



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
Colegiado do CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS



**Ciências
Biológicas**
UEL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ELOISA MERISSI FERREIRA

**EFEITO DO PRIMING DE SEMENTES COM DOADOR
DE ÓXIDO NÍTRICO NANOENCAPSULADO NO
DESENVOLVIMENTO INICIAL DE *Cecropia
pachystachya* E *Solanum lycopersicum***

Londrina – Paraná
2025

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

ELOISA MERISSI FERREIRA

**EFEITO DO PRIMING DE SEMENTES COM DOADOR
DE ÓXIDO NÍTRICO NANOENCAPSULADO NO
DESENVOLVIMENTO INICIAL DE *Cecropia*
pachystachya E *Solanum lycopersicum***

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina como um dos requisitos à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Dr. Halley Caixeta de Oliveira
Coorientadora: Laura Lopes Maldonado

Londrina – Paraná
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de
Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

F383e Ferreira, Eloisa Merissi.
Efeito do priming de sementes com óxido nítrico nanoencapsulado no desenvolvimento inicial de *Cecropia pachystachya* e *Solanum lycopersicum* / Eloisa Merissi Ferreira. - Londrina, 2025.
41 f.

Orientador: Halley Caixeta de Oliveira.
Coorientador: Laura Lopes Maldonado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, 2025.
Inclui bibliografia.

1. Horticultura - TCC. 2. Reflorestamento - TCC. 3. Germinação - TCC. 4. S-nitrosoglutathione - TCC. I. de Oliveira, Halley Caixeta. II. Maldonado, Laura Lopes . III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU 574

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Halley Caixeta de Oliveira

Laura Lopes Maldonado

Profa. Dra. Talita Silveira Amador

Prof. Dr. Danilo Miralha Franco (suplente)

Londrina, 09 de dezembro de 2025

DEDICATÓRIA

À minha filha Isis e ao meu esposo Allan, que enfrentaram comigo a dor das despedidas a cada segunda-feira e me acolheram com entusiasmo nos reencontros às sextas. Obrigada por acreditarem em mim e por transformarem meu retorno para casa no maior alento desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha filha Isis que suportou minha ausência nos momentos em que mais precisava de mim. Com seu jeito único, doce e gentil, ela é a luz que guia meus passos e a lição diária de superação. Esta conquista guarda, em sua essência, o desejo de tê-la orgulhado.

Agradeço ao meu companheiro de vida Allan, que mesmo diante da distância nunca permitiu que eu deixasse de sonhar. Em seu apoio, redescobri minha própria força e conheci a face mais linda do amor e o encanto de construir uma família.

Aos meus pais, Lenir e Cláudio, agradeço pelo apoio em mais esta importante jornada em minha vida e por me incentivarem a seguir esse caminho desde sempre.

Agradeço à minha irmã Laís, minha grande inspiração, e à minha sobrinha Niara, minha filha do coração, pelo apoio constante, que supera os 500 km que nos separam.

À minha tia Marta por ser minha mãe do coração e ter me dado o conforto que eu precisava em Londrina, não medindo esforços para que eu chegasse até aqui.

Agradeço aos meus sogros Lenilda e Alessio, que me acolheram como filha e aos meus cunhados Felipe e Allison, por todo o apoio e cuidado com a Isis.

Aos meus amigos de sempre, especialmente ao Mateus, que esteve ao meu lado desde o lúdico do Ensino Fundamental I até o amargor da universidade, sem nunca soltar a minha mão.

Agradeço às amigas que esta caminhada me trouxe, Ana Livia, Milena, Rebeca e Julia, pelo apoio constante e por tornarem meus dias na faculdade mais leves e inesquecíveis. Que este seja o início de uma amizade para toda a vida.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Halley Caixeta de Oliveira pela oportunidade e por assumir esse papel com tanta humanidade, dedicação e paciência.

À minha coorientadora Laura Lopes Maldonado, agradeço o acolhimento, a paciência e o auxílio em cada experimento, e aos colegas do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal por toda parceria.

À Universidade Estadual de Londrina, pela formação que transcende os limites acadêmicos.

Ao CNPq, ao NAPI Biodiversidade: Recursos Genéticos e Biotecnologia (Fundação Araucária/SETI) e ao INCT Nanotecnologia para Agricultura Sustentável (CNPq e CAPES) pelo apoio financeiro no desenvolvimento desta pesquisa.

Minha gratidão eterna a todos que, com presença, palavras ou gestos iluminaram o caminho que me trouxe até este momento.

FERREIRA, Eloisa Merissi. **Efeito do priming de sementes com doador de óxido nítrico nanoencapsulado no desenvolvimento inicial de *Cecropia pachystachya* e *Solanum lycopersicum***. 2025. 41 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2025.

RESUMO

O nanopriming de sementes com doadores de óxido nítrico (NO) tem se destacado por aprimorar a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento inicial de *Cecropia pachystachya* Trécul (Embaúba-do-brejo), espécie arbórea nativa da Mata Atlântica, e da hortaliça *Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme* (tomate cereja vermelho), sob efeitos do priming de sementes com nanopartículas (NPs) de quitosana contendo o doador de NO S-nitrosoglutationa (GSNO) nas concentrações de 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2,5 e 5 mM. Em *C. pachystachya*, o controle sem priming apresentou as maiores médias nos parâmetros porcentagem de emergência, índice de velocidade de emergência e índice de vigor quando comparados ao hidropriming, sugerindo a ocorrência de danos por embebição. A análise de componentes principais (PCA), realizada com os tratamentos de priming (hidropriming e nanopriming) demonstrou relação positiva entre os parâmetros morfológicos e de emergência e as diferentes concentrações de NP-GSNO, e uma relação negativa do hidropriming com os mesmos parâmetros. Em *S. lycopersicum*, por sua vez, os parâmetros não diferiram entre os tratamentos, entretanto a PCA indica uma relação positiva entre as concentrações de 0,5 e 1 mM e os parâmetros de emergência analisados, além de uma relação positiva com o comprimento de raiz, enquanto não houve associação do hidropriming com os parâmetros. Tais resultados indicam que o priming com NP-GSNO tem potencial para aprimorar o desenvolvimento inicial das plântulas, todavia, estudos complementares são necessários para otimizar a técnica, determinando a curva de embebição e o tempo de exposição ideais.

Palavras-chave: Horticultura. Reflorestamento. Nanotecnologia. S-nitrosoglutationa (GSNO). Germinação.

FERREIRA, Eloisa Merissi. **Effect of seed priming with nanoencapsulated nitric oxide donor on the early development of *Cecropia pachystachya* and *Solanum lycopersicum***. 2025. 41 pgs. Final Dissertation (Biological Sciences Undergraduation) – Londrina State University. Londrina. 2025.

ABSTRACT

Seed nanoprimering with nitric oxide (NO) donors has been shown to improve germination and initial seedling development. Therefore, this study aimed to evaluate the initial development of *Cecropia pachystachya* Trécul (Embaúba-do-brejo), a native tree species of the Atlantic Forest, and the vegetable *Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme* (red cherry tomato), under the effects of seed priming with chitosan nanoparticles (NPs) containing the NO donor S-nitrosoglutathione (GSNO) at concentrations of 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2.5, and 5 mM. In *C. pachystachya*, the control without priming showed the highest averages in the parameters percentage of emergence, emergence speed index, and vigor index when compared to hydropriming, suggesting the occurrence of imbibition damage. Principal component analysis (PCA), performed with priming treatments (hydropriming and nanoprimering), demonstrated a positive relationship between morphological and emergence parameters and different concentrations of NP-GSNO, and a negative relationship between hydropriming and the same parameters. In *S. lycopersicum*, however, the parameters did not differ between treatments; however, PCA indicates a positive relationship between concentrations of 0.5 and 1 mM and the analyzed emergence parameters, as well as a positive relationship with root length, while there was no association between hydropriming and the parameters. These results indicate that priming with NP-GSNO has the potential to improve the initial development of seedlings; however, further studies are needed to optimize the technique, determining the ideal imbibition curve and exposure time.

Keywords: Horticulture. Reforestation. Nanotechnology. S-nitrosoglutathione (GSNO). Germination.

SUMÁRIO

	Pág
1 INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O ESTABELECIMENTO DAS PLÂNTULAS	5
2.2 GERMINAÇÃO.....	7
2.3 PRIMING DE SEMENTES E DANOS POR EMBEBIÇÃO	8
2.4 ÓXIDO NÍTRICO	10
2.5 NANOTECNOLOGIA	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 MATERIAL VEGETAL	14
3.2 PREPARO DAS FORMULAÇÕES.....	14
3.3 TRATAMENTO DAS SEMENTES E CONDIÇÕES DE CULTIVO	15
3.4 ANÁLISES DE EMERGÊNCIA	17
3.5 ANÁLISES MORFOLÓGICAS	17
3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	18
4. RESULTADOS	19
4.1 <i>C. PACHYSTACHYA</i>	19
4.2 <i>S. LYCOPERSICUM</i>	22
5. DISCUSSÃO	26

6. CONCLUSÕES	32
----------------------------	----

REFERÊNCIAS	33
--------------------------	----

1 INTRODUÇÃO

As ações antrópicas têm desempenhado papel central nas mudanças climáticas contemporâneas, configurando-se como um dos maiores desafios socioambientais da atualidade (ARTAXO, 2014; ARTAXO, 2020; ARTAXO, 2023; AYOUB et al., 2024; ANDRADE et al., 2024; COELHO et al., 2024). A intensificação das atividades humanas, como o desmatamento e a queima de combustíveis fósseis, tem provocado alterações significativas na composição atmosférica e nos ciclos naturais do planeta (ARTAXO, 2014; ARTAXO, 2020; ARTAXO, 2023; AYOUB et al., 2024; ANDRADE et al., 2024; COELHO et al., 2024). Essas mudanças repercutem diretamente na estabilidade climática global, desencadeando eventos extremos, como ondas de calor, secas prolongadas, enchentes e perda de biodiversidade, que comprometem a integridade dos ecossistemas (ARTAXO, 2014; ARTAXO, 2020; ARTAXO, 2023; AYOUB et al., 2024; ANDRADE et al., 2024; COELHO et al., 2024). Neste contexto, programas de reflorestamento e sistemas agrícolas enfrentam grandes desafios, pois a degradação ambiental ocasionada pelas mudanças climáticas prejudica o estabelecimento bem-sucedido das mudas e reduz a produtividade agrícola (AYOUB et al., 2024; COELHO et al., 2024).

Diante desta realidade, torna-se essencial a elaboração de estratégias capazes de aumentar o vigor das sementes e favorecer o desenvolvimento inicial das plântulas, garantindo a produção de mudas mais resistentes às adversidades ambientais. Além disso, essas estratégias tornam-se ainda mais relevantes no contexto do reflorestamento, uma vez que esse processo contribui significativamente na mitigação das mudanças climáticas devido a captura

de carbono pelas árvores ser uma das estratégias mais eficazes para limitar o aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera (GRASSI et al., 2017; MANES; HENUD; TANIZAKI-FONSECA, 2022;).

Nesse sentido, a germinação constitui-se como uma das etapas mais importantes para o estabelecimento das plântulas e tem grande influência na qualidade das lavouras e no sucesso dos programas de reflorestamento (PEREIRA et al., 2021; IMTIAZ et al., 2023).

A germinação é o processo que marca o reinício da atividade metabólica da semente, culminando, sob condições adequadas, com a protrusão da radícula (PEREIRA et al., 2021). Esse processo é dividido em três fases principais: embebição (absorção de água), ativação metabólica e crescimento do embrião. (BORGES; RENA, 1993; PEREIRA et al., 2021). Entretanto, quando a emergência das plântulas ocorre de forma lenta, estas tornam-se mais vulneráveis a estresses ambientais e à ação de patógenos, fatores que podem comprometer o vigor, reduzir a produtividade das mudas e, conseqüentemente, ocasionar perdas econômicas (PAPARELLA et al., 2015).

O conhecimento dos fatores que influenciam a germinação permite que eles sejam controlados e manipulados de modo a aprimorar a emergência e o desenvolvimento inicial das plântulas (DUTRA et al., 2016). Nesse sentido o tratamento de sementes através do priming é uma técnica promissora que confere resistência a estresses bióticos e abióticos (FERREIRA; PEREZ-MARIN, 2022).

O priming de sementes é uma técnica de condicionamento fisiológico realizada sob condições controladas, na qual a hidratação parcial antes da semeadura ativa os processos metabólicos iniciais da germinação e, antes que ocorra a protusão da radícula, as sementes são submetidas à secagem

(PAPARELLA, et al., 2015). Durante esse processo, são desencadeados mecanismos de reparo celular, síntese de proteínas e reorganização de sistemas antioxidantes, preparando a semente para responder de forma mais eficiente quando submetida à germinação (PEREIRA et al., 2021; FERREIRA; PEREZ-MARIN, 2022).

Aliado a isso, a atuação do óxido nítrico (NO) como molécula sinalizadora é reconhecida em uma variedade de processos bioquímicos e fisiológicos da planta, incluindo germinação de sementes e a resposta a estresses (KOLBERT et al., 2020; SOUZA et al., 2025).

Todavia, por se tratar de um radical livre gasoso, o NO é geralmente disponibilizado de forma exógena às plantas por meio de doadores, como a S-nitrosoglutationa (GSNO), considerada um reservatório natural de NO (FRUNGILLO et al., 2014). Essa é a principal estratégia para elevar seus níveis endógenos e desencadear respostas biológicas (SEABRA et al., 2022).

Entretanto, esses doadores apresentam sensibilidade a fatores ambientais, o que pode resultar em degradação acelerada, liberação excessivamente rápida de NO e/ou formação de subprodutos tóxicos (SEABRA et al., 2022). Methela et al. (2023), em um estudo com soja (*Glycine max* (L.) Merrill.), verificaram que as nanopartículas (NPs) de quitosana contendo GSNO promoveram a liberação de NO de forma mais lenta e prolongada em comparação à GSNO livre. Portanto, a nanoencapsulação desponta como alternativa promissora, pois protege os doadores, assegurando a liberação controlada do NO (SEABRA et al., 2022; SOUZA et al., 2025).

A quitina é um biopolímero abundante, derivado do exoesqueleto de artrópodes, como os crustáceos (SALMAN e ZEDAIN, 2025). Através da

desacetilação, a quitina é convertida em quitosana (SALMAN e ZEDAIN, 2025). Além de ser biodegradável, atóxico e de baixo custo, esse composto exerce função reguladora do crescimento vegetal (KUMARASWAMY et al., 2018; SINGH et al., 2022). Em razão disso, a sua aplicabilidade no priming de sementes vem sendo testada. Guaraldo et al. (2023), ao testar diferentes bioativos no priming de sementes de algodão (*Gossypium hirsutum*) submetidas ao déficit hídrico e a salinidade, observou que o priming com quitosana foi um dos tratamentos que apresentou maior potencial para aumentar a resistência ao estresse.

Neste contexto, o nanopriming de sementes é uma técnica que utiliza formulações contendo NPs para o tratamento das sementes, promovendo plantas mais resistentes e com menor impacto ambiental (PEREIRA et al., 2021).

Souza et al. (2025), ao realizar o priming em sementes de trigo (*Triticum aestivum* L.) com doadores de NO encapsulados em NPs de quitosana, observaram um efeito benéfico em parâmetros morfológicos e de emergência, sob condições de déficit hídrico. Dessa mesma forma, Maldonado (2025) observou que o nanopriming com GSNO apresenta potencial para aprimorar a emergência e o desenvolvimento inicial de plântulas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, como a *Cecropia pachystachya* Trécul, na qual o nanopriming utilizando um doador de NO promoveu um aumento no comprimento das raízes.

Tais resultados devem-se ao tamanho reduzido das NPs e a maior área de superfície/volume, que proporciona maior interação com as células (PEREIRA et al., 2021; SEABRA et al., 2022; MGADI et al., 2024). Além disso, a liberação gradual e prolongada dos bioativos pelas NPs pode potencializar seus efeitos nos tratamentos com sementes (SEABRA et al., 2022).

Conhecida pela sua relação ecológica com formigas do gênero *Azteca* sp. (CARVALHO, 2006), a *Cecropia pachystachya* Trécul é uma espécie pioneira amplamente utilizada em programas de restauração florestal. Por outro lado, *Solanum lycopersicum* se caracteriza como uma hortaliça cultivada mundialmente (COSTA et al., 2018), sendo que o consumo *in natura* dos frutos da variedade *cerasiforme* vem crescendo de forma acelerada (SANTOS, 2018).

Diante do cenário exposto, objetivou-se neste estudo avaliar os efeitos da GSNO encapsulada em NPs de quitosana na germinação e no desenvolvimento inicial de *C. pachystachya* e *S. lycopersicum*.

A hipótese testada é que o tratamento com GSNO nanoencapsulada por meio da técnica de priming de sementes irá aprimorar o desenvolvimento inicial das espécies, conferindo um impacto positivo nos parâmetros morfológicos e de emergência analisados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O ESTABELECIMENTO DAS PLÂNTULAS

Artaxo (2014) demonstra em seu trabalho que as mudanças no clima do nosso planeta já estavam em andamento e causando impactos sobre os ecossistemas e a organização socioeconômica, devido ao aumento da temperatura que ocasiona efeitos ambientais alarmantes.

O aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) é uma das alterações que mais causam preocupação (CARVALHO et al., 2010) devido a sua capacidade de promover o aquecimento global (BARBIERI et al., 2018). Os GEE podem promover o aumento da frequência e da intensidade de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, ondas de calor e inundações causadas por chuvas torrenciais (ZANDALINAS; FRITSCHI; MITTLER, 2021; AYOUB et al., 2024).

Esses eventos impactam a produção agrícola, a infraestrutura costeira, a disponibilidade de recursos hídricos e a qualidade ambiental das cidades, causando impactos sociais, ambientais e econômicos. (FREITAS; PAIVA, 2018; ARTAXO, 2020).

A partir da Segunda Revolução Industrial, impulsionada pelo desenvolvimento de tecnologias avançadas, as atividades humanas passaram a causar impactos ambientais cada vez mais intensos e prejudiciais (ANDRADE et al., 2024). As ações antrópicas são as principais responsáveis pelo aumento dos GEE (AYOUB et al., 2024) através da queima de combustíveis fósseis, desmatamento, queimadas, entre outras ações associadas a atividades produtivas, como apresenta o Plano ABC (Brasil, 2012).

O aumento da temperatura da Terra em consequência de atividades humanas foi de 1,07°C no período de 1850-2021 (IPCC, 2021) e as temperaturas globais devem continuar a subir, com consequências para os padrões climáticos e os ecossistemas, caso não sejam realizadas estratégias para mitigar esse cenário (AYOUB et al., 2024). Nesse sentido, por atuarem como grandes estoques de carbono na biomassa vegetal, serapilheira e matéria orgânica do solo (FAHEY et al., 2010), as florestas influenciam na mitigação das mudanças climáticas. Nessa mesma ordem, o IPCC (2007) reconhece que a conservação da cobertura vegetal original e o combate ao desmatamento são ações mitigadoras do aquecimento global. Dessa forma, é fundamental promover iniciativas de reflorestamento e adotar práticas agrícolas sustentáveis. (COELHO et al., 2024).

No entanto, atualmente os programas de reflorestamento e a agricultura enfrentam muitos desafios frente aos efeitos das mudanças climáticas globais, (PEREIRA et al., 2021) como o déficit hídrico e temperaturas elevadas

(ADAMS et al., 2017; MAINHART et al., 2024). Ocasionalmente em perturbação nos padrões ecossistêmicos da fotossíntese e da produtividade e afetando o estabelecimento das plântulas. (ARTAXO, 2023),

Espera-se que a população mundial aumente para 9–10 bilhões até 2050, o que implica que a produção de alimentos precisará crescer entre 25% e 70% em relação aos níveis atuais (PEREIRA et al., 2021). Nesse cenário, é fundamental o desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis que melhorem a produtividade agrícola e o estabelecimento das mudas nos programas de restauração florestal, garantindo a segurança alimentar sem prejudicar as florestas.

2.2 GERMINAÇÃO

As três fases do processo de germinação de sementes são apresentadas por Pereira et al. (2021): a fase I consiste na hidratação da semente, momento em que ocorre uma rápida absorção de água. A fase II, conhecida como a fase da ativação, corresponde ao momento em que o metabolismo se torna hiperativo com a produção de enzimas necessárias para a mobilização de reservas e desenvolvimento embrionário, porém nessa fase a absorção de água é limitada. Por fim, na fase III ocorre o crescimento do embrião e novamente é observado uma rápida absorção de água, que resulta na protusão da radícula.

O conhecimento dos fatores que influenciam a germinação permite que eles sejam controlados e manipulados de modo a aprimorar a emergência e o desenvolvimento inicial das plântulas (DUTRA et al., 2016). Quando esse processo ocorre de maneira lenta e sem uniformidade, as plântulas ficam mais suscetíveis a adversidades ambientais e ao ataque de patógenos, o que pode comprometer seu vigor, prejudicar a formação das mudas e gerar impactos negativos na produtividade e na rentabilidade (PAPARELLA et al., 2015). Assim, a utilização de estratégias que

favoreçam a germinação é fundamental para assegurar a produção de mudas mais vigorosas e resistentes aos fatores de estresse.

2.3 PRIMING DE SEMENTES E DANOS POR EMBEBIÇÃO

O priming de sementes é uma técnica de hidratação controlada realizada antes da sementeira, com o objetivo de reduzir o tempo e sincronizar a germinação, além de aprimorar o estabelecimento das plântulas (SANTOS et al, 2008). O processo consiste em imergir as sementes em soluções ou suspensões, permitindo que atinjam o primeiro estágio da germinação, e então secá-las antes da protrusão da radícula (SINGH et al., 2015; THAKUR et al., 2022)

Na etapa de embebição, o priming promove maior absorção hídrica e intensifica a síntese proteica e a atividade respiratória (FERREIRA; PEREZ-MARIN, 2022). Isso permite a otimização do tempo de absorção de água quando as sementes entrarem em contato com o solo, resultando em uma germinação mais rápida e uniforme. Além disso, o aumento da atividade antioxidante protege a semente e a plântula de estresses ambientais, incluindo seca, salinidade, metais pesados e ataques de patógenos. (MAMTA e MONDAL, 2025).

Há diferentes tipos de priming e diferentes formas de categorizá-los. Kavali e Gupta (2024) apresentam o hidropriming como o método mais simples de priming de sementes. Esse método consiste em imergir as sementes em água pura e, em seguida, secá-las até atingirem seu teor de umidade original antes do plantio. Essa técnica apresenta baixo custo e se destaca por não ocasionar danos ao meio ambiente.

Em seus trabalhos com *Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*, Fregonezi et al. (2024) demonstraram que o hidropriming apresentou benefícios importantes na resistência ao déficit hídrico. As plantas tratadas apenas com água

mostraram maior resistência à seca do que o tratamento controle, mantendo um maior potencial hídrico. Além disso, o tratamento estimulou respostas antioxidantes, como o aumento da atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) nas raízes sob déficit hídrico, auxiliando na proteção contra danos oxidativos.

Entretanto, o processo de hidratação pode induzir ao dano por embebição, um fenômeno diretamente influenciado pela velocidade de absorção de água pelas sementes (PEREIRA, 2019). Em um estudo com soja, a autora constatou que a imersão direta em água foi o método de condicionamento mais prejudicial, resultando em maior incidência de plântulas anormais e evidenciando os efeitos deletérios de uma hidratação excessivamente rápida. Pereira (2019) explica que esse dano ocorre quando uma diferença acentuada entre o potencial hídrico da semente e do meio circundante provoca alterações conformacionais e rupturas no sistema de membranas celulares.

Os danos por embebição podem estar associados ao estado físico das membranas celulares, visto que elas se alternam entre dois estados físicos principais: a fase cristalina líquida e a fase de gel (ALPERT e OLIVER, 2022). Em condições de desidratação, as membranas encontram-se predominantemente na fase de gel, caracterizada por menor fluidez e eficiência na contenção de solutos. Assim, quando a embebição ocorre de forma rápida, a água penetra antes que seja realizada a transição para a fase cristalina líquida, resultando em danos celulares (ALPERT e OLIVER, 2002). Esse processo é considerado a principal causa dos danos por embebição (ALPERT e OLIVER, 2002).

Dessa forma, a aplicação bem-sucedida da técnica de priming pode ser otimizada com um controle mais rigoroso das condições de hidratação em pesquisas futuras. A caracterização da curva de absorção de água pelas sementes

durante o tratamento surge como uma variável promissora para o estabelecimento de protocolos que assegurem a máxima eficiência da técnica, evitando paralelamente a ocorrência de danos por embebição.

2.4 ÓXIDO NÍTRICO

O NO é a espécie reativa de nitrogênio (ERN) mais abundante nas plantas (SANZ et al., 2015). No metabolismo vegetal, essa molécula atua como sinalizadora em diversos processos, como a regulação do movimento estomático e das respostas imunológicas da planta, sendo reconhecida como um mensageiro crucial nas interações planta-patógeno (KOLBERT et al., 2021; SUN et al., 2021; KUŻNIAK e CIERESZKO, 2025). Além disso, o NO é um alvo promissor para estimular a germinação de sementes, otimizar a arquitetura radicular, promover o crescimento e o desenvolvimento das plantas e aumentar a resistência a estresses bióticos e abióticos (SUN et al., 2021).

A própria planta pode sintetizar o NO, através de vias oxidativas e redutivas (SUN; YU; HU, 2017) e a síntese pode ocorrer em diversas organelas como as mitocôndrias, cloroplastos, peroxissomos, além do citoplasma e aploplasto (SAHAY e GUPTA, 2017; KUŻNIAK e CIERESZKO, 2025). Entre as diferentes vias de produção de NO endógeno, a mais estudada em plantas é a via da redutase do nitrato que ocorre no citosol e se caracteriza por utilizar NADH como principal doador de elétrons na catálise da redução do nitrato para nitrito (GUPTA et al., 2011).

O NO se caracteriza como uma molécula diatômica pequena, de alta difusividade ($4.8 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ em água) com propriedades hidrofóbicas, o que permite a sua difusão por regiões hidrofílicas da célula e na fase lipídica das biomembranas (KOLBERT et al., 2019). A sua atividade sinalizadora é o que gera a capacidade das plantas em superar condições ambientais desafiadoras (SOUZA et

al., 2025) através de interação com fitohormônios, outras moléculas sinalizadoras e proteínas (FANCY; BAHLMANN; LOAKE, 2017).

No entanto, a aplicação exógena de NO é limitada por se tratar de um radical livre gasoso com curta meia-vida em condições aeróbicas (SEABRA et al., 2022). Os doadores de NO, como a S-nitrosoglutationa (GSNO), surgem como uma alternativa, esse doador é naturalmente o mais abundante em plantas (SOUZA et al., 2025). Wei et al. (2022) utilizando GSNO para tratar mudas de tomate sob estresse salino observou que esse doador reverteu significativamente o efeito inibitório do NaCl, aumentando consideravelmente a área foliar, o comprimento da raiz, a altura da planta, o peso seco, o peso fresco e a atividade radicular das mudas de tomate.

Todavia, apesar da disponibilidade dos doadores de NO, tais moléculas geralmente apresentam propriedades que comprometem a ação de sinalização desejada do NO nas plantas-alvo, pois sofrem rápida degradação por serem sensíveis a fatores ambientais (SEABRA et al., 2022). Nesse contexto, a nanotecnologia constrói novas possibilidades, permitindo a proteção desses doadores contra a degradação e possibilitando a aplicação do NO nas plantas.

Do Carmo et al. (2025) demonstrou em seus estudos com a espécie *C. pachystachya* que NPs liberadoras de NO aumentaram a tolerância a seca nas mudas dessa espécie, através dos efeitos positivos sobre a eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II, conteúdo relativo de água das folhas e sobre o potencial hídrico, o que se relaciona ao efeito benéfico do NO nanoencapsulado, onde a proteção do doador garante uma liberação gradual da molécula.

2.5 NANOTECNOLOGIA

A manipulação da matéria em nanoescala possibilita novas aplicações para o mesmo material. A utilização da nanotecnologia na agricultura tem um caráter sustentável e possibilita a otimização de práticas agrícolas visando o suprimento da elevada demanda por alimentos (LEOPOLDO e VECHIO, 2020).

Devido ao tamanho reduzido dos nanomateriais, a grande superfície de contato e as propriedades ópticas únicas, os materiais em escala nanométrica podem ser aplicados em diferentes projetos e técnicas, como na produção de mudas florestais (Li et al., 2019).

Como demonstrado por Silva e Toma (2018) as NPs poliméricas podem funcionar como um sistema carreador, devido a sua capacidade de incorporar diferentes compostos em seu interior, permitindo uma liberação controlada desses ingredientes ativos e fornecendo-os no momento e local corretos. Graças à eficiência na interação das NPs com a célula vegetal, há uma redução das doses aplicadas, o que contribui para diminuição dos riscos de contaminação ambiental e minimização dos impactos negativos aos ecossistemas e a saúde humana.

Souza et al. (2025) em estudos com o trigo (*Triticum aestivum* L.) utilizando os doadores de NO GSNO e ácido S-nitroso-mercaptosuccínico (MSNO), observaram a capacidade das NPs em conferir proteção aos doadores contra a rápida degradação, assegurando uma liberação mais controlada e eficiente, pois as NPs reduziram significativamente a porcentagem desse composto liberada ao final do experimento.

Nesse sentido, como apresenta Pereira et al. (2021) o nanopriming de sementes é uma tecnologia que utiliza nanomateriais, principalmente NPs, para o

condicionamento de sementes. Nesse processo, podem ser utilizadas diferentes tipos de NPs, como as poliméricas, metálicas e biogênicas.

Atuando no metabolismo da semente, as NPs podem modular a expressão gênica, aumentar a quantidade de aquaporinas, regular as espécies reativas de oxigênio (ROS) e ativar enzimas essenciais, como a amilase (MAMTA e MONDAL, 2025). Dessa forma, as NPs são utilizadas para fornecer nutrientes, regular o crescimento ou diretamente como agentes protetores das sementes (PEREIRA et al., 2021; MAMTA e MONDAL, 2025).

Em seus estudos avaliando os efeitos do nanopriming com dióxido de titânio (TiO₂) na germinação e desenvolvimento inicial das plântulas de *S. lycopersicum* L. cv., Yagız e Çalışkan (2024) observaram que as NPs de TiO₂ aumentaram o teor de clorofila e a taxa de fotossíntese das plantas de tomate.

Maldonado (2025) realizando o priming de sementes com NP-GSNO em espécies nativas da Mata Atlântica, observou que a concentração de 2,5 mM promoveu maior índice de velocidade de emergência e maior porcentagem de emergência no Jangadeiro (*Heliocarpus popayanensis* Kunth), além de um aumento na massa seca de raiz e de parte aérea.

Souza et al. (2025), observaram que o nanopriming com os doadores de NO GSNO e MSNO foram os únicos tratamentos que levaram a uma redução significativa nos níveis de H₂O₂ além de aumentos nos níveis de S-nitrosotióis (RSNO) e no teor relativo de água em relação ao controle, em plântulas de trigo submetidas ao déficit hídrico. Tais resultados ressaltam a capacidade das NPs de interagir em nível molecular dentro das sementes, estimulando a resistência a estresses (KAVALI e GUPTA, 2024).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL VEGETAL

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram selecionadas duas espécies vegetais, empregadas em diferentes contextos.

Popularmente chamada de Embaúba-do-brejo, a *C. pachystachya* trata-se de uma espécie arbórea nativa da Mata Atlântica, perenifólia, heliófila e associada a solos úmidos (LORENZI, 1992; CARVALHO, 2006). É amplamente empregada em programas de restauração florestal por ser pioneira e ter preferência por áreas de mata secundária (LORENZI, 1992). As sementes utilizadas foram fornecidas pela empresa Arbocenter (Birigui, SP).

Apresentando cultivo difundido em todos os continentes, a espécie *S. lycopersicum* tem grande importância econômica no Brasil, país que ocupa posição de destaque na produção de tomate (SANTOS, 2018). A valorização desse fruto na gastronomia contemporânea impulsiona um crescimento expressivo na demanda pelo tipo cereja. (SANTOS, 2018). Suas sementes foram adquiridas na ISLA Sementes, sendo realizado o devido cadastro do acesso ao patrimônio genético no SISGEN (registro A534F6E).

3.2 PREPARO DAS FORMULAÇÕES

As NPs foram obtidas por gelificação ionotrópica, conforme descrito por Silveira et al. (2019). Inicialmente a quitosana foi dissolvida em solução de ácido acético a 1%. Em sequência houve a adição de glutathione (GSH) e posterior agitação magnética por 90 minutos. Para originar a suspensão de NPs contendo GSH, uma solução de tripolifosfato de sódio foi incorporada gota a gota, atingindo a concentração final de 40 mM.

A formação da molécula de GSNO ocorreu pela adição de nitrito de sódio (NaNO_2) à suspensão de NPs, promovendo a nitrosilação dos grupos tióis da GSH (OLIVEIRA et al., 2016; SILVEIRA et al., 2019). Essa suspensão foi mantida em baixa temperatura e protegida da luz por uma hora. Em seguida, realizou-se a diluição em água destilada até se obter as concentrações de GSNO utilizadas neste estudo (0,1; 0,25; 0,5; 1; 2,5 e 5 mM), que foram definidas com base em tratamentos previamente conduzidos por Maldonado (2025) no Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da UEL.

3.3 TRATAMENTO DAS SEMENTES E CONDIÇÕES DE CULTIVO

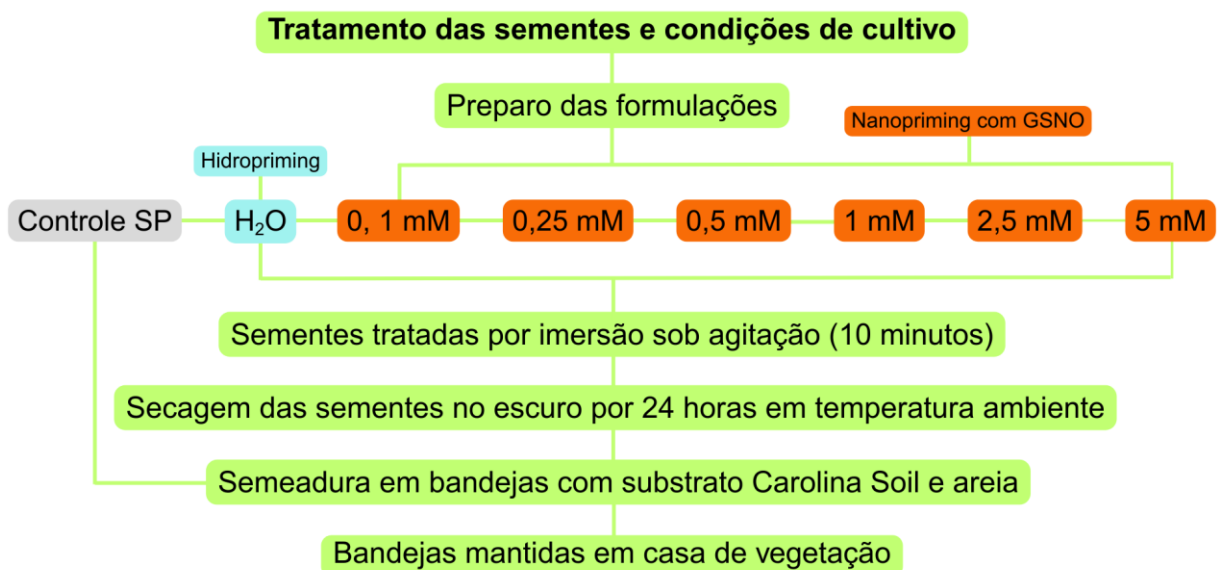
Para realização dos experimentos, as sementes foram divididas e dispostas em diferentes tipos de tratamentos: nanopriming, com as diferentes concentrações de GSNO (0,1; 0,25; 0,5; 1; 2,5 e 5 mM), hidropriming (0 mM), e um controle sem priming (SP), totalizando 8 tratamentos. Foram utilizadas 3.200 sementes dispostas em 8 repetições por tratamento, cada uma com 50 sementes.

Para a realização do priming (Fluxograma 1), as sementes foram imersas em suspensões sob agitação contínua em agitador circular horizontal TS-2000^a por 10 minutos, conforme protocolos utilizados em estudos anteriores de Maldonado (2025). Em seguida, foram submetidas à secagem no escuro em temperatura ambiente por 24 horas.

Após a secagem, as sementes foram colocadas para germinar em bandejas com substrato comercial Carolina Soil e areia, em proporção 3:1. A classe interna do substrato comercial utilizado é a LXXXVI, cuja composição e propriedades estão apresentadas na tabela 1.

Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em uma casa de vegetação do Departamento de Biologia Vegetal e Animal da Universidade Estadual de Londrina com taxa de sombreamento de 55%.

Fluxograma 1: Representação das etapas de tratamento das sementes e condições de cultivo, visando análise dos efeitos do priming no desenvolvimento inicial das plântulas *Cecropia pachystachya* Trécul e *Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*. Os tratamentos incluem: hidropriming e nanopriming com as diferentes concentrações de GSNO (0,1; 0,25; 0,5; 1; 2,5 e 5 mM) além do Controle SP (sem priming).



Fonte: O próprio autor.

Tabela 1 – Propriedades e composição do substrato Carolina Soil LXXXVI

pH	Condutividade elétrica (%m/m)	Umidade Máxima (mS/cm)	Densidade Seca (kg/m ³)	Capacidade de retenção de água (%m/m)	Composição
5,5	0,7	70	125	300	Turfa, Vermiculita e Palha de Arroz

Fonte: Carolina Soil.

3.4 ANÁLISES DE EMERGÊNCIA

As análises foram realizadas diariamente, contabilizando-se o número de plântulas emergidas para obter o cálculo da porcentagem de emergência (E%), índice de velocidade de emergência (IVE) e tempo médio de emergência (TME).

A porcentagem de emergência foi determinada seguindo a fórmula de Labouriau e Valadares (1976):

$$E\% = (N/A) \times 100$$

Em que: N = número de sementes emergidas ao final do teste; A = número total de sementes semeadas.

Para o cálculo do índice de velocidade de emergência foi utilizada a fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVE = E1/N1 + E2/N2 + E3/N3 + \dots + En/Nn$$

Em que: E1, E2, E3,...En = Número total de sementes emergidas no dia da observação; N1, N2, N3,...Nn = Número de dias após a semeadura.

O TME foi calculado com base na fórmula:

$$TME = \Sigma(n_i \cdot t_i) / \Sigma n_i$$

Em que n_i = número de plântulas emergidas no dia i e t_i = dia da contagem.

3.5 ANÁLISES MORFOLÓGICAS

As análises morfológicas foram realizadas ao término de cada experimento. Com o auxílio de uma régua, o comprimento da raiz principal e da parte aérea foram medidos. Posteriormente, as plântulas foram colocadas em estufa a 65 °C, por 72 h, e pesadas para obtenção da massa seca. Para o cálculo desse

parâmetro, todas as plântulas de cada repetição foram pesadas em conjunto e a massa total foi dividida pelo número de plântulas por repetição.

O índice de vigor é um parâmetro que integra a porcentagem de emergência e o comprimento da plântula, e foi calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$IV = (CR + CPA) \times E\%$$

Em que: CR= comprimento de raiz principal; CPA= comprimento de parte aérea; E%= porcentagem de emergência.

Ademais, a razão do comprimento da raiz/parte aérea foi calculada, assim como a razão da massa seca da raiz/parte aérea.

3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para essas análises foram utilizados o Microsoft Excel, PAST3, R Studio e o AgroR Projeto Fisher (UEL). Realizando-se os testes de Shapiro-Wilk e de Levene, a normalidade e a homogeneidade das variâncias dos dados foram verificadas. Os dados de porcentagem foram transformados em arco seno da raiz quadrada. Para comparar o controle (SP) e o hidropriming, realizou-se teste t. Os dados dos tratamentos de priming (hidropriming e nanopriming) foram submetidos a análise de variância (ANOVA) de um fator. Os parâmetros que não atenderam aos pressupostos do teste de Levene, foram submetidos a análise não paramétrica, utilizando o teste de Kruskal-Wallis. O nível de significância considerado foi de 0,05. Além disso, foi empregada a Análise de Componentes Principais (PCA) com os tratamentos de priming.

4. RESULTADOS

4.1 *C. PACHYSTACHYA*

Nessa espécie, houve uma diferença significativa entre o controle-SP e hidropriming nos parâmetros porcentagem de emergência, IVE e índice de vigor, com o controle apresentando as maiores médias (tabela 2). O hidropriming promoveu uma redução de 16,67% no IVE, de 32,42% na porcentagem de emergência e de 67,82% no índice de vigor.

Além disso, os tratamentos com as diferentes concentrações de GSNO nanoencapsulada e o hidropriming não apresentaram diferenças em nenhum parâmetro (tabela 3).

Na PCA (Figura 1) os eixos x (PC1) e y (PC2) explicaram 52,3% e 22,8% da variância, respectivamente. Essa análise indica uma relação positiva dos tratamentos 0,1; 0,5 e 1 mM com os parâmetros de emergência, comprimento de raiz e razão CR/CPA. A concentração de 0,25 mM por sua vez se relacionou positivamente com a massa seca da parte aérea, enquanto a concentração de 5 mM apresentou uma relação positiva com o comprimento de parte aérea, massa seca da raiz e razão MSR/MSPA. O parâmetro TME relacionou-se positivamente com hidropriming e a concentração de 2,5 mM.

Tabela 2 – Parâmetros de emergência e desenvolvimento inicial de plântulas de *Cecropia pachystachya* Trécul cujas sementes foram submetidas ou não ao hidropriming. Os parâmetros avaliados incluem: porcentagem de emergência, índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME), índice de vigor, comprimento de parte aérea, comprimento da raiz, massa seca de parte aérea e massa seca de raiz, razão comprimento da raiz/parte aérea e razão massa seca da raiz/parte aérea.

Parâmetro	Tratamento	Média ± Erro padrão
Porcentagem de emergência (%)	Sem priming	0,531 ± * 0,041
	Hidropriming	0,401 ± 0,038
IVE	Sem priming	2,1 ± * 0,249
	Hidropriming	1,8± 0,1672
TME (dias)	Sem priming	19,7 ± 0,371
	Hidropriming	20 ± 2
Índice de vigor	Sem priming	292 ± * 39,4
	Hidropriming	174 ± 37,1
Comprimento de parte aérea (cm)	Sem priming	1,2 ± 0,109
	Hidropriming	1 ± 0,067
Comprimento de raiz principal (cm)	Sem priming	9,9 ± 0,589
	Hidropriming	9,6 ± 0,631
Razão comprimento raiz/parte aérea (cm cm ⁻¹)	Sem priming	8,9 ± 0,815
	Hidropriming	10,1 ± 0,891
Massa seca da parte aérea (mg)	Sem priming	12,8 ± 2,3
	Hidropriming	15,1 ± 2,1
Massa seca da raiz (mg)	Sem priming	11,3 ± 2,9
	Hidropriming	13,7 ± 4
Razão massa seca raiz/parte aérea (mg mg ⁻¹)	Sem priming	0,903 ± 0,178
	Hidropriming	0,871 ± 0,185

Os dados estão expressos como média ± erro padrão (n=8). (*) indica diferenças significativas de acordo com teste t ($p \leq 0,05$).

Fonte: O próprio autor

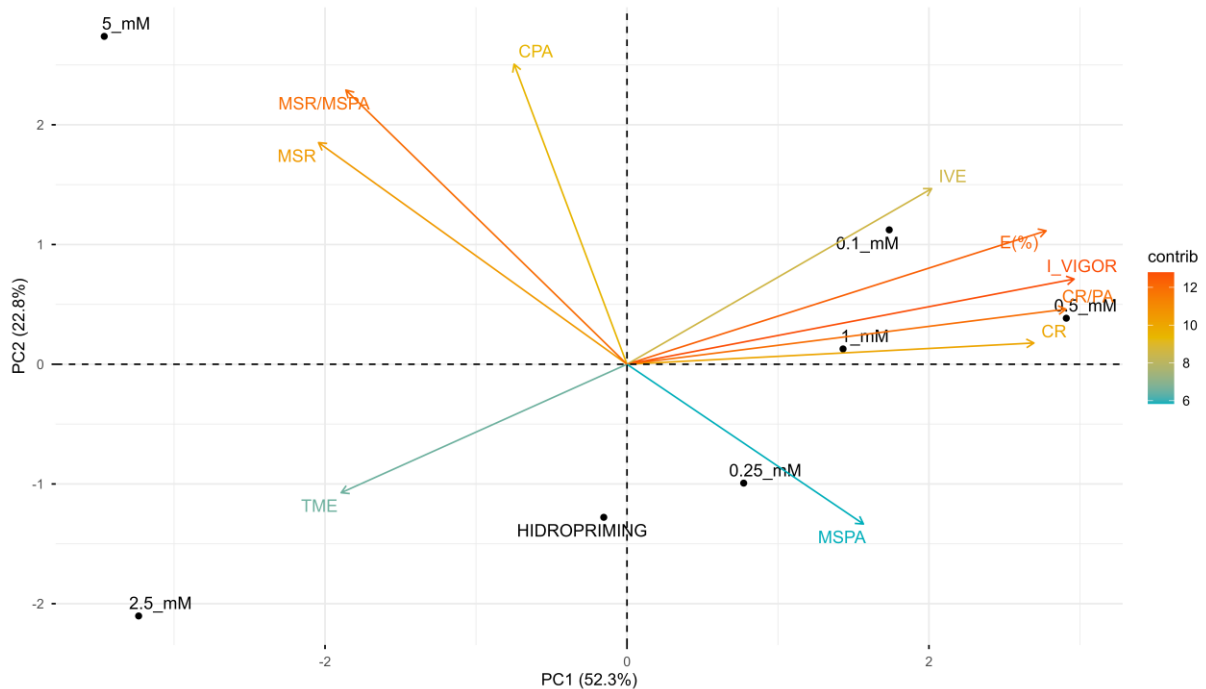
Tabela 3 – Parâmetros de emergência e desenvolvimento inicial analisados para sementes de *Cecropia pachystachya* Trécul submetidas ao hidropriming (0 mM) e ao priming com GSNO em diferentes concentrações (0,1 mM, 0,25 mM, 0,5 mM, 1 mM, 2,5 mM e 5 mM). Os parâmetros avaliados incluem: porcentagem de emergência (E%), índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME) índice de vigor, comprimento de parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), razão comprimento da raiz/parte aérea (CR/CPA) e razão massa seca da raiz/parte aérea (MSR/MSPA).

Parâmetro	P valor	0 mM	0,1 mM	0,25 mM	0,5 mM	1 mM	2,5 mM	5 mM
E%	0,7222	0,401 ± 0,038	0,433 ± 0,040	0,402 ± 0,037	0,424 ± 0,043	0,43 ± 0,027	0,360 ± 0,047	0,387 ± 0,030
IVE	0,5497*	1,8 ± 0,167	2,0 ± 0,079	2,0 ± 0,061	2,0 ± 0,094	2,0 ± 0,058	1,8 ± 0,080	1,9 ± 0,049
TME (dias)	0,9603	20 ± 2,0	19,9 ± 1,2	19,9 ± 1,7	21,1 ± 1,4	18,5 ± 2,0	24,1 ± 2,5	20,9 ± 0,919
I. VIGOR	0,4228	174 ± 37,1	200 ± 38,4	168 ± 31,1	215 ± 43,8	183 ± 23,9	117 ± 28,7	139 ± 16,9
CPA (cm)	0,9272	1,0 ± 0,067	1,1 ± 0,150	1,0 ± 0,102	1,1 ± 0,161	1,0 ± 0,082	1,0 ± 0,104	1,1 ± 0,078
CR (cm)	0,4005*	9,6 ± 0,631	9,9 ± 0,546	9,4 ± 0,633	10,9 ± 1,1	9,1 ± 0,550	8,4 ± 1,4	8,5 ± 0,498
CR/ CPA (cm cm ⁻¹)	0,191*	10,1 ± 0,891	10,7 ± 1,5	10,8 ± 1,8	13,0 ± 2,9	10,3 ± 1,3	6,6 ± 1,3	8,1 ± 0,960
MSPA (mg)	0,2830	15,1 ± 2,1	13,3 ± 1,6	18,0 ± 2,6	23,2 ± 6,1	15,1 ± 1,9	17,1 ± 4,2	11,5 ± 1,0
MSR (mg)	0,367*	13,7 ± 4,0	10,5 ± 2,8	19,6 ± 5,6	27,5 ± 7,6	15,1 ± 3,5	27,5 ± 19,4	11,5 ± 2,7
MSR/ MSPA (mg mg ⁻¹)	0,7802*	0,871 ± 0,185	0,738 ± 0,154	0,981 ± 0,309	1,4 ± 0,425	1,1 ± 0,212	1,0 ± 0,389	1,7 ± 0,640

Os valores de P foram obtidos por ANOVA ou Kruskal-Wallis (indicado por *) ($p < 0,05$). Os dados estão expressos como média ± erro padrão ($n = 8$).

Fonte: O próprio autor.

Figura 1: Análise de componentes principais com os dados de plântulas de *Cecropia pachystachya* Trécul submetidas ao hidropriming e priming com nanopartículas contendo S-nitrosoglutaciona na concentração de 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2,5 e 5 mM. Os parâmetros avaliados incluem: porcentagem de emergência (E%), índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME), índice de vigor, comprimento de parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), razão CR/CPA, massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e razão MSR/MSPA.



Fonte: O próprio autor.

4.2 S. LYCOPERSICUM

No tomate, as análises comparando o controle com o hidropriming não apontaram diferenças significativas (tabela 4). Dessa mesma forma, a análise entre todos os tratamentos de priming não indicaram diferenças em nenhum dos parâmetros analisados (tabela 5).

Na PCA (Figura 2) os eixos x (PC1) e y (PC2) explicaram 37,9% e 48,6% da variância, respectivamente. A concentração de 0,5 mM de GSNO nanoencapsulada teve uma relação positiva com IVE e, juntamente com o tratamento de 1 mM, se relacionou positivamente com a porcentagem de emergência, CR e índice de vigor. O tratamento de 1 mM também teve uma relação

positiva com a razão CR/CPA, MSR e a razão MSR/MSPA. Os tratamentos de 5 mM e 0,1 mM apresentaram relação positiva com TME.

O CPA e MSPA apresentaram uma relação mais próxima com a concentração de 2,5 mM. Já o hidropriming posicionou-se isoladamente no quadrante inferior esquerdo, indicando um comportamento fisiológico distante dos tratamentos com NP-GSNO.

Tabela 4 - Parâmetros de emergência e desenvolvimento inicial de plântulas de *Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme* cujas sementes foram submetidas ou não ao hidropriming. Os parâmetros avaliados incluem: porcentagem de emergência, índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME), índice de vigor, comprimento de parte aérea, comprimento da raiz, massa seca de parte aérea e massa seca de raiz, razão comprimento da raiz/parte aérea e razão massa seca da raiz/parte aérea.

Parâmetro	Tratamento	Média ± Erro padrão
Porcentagem de emergência (%)	Sem priming	1,2 ± 0,043
	Hidropriming	1,2 ± 0,024
IVE	Sem priming	8,3 ± 0,308
	Hidropriming	8,0 ± 0,366
TME (dias)	Sem priming	5,8 ± 0,278
	Hidropriming	5,7 ± 0,223
Índice de vigor	Sem priming	2152 ± 158
	Hidropriming	1917 ± 182
Comprimento de parte aérea (cm)	Sem priming	14,1 ± 1,1
	Hidropriming	13,3 ± 1,1
Comprimento de raiz principal (cm)	Sem priming	10,4 ± 0,706
	Hidropriming	9,1 ± 1,1
Razão comprimento raiz/parte aérea (cm cm ⁻¹)	Sem priming	0,746 ± 0,051
	Hidropriming	0,716 ± 0,075
Massa seca da parte aérea (mg)	Sem priming	30,7 ± 1,8
	Hidropriming	32,2 ± 3,8
Massa seca da raiz (mg)	Sem priming	10,7 ± 1,3
	Hidropriming	13,9 ± 3,1
Razão massa seca raiz/parte aérea (mg mg ⁻¹)	Sem priming	0,353 ± 0,036
	Hidropriming	0,403 ± 0,068

Os dados estão expressos como média ± erro padrão (n=8). (*) indica diferenças significativas de acordo com teste t ($p \leq 0,05$).

Fonte: O próprio autor

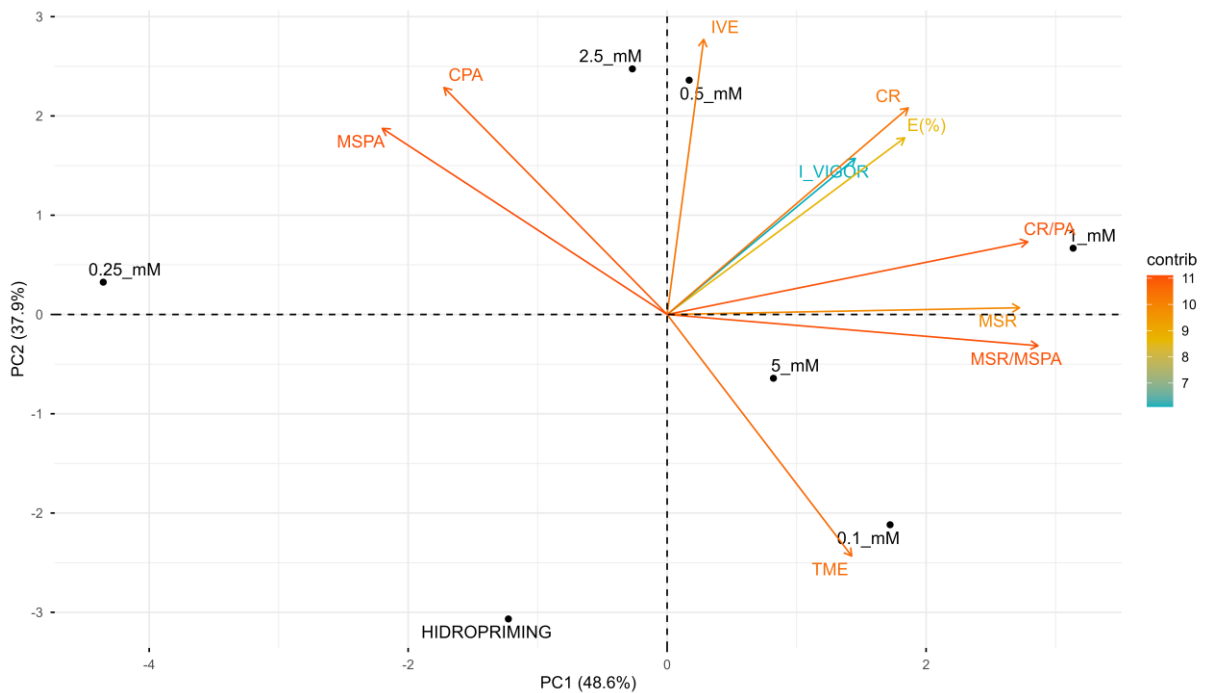
Tabela 5 - Parâmetros de emergência e desenvolvimento inicial analisados para sementes de *Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme* submetidas ao hidropriming (0 mM) e ao priming com GSNO em diferentes concentrações (0,1 mM, 0,25 mM, 0,5 mM, 1 mM, 2,5 mM e 5 mM). Os parâmetros avaliados incluem: porcentagem de emergência (E%), índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME), índice de vigor, comprimento da raiz (CR), comprimento de parte aérea (CPA), massa fresca de raiz (MFR), massa fresca de parte aérea (MFPA), massa seca de raiz (MSR), massa seca de parte aérea (MSPA), razão comprimento da raiz/parte aérea (CR/CPA) e razão massa seca da raiz/parte aérea (MSR/MSPA).

Parâmetro	P valor	0 mM	0,1 mM	0,25 mM	0,5 mM	1 mM	2,5 mM	5 mM
E%	0,3926*	1,2 ± 0,024	1,2 ± 0,033	1,2 ± 0,033	1,2 ± 0,035	1,3 ± 0,028	1,3 ± 0,075	1,2 ± 0,024
IVE	0,3995	8,0 ± 0,366	8,2 ± 0,424	8,4 ± 0,262	8,6 ± 0,184	8,5 ± 0,178	8,8 ± 0,368	8,2 ± 0,249
TME (dias)	0,2752*	5,7 ± 0,223	5,7 ± 0,291	5,4 ± 0,291	5,4 ± 0,098	5,7 ± 0,125	5,3 ± 0,068	5,5 ± 0,132
I. VIGOR	0,978*	1917 ± 182	1966 ± 137	1964 ± 106	2139 ± 90	2140 ± 172	2086 ± 143	2240 ± 355
CPA (cm)	0,9870	13,3 ± 1,1	12,9 ± 0,811	13,9 ± 0,866	13,7 ± 0,582	13,3 ± 0,973	13,9 ± 1,1	13,3 ± 0,899
CR (cm)	0,8703	9,1 ± 1,1	9,4 ± 0,708	9,0 ± 0,749	10,5 ± 0,830	10,3 ± 1,1	10 ± 0,877	9,9 ± 0,658
CR/ CPA (cm cm ⁻¹)	0,9291	0,716 ± 0,075	0,757 ± 0,059	0,682 ± 0,078	0,769 ± 0,049	0,783 ± 0,069	0,742 ± 0,053	0,757 ± 0,033
MSPA (mg)	0,8326	32,2 ± 3,8	32,7 ± 3,2	37,3 ± 3,0	36,1 ± 3,1	32,7 ± 2,2	35,8 ± 4,0	33,1 ± 2,6
MSR (mg)	0,9929*	13,9 ± 3,1	15,8 ± 3,4	12,4 ± 1,4	14,2 ± 2,3	15,6 ± 2,8	15,1 ± 3,2	14,4 ± 2,0
MSR/ MSPA (mg mg ⁻¹)	0,9022*	0,403 ± 0,068	0,457 ± 0,068	0,329 ± 0,019	0,398 ± 0,061	0,482 ± 0,086	0,424 ± 0,088	0,433 ± 0,053

Os valores de P foram obtidos por ANOVA ou Kruskal-Wallis (indicado por *) ($p < 0,05$). Os dados estão expressos como média ± erro padrão ($n = 8$).

Fonte: O próprio autor.

Figura 2: Análise de componentes principais com os dados de plântulas de *Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme* submetidas ao hidropriming e priming com nanopartículas contendo S-nitrosoglutaciona na concentração de 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2,5 e 5 mM. Os parâmetros avaliados incluem: porcentagem de emergência (E%), índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME), índice de vigor, comprimento de parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), razão CR/CPA, massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e razão MSR/MSPA



Fonte: O próprio autor.

5. DISCUSSÃO

Para a espécie *C. pachystachya*, a redução promovida pelo hidropriming no IVE, na porcentagem de emergência e no índice de vigor quando comparado ao controle, demonstra que a emergência das sementes que não passaram pelo método de priming ocorreu de maneira mais rápida e uniforme, além de apresentar um maior número de sementes emergidas. Tais resultados manifestam a hipótese de danos por embebição.

Esses danos ocorrem devido à absorção demasiadamente rápida de água pelas sementes que pode levar à ruptura das membranas celulares, comprometendo a germinação ou o vigor das plântulas (TODELO et al., 2010; PEREIRA, 2019). A velocidade com que ocorre a hidratação da semente é controlada basicamente pelo teor de água da semente, temperatura ambiente e a taxa de absorção de água. Esses fatores são controlados por características inerentes à semente, que pode estar relacionada à qualidade fisiológica, características morfológicas e à composição química do tegumento. Além disso, a espessura do tegumento da semente apresenta variação entre espécies e entre as cultivares de uma mesma espécie, como apresenta Pereira (2019).

Em seus estudos, Maldonado (2025) também observou resultados semelhantes, em que o hidropriming prejudicou o desenvolvimento inicial de algumas espécies arbóreas, reforçando a hipótese de ocorrência de danos por embebição. Entretanto, em *C. pachystachya*, esses danos por embebição não foram observados, apenas houve uma redução de 40,74% no comprimento da parte aérea das plântulas do hidropriming em comparação ao controle.

A hipótese de que o teor de água inicial influencia a susceptibilidade a danos por embebição, sugerida por Toledo (2008) em sementes de soja, poderia ser investigada em *C. pachystachya* por meio de estudos que monitorem a curva de embebição. Uma vez que o referido autor observou a ausência de danos em sementes com 15% ou mais de água, pesquisas análogas poderiam trazer contribuições valiosas e abririam novas perspectivas para o aprimoramento da técnica de priming nessa espécie.

Apesar da ausência de efeitos significativos das NP-GSNO em comparação ao hidropriming, ao comparar esses tratamentos na PCA observou-se

uma tendência de as diferentes concentrações de NP-GSNO melhorarem os parâmetros morfológicos e de emergência. Em contraste, o hidropriming associou-se apenas ao aumento da TME, indicando que as sementes submetidas a este tratamento demoraram mais para emergir.

Tais resultados estão em concordância com aqueles observados por Souza et al. (2025) que constataram que, quando as sementes de trigo foram tratadas com NP-MSNO e NP-GSNO e submetidas a déficit hídrico, houve maior porcentagem de emergência em comparação aos demais tratamentos. Além disso, observou-se o efeito do priming de sementes com doadores de NO (livres e nanoencapsulados) em aumentar o diâmetro das raízes finas e o comprimento dos pelos radiculares. Guaraldo et al. (2023), em condições de salinidade, também observaram a capacidade do doador de NO nitroprussiato de sódio (SNP) em provocar um aumento radicular quando as sementes de algodão foram tratadas com esse composto.

Por outro lado, os resultados desse estudo contrastam com o de Maldonado (2025), que empregou a mesma metodologia com diferentes espécies arbóreas, incluindo a *C. pachystachya*, mudando apenas o ambiente de cultivo e o lote de sementes utilizado. Os resultados obtidos com cultivo em areia esterilizada demonstram uma redução drástica no comprimento da raiz principal, com média no controle sem priming de 0,62cm, contrastando com a média 9,9cm obtidas nesse estudo. O mesmo acontece com o comprimento da parte aérea, apresentando um aumento de aproximadamente 127,31% neste trabalho. Tais diferenças estão ilustradas na figura 3.

Figura 3: Imagens de plântulas de *Cecropia pachystachya* Trécul que não passaram pelo tratamento de priming. (A) Experimentos conduzidos em areia. (B) Experimentos conduzidos em substrato comercial Carolina Soil misturado com areia.



Fonte: Maldonado (2025) e o próprio autor.

Visto que a escolha do substrato a ser utilizado exerce grande influência sobre a emergência de plantas e formação das mudas de boa qualidade (JÚNIOR et al., 2006), tais resultados manifestam a hipótese de que a areia esterilizada não é o ambiente de cultivo adequado para essa espécie, prejudicando o seu desenvolvimento inicial. Por outro lado, nesse ambiente estressante, as NP-GSNO apresentaram um efeito positivo onde as concentrações de 0,1 mM, 1 mM e 2,5 mM promoveram um aumento de cerca de 64,77% no comprimento das raízes laterais em comparação ao hidropriming (MALDONADO, 2025). No presente estudo, um ambiente menos estressante, não foram observados resultados significativos no aparato radicular, porém a PCA mostra uma tendência das concentrações de 0,5 mM e 1 mM em promover o aumento do comprimento das raízes.

Como demonstra Laviola et al. (2006) em função de cada espécie deve-se verificar qual o melhor substrato ou a combinação destes que proporcionem

a formação de mudas de melhor qualidade, considerando as características como riqueza em nutrientes essenciais, textura, estrutura, pH, retenção de água e porosidade. Em seus estudos, Barroso, Franke e Barros (2010) observaram que os substratos papel e areia proporcionaram condições mais adequadas para o teste de germinação das sementes da rainha-do-abismo (*Sinningia lineata* (Hjelmq) Chautems). Dutra et al. (2016), por sua vez, demonstraram em seus resultados que o substrato sobre vermiculita proporcionou o maior percentual de germinação na espécie *Luehea divaricata* Mart. et. Zucc (açoita-cavalo) Mendes et al. (2010) em experimentos com pau-de-balsa (*Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb) concluíram que a maior porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação ocorreu com areia. Por sua vez, Gama et al. (2010) constataram que o substrato vermiculita promoveu condições ideais para testes de germinação e vigor em sementes de açai (*Euterpe oleracea* Mart).

Algumas hipóteses podem ser levantadas para explicar essa diferença observada entre substrato e areia. Como a autora citada utilizou areia esterilizada e uma variedade de microrganismos pode estabelecer relações benéficas com os vegetais, gerando produção de sideróforos, fitohormônios, solubilização de fosfato, entre outros benefícios (FERNANDES et al., 2024), a presença ou ausência de microbiota pode ter gerado tal contraste. Dessa forma, estudos com testes de germinação em diferentes substratos, possibilitaria identificar a melhor escolha em razão da espécie.

Em *S. lycopersicum*, a ausência de diferenças significativas atribuíveis ao hidropriming em comparação com o controle contrasta com os resultados de Silva et al. (2025), que, trabalhando com a mesma espécie, observaram que esse tratamento produziu mudas de qualidade superior em relação

ao controle sem priming. Essa divergência pode estar relacionada à metodologia de exposição das sementes: enquanto Silva et al. (2025) as expuseram as formulações por 16 horas, o tempo de embebição adotado aqui foi de apenas 10 minutos. Tal contraste sugere que novos estudos, investigando tempos de exposição mais prolongados, são necessários para elucidar essa resposta. Corroborando a eficácia do método, Fregonezi et al. (2024) também relataram os benefícios do hidropriming em tomateiro, incluindo maior tolerância à seca, com menor perda de água e redução na murcha foliar, seguindo a mesma metodologia de 16 horas de exposição empregada por Silva et al. (2025).

Além disso, nesse estudo não foram observados efeitos significativos das NP-GSNO, o que contrasta com os estudos de Wei et al. (2022), que, ao utilizar GSNO no tratamento de mudas de tomateiro, constataram a capacidade desse composto em melhorar parâmetros morfológicos, como área foliar, comprimento radicular, altura da planta, biomassa (massa seca e fresca) e atividade radicular. Nos trabalhos de Piterková et al. (2012) com o tomate (cultivar 'Rutgers') os autores apresentam que a GSNO estimulou a germinação das sementes, aumentando consideravelmente a velocidade e a porcentagem de germinação. Por outro lado, o sequestrador de NO 2-fenil-4,4,5,5-tetrametilimidazolina-1-oxil-3-óxido (PTIO) inibiu fortemente a germinação de sementes, o que demonstra a importância do NO na germinação.

Todavia, no presente estudo, a PCA indica que as concentrações entre 0,5 e 5 mM se relacionaram positivamente com os parâmetros de emergência analisados (IVE, índice de vigor e porcentagem de emergência) e com as variáveis morfológicas. Isso revela uma tendência das NP-GSNO em produzir resultados semelhantes aos dos estudos anteriormente citados, levantando a hipótese de que

novos testes, com ajustes no tempo de exposição, possam promover efeitos positivos desse composto na emergência desta espécie.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo evidencia um potencial do priming com GSNO nanoencapsulada em aprimorar o desenvolvimento inicial das duas espécies estudadas. As diferentes concentrações de NP-GSNO mostraram tendência de se relacionar positivamente com os parâmetros morfológicos e de emergência, em contraste com o hidropriming, que se mostrou mais distante desses parâmetros. Esses resultados demonstram que o tratamento com NP-GSNO possui um efeito promissor. Entretanto, em *C. pachystachya*, os dados indicam possíveis danos por embebição, reforçando a necessidade de estudos avaliando a curva de absorção de água, permitindo aprimorar a técnica de priming; enquanto para *S. lycopersicum* novos ensaios com diferentes tempos de exposição são necessários, a fim de verificar se tais modificações podem potencializar os efeitos do priming.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, H. D. *et al.* Temperature response surfaces for mortality risk of tree species with future drought. **Environmental Research Letters**, [S. l.], v. 12, n. 11, p. 115014, 2017. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa93be/meta>. Acesso em: 19 mai. 2025.
- ALPERT, P.; OLIVER, M. J. Drying without dying. In: BLACK, M.; PRITCHARD, H. W. **Desiccation and survival in plants: drying without dying**. Wallingford: CABI Publishing, 2002. p. 4-43.
- ANDRADE, G. B. *et al.* Performance geoeconômica, gases de efeito estufa e mudanças climáticas, uma análise da nova fronteira agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Avaliação**, v.13, n.2 spe, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/rbaval202412029>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 34, n. 100, p. 53-66, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.005>. Acesso em: 19 mai. 2025.
- ARTAXO, P. Biomas brasileiros e as mudanças climáticas: Políticas de adaptação ao novo clima, consequentes e baseadas em ciência, são necessárias e urgentes. **Ciência e Cultura**. São Paulo, v. 75, n. 4 p. 01-08, 2023. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252023000400006&script=sci_arttext&tlng=en. Acesso em: 01 dez. 2025.
- ARTAXO, P. Mudanças climáticas e o Brasil. **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 8-12, 2014. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/99191/97658>. Acesso em: 19 maio 2025.
- AYOUB, J. P. *et al.* Ações antrópicas e a associação com as mudanças climáticas. **IOSR Journal of Business and Management**, [S.l.], v. 26, n. 12, p. 21-27, 2024. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jbm/papers/Vol26-issue12/Ser-9/C2612092127.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2025.
- BARBIERI, A. F.; GUEDES, G.; CORREIA, I.; OJIMA, R. Population Mobility and Adaptation to Droughts in the Brazilian Semi-Arid. In: INTERNATIONAL CONFERENCE “Migration, Environment and Climate: What Risk Inequalities?”, Paris, 2018. Anais... Paris: INED, 2018. p. 1–15. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/IsacCorreia/publication/351880901_Population_Mobility_and_Adaptation_to_Droughts_in_the_Brazilian_SemiArid/links/60be348892851cb13d889a30/Population-Mobility-and-Adaptation-to-Droughts-in-the-Brazilian-Semi-Arid.pdf. Acesso em: 01 dez. 2025.
- BARROSO, C. M.; FRANKE, L. B.; BARROS, I. B. I. Substrato e luz na germinação das sementes de rainha-do-abismo. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 236-240, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/GX7PWgZzVxSZHWcFbsB8SDK/?lang=pt>. Acesso em 26 nov. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano ABC + (ABC MAIS) - *Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono*. Brasília, 2022. 64 p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/publicacoes/download.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília, DF: MAPA, 2009. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf. Acesso em: 19 maio 2025.

BORGES, E. E. L.; RENA, A. B. Germinação de sementes. In: AGUIAR, I. B.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B. (Coord.). **Sementes florestais tropicais**. Brasília: ABRATES, 1993. p. 83–135.

DO CARMO, G. C. *et al.* Effects of nanoencapsulated nitric oxide donor on *Cecropia pachystachya* Trécul and *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze seedlings subjected to short and long-term water deficit. **Trees**, [S. l.], v. 39, n. 76, p. 1-14, 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-025-02656-4>. Acesso em: 25 fev. 2025.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277–290, mar./abr. 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufla.br/handle/1/28113>. Acesso em: 01 dez. 2025.
CARVALHO, P. E. R. *Espécies arbóreas brasileiras*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2006.

COELHO, R. S. *et al.* Meio ambiente e sustentabilidade: a associação entre ações antrópicas e as mudanças climáticas. **IOSR Journal of Business and Management**, v. 26, n. 11, p. 1–6, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/385879860_Meio_Ambiente_E_Sustentabilidade_A_Associacao_Entre_Acoes_Antropicas_E_As_Mudancas_Climaticas. Acesso em: 19 maio 2025.

COSTA, E. S. P.; SANTOS, C. A.; ROCHA, M. C.; CARMO, M. G. F. Caracterização física, físico-química e morfoagronômica de acessos de tomate cereja sob cultivo orgânico. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 61, 2018. Disponível em: <http://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/5343>. Acesso em: 01 dez. 2025

DUTRA, A. F.; ARAÚJO, M. M.; RORATO, D. G.; MIETH, P. Germinação de sementes e emergência de plântulas de *Luehea divaricata* Mart. et Zucc. em diferentes substratos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 411–418, abr./jun. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/22744>. Acesso em: 01 dez. 2025.

FAHEY, T. J.; WOODBURY, P. B.; BATTLES, J. J.; GOODALE, C. L.; PHAM-BURG, S. P.; VOLLINGER, S. V.; WOODALL, C. W. Forest carbon storage: ecology, management, and policy. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 8, p. 245–252, 2010. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/279921269_Forest_carbon_storage_Ecology_management. Acesso em: 01 dez. 2025.

FANCY, N. N.; BAHLMANN, A. K.; LOAKE, G. J. Nitric oxide function in plant abiotic stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 40, n. 4, p. 462–472, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26754426/>. Acesso em: 01 dez. 2025.

FERREIRA, T. C; PEREZ-MARIN, A.M. Priming em sementes: uma revisão bibliográfica concisa e atualizada. **BIOFIX Scientific Journal**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 27-36, 2022. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/81337>. Acesso em: 19 maio. 2025.

FERNANDES, J. P. T. *et al.* Microrganismos promotores de crescimento de plantas - Trichoderma e Azospirillum: otimizando a cultura do milho em sistemas integrados de produção agropecuária. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 50-90, 2024. Disponível em:

<https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/5090>. Acesso em: 19 set. 2025.

FREITAS, A. R. P.; PAIVA, L. E. B. Revisão da produção científica internacional de brasileiros acerca das mudanças climáticas. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 95–113, 2018. Disponível em:

<https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/1615>. Acesso em: 01 dez. 2025.

FREGONEZI, B. F. *et al.* Seed priming with nanoencapsulated gibberellic acid triggers beneficial morphophysiological and biochemical responses of tomato plants under different water conditions. **Agronomy**, v. 14, n. 588, p. 1–23, 2024. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/379018237_Seed_Priming_with_Nanoencapsulated_Gibberellic_Acid_Triggers_Beneficial_Morphophysiological_and_Biochemical_Responses_of_Tomato_Plants_under_Different_Water_Conditions. Acesso em: 01 dez. 2025.

FRUNGILLO, L. *et al.* S-nitrosothiols regulate nitric oxide production and storage in plants through the nitrogen assimilation pathway. **Nature Communications**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 5401, 2014. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ncomms6401>. Acesso em: 19 mai. 2025.

GAMA, J. S. N. *et al.* Temperaturas e substratos para germinação e vigor de sementes de Euterpe oleracea Mart. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 664–670, 2010. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rca/a/cWpKBVQsZptgSV99Qr4Pjhj/?lang=pt>. Acesso em: 01 dez. 2025.

GUPTA, K. J. *et al.* On the origins of nitric oxide. **Trends in Plant Science**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 160-168, 2011. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1360138510002530>. Acesso em: 18 mai. 2024.

GUARALDO, M. M. S. *et al.* Signalling molecules improve stress tolerance in cotton seeds under salinity and water deficit. **Environmental and Experimental Botany**, v. 209, 2023. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847223000898?casa_token=4IriIYx5OZAAAAAA:fpNSRdxOBlv4iIBUTCOKg7dz_agTTNX8vzULEZRTjKGjAy_h60bxJnaMkheN_oSpyzQQwQiA. Acesso em: 01 dez. 2025.

GRASSI, G. *et al.* The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. **Nature Climate Change**, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 220-226, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate3227>. Acesso em: 10 jul. 2024.

IMTIAZ, H. *et al.* Nano-priming techniques for plant physio-biochemistry and stress tolerance. **Journal of Plant Growth Regulation**, [S. l.], v. 42, n. 11, p. 6870-6890, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-023-10981-6>. Acesso em: 9 jul. 2024.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** MASSOM-DELMOTTE, V. *et al.* (Eds.). Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 1 dez. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC.** METZ, B. *et al.* (Eds.). Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg3/>. Acesso em: 1 dez. 2025.

JUNIOR BRITO, F. P. **Produção de tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) reutilizando substratos sob cultivo protegido no município de Iranduba – AM.** 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

KAVALI, R.; GUPTA, A. Seed quality enhancement through “seed priming” (seed physiological upgradation technique). **Seed Times**, Hyderabad., p. 25–44, 2025. Disponível em: <https://nsai.co.in/storage/app/media/Seed-Times-may-august-2024.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2025.

KUMARASWAMY, R. V. *et al.* Engineered chitosan-based nanomaterials: Bioactivities, mechanisms and perspectives in plant protection and growth. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 113, p. 494-506, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813017338412?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jul. 2024.

KOLBERT, Z.; LINDERMAYR, C.; LOAKE, G. J. The role of nitric oxide in plant biology: current insights and future perspectives. **Journal of Experimental Botany**, v. 72, n. 3, p. 777–780, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33570126/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

KUŹNIAK, E.; CIERESZKO, I. Nitric Oxide and Photosynthesis Interplay in Plant Interactions with Pathogens. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 26, n. 14, 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40725211/>. Acesso em: 20 out. 2025.

LABOURIAU, L. G.; Valadares, M. E. B. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. [S. l.]. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** v.48, n.2, p.263- 284, 1976.

LAVIOLA, B. G. *et al.* Efeito de diferentes substratos na germinação e no desenvolvimento inicial de jiloeiro (*Solanum gilo* RADDI), cultivar verde claro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 3, p. 415–421, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/nMKrq7YdbkQhJfdzRPvG3wk/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 20 jun. 2025.

LEOPOLDO, C.; VECHIO, G. Nanotecnologia e suas aplicações: uma revisão quanto aos seus conceitos, potencial de uso, riscos e tendências. **Revista Interface Tecnológica**, [S.l.], v.17, n.1, p.144-154, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350433611_NANOTECNOLOGIA_E_SUAS_APLICACOES_uma_revisao_quanto_aos_seus_conceitos_potencial_de_uso_riscos_e_tendencias. Acesso em: 01 dez. 2025.

LI, J.; WU, J.; ZHANG, X.; LIU, Y.; WANG, C. Nanomaterials and Nanotechnology: A New Era in Science and Technology. **Nature Reviews Materials**, v. 4, p. 1-15, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41578-019-0132-1>. Acesso em: 25 fev. 2025.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992.

MAINHART, D. E. *et al.* Preparing for the Worst: Enhancing Seedling Traits to Reduce Transplant Shock in Semi-Arid Regions. **Forests**, [S. l.], v. 15, n. 9, p. 1607, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/15/9/1607> Acesso em: 19 mai. 2025.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176- 177, 1962. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19621604893>. Acesso em: 16 mai. 2024.

MALDONADO, L. L. **Emergência e Desenvolvimento Inicial de Plântulas de Espécies Arbóreas da Mata Atlântica em Resposta ao Priming de Sementes com Doador de Óxido Nítrico Nanoencapsulado**. 2025. 57 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2025.

MAMTA; MONDAL, K. Nano-enabled seed priming: revolutionizing seed viability and agricultural productivity. **International Journal of Research and Innovation in Applied Science**, v. 1, n. 8, p. 336–340, 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/393471367_Nano-Enabled_Seed_Priming_Revolutionizing_Seed_Viability_and_Agricultural_Productivity. Acesso em: 20 nov. 2025.

MANES, S.; HENUD, I. R.; TANIZAKI-FONSECA, K. Climate change mitigation potential of Atlantic Forest reforestations. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [S. l.], v. 27, n. 5, p. 34, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11027-022-10012-x>. Acesso em: 10 jul. 2024.

MENDES, L. *et al.* INFLUÊNCIA DO SUBSTRATO E DO NÍVEL DE UMIDADE SOBRE A GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE PAU-DE-BALSA. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 155-160, 2010. Disponível em: <https://revistacaatinga.com.br/caatinga/article/view/1520/pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

MGADI, K. *et al.* Nanoparticle applications in agriculture: overview and response of plant-associated microorganisms. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10951078/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

OLIVEIRA, M. C.; PEREIRA, D. J. S.; RIBEIRO, J. F. **Viveiro e produção de mudas de algumas espécies arbóreas nativas do Cerrado**. 2. ed. rev. e ampl. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011. 86 p. (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 147). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/899861/viveiro-e-producao-de-mudas-de-algumas-especies-arboreas-nativas-do-cerrado>. Acesso em: 20 nov. 2025.

PAPARELLA, S. *et al.* Seed priming: state of the art and new perspectives. **Plant Cell Reports**, [S. l.], v. 34, p. 1281-1293, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00299-015-1784-y>. Acesso em: 19 mai. 2025.

PEREIRA, A. E. S. *et al.* Nanotechnology potential in seed priming for sustainable agriculture. **Nanomaterials**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 267, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-4991/11/2/267>. Acesso em: 19 mai. 2025.

PEREIRA, L. S. **Métodos de pré-condicionamento de sementes de soja: influência na redução da anormalidade de plântulas**. 2019. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019. Disponível em: <https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>. Acesso em: 27 out. 2025.

SAHAY, S.; GUPTA, M. An update on nitric oxide and its benign role in plant responses under metal stress. **Nitric Oxide**, [S. l.], v. 67, p. 39-52, 2017. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1089860317300289?casa_token=Kta3ByVIAmkAAAAA:Khr5rNsaDwTGXH9SRZdDw9Cerus6YldznSLcDoppW1g2Rj5sifBsq12yCchpmVW3f1eqCoHag. Acesso em: 19 mai. 2025.

PITERKOVÁ, J. *et al.* Nitric oxide is involved in light-specific responses of tomato during germination under normal and osmotic stress conditions. **Annals of Botany**, v. 110, n. 4, p. 767-776, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcs141>. Acesso em: 30 nov. 2025.

SALMAN, R. A.; ZEDAIN, N. K. Chitosan sources and extraction: a review. **Kufa Journal of Engineering**, v. 16, n. 4, p. 615–631, 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/397175888_CHITOSAN_SOURCES_AND_EXTRACTION_A_REVIEW. Acesso em: 20 nov. 2025.

SANTOS, G. M. Comportamento da cultura do tomate (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) sob doses crescentes de cálcio e interação com o boro. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade do Estado da Bahia, Barreiras, 2018.

SANTOS, M. C. *et al.* Condicionamento osmótico de sementes. **Revista Caatinga**, [S. l.], v. 21, n. 2, 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/156>. Acesso em: 20 nov. 2025.

SANZ, L. *et al.* Nitric oxide (NO) and phytohormones crosstalk during early plant development. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.], v. 66, n. 10, p. 2857–2868, 2015. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/66/10/2857/534941>. Acesso em: 20 nov.2025.

SEABRA, A. B. *et al.* Nitric oxide-releasing nanomaterials: from basic research to potential biotechnological applications in agriculture. **New Phytologist**, [S. l.], v. 234, n. 4, p. 1119-1125, 2022. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.18073>. Acesso em: 19 mai. 2025.

SILVA, D. G. e TOMA, H. E. **Nanotecnologia para todos: cartilha educativa para divulgação e ensino da nanotecnologia**. São Paulo: Pró-Reitoria de Cultura e Extensão da USP, 2019. Disponível em: <https://www.ensinano.com.br/>. Acesso em: 01 dez. 2025.

SILVA, J. *et al.* SEED NANOPRIMING: PROMISING TECHNIQUE TO IMPROVE TOMATO SEEDLING QUALITY. Manuscrito submetido.

SILVEIRA, N. M. *et al.* Encapsulation of S-nitrosoglutathione into chitosan nanoparticles improves drought tolerance of sugarcane plants. **Nitric Oxide**, [S. l.], v. 84, p. 38-44, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1089860318302350?via%3Dihub>. Acesso em: 12 jul. 2025.

SINGH, H. *et al.* Seed priming techniques in field crops-A review. **Agricultural Reviews**, India, v. 36, n. 4, p. 251-264, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/HarmeetSingh11/publication/285636319_Seed_

priming_techniques_in_field_crops_A_review/links/56977f5c08aea2d7437585bd/See-d-priming-techniques-in-field-cropsAreview.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail. Acesso em: 19 mai. 2025.

SODRÉ, G. A.; CORÁ, J. E.; SOUZA JÚNIOR, J. O. Caracterização física de substratos à base de serragem e recipientes para crescimento de mudas de cacauzeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 339–344, ago. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000200029>. Acesso em: 15 jul. 2025.

SOUZA, B. L. *et al.* Long-term effects of seed priming with nanoencapsulated nitric oxide donors on the early development and drought tolerance of wheat plants. **Plant Science**, v. 356, p. 112498, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112498>. Acesso em: 20 nov. 2025.

STEVEN, S. *et al.* Chitosan-GSNO Nanoparticles and Silicon Priming Enhance the Germination and Seedling Growth of Soybean (*Glycine max L.*). **Plants**, [S. l.], v. 13, n. 10, p. 1290, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/10/1290>. Acesso em: 04 ago. 2024.

SUN, C. *et al.* Molecular functions of nitric oxide and its potential applications in horticultural crops. **Horticulture Research**, v. 8, n. 71, p. 1-17, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41438-021-00500-7>. Acesso em: 24 nov. 2025.

SUN, C.; YU, J.; HU, D. Nitrate: a crucial signal during lateral roots development. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.8, n.485, p.1-9, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00485>. Acesso em: 1 dez. 2025.

THAKUR, M.; TIWARI, S.; KATARIA, S.; ANAND, A. Recent advances in seed priming strategies for enhancing planting value of vegetable seeds. **Scientia Horticulturae**, v. 305, 2022. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111355. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/362252811_Recent_advances_in_seed_priming_strategies_for_enhancing_planting_value_of_vegetable_seeds. Acesso em: 01 dez. 2025.

TOLEDO, M. Z. *et al.* Imbibition damage in soybean seeds as affected by initial moisture content, cultivar and production location. **Seed Science and Technology**, [S. l.], v. 38, n. 2, p. 399-408, 2010. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/ista/sst/2010/00000038/00000002/art00013>. Acesso em 16 set. 2025.

WAGNER JÚNIOR, A. *et al.* Influência do substrato na germinação e desenvolvimento inicial de plantas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Deg.*). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 4, p. 643–647, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000400008>. Acesso em: 10 jul. 2025.

WEI, L. *et al.* Nitric Oxide Enhanced Salt Stress Tolerance in Tomato Seedlings, Involving Phytohormone Equilibrium and Photosynthesis. **International Journal of**

Molecular Sciences, v. 23, n. 9, p. 4539, 2022. Disponível em:
<https://www.mdpi.com/1422-0067/23/9/4539>. Acesso em: 24 nov. 2025.

YAĞIZ, A. K.; ÇALIŞKAN, M. E. Effects of TiO₂ nano-priming on tomato seed germination and plant development. **The Journal of Animal and Plant Sciences**, [S. l.], v. 34, n. 1, p. 62-72, 2024. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/377852248>. Acesso em: 20 out. 2025.

ZANDALINAS S. I; FRITSCHI F. B; MITTLER, R. Global warming, climate change, and environmental pollution: Recipe for a multifactorial stress combination disaster. **Trends in Plant Science**, [S. l.], v 26. Ed 6, p. 588- 599, 2021. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/jtplants.2021.02.011>. Acesso em: 20 out. 2025.