



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
INSTITUTO DE CIÊNCIA AGRÁRIAS



FERNANDA RAMOS GARCIA

**VIGOR DE SEMENTES DE TOMATE NANOCONDICIONADAS COM ÓXIDO DE
ZINCO EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO**

UBERLÂNDIA

2025

FERNANDA RAMOS GARCIA

**VIGOR DE SEMENTES DE TOMATE NANOCONDICIONADAS COM ÓXIDO DE
ZINCO EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO**

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

Orientador: Prof. Dr. Hugo César Rodrigues
Moreira Catão

UBERLÂNDIA

2025

RESUMO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.), é considerado uma das principais hortaliças desenvolvidas no Brasil, fator comprovado pela alta produção dentre os maiores produtores da cultura. A qualidade da semente, deve atender atributos fisiológicos, como o vigor, para garantir uma alta quantidade e qualidade produtiva, além de boas condições como temperatura ideal e fornecimento de água. O condicionamento, surge como uma dessas práticas, melhorando a tolerância das sementes a estresses bióticos e abióticos. Atrelado a isso, a utilização de nanopartículas (NPs) possui benefícios conhecidos na agricultura, como o aumento da atividade biológica nas plântulas. O óxido de zinco (ZnO), é uma das NPs mais utilizadas, atuando como cofator de enzimas, além de acelerar a produção vegetal ao suplementá-la com o micronutriente. O trabalho teve por objetivo avaliar o vigor de sementes nanocondicionadas com óxido de zinco (ZnO) em condições de déficit hídrico. O experimento foi realizado na Universidade Federal de Uberlândia. Utilizou-se sementes de tomate Gyottone, da empresa Hortec, e foi aplicado o osmocondicionamento com polietilenoglicol, com e sem a presença de ZnO. Semente sem condicionamento foram usadas como testemunha. Atributos fisiológicos como germinação, emergência e comprimento de plântulas foram analisados, sendo essa última variável analisada a partir do software SeedCalc. O delineamento foi inteiramente casualizado e comparado pelo teste de Tukey, a 5% de significância. O condicionamento com nanopartículas de óxido de zinco em condições de déficit hídrico não promoveu efeito significativo sobre o vigor das sementes de tomate. Houve redução no desempenho das sementes em decorrência de possíveis efeitos fitotóxicos associados ao ZnO.

Palavras-chave: fisiologia da germinação; estresse; nanopartícula; *Solanum lycopersicum*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. MATERIAL E MÉTODOS	5
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
4. CONCLUSÃO	11
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11

1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.), pertencente à família das solanáceas (Solanaceae), é considerada uma das principais hortaliças desenvolvidas no Brasil (Embrapa, 2025). Sua produção no ano de 2024, segundo o IBGE, foi de 4,4 milhões de toneladas em uma área de 60 mil hectares, atingindo um rendimento médio de 72,7 mil kg por hectare. Produção essa, que fez com que o país atingisse no ano anterior o 8º lugar dentre os maiores produtores da cultura, dado apresentado pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) no ano de 2023.

O tomate se encontra presente no dia a dia dos brasileiros, independente de renda ou classe social. Fato esse, perceptível na própria rotina e alimentação da população como um todo. A partir dessa informação, é de suma importância que a produção esteja alinhada com o consumo de maneira geral, garantindo que a necessidade do alimento seja suprida. Vale ressaltar que a qualidade do produto deve estar intimamente ligada à quantidade produzida.

Quando tratamos de qualidade, diversos aspectos devem ser levados em consideração, dentre eles, a qualidade da semente, que deve atender atributos físicos, sanitários, genéticos e fisiológicos. Relacionado aos atributos fisiológicos, o vigor é ponto chave a ser levado em consideração, visto que o mesmo compreende as propriedades que garantirão uma emergência rápida e uniforme de plântulas (Araújo, 2024).

O vigor pode ser considerado a força motriz da semente, ou seja, um material que demonstrar essa característica de forma elevada, deverá apresentar raízes maiores quando comparadas a um outro, considerado fraco (Marcos-Filho, 2015). Ainda para esse autor, sementes pouco vigorosas tendem a se deteriorar mais rapidamente, não fornecendo toda a reserva disponível necessária para o desenvolvimento da plântula. Plantas com baixo vigor são menos produtivas e competem por recursos no campo com plantas vigorosas, reduzindo também seu potencial de compensação (Johnson, 2017).

De modo geral, a cultura do tomateiro é considerada sensível ao déficit hídrico em diferentes estágios de desenvolvimento (Alordzinu et al., 2021), reduzindo a velocidade de hidratação dos tecidos e a difusão de oxigênio, causando atraso no início da atividade enzimática, redução do crescimento meristemático, problemas no alongamento celular, síntese da parede e emissão da radícula (Marcos-Filho, 2015; Obroucheva et al., 2017). Além disso, diferentes respostas ao déficit hídrico dependem da espécie e/ou cultivar utilizada, bem como do tempo e duração da condição.

Visando minimizar os impactos supracitados, e favorecer o vigor das sementes, o condicionamento fisiológico surge como uma forma de realçar a qualidade ou beneficiar o desempenho de lotes. Além de ter como objetivo a garantia do rápido estabelecimento de um estande uniforme, funcionando assim como base para a obtenção de produções elevadas por área (Marcos-Filho, 2015).

O condicionamento fisiológico ocorre partir da absorção controlada de água, incentivando o metabolismo uniforme das sementes nas fases iniciais de embebição, ativando a digestão de reservas, porém, sendo interrompido antes que ocorra a protrusão da radícula, fornecendo assim maior estabilidade na absorção hídrica no momento do desenvolvimento final da semente.

Atrelado ao processo de condicionamento, surge a ideia da utilização de nanopartículas (NPs), que possuem tamanhos menores que 100 nm, e possuem conhecidos benefícios na agricultura, como o aumento da reatividade biológica (Kahn et al. 2023). Dentre as NPs mais utilizadas têm-se o óxido de zinco (ZnO). O zinco (Zn) atua em processos como cofator de enzimas, reduz a atividade de microrganismos, além de acelerar a produção vegetal ao suplementá-la com este micronutriente (Zhou et al. 2023).

Ao ser integrada ao condicionante, sementes de solanáceas foram influenciadas positivamente na velocidade de germinação (Younes et al. 2020), reduzindo a quantidade de zinco necessária e gerando maior eficiência quando comparada a estruturas convencionais, ou seja, consideradas de tamanho e condições normais (Hazarika et al. 2022), principalmente em condições de estresse. Isso ocorre por que, nanopartículas possuem modificações nas suas propriedades químicas, mecânicas, elétricas, permitindo que haja interação com biomoléculas celulares facilitando a transferência dos compostos químicos para as plantas (Sirelkhathim et al. 2015).

Diante o exposto, objetivou-se com esse trabalho avaliar o vigor de sementes de tomate condicionadas com nanopartículas de óxido de zinco em condições de déficit hídrico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Sementes (LASEM) do Instituto de Ciências Agrárias, em Uberlândia, Minas Gerais. Foram utilizadas sementes do híbrido de tomate Gyottone (teor de água 9,5%; germinação 80%) da empresa Hortec. O delineamento adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2 (condicionamento fisiológico x déficit hídrico) com quatro repetições. As nanopartículas de ZnO 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 condicionamento fisiológico das sementes foi conduzido por meio de dois tratamentos distintos: com polietilenoglicol (PEG 6000) e com uma combinação de polietilenoglicol e óxido de zinco (PEG + ZnO). No tratamento com PEG 6000, as sementes foram submetidas a uma solução aerada com potencial osmótico de -1 MPa, durante 24 horas a 15 °C, conforme metodologia descrita por Villela et al. (1991). Para isso foram utilizados 2,0 g de sementes colocadas em frascos Erlenmeyer de 250 mL, contendo 40,0 mL da solução osmótica, que foi continuamente aerada com o auxílio de uma bomba de ar comprimido. No caso do tratamento com PEG + ZnO, seguiu-se o mesmo procedimento descrito anteriormente, com a adição de nanopartículas de óxido de zinco na concentração de $6 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$, dosagem definida com base em testes preliminares. Como tratamento controle, utilizaram-se sementes que não passaram por nenhum tipo de condicionamento ou aeração. Ao final do condicionamento, as sementes foram retiradas do recipiente, lavadas em água corrente para retirada de resíduos da solução e submetidas em seguida à determinação do grau de umidade, a partir do método de estufa a 105°C, por um período de 24 horas (Brasil, 2025). As sementes condicionadas com polietilenoglicol e polietilenoglicol + ZnO apresentaram teor de água com valores de 46,7% e 47,4%, respectivamente.

Posteriormente, as sementes foram colocadas para secar sob papel toalha por um período de 72 horas, em condições de ambiente de laboratório. Em seguida, após a secagem foi novamente determinado o teor de água, sendo 10,7% e 9,0%, respectivamente, para sementes condicionadas com PEG e PEG + ZnO. Ressalta-se que o tratamento controle apresentou valor de 11% de teor de água.

Na sequência todo o material foi submetido a análises fisiológicas por meio das seguintes avaliações:

Germinação: quatro repetições de 50 sementes foram dispostas e semeadas em caixas gerbox, previamente desinfestada com álcool 70%, contendo duas folhas de papel mata borrão, as quais foram umedecidas com 2,5 vezes o peso do papel, tanto com uma solução de polietilenoglicol (-3,0 MPa), simulando um possível déficit hídrico, quanto com água destilada (0 MPa) para o controle. Após a distribuição do material, as caixas gerbox foram vedadas com policloreto de vinila (plástico PVC), a fim de evitar a perda de água e, em seguida, acondicionadas em câmara de demanda biológica de oxigênio (BOD) a temperatura de 25°C e fotoperíodo de 12 horas. Foram realizadas contagens diárias do número de plântulas normais e ao final de 14 dias foi calculada a porcentagem final de germinação. Os resultados foram

expressos em porcentagem de germinação (Brasil, 2025). Ao fim da realização desse teste foram calculados os seguintes parâmetros, por meio do pacote *SeedCalc* (Silva et al. 2019), no *software* R (R Core Team, 2022): Tempo para atingir 50% de germinação - T50 (Adaptado de Farooq et al. 2005); Uniformidade de germinação – UnifG (Demilly et al. 2014); Sincronia – Sinc (Primack, 1980) e Incerteza de germinação – IG (Labouriau e Valadares, 1976).

Emergência: a partir da metodologia proposta por Krzyzanowski et al. (2020) o teste foi adaptado utilizando 4 repetições com 50 sementes, as quais foram dispostas em caixas gerbox preenchidas com 240 gramas de areia umedecida, essa com 60% capacidade de retenção (Brasil, 2025), com água deionizada, ou seja, fora de condições de déficit hídrico, e cobertas posteriormente com mais 30 gramas da areia umedecida. Para simular o déficit hídrico as sementes foram dispostas seguindo a mesma metodologia, porém, a areia foi umedecida com solução de PEG 6000 (-0,3 MPa). Após a disposição da areia, as caixas foram vedadas com PVC e acondicionadas em BOD a 25°C. A cada três dias as caixas foram pesadas, e quando observada a redução do peso inicial, foi adicionada água deionizada para reposição de peso. Ao fim do período, com 14 dias, foi realizada a contagem para emergência final (Ef). Os resultados foram expressos em porcentagem.

Durante o período de avaliação do teste de emergência, também foram realizadas diariamente a contagem de plântulas normais emergidas, tendo como critério a abertura das folhas cotiledonares, a fim de determinar o Tempo Médio de Emergência (TME). Para essa avaliação foi utilizada equação proposta por Edmond e Drapala (1958).

$$TME = \frac{E1 * T1 + E2 * T2 + \dots + Ei * Ti}{E1 + E2 + \dots + Ei}$$

Onde: TME o tempo médio necessário para atingir emergência; E: número de plântulas normais emergidas com os cotilédones totalmente abertos; T: tempo em dias. Valores maiores de TME, representam tratamentos com sementes de menor vigor.

Comprimento de plântulas: foi determinado por meio do tamanho da parte aérea e da raiz primária. Para determinação dos aspectos mencionados, vinte sementes de cada tratamento foram dispostas e acondicionadas da mesma maneira do teste de germinação descrito anteriormente. Foram realizadas 10 repetições de cada tratamento, as quais foram mantidas em sala de germinação por um período de 5 dias a uma temperatura de 25°C. As plântulas de cada repetição foram transferidas para uma folha de Etil Vinil Acetato (EVA) de coloração azul com dimensões padrão e 30 cm x 22 cm e fotografadas com câmera de 12 MP e resolução de 4000 x 3000 pixels. Posteriormente as imagens foram processadas individualmente pelo software

ImageJ® e analisadas através do pacote *SeedCalc* (Silva et al. 2019) no *software* R. De posse desses resultados foram determinadas as seguintes variáveis: comprimento médio de parte aérea – CPA; comprimento médio da raiz – CR; comprimento médio total da plântula – CTP (Nakagawa et al. 1999); razão entre a média dos comprimentos de parte aérea e raiz – CR/CPA (Benincasa, 2003); Uniformidade – Unif, Crescimento – Cresc e Índice de vigor – IV (Sako et al. 2001).

As análises estatísticas foram realizadas por meio do *software* R Studio 2023.03.0+386 (R Development Core Team, 2022), e as médias dos tratamentos de condicionamento foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

É possível observar que as variáveis germinação (G); tempo para atingir 50% de germinação (T50); uniformidade de germinação (UnifG); sincronia (Sinc), incerteza (Inc) e emergência final (Ef) não se diferiram entre tratamentos osmocondicionantes (Tabela 1). O efeito do condicionamento pode ser mais facilmente observado em condições adversas (Costa e Villela, 2006), fator esse que não foi observado no teste de germinação, que é realizado em condições ideais temperatura, umidade, aeração e luminosidade (Brasil, 2025).

Tabela 1. Atributos fisiológicos de sementes de tomate submetidas a diferentes tratamentos osmocondicionantes, com e sem a presença de déficit hídrico na temperatura de 25 °C.

Osmocondicionamento								
Tratamento	G	T50	UnifG	Sinc	Inc	Ef	TME	Unif
Controle	46 a	10,85 a	4,16 a	0,17 a	1,78 a	86 a	11,56 b	949 ab
PEG	49 a	10,48 a	4,23 a	0,38 a	1,72 a	88 a	9,97 a	928 b
PEG + ZnO	46 a	11,52 a	4,20 a	0,27 a	1,85 a	81 a	9,86 a	959 a
Déficit hídrico								
Com déficit	13 b	13,49 b	0,63 b	0,39 a	0,78 b	82 a	9,65 a	969 a
Sem déficit	81 a	8,41 a	7,76 a	0,15 b	2,79 a	88 a	11,25 b	921 b

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. G: germinação (%); T50: tempo para atingir 50% de germinação; UnifG: uniformidade de germinação; Sinc: sincronia; Inc: incerteza; Ef: emergência final (%); TME: tempo médio de emergência e Unif: uniformidade de plântulas.

Foi observado diferença no tempo médio de emergência, sendo o tratamento controle com o maior tempo. O condicionamento promove maior potencial de turgor celular durante a reidratação das sementes, gerando consequentemente, uma emergência da raiz primária em menor tempo (Araujo et al. 2017; Fanti e Perez, 2003).

Conforme relataram Lima e Marcos-Filho (2010), o condicionamento é capaz de beneficiar as sementes com aspectos como rapidez e uniformidade de emergência, fator esse que corrobora para o resultado superior apresentado pelo tratamento com PEG de maneira isolada, e PEG + ZnO. Apesar disso, o autor apresenta que esses efeitos também são influenciados por aspectos como: método de condicionamento, período, temperatura, além de espécie, cultivar e potencial fisiológico inicial do lote utilizado, permitindo uma segunda interpretação, ao tratar de outros fatores que podem influenciar para a uniformidade, reforçando assim o resultado apresentado pelo tratamento com PEG 6000.

A ausência de déficit hídrico resultou em maiores porcentagens de germinação, sendo esta também mais uniforme e levando menos tempo para atingir 50% do total. A captação de água é fator imprescindível para o início das atividades metabólicas da semente, sendo a deficiência hídrica um fator limitante para a germinação de sementes não dormentes (Marcos-Filho, 2015). Dessa forma, a ausência de níveis mínimos de água, influencia em aspectos como velocidade, uniformidade e porcentagem de germinação.

A água deve estar disponível de maneira suficiente para iniciar, manter e finalizar o processo, tanto de germinação, quanto de desenvolvimento da plântula, reforçando que não só o excesso, mas também a escassez, pode gerar danos irreversíveis. Além disso, o tegumento vai agir de maneira retardatária à absorção de água, permitindo, na presença da mesma, uma hidratação e germinação uniforme, contribuindo para a manutenção do teor de água durante o processo de embebição (Marcos-Filho, 2015).

Com relação à variável sincronia (Sinc) foram observadas diferenças entre o fator déficit hídrico, demonstrando que o menor valor, ou seja, com a ausência de déficit, a germinação ocorreu de forma mais espaçada no tempo. Em casos de estresse, pode ser provocada a redução de desempenho do material em potenciais mais negativos, ou seja, meios com maior presença de sais e/ou solutos (Teixeira et al. 2011).

De acordo com Labouriau e Valadares (1976) a incerteza é a capacidade das sementes germinar em um determinado intervalo de tempo, ou seja, quanto maior a incerteza, menos concentrada foi sua germinação. Na Tabela 1, essa variável, sem as condições de déficit apresentou maior valor, demonstrando a capacidade em se desenvolver em um período menor e menos espaçado no tempo, atingindo o que se espera das sementes sobre baixas ou nenhuma condição de estresse.

Em relação a emergência final (Ef) não houve diferença estatística. A ausência de efeitos sobre a emergência das plantas, provavelmente se relaciona ao alto vigor das sementes utilizadas, promovendo consequentemente uma germinação rápida e uniforme do material

(Souza et al. 2017). A presença de condicionantes permitiu a emergência da raiz primária de maneira mais rápida, corroborando assim para a diferença estatística apresentada quanto ao tempo médio de emergência – TME (Araujo et al. 2017).

Com relação à uniformidade de plântulas, é observado um maior valor em estresse hídrico, fator esse que não representa uma garantia de bom desenvolvimento de plântulas, visto que, plântulas pouco desenvolvidas podem também apresentar alta taxa de uniformidade, por exemplo em baixa quantidade de emergência (Silva et al. 2019; Pereira et al. 2020).

Na Tabela 2 houve interação entre os tratamentos de osmocondicionamento e déficit hídrico. É possível verificar que o fator déficit hídrico influencia sobre desempenho e desenvolvimento das plântulas, mesmo sob os efeitos do condicionamento fisiológico, afetando negativamente todos os aspectos avaliados.

Tabela 2. Atributos fisiológicos de sementes de tomate submetidas a diferentes tratamentos osmocondicionantes e déficit hídrico na temperatura de 25 °C.

Tratamento	CPA		CR		CTP	
	CD	SD	CD	SD	CD	SD
Controle	1,6 aB	21,7 aA	0,23 bB	9,21 aA	1,8 aB	31,0 aA
PEG	4,5 aB	18,4 aA	0,87 aB	9,17 aA	5,4 aB	27,5 aA
PEG + ZnO	1,2 aB	10,4 bA	0,18 bB	6,58 bA	1,5 aB	16,9 bA

Tratamento	CR/CPA		Cresc		Vigor	
	CD	SD	CD	SD	CD	SD
Controle	0,10 aB	0,42 bA	36 aB	1046 aA	88 aB	866 aA
PEG	0,17 aB	0,50 bA	123 aB	1009 aA	142 aB	848 aA
PEG + ZnO	0,15 aB	0,64 aA	29 aB	696 bA	78 aB	630 bA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. CPA: comprimento de parte aérea (mm); CR: comprimento de raiz (mm); CTP: comprimento total de plântula (mm); CR/CPA: razão entre parte aérea e radicular; Cresc: crescimento; e Vigor, CD: com déficit hídrico, SD: sem déficit hídrico.

Torres (1998) afirmou que à medida em que o potencial hídrico é reduzido, ocorre simultaneamente uma redução no comprimento de plântulas de tomate, reforçando os resultados apresentados nos tratamentos com déficit para o aspecto “comprimento total de plântulas”. Segundo Dutra et al. (2022), sementes de solanáceas submetidas a um potencial osmótico reduzido apresentaram redução no comprimento radicular, corroborando o efeito de estresse hídrico, mesmo na presença do tratamento com PEG.

Com relação à presença de ZnO no condicionamento houve menor comprimento da parte de raízes, o que não ocorre na parte aérea e total de plântulas em déficit hídrico. Quanto a razão CR/CPA houve maior crescimento da parte aérea em relação a radicular. Houve também menor

crescimento e vigor das plântulas com déficit hídrico. Nas condições de déficit hídrico, foi verificado diferença estatística somente para o parâmetro CR, entre os tratamentos de condicionamento. No entanto, no tratamento sem déficit com a presença de nanopartícula de ZnO, foi observada a redução vigor. Reforça-se que o tamanho inadequado de nanopartículas, concentração e forma de condicionamento podem ser prejudiciais para o desenvolvimento das plântulas, e até mesmo gerar a inibição da germinação, a partir da alteração de sua estrutura celular e alteração de metabolismo, justificando provavelmente o que foi observado (Dileep Kumar et al. 2020; Gross et al. 2020).

A seleção da concentração de NPs e a duração do condicionamento das sementes, deve ser bem aplicada e estudada, visto que, altas doses podem ter efeito contrário e causar inibição da germinação e redução do desenvolvimento das plântulas, alterando seu metabolismo e estrutura celular (Dileep Kumar et al. 2020; Gross et al. 2020). Partindo disso, a alta concentração de ZnO pode ter causado desenvolvimento de células anormais, danos às raízes e brotos, além de afetar a síntese de clorofila, devido ao seu acúmulo nas estruturas mencionadas (Amooaghaie et al. 2017; Laware & Raskar, 2014; Wang et al. 2016).

4 CONCLUSÃO

O condicionamento com nanopartículas de óxido de zinco na concentração testada não promoveu efeito significativo sobre o vigor das sementes de tomate em condições de déficit hídrico. Houve redução no desempenho das sementes e plântulas em decorrência de possíveis efeitos fitotóxicos associados ao ZnO.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALORDZINU, K.E.; LI, J.; LAN, Y.; APPIAH, S.A.; AL AASMI, A.; WANG, H.; LIAO, J.; SAM-AMOAHA, L.K.; QIAO, S. Ground-based hyperspectral remote sensing for estimating water stress in tomato growth in sandy loam and silty loam soils. *Sensors*, v.21, n.17, 5705, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21175705>

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, n. 5, p. 441–455, maio 2017.

HAZARIKA, A. et al. An overview of the role of nanoparticles in sustainable agriculture. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. v. 43, p. 102399–102399, 17 jun. 2022.

ARAÚJO, Ítalo Gouveia Floresta Alves de. Vigor e posição de sementes de *Gossypium hirsutum* L. no teste de comprimento de plântulas. 2024. 23 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia, 2024

ARAUJO, M. M. V.; FERNANDES, D. A.; JARDINI, D. C., CAMILI, E. C.; Pré-hidratação e condicionamento fisiológico de semente de maracujazeiro amarelo. **Revista Agroambiente Online**, v. 11, n. 3, p. 241-247, 2017.

BAPTISTA, L.; FILHO, J. M. Condicionamento fisiológico de sementes de pepino e germinação sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 1, p. 138–147, 1 jan. 2010.

BENINCASA, M.M.P. Análise do crescimento em plantas – noções básicas. **Jaboticabal: FUNEP**, 412p. 2003.

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, 2025. 399p.

COSTA, C. J.; VILLELA, F. A. Condicionamento osmótico de sementes de beterraba. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 1, p. 21–29, 1 abr. 2006.

DEMILLY, D.; DUCOURNAU, S.; WAGNER, M. H.; DÜRR, C. Digital imaging of seed germination. In: GUPTA, S. D.; IBARAKI, Y. (Eds.). *Plant Image Analysis: Fundamentals and Applications*. **Boca Raton: CRC Press**, 2014. p. 147–164.

DILEEP KUMAR, G.; RAJA, K.; NATARAJAN, N.; GOVINDARAJU, K.; SUBRAMANIAN, K. S. Invigouration treatment of metal and metal oxide nanoparticles for improving the seed quality of aged chilli seeds (*Capsicum annum* L.). **Materials Chemistry and Physics**, v. 242, fev. 2020, p. 122492. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2019.122492

DUTRA, V. H. et al. **View of Physiological quality of *Physalis peruviana* seeds under water stress conditions**. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/rsd/article/view/25997/22732>>. Acesso em: 26 set. 2025.

EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v. 71, p. 428–434, 1958.

FANTI, S. C.; PEREZ, S. C. J. G. DE A. Efeito do estresse hídrico e envelhecimento precoce na viabilidade de sementes osmocondicionadas de paineira (*Chorisia speciosa*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 4, p. 537–543, 1 abr. 2003.

FAOSTAT. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 23 set. 2025.

FAROOQ, M.; BASRA, S. M. A.; AHMAD, N.; HAFEEZ, K. Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 47, n. 2, p. 187–193, 2005. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7909.2005.00031.x>.

GROSS, M. S.; BEAN, T. G.; HLADIK, M. L.; RATTNER, B. A.; KUIVILA, K. M. Uptake, metabolism, and elimination of fungicides from coated wheat seeds in Japanese quail (*Coturnix japonica*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, p. 1514–1524, 2020. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b05668>.

IBGE | Portal do IBGE | IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>>. Acesso em: 23 set. 2025.

JOHNSON, G. Seed vigor in sweet corn revisited, Weekly Crop Update From Ud Cooperative Extension. **University of Delaware**. MAY 12, 2017. Disponível em: <<https://sites.udel.edu/weeklycropupdate/?p=10301>>. Acessado em: 07 de abril de 2024.

KAHN, M. N.; FU, C.; LI, J.; TAO, Y.; LI, Y.; HU, J.; CHEN, L.; KAHN, Z.; WU, H.; LI, Z. Seed nanopriming: how do nanomaterials improve seed tolerance to salinity and drought? **Chemosphere**, v. 310, 2023, p. 136911. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136911>

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. DE B.; GOMES-JUNIOR, F. G.; NAKAGAWA, J. Teste de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. DE B.; MARCOS-FILHO, J. (eds.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 2020. p. 79–140.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. DE B.; GOMES-JUNIOR, F. G.; NAKAGAWA, J. Teste de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. DE B.; MARCOS-FILHO, J. (eds.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: **Abrates**, 2020. p. 79–140.

LABOURIAU L.G.; VALADARES M.B. On the germination of seeds of *Calotropis procera*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** v.48, p.174-186, 1976.

LAWARE, S.L.; RASKAR, S. Influence of zinc oxide nanoparticles on growth, flowering and seed productivity in onion. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, 3, 874-881.2014.

LIMA, L. B.; MARCOS FILHO, J. Condicionamento fisiológico de sementes de pepino e germinação sob diferentes temperaturas. *Revista Brasileira De Sementes*, 32(1), 138–147, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000100016>

MARCOS-FILHO, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Londrina: **ABRATES**, 2015. 660 p.

OBROUCHEVA, N.V.; SINKEVICH, I.A.; LITYAGINA, S.V.; NOVIKOVA, G.V. Water relations in germinating seeds. *Russian Journal of Plant Physiology* , v.64, p.625-633, 2017. <https://doi.org/10.1134/S102144371703013X>

PEREIRA, M. D.; REIS, J. A.; FERRARI, C. S.; VALE, A. M. P. G. Processamento digital de imagens de plântulas na avaliação do vigor de sementes de *Moringa oleifera* Lam. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 2, p. 291–306, 2020. <https://doi.org/10.5902/1980509825750>.

PRIMACK, R. B. Variation in the phenology of natural populations of montane shrubs in New Zealand. **Journal of Ecology**, v. 68, n. 3, p. 849–862, 1980.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R **Foundation for Statistical Computing**, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: jul. 2025.

SILVA, A. C. A.; SANTOS, A. B.; ARAÚJO, J. C. M.; MEDEIROS, L. R.; MACEDO, M. C. Biocompatibilidade de semicondutores dopados, nanocristais e nanocompósitos. In: CELIK, T. A. (org.). **Citotoxicidade**. Londres: **InTech**, 2018. p. 149–161.

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**, v. 41, n. 2, p. 250–257, 2019. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42n2217267>

SIRELKHATIM, A. et al. Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism. **Nano-Micro Letters**. v. 7, n. 3, p. 219–242, 19 abr. 2015.

SOUZA, F. M. et al. Emergência e crescimento inicial de plantas de milho sob déficit hídrico e doses de esterco bovino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 3, p. 524-529, 2017.

TEIXEIRA, R. N. et al. Germinação e vigor de sementes de crambe sob estresse hídrico. **IRRIGA**, v. 16, n. 1, p. 42, 30 ago. 2011.

Tomate - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/tomate>>. Acesso em: 26 set. 2025.

TORRES, S. **Avaliação do potencial fisiológico de sementes de tomate pelo teste de estresse hídrico** 1. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.cpatia.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB1157.pdf>.

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.

WANG, X. et al. Zinc oxide nanoparticles affect biomass accumulation and photosynthesis in Arabidopsis. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, 12 jan. 2016.

YOUNES, N. A. et al. Impact of synthesized metal oxide nanomaterials on seedlings production of three Solanaceae crops. **Heliyon**, v. 6, n. 1, p. e03188–e03188, 1 jan. 2020.

ZHOU, X.-Q. et al. Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Modification, and Applications in Food and Agriculture. **Processes**. v. 11, n. 4, p. 1193–1193, 13 abr. 2023.