



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS



NAVA GABRIELA DIAS DE ARAÚJO

ALTERAÇÕES EM ATRIBUTOS FÍSICOS DE SEMENTES DE TOMATE
NANOCONDICIONADAS COM ÓXIDO DE ZINCO

UBERLÂNDIA-MG

2026

NAVA GABRIELA DIAS DE ARAÚJO

**ALTERAÇÕES EM ATRIBUTOS FÍSICOS DE SEMENTES DE TOMATE
NANOCONDICIONADAS COM 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 R. Moreira Catão

Uberlândia – MG, 13 de março de 2026

Banca de avaliação:

Prof. Dr. Hugo Cesar Rodrigues Moreira Catão
Orientador

Brenda Santos Pontes
Membro da Banca

Gabriela Mariano Melazzo
Membro da Banca

RESUMO

O condicionamento fisiológico de sementes com nanopartículas tem se destacado como uma alternativa promissora para aprimorar a qualidade e o desempenho germinativo. O presente estudo teve como objetivo avaliar as alterações em atributos físicos de sementes de tomate submetidas ao condicionamento com nanopartículas de óxido de zinco. As sementes foram condicionadas em soluções contendo polietilenoglicol (PEG6000) e PEG associado a nanopartículas de ZnO, sendo posteriormente radiografadas e analisadas com o software ImageJ®. Foram mensurados parâmetros físicos, como área, perímetro, solidez e percentual de preenchimento, cujos resultados foram correlacionados com a qualidade fisiológica. O nanocondicionamento com ZnO promoveu modificações significativas na estrutura interna das sementes, refletidas no aumento do preenchimento e da solidez, indicando maior integridade e compactação dos tecidos. A análise radiográfica demonstrou eficiência como ferramenta não destrutiva para detectar alterações físicas decorrentes do condicionamento, permitindo avaliar a qualidade e o potencial fisiológico das sementes. O uso de nanopartículas de ZnO representa uma estratégia viável para o aprimoramento da qualidade física e fisiológica de sementes de tomate.

Palavras-chave: análise de imagens; nanopartículas de óxido de zinco; qualidade fisiológica; raios-X.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	6
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
4. CONCLUSÕES.....	12
REFERÊNCIAS	13

1. INTRODUÇÃO

A cultura do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) apresenta grande importância socioeconômica no Brasil, sendo cultivada ao longo de todo o ano em diferentes sistemas produtivos. A produção pode ser destinada tanto ao consumo *in natura*, voltado ao mercado de mesa, quanto ao processamento industrial. O cultivo é conduzido de forma intensiva, em campo aberto ou em ambiente protegido, abrangendo sistemas de produção convencionais e orgânicos (Michereff Filho *et al.*, 2022).

Nesse contexto, ranking nacional de produção de tomate é liderado por Goiás, seguido por São Paulo e Minas Gerais (IBGE, 2024). No ano de 2024 a produção brasileira foi estimada em cerca de 4,7 milhões de toneladas, distribuídas em uma área plantada de aproximadamente 62 mil hectares (IBGE, 2025). Em escala global, a produção atingiu cerca de 188 milhões de toneladas em 2024, com destaque para a China, principal produtora mundial, seguida pela Índia e Turquia (FAO, 2024).

Diante da relevância dessa cultura, a qualidade das sementes torna-se um fator fundamental para o sucesso da produção agrícola. Segundo Nascimento *et al.* (2016), a qualidade das sementes é um conceito abrangente, sendo resultado da combinação de diferentes atributos. Nesse sentido, a qualidade das sementes é determinada por quatro atributos principais: fisiológico, genético, sanitário e físico. A qualidade fisiológica está associada ao potencial de germinação e vigor das sementes, refletindo na emergência e estabelecimento das plântulas em campo. A qualidade genética refere-se à pureza varietal da cultivar. A qualidade sanitária está relacionada à ausência de patógenos e sementes de plantas daninhas, enquanto a qualidade física diz respeito à pureza do lote e à ausência de materiais inertes e impurezas (França-Neto *et al.*, 2016).

Quando a qualidade da semente, especialmente a fisiológica, apresenta redução, o condicionamento fisiológico pode ser uma técnica de melhoria da germinação e vigor. O condicionamento fisiológico (*priming*) consiste em submeter as sementes à embebição controlada, visando a ativação dos processos metabólicos iniciais da germinação, sem que ocorra a protrusão da radícula (Araújo *et al.*, 2011). Essa técnica vem sendo muito utilizada na produção de sementes. O processo é realizado sob condições controladas de umidade e temperatura, com o propósito de aumentar a uniformidade na emergência das plântulas e favorecer a resistência a condições ambientais adversas. Além disso, o condicionamento fisiológico, auxilia as sementes a responderem melhor a diferentes tipos de estresse, como

déficit hídrico e salinidade do solo, favorecendo a adaptação da cultura (Trujillo Samboni, 2024).

Entre as abordagens mais recentes destaca-se o nanocondicionamento (*nanopriming*) uma técnica de condicionamento de sementes que utiliza nanopartículas, caracterizadas por seu tamanho reduzido, elevada área superficial e alta reatividade, visando aprimorar o processo germinativo. As nanopartículas de óxido de zinco (ZnO-NPs) apresentam elevada estabilidade, o que permite seu armazenamento prolongado, pois não se agregam (Hairilanwar *et al.*, 2025).

Nesse contexto o uso de ZnO-NPs vem sendo amplamente explorado na agricultura, em razão de suas propriedades ópticas, físicas e antimicrobianas, que contribuem para a proteção das plantas contra patógenos. Além disso, elas demonstram potencial para estimular o crescimento vegetal, promovendo melhor desenvolvimento radicular e aumento da taxa de germinação (Sabir *et al.*, 2014).

Para compreender os efeitos dessas técnicas nas sementes, métodos de análise estrutural têm sido amplamente utilizados. Segundo Silva *et al.* (2014), a análise de imagens consolidou-se como uma metodologia de grande relevância em pesquisas voltadas à compreensão do comportamento das sementes, especialmente aquelas obtidas por meio de raios-X. Essa técnica permite a visualização da estrutura interna das sementes, possibilitando a avaliação de sua morfologia e a correlação dessas características com o desempenho fisiológico.

Além disso, os avanços no processamento digital de imagens têm ampliado sua aplicação em estudos de sementes. *Softwares* gratuitos, como o ImageJ®, possibilitam a automatização da análise radiográfica, aumentando a exatidão na caracterização da morfologia interna. Nesse contexto, a macro *PhenoXray*, desenvolvida recentemente, viabiliza a fenotipagem em larga escala, de forma rápida, simples e robusta (Medeiros *et al.*, 2020). Esses métodos modernos, baseados em análise de imagens, contribuem para a identificação de características biológicas relevantes das sementes e oferecem suporte à tomada de decisão no agronegócio (Medeiros *et al.*, 2020).

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar as alterações em atributos físicos de sementes de tomate submetidas ao condicionamento com nanopartículas de óxido de zinco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Sementes (LASEM) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizado no Campus Umuarama, em Uberlândia, Minas Gerais.

Utilizaram-se sementes híbridas de tomate, cultivar Gyottone, da empresa Hortec. Conforme a metodologia de Silva *et al.* (2018), as nanopartículas de óxido de zinco empregadas nos tratamentos foram preparadas no Laboratório de Novos Materiais Isolantes e Semicondutores do Instituto de Física da UFU.

Realizou-se o condicionamento fisiológico das sementes em soluções de polietilenoglicol (PEG 6000) a -1 MPa e PEG + ZnO-NPs. A dose de ZnO-NPs utilizada foi de 6 mg. mL⁻¹. A concentração de polietilenoglicol (PEG 6000) foi correspondente a 273,237 g L⁻¹ de água, segundo Villela *et al.* (1991), calculada através da equação de Michel & Kaufmann (1973), a seguir:

$$P = (1,18 \times 10^{-2}) C - (1,18 \times 10^{-4}) C^2 + (2,67 \times 10^{-4}) CT + (8,39 \times 10^{-7}) C^2 T$$

Sendo P = potencial osmótico (bar); C = concentração do agente osmótico (g de PEG 6000/L H₂O); T = temperatura (°C).

O tratamento controle (testemunha) correspondeu a sementes de tomate não condicionadas. Cada tratamento foi composto por quatro repetições, com 50 sementes por unidade experimental, totalizando 200 sementes por tratamento. O condicionamento foi realizado em frascos Erlenmeyer contendo 2,0 g de sementes em 40,0 mL da solução osmótica. Os frascos foram vedados e mantidos sob aeração contínua, utilizando bomba de ar, com iluminação constante, em câmara B.O.D. a 15 °C, por 24 horas.

Para avaliar da morfologia interna da semente foram analisadas dez repetições com 20 sementes de cada tratamento. As amostras foram posicionadas de forma alinhada em placas de acetato transparente, aderidas em fita dupla face. Realizou-se a radiografia das sementes com tempo de exposição de 10 segundos e distância focal de 40 cm, no equipamento de raios-X Faxitron HP, modelo 43855A, operando a 30 kV.

Utilizando o *software* de domínio público ImageJ® em conjunto com a macro *PhenoXray*, a análise das imagens foi feita de forma automatizada. Com a ferramenta Threshold cada imagem passou por segmentação para delimitar os contornos das sementes de tomate. Por meio da função *Analyse Particles* no ImageJ®, as regiões segmentadas foram submetidas à quantificação. Para garantir a confiabilidade dos resultados e eliminar possíveis interferências, considerou-se apenas partículas com dimensões compreendidas entre 2 e 10 mm.

Através dessa macro a análise foi realizada, de acordo com a metodologia utilizada por Medeiros *et al.* (2020), permitindo quantificar parâmetros associados às dimensões e a morfologia das sementes, descritos a seguir:

Área – área de seleção mensurada em pixels quadrados e convertidos posteriormente para milímetros quadrados (mm²);

Perímetro - expressa o comprimento da linha que delimita externamente a seleção, apresentada em milímetros (mm);

Circularidade - medida do quão próxima a forma real da semente está de um círculo perfeito, calculada segundo a equação: $C = 4\pi * \frac{\text{área}}{(\text{perímetro})^2}$, onde valores iguais a 1,0 correspondem a um formato circular perfeito e à medida que tendem a 0 formas mais alongadas ou irregular;

Densidade relativa - representa a intensidade média dos tons de cinza presentes na área selecionada da imagem. Esse parâmetro é calculado somando-se todos os valores de cinza correspondentes aos pixels contidos na região de interesse selecionada e dividindo-se esse total pelo número de pixels que compõe a seleção. O resultado, expresso em unidades de cinza por pixel (cinza·pixel⁻¹), indica o grau de luminosidade média da semente;

Densidade integrada - corresponde à soma dos valores dos pixels presentes na imagem ou seleção. Esse parâmetro é obtido pelo produto entre a área e a densidade relativa, expressando-se em unidades de cinza·mm²·pixel⁻¹. A densidade integrada reflete a quantidade total de intensidade luminosa da região analisada, podendo indicar variações internas na composição e compactação dos tecidos da semente;

Solidez - este parâmetro é determinado pela razão entre a área real do objeto e sua área do fecho convexo, conforme a equação $S = \frac{\text{área do objeto}}{\text{Área convexa}}$. Valores de solidez próximos a 1,0 indicam estruturas totalmente preenchidas e de contorno regular, características de objetos compactos e sem descontinuidades internas. Em contrapartida, valores inferiores a 1,0 refletem a presença de irregularidades nas bordas ou cavidades internas, presença de espaços vazios, sugerindo menor uniformidade na estrutura da semente;

Preenchimento - essa variável representa a proporção da área da semente ocupada por material de alta densidade, expressa em porcentagem. Para sua determinação, foram geradas duas máscaras distintas: a primeira delimitou apenas as regiões com valores de intensidade de cinza mais elevados, correspondentes às áreas efetivamente preenchidas; e a segunda englobou toda a semente, incluindo as regiões internas não preenchidas (vazios ou cavidades). A subtração entre essas máscaras permitiu obter o valor percentual referente aos tecidos com maior densidade no interior da semente. A obtenção dessa variável, foi realizada por meio da macro *IJCropSeed*, desenvolvida no software ImageJ®, que permite o processamento automatizado das imagens. A macro requer apenas a indicação de onde os arquivos estavam

armazenados, após a definição dos parâmetros de resolução e o método de segmentação de imagens mais apropriados, o programa gerou automaticamente dois arquivos: um em formato *TIFF*, contendo a imagem processada, e outro em *TXT*, com a identificação sequencial das sementes e os resultados dos parâmetros analisados.

O experimento foi conduzido segundo o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os dados referentes à qualidade física das sementes foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias dos tratamentos de condicionamento foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se um nível de significância de 5%. Todas as análises estatísticas foram processadas no programa RStudio.

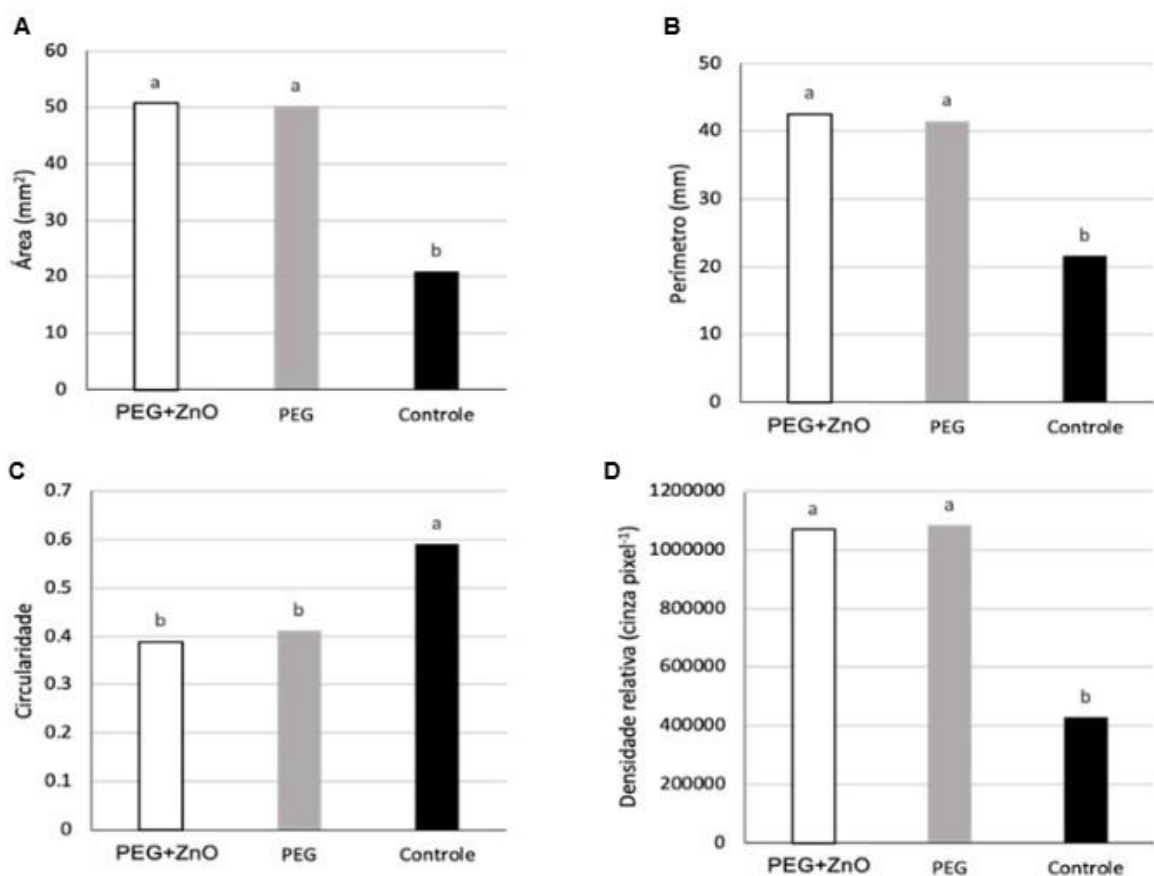
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

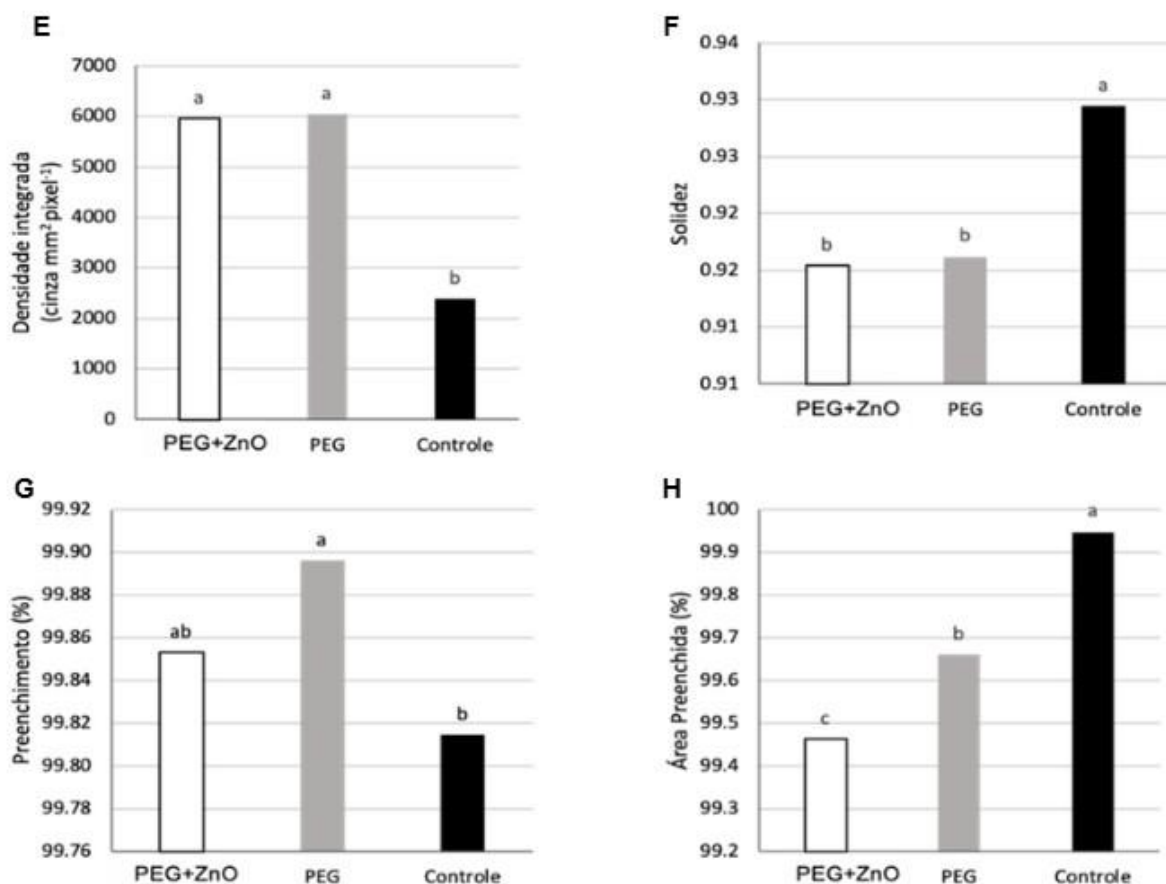
As sementes submetidas aos tratamentos com PEG e PEG + ZnO-NPs apresentaram diferenças significativas em relação ao controle nas variáveis área e perímetro (Figura 1A e 1B). Tais diferenças podem ser atribuídas ao efeito do osmocondicionamento, que favorece a hidratação dos tecidos e a reativação das funções metabólicas nas sementes (Marcos-Filho, 2015). Durante a fase I da embebição, ocorre a absorção de água pela semente, e com isso a ativação do metabolismo celular, retomada das atividades bioquímicas, início das divisões celulares e mobilização das reservas nutritivas, fundamentais para o desenvolvimento do embrião. No estudo de Noronha *et al.* (2019), a análise de imagens de sementes de moringa mostrou que o aumento da área está relacionado à maior absorção de água e ativação metabólica inicial, refletindo maior vigor das sementes. Em contrapartida, lotes com área menor apresentaram menor capacidade de hidratação e qualidade fisiológica inferior. Conforme observado por Peris *et al.* (2024), sementes de *Urochloa decumbens* que não passaram por condicionamento apresentaram valores inferiores nos atributos físicos avaliados por radiografia, incluindo área, escala de cinza, perímetro e densidade integrada, em comparação às sementes condicionadas. Essa diferença é atribuída à ausência de prévia hidratação, que limita a expansão dos tecidos e, conseqüentemente, o desenvolvimento morfológico das sementes.

As alterações na morfologia das sementes durante o processo germinativo impactam diretamente o índice de circularidade. À medida que o embrião se desenvolve, a conformação estrutural da semente se modifica, deixando de manter seu formato inicial. Dessa forma, sementes do grupo controle apresentaram maior uniformidade morfológica, refletida em

valores de circularidade mais próximos de 1,0, quando comparadas às submetidas ao condicionamento (Figura 1C). Medeiros *et al.* (2018), em estudo com sementes de *Leucaena leucocephala* observaram que sementes mais vigorosas apresentaram formas mais alongadas, o que resultou em menor circularidade, maior perímetro e maior densidade radiográfica, características que se correlacionaram positivamente com o vigor das plântulas.

Figura 1. Área (mm²) (A), Perímetro (cm) (B), Circunferência (C), Densidade Relativa (D), Densidade Integrada (E), Solidez (F), Preenchimento (G) e Área Preenchida (%) (H), obtidos a partir das imagens radiográficas dos diferentes tratamentos.





Legenda: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância.

Os parâmetros de densidade relativa e densidade integrada (Figuras 1D e 1E) revelaram que as sementes submetidas ao condicionamento exibiram valores superiores. Abud, Cícero e Gomes Junior (2018), indicaram que a análise radiográfica é eficiente para avaliar a morfologia interna de sementes de brócolis, permitindo relacionar a densidade dos tons de cinza com o vigor das plântulas. Sementes de maior densidade originaram plântulas mais desenvolvidas. Para Medeiros (2019), essas variáveis refletem a uniformidade e o grau de preenchimento interno dos tecidos, sendo fortemente associadas ao vigor e à integridade estrutural das sementes.

Os tratamentos com PEG e PEG + ZnO-NPs resultaram em valores de solidez de 0,92 cinza pixel⁻¹, enquanto o controle apresentou valor superior, de 0,93 cinza pixel⁻¹, conforme evidenciado na Figura 1F. Pinheiro *et al.* (2020), ao avaliarem sementes de *Piptadenia gonoacantha*, verificaram que sementes com maiores valores de densidade tecidual, preenchimento e solidez, tiveram maior germinação e vigor. Segundo Ribeiro *et al.* (2021) valores de solidez próximos a 1 indicam uma semente bem formada e sem danos.

As sementes submetidas ao condicionamento osmótico com PEG apresentaram maior percentual de preenchimento (99,90%) em relação ao controle (99,81%) (Figura 1G). Essa diferença, embora sutil, é significativa do ponto de vista fisiológico, indicando que o condicionamento promoveu alterações estruturais internas nas sementes. O aumento no preenchimento pode ser atribuído ao início do desenvolvimento do eixo embrionário, sugerindo ativação metabólica antecipada e reorganização celular promovida pelo PEG. Borges *et al.* (2019) observaram que sementes com embriões bem estruturados apresentaram maior capacidade de germinação e originaram plântulas normais, enquanto aquelas que possuíam maiores espaços entre o embrião e o tecido de reserva mostraram desempenho fisiológico inferior. Esses resultados reforçam a importância da análise de imagens por raios-X na detecção de anomalias internas e na estimativa indireta da qualidade fisiológica das sementes. Medeiros *et al.* (2020) relataram que sementes com maior percentual de preenchimento apresentam melhor formação interna, maior compactação dos tecidos e uniformidade embrionária, características diretamente associadas à qualidade fisiológica.

Houve variação na porcentagem da área preenchida entre os tratamentos. As sementes condicionadas apresentaram valores percentuais de 99,66% (PEG) e 99,46% (PEG + ZnO-NPs), enquanto o controle registrou (99,95%) (Figura 1H). Segundo Liu *et al.* (1993), o espaço visualizado entre o embrião e o endosperma em sementes condicionadas osmoticamente está relacionado às modificações estruturais decorrentes do *priming*, processo que intensifica o metabolismo e leva à utilização parcial das reservas.

4. CONCLUSÕES

O condicionamento fisiológico, tanto convencional quanto com nanopartículas de óxido de zinco, promoveu alterações nos atributos físicos das sementes de tomate. O nanocondicionamento também modificou a estrutura interna das sementes, indicando potencial para melhorar a qualidade e o desempenho fisiológico.

REFERÊNCIAS

- ABUD, H. F.; CÍCERO, S. M.; GOMES JUNIOR, F. G. Radiographic images and relationship of the internal morphology and physiological potential of broccoli seeds. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, n. 1, e34950, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.34950>. Acesso em: 30 out. 2025.
- ARAÚJO, P. C. et al. Condicionamento fisiológico e vigor de sementes de maxixe. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 3, p. 482–489, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222011000300011>. Acesso em: 29 jul. 2025.
- BORGES, S. R. S. et al. Tomato seed image analysis during the maturation. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 1, p. 22–31, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n1191888>. Acesso em: 02 nov. 2025.
- FAO. **FAOSTAT**: base de dados estatísticos da FAO. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, [s.d.]. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 12 mar. 2026.
- FRANÇA-NETO, J. B. et al. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1057882/1/Documentos3800L1.pdf>. Acesso em: 12 mar 2026.
- HAIRILANWAR, K. A. et al. Eco-friendly nanoprimer: Zinc oxide nanoparticles derived from banana peel extract for improved germination of chili seeds. **Journal of Seed Science**, v. 47, e202547006, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v47290750>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/pesquisa/14/0?tipo=ranking&indicador=10381&ano=2023>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**: Tabela 1618. Rio de Janeiro: SIDRA, 2025. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#notas-tabela>. Acesso em: 31 out. 2025.
- LIU, Y. et al. X-ray studies on changes in embryo and endosperm morphology during priming and imbibition of tomato seeds. **Seed Science Research**, v. 3, n. 3, p. 171–178, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0960258500001756>. Acesso em: 02 nov. 2025.
- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: Abrates, 2015.
- MEDEIROS, A. D. **Fenotipagem de sementes com uso de radiação eletromagnética não-visível e sua relação com a qualidade fisiológica**. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019. Disponível em:

<https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/b8cabac6-d305-4643-b9aa-721989fbf504/content>. Acesso: 01 nov. 2025

MEDEIROS, A. D. et al. High-throughput phenotyping of brachiaria grass seeds using free access tool for analyzing X-ray images. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, supl. 1, e20190209, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020190209>. Acesso em: 31 out. 2025.

MEDEIROS, A. D. et al. Relationship between internal morphology and physiological quality of pepper seeds during fruit maturation and storage. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 1, p. 25–35, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/agj2.20071>. Acesso em: 30 out. 2025.

MEDEIROS, A. D. et al. X-ray imaging and digital processing application in non-destructive assessing of melon seed quality. **Journal of Seed Science**, v. 42, e202042013, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42229761>. Acesso em: 29 jul. 2025.

MEDEIROS, A. D. et al. Parameters based on X-ray images to assess the physical and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 6, p. 643–652, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542018426023318>. Acesso: 30 out. 2025

MICHEL, B. E.; KAUFMANN, M. R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. **Plant Physiology**, v. 51, n. 5, p. 914–916, 1973. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914>. Acesso em: 29 jul. 2025.

MICHEREFF FILHO, M. et al. **Manejo integrado de pragas do tomate para mesa**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2022. (Documentos / Embrapa Hortaliças, 192). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1148404/1/DOC-192-Final.pdf>. Acesso em: 30 out. 2025.

NASCIMENTO, W. M.; PEREIRA, R. B. **Produção de mudas de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1050963/1/Producao-de-Mudas-de-Hortalicas.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2025.

NORONHA, B. G.; PEREIRA, M. D.; MEDEIROS, A. D. Incremento de área em sementes de moringa durante a embebição por meio da análise de imagens. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 221–232, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509827289>. Acesso em: 28 out. 2025.

NORONHA, B. G.; PEREIRA, M. D.; MEDEIROS, A. D. Incremento de área em sementes de moringa durante a embebição por meio da análise de imagens. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 221–232, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.32404/rean.v11i1.8288>. Acesso em: 27 out. 2025.

PINHEIRO, D. T. et al. Assessment of the physical and physiological quality of *Piptadenia gonoacantha* seeds (Mart.) J. F. Macbr. using image analysis. **Revista Arvore**, v. 44, e4426, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-908820200000026>. Acesso em: 01 nov. 2025.

RIBEIRO, A. S. et al. Use of radiographic images for rapid and non-destructive assessment of crambe seed quality. **Journal of Seed Science**, v. 43, e202143001, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v43239136>. Acesso em: 02 nov. 2025.

SABIR, S.; ARSHAD, M.; CHAUDHARI, S. K. Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: synthesis and applications. **The Scientific World Journal**, v. 2014, ID 925494, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2014/925494>. Acesso em: 29 jul. 2025.

SILVA, A. et al. Biocompatibility of Doped Semiconductors Nanocrystals and Nanocomposites. *In: Cytotoxicity*. [S. l.]: InTech, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.77197>. Acesso em: 29 out. 2025.

SILVA, P. P. et al. Análise de imagens no estudo morfológico e fisiológico de sementes de abóbora. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 210–214, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000200016>. Acesso em: 31 out. 2025.

TRUJILLO SAMBONI, H. A. **Análise multimodal de sementes de alface: técnicas de imagem, algoritmos de aprendizado de máquina e condicionamento fisiológico sob estresse abiótico**. 2024. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.11.2024.tde-06122024-092659>. Acesso em: 28 jul. 2025.

VILLELA, F. A.; FILHO, D. L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 11/12, p. 1957–1968, nov./dez. 1991.