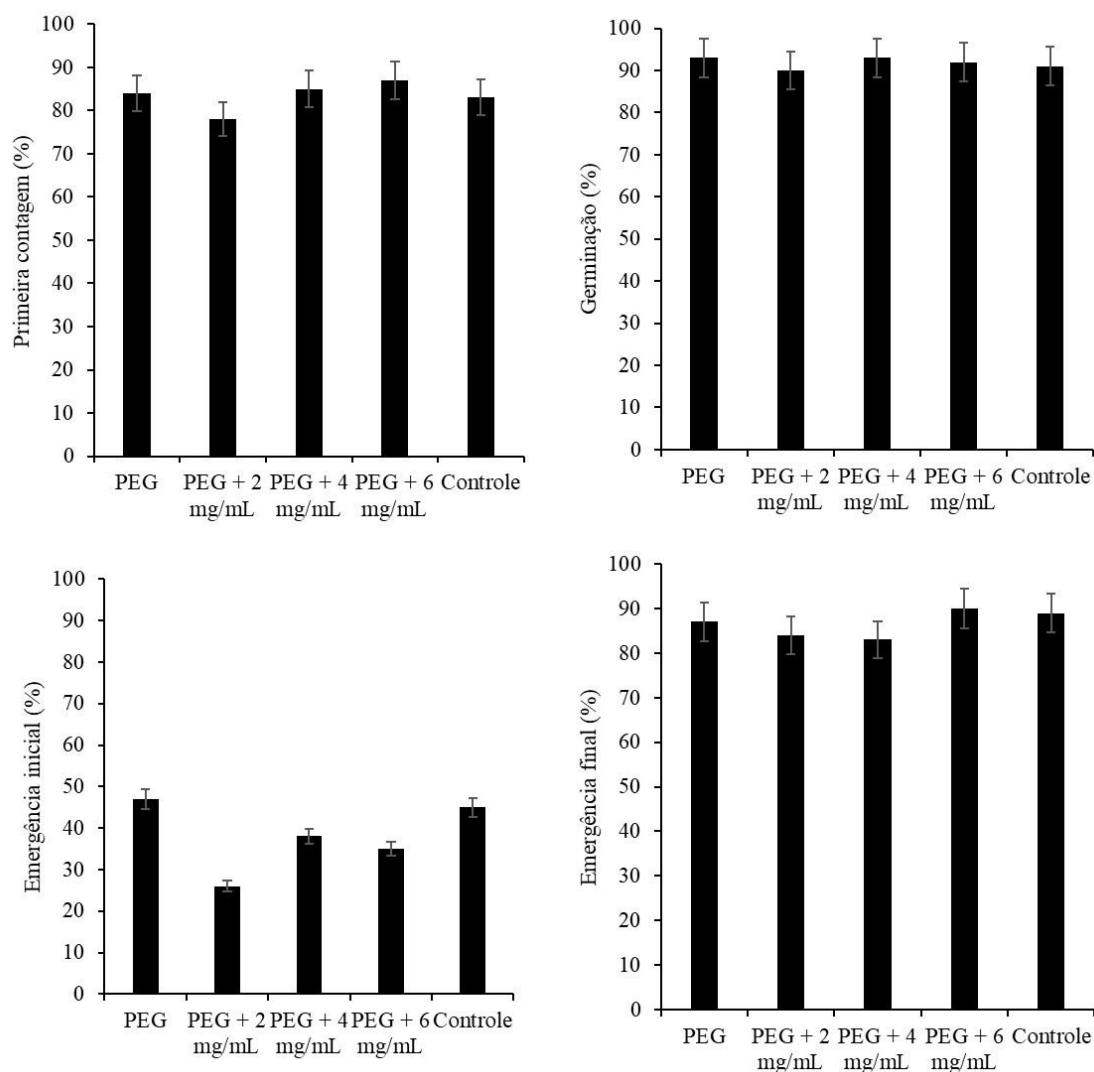
A qualidade fisiológica de sementes de tomate hidrocondicionadas com as diferentes dosagens de nanopartículas de ZnO pode ser observadas na Figura 1. É possível verificar por meio dos testes de germinação que o condicionamento com as dosagens não ocasionou decréscimo na qualidade das sementes se assemelhando ao tratamento controle.

**Figura 1.** Qualidade de sementes de tomate hidrocondicionadas com diferentes dosagens de nanopartículas de ZnO, por meio dos testes de primeira contagem (%), germinação (%), emergência inicial (%) e final (%).



É possível verificar no hidrocondicionamento com 6 mg / mL de nanopartículas de ZnO, houve menor emergência inicial e final de plântulas, principalmente, quando comparadas ao tratamento controle. Embora o zinco seja benéfico para o crescimento das plantas, em grandes quantidades, pode ser visto como nocivo, desencadeando mecanismos de defesa, como o aumento da expressão dos genes responsáveis pela biossíntese de lignina e suberina. A lignina e a suberina, quando em altas quantidades, tornam as células menos maleáveis e mais duras, o que dificulta o desenvolvimento das plântulas e a passagem de nutrientes e água (Van der Mortel et al. 2006). O excesso de zinco pode afetar o material genético, levando a alterações nos locais de priming (Dufour et al., 2006; Savassa et al., 2018). A diferença entre os tratamentos hidrocondicionados não foi significativa.

**Figura 2.** Qualidade de sementes de tomate osmocondicionadas com diferentes dosagens de nanopartículas de ZnO, por meio dos testes de primeira contagem (%), germinação (%), emergência inicial (%) e final (%).



Não foram observadas diferenças marcantes no teste de germinação das sementes osmocondicionadas com nanopartículas. Isso pode ser devido a germinação ocorrer em condições controlas de água, luz e temperatura (Brasil, 2009). Verifica-se que sementes osmocondicionadas com PEG + 2 mg / mL de nanopartículas de ZnO tiveram uma menor emergência inicial de plântulas. Na emergência final de plântulas não houve variações muito acentuadas entre os tratamentos de condicionamento fisiológico.

Na Tabela 3 observou-se que o hidrocondicionamento promoveu o maior crescimento do hipocótilo e das raízes das plântulas de tomate. No entanto, quando foi realizada a adição

das dosagens de 2 e 4 mg/mL de nanopartículas não houve diferença do Controle na avaliação do comprimento do hipocótilo, porém, se diferiram quanto ao comprimento de raízes com menor crescimento. No tratamento com hidrocondicionamento + 6 mg /mL de ZnO foi observado o menor comprimento de hipocótilo e de raízes (Tabela 3).

De acordo com Asmat-Campos *et al.* (2022), as concentrações próximas a 100 ppm de nanopartículas de ZnO são ideais para a promoção da atividade enzimática e metabólica para atingir o alongamento celular. Possivelmente, as doses utilizadas promoveram fitotoxidez, comprometendo também o comprimento total das plântulas nesse tratamento (hidrocondicionamento + 6 mg /mL). O maior comprimento total de plântulas foi observado quando utilizado apenas o hidrocondicionamento das sementes.

No tratamento com dosagem de 2 mg/mL de ZnO foi obtida melhor uniformidade de plântulas. Vale ressaltar que mesmo possuindo maior uniformidade as plântulas podem ter menores índices de crescimento e vigor, sendo isso observado nas maiores concentrações de nanopartículas (Tabela 3). De acordo com Bian *et al.* (2011 ) e Asmat-Campos *et al.* (2022) altas concentrações pode diminuir características relacionadas ao crescimento de plântulas. Os índices de crescimento e vigor representam a comparação desses parâmetros entre as sementes de um mesmo tratamento.

**Tabela 3.** Variáveis analisadas pelo SeedCalc na avaliação da qualidade de sementes de tomate hidrocondicionadas com diferentes concentrações de nanopartículas de ZnO.

| Tratamento      | H (mm) | R (mm) | CT (mm) | Uniformidade | Crescimento | Vigor    |
|-----------------|--------|--------|---------|--------------|-------------|----------|
| Hidro           | 13,5 a | 29,1 a | 42,6 a  | 855.6 b      | 2754,5 a    | 2084,4 a |
| Hidro + 2 mg/mL | 9,2 bc | 9,1 cd | 18,3 cd | 922.8 a      | 913,8 cd    | 787,3 cd |
| Hidro + 4 mg/mL | 9,6 bc | 11,7 c | 21,4 c  | 901.1 ab     | 1157,9 c    | 960,6 c  |
| Hidro + 6 mg/mL | 8,2 c  | 5,6 d  | 13,8 d  | 886.4 ab     | 588,7 d     | 549,6 d  |
| Controle        | 10,4 b | 20,7 b | 31,2 b  | 863.8 ab     | 1975,1 b    | 1529,5 b |

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% significância. Comprimento do hipocótilo (H), comprimento de raiz (R), comprimento total de plântulas (CT), índice de Uniformidade, índice de crescimento e índice de vigor.

Nas sementes osmocondicionadas observou-se que os maiores comprimentos de hipocótilo, raiz e total de plântulas foram obtidos quando utilizado apenas o polietilenoglicol (Tabela 4). O hidrocondicionamento também foi o tratamento que proporcionou o maior desenvolvimento das partes das plântulas e do total das plântulas. O hidrocondicionamento apresenta a vantagem de ser mais simples, barato e não envolver reagentes ou equipamentos

sofisticados (Kikuti e Marcos-Filho, 2009), porém, ainda assim esse condicionamento necessita de técnicas especializadas para sua realização.

**Tabela 4.** Variáveis analisadas pelo SeedCalc na avaliação da qualidade de sementes de tomate osmocondicionadas com diferentes concentrações de nanopartículas de ZnO.

| Tratamento    | H (mm)  | R (mm)  | CT (mm) | Uniformidade        | Crescimento | Vigor     |
|---------------|---------|---------|---------|---------------------|-------------|-----------|
| PEG           | 12 a    | 25,4 a  | 37,4 a  | 856,8 <sup>ns</sup> | 2412,4 a    | 1819,5 a  |
| PEG + 2 mg/mL | 9,1 b   | 11,6 c  | 20,8 c  | 910,7 <sup>ns</sup> | 1143,6 c    | 948,6 c   |
| PEG + 4 mg/mL | 9,8 ab  | 12,8 c  | 22,7 bc | 855,9 <sup>ns</sup> | 1257,1 c    | 1033,1 c  |
| PEG + 6 mg/mL | 9,7 ab  | 16 bc   | 25,8 bc | 889,0 <sup>ns</sup> | 1544 bc     | 1221,6 bc |
| Controle      | 10,4 ab | 20,7 ab | 31,2 ab | 863,8 <sup>ns</sup> | 1975,1 ab   | 1529,5 ab |

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% significância. Comprimento do hipocótilo (H), comprimento de raiz (R), comprimento total de plântulas (CT), índice de Uniformidade, índice de crescimento e índice de vigor.

Ainda em relação ao comprimento de plântulas e de suas partes, a utilização de PEG + 2 mg /mL de nanopartículas de ZnO, apresentaram resultados inferiores aos demais tratamentos.

Em relação aos índices de obtidos no Seedcalc® é possível observar que a uniformidade não foi significativa. Os índices de crescimento e vigor foram maiores quando as sementes foram osmocondicionadas apenas com polietilenoglicol, sem a adição de nanopartículas. A utilização das crescentes dosagens de nanopartículas causaram redução do índices de crescimento e vigor. Doses elevadas ou exposição prolongada podem resultar em fitotoxicidade, causando danos às sementes e comprometendo o desenvolvimento das plantas, conforme mencionado por Sandrin et al. (2018).

É importante considerar que à nanotoxicidade é um assunto que permanece desconhecido, mas estudos apontam para a forte relação com a composição química do nanomaterial, além de sua estrutura química, área superficial e tamanho (Amooaghaie et al. 2016). Brunner et al. (2006) atribuíram a toxicidade a duas ações, a toxicidade química (ligada à sua composição) e a possível liberação de íons tóxicos, ou relacionados às características morfológicas das nanopartículas (tamanho, área superficial, geometria) que causam estresse.

Apesar das vantagens, há desafios a serem enfrentados, em que a fitotoxicidade é um risco significativo quando as concentrações de nanopartículas não são adequadas (Kume, 2021). Estudos com sementes de milho, por exemplo, mostraram que doses elevadas podem prejudicar o desenvolvimento inicial das plântulas, afetando o crescimento radicular e reduzindo as taxas de germinação (Kume, 2021). Além disso, há preocupações ambientais, pois a lixiviação de nanopartículas no solo pode afetar microrganismos benéficos e causar desequilíbrios

ecológicos. A viabilidade econômica também deve ser considerada, uma vez que a produção e o uso de nanopartículas em larga escala podem ser custosos (Ferraz *et. al.*, 2021).

É essencial ainda realizar mais pesquisas para compreender melhor os efeitos a longo prazo, ajustar as doses conforme a cultura e minimizar os impactos ambientais. A aplicação dessa tecnologia deve ser feita com cuidado, visando maximizar seus benefícios enquanto se mitigam os riscos associados (Graciano, 2020).

#### 4 CONCLUSÃO

O *nanopriming* com as concentrações de nanopartículas de óxido de zinco utilizadas não apresentaram efeito na qualidade fisiológica quando comparado ao osmocondicionamento e hidrocondicionamento. O desempenho fisiológico de sementes de tomate hidro e osmocondicionadas com crescentes concentrações de nanopartículas de ZnO foi comprometido decorrente de fitotoxidez.

#### 5 REFERÊNCIAS

AMOOAGHAIE, R.; NOROUZI, M.; SAERI, M. Impact of zinc and zinc oxide nanoparticles on the physiological and biochemical processes in tomato and wheat. **Botany**, v. 95, p. 441–455. 2016.

ASMAT-CAMPOS, D.; LÓPEZ-MEDINA, E.; MONTES DE OCA-VÁSQUEZ, G.; GIL-RIVERO, E.; DELFÍN-NARCISO, D.; JUÁREZ-CORTIJO, L.; VILLENA-ZAPATA, L.; GURREONERO-FERNÁNDEZ, J.; RAFAEL-AMAYA, R. ZnO Nanoparticles Obtained by Green Synthesis as an Alternative to Improve the Germination Characteristics of *L. esculentum*. **Molecules**. v. 27, p. 2343, 2022.

BIAN; S. W.; MUDUNKOTUWA I. A.; RUPASINGHE, T.; GRASSIAN, V. H. Aggregation and Dissolution of 4 nm ZnO Nanoparticles in Aqueous Environments: Influence of pH, Ionic Strength, Size, and Adsorption of Humic Acid. **Langmuir**, [s.l.], v. 27, n. 10, p. 6059-6068, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, p. 399, 2009.

BRUNNER, T.J.; WICK, P.; MANSER, P.; SPOHN, P.; GRASS, R.N.; LIMBACH, L.K.; BRUININK, A.; STARK, W.J. In vitro cytotoxicity of oxide nanoparticles: Comparison to asbestos, silica, and the effect of particle solubility. **Environ. Sci. Technol.** v. 40, p. 4374–4381. 2006.

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.

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

DUFOUR, E. K.; KUMARAVEL, T.; NOHYNEK, G. J.; KIRKLAND, D.; TOUTAIN, H. Clastogenicity, photo-clastogenicity or pseudo-photo-clastogenicity: genotoxic effects of zinc oxide in the dark, in pre-irradiated or simultaneously irradiated Chinese hamster ovary cells. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, [s.l.], v. 607, p. 215-24, 2006.

FAROOQ, M., USMAN, M., NADEEM, F., UR REHMAN, H., WAHID, A., BASRA, S.M. and SIDDIQUE, K.H., 2019. Seed priming in field crops: potential benefits, adoption and challenges. **Crop & Pasture Science**, vol. 70, no. 9, pp. 731-771.

GRACIANO, D. E. **Avaliação das alterações fisiológicas em sementes, plântulas e folíolos de *Ingá laurina* (Fabaceae) induzidas por nanopartículas de óxido de cobre, ferro e zinco**. 2020. 150 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Biodiversidade) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2020.

Kikuti, A. L. P.; Marcos Filho, J. (2009). Condicionamento fisiológico de sementes de couve-flor. *Horticultura Brasileira*, 27(2), 240–245. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362009000200021>

KUME, W. T. **Nanopartícula de óxido de zinco na nutrição da cultura do milho na Amazônia meridional**. 2020. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta, 2020.

NAKAGAWA, J.; KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. **Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas**. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. (Eds.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, 1999. p. 9-13.

OROBINSKY, V.L. et al. **Seed refinement in the harvesting and post-harvesting process**. In: *International scientific and practical conference Agro-SMART-Smart solutions for agriculture*. Atlantis Press, 2018.

RUDNEV, S.G. **Principles of organization of post-harvest grain processing**. In: *International Scientific and Practical Conference World science*. ROST, p.16-19, 2017.

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.

SANDRIN, N.; POZZER, E. É.; FERRAZZA, A. C.; LOPES, A. C.; LAJÚS, C. R.; LUZ, G. L.; SILVA, L. L. Qualidade fisiológica de sementes de culturas agrícolas tratadas com nanopartículas de óxido de zinco (ZnO). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, n. 32, Dez. Periódico semestral. 2017.

SAVASSA, S. M., DURAN, N. M., RODRIGUES, E. S., DE ALMEIDA, E., VAN GESTEL, C. A., BOMPADRE, T. F., P. DE CARVALHO, H. W. Effects of ZnO nanoparticles on *Phaseolus vulgaris* germination and seedling development determined by X-ray spectroscopy. **ACS Applied Nano Materials**, [s.l.], v. 1, n. 11, p. 6414-6426, 2018.

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.

VAN DER MORTEL, J. E.; VILLANUEVA, L. A.; SCHAT, H.; KWEKKEBOOM, J.; COUGHLAN, S.; MOERLAND, P. D.; VAN THEMAAT, E. V. L.; KOORNNEEF, M.; AARTS, M. G. M. Large expression differences in genes for iron and zinc homeostasis, stress response, and lignin biosynthesis distinguish roots of *Arabidopsis thaliana* and the related metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* **Plant Physiol**, [s.l.], v. 142, p. 1127– 1147, 2006.

WAQAS, M. et al. **Advances in the concept and methods of seed priming**. In: Priming and pretreatment of seeds and seedlings. Springer Singapore, 2019.

NICODEMOS, Nícollas Souza Almeida. **Nanopartículas no tratamento de sementes de trigo**. 2021. 11 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

MA, L.; Wei, J.; HAN, G.; SUN, X.; YANG, X. Seed osmopriming with polyethylene glycol (PEG) enhances seed germination and seedling physiological traits of *Coronilla varia* L. under water stress. **PLoS One**. 2024 May 10;19(5), e0303145. doi: 10.1371/journal.pone.0303145. PMID: 38728268; PMCID: PMC11086902.

SIQUEIRA, I. **Tomate pode ser uma boa opção de plantio**. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/noticias/tomate-pode-ser-uma-boas-opcao-de-plantio\\_473940.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/tomate-pode-ser-uma-boas-opcao-de-plantio_473940.html)>. Acesso em: 19 maio. 2025.

FERRAZ, J. [pt] **CONSTRUÇÃO DE UM MAGNETÔMETRO HALL A BAIXAS TEMPERATURAS PARA CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS**. Disponível em: <[https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/PUC\\_RIO-1\\_e318c7921786d4437939597312f789b7](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/PUC_RIO-1_e318c7921786d4437939597312f789b7)>. Acesso em: 19 maio. 2025.