



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE JURUTI
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

**DEISE DE SOUZA SANTOS
MÁRCIA LIMA DE SOUZA**

**USO DE SELÊNIO NO CONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE SOJA:
GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS**

**JURUTI - PARÁ
2026**

DEISE DE SOUZA SANTOS

MÁRCIA LIMA DE SOUZA

**USO DE SELÊNIO NO CONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE SOJA:
GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para a obtenção do grau de Bacharel em Agronomia, no Campus Universitário de Juruti, na Universidade Federal do Oeste do Pará.

Área de concentração: Ciências Agrárias

Orientador: Flávio José Rodrigues Cruz

**JURUTI - PARÁ
2026**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

S237u Santos, Deise de Souza

Uso de selênio no condicionamento de sementes de soja: germinação e crescimento de plântulas / Deise de Souza Santos e Márcia Lima de Souza. – Juruti (PA), 2026.

46 p.

Inclui bibliografias.

Orientação: Flávio José Rodrigues Cruz.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Juruti, Bacharelado em Agronomia.

1. Soja - Sementes. 2. Selênio na agricultura. 3. Bioestimulantes agrícolas. 4. Tratamento de sementes. I. Souza, Márcia Lima de. II. Cruz, Flávio José Rodrigues, *orient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 633.34

Bibliotecário - Documentalista: Mayco Ferreira Chaves – CRB/2 1357

DEISE DE SOUZA SANTOS

MÁRCIA LIMA DE SOUZA

**USO DE SELÊNIO NO CONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE SOJA:
GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia, no Campus Universitário de Juruti, na Universidade Federal do Oeste do Pará.

Conceito: Aprovado

Data da Aprovação: 17/06/2026

Documento assinado digitalmente
 **FLAVIO JOSE RODRIGUES CRUZ**
Data: 30/06/2026 21:39:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Flávio José Rodrigues Cruz – (Orientador)
Universidade Federal do Oeste do Pará – *Campus* Universitário de Juruti

Documento assinado digitalmente
 **RAUIELLE FERREIRA DOS SANTOS**
Data: 30/06/2026 18:51:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Raudielle Ferreira dos Santos

Universidade Federal do Oeste do Pará – *Campus* Universitário de Juruti

Documento assinado digitalmente
 **MICHELLY RIOS AREVALO**
Data: 30/06/2026 19:14:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Michelly Rios Arévalo

Universidade Federal do Oeste do Pará – *Campus* Universitário de Juruti

Dedicamos esta conquista a Deus, pois sem ele nada disso seria possível. Às nossas famílias, pilares fundamentais de nossa trajetória, pelo amor, apoio e incentivo constantes. Aos nossos amigos, que de diferentes formas contribuíram ao longo dessa jornada, compartilhando momentos, aprendizados e palavras de encorajamento.

"Porque Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas."
(Romanos 11:36)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, expresso minha gratidão a Deus, que me concedeu força, discernimento, saúde e persistência para enfrentar os obstáculos desta caminhada acadêmica. Sua presença foi essencial em cada etapa, sobretudo nos momentos mais desafiadores, permitindo que eu mantivesse a fé e a determinação necessárias para alcançar esta conquista.

Aos meus pais, Carlos Mota e Maria Diogenes, expresso minha mais profunda gratidão por todo amor, apoio, dedicação e incentivo. Vocês são os pilares da minha vida, minha maior referência de força, honestidade e perseverança. Agradeço pelos ensinamentos, pelos valores transmitidos, e pelos sacrifícios realizados em meu favor, cada conquista alcançada é reflexo de tudo o que me proporcionaram ao longo da vida. Esta vitória também é de vocês, pois sem o amor, o cuidado e o apoio que sempre me ofereceram, este sonho não teria sido possível.

À minha família, agradeço pelo carinho, compreensão e apoio ao longo de toda a minha trajetória. Em especial, à minha irmã Carla Santos, que teve papel fundamental em minha caminhada acadêmica, incentivando-me a ingressar na faculdade e motivando-me constantemente a seguir em frente em busca dos meus sonhos.

Ao meu filho, Heitor Santos, que mesmo tão pequeno foi uma das minhas maiores fontes de força e motivação durante esta caminhada. Seu sorriso, sua inocência e seu amor renovaram minhas energias nos momentos de cansaço e dificuldade. Cada conquista alcançada ao longo desta trajetória foi também inspirada por você. Que este trabalho sirva de exemplo para que, no futuro, você saiba que a dedicação, a persistência e a busca pelos sonhos sempre valem a pena. Você dá um sentido ainda maior à minha vida, e por isso serei eternamente grata.

À minha amiga e dupla de TCC, Márcia Lima, quero deixar registrado o quanto sou grata por ter caminhado ao seu lado durante toda essa jornada. Mais do que companheira de estudos, você foi apoio nos momentos difíceis, sorriso nos dias cansativos e força quando parecia impossível seguir. Obrigada por dividir comigo não apenas o conhecimento, mas também as preocupações, os sonhos e as vitórias, sua presença foi essencial para que chegássemos juntas até aqui, concluindo uma etapa tão marcante das nossas vidas acadêmicas.

Aos colegas e amigos de turma, pela convivência, amizade e apoio ao longo desta caminhada acadêmica. De maneira especial, agradeço à colega e amiga Jonilce Sena, cuja colaboração, incentivo e companheirismo foram de grande importância durante essa jornada, contribuindo para tornar os desafios mais leves.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Flávio Cruz, expresso minha sincera gratidão pela confiança depositada em meu trabalho, pela paciência, disponibilidade e pelos valiosos ensinamentos compartilhados ao longo desta pesquisa. Agradeço por todo o apoio, pelas orientações, pela

dedicação e por nunca medir esforços para auxiliar no desenvolvimento deste estudo. Sua contribuição foi fundamental para meu crescimento acadêmico, profissional e pessoal.

A todos os professores do curso de Agronomia que contribuíram para minha formação acadêmica e à Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

Por fim, expresso minha sincera gratidão a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para esta trajetória, oferecendo apoio, incentivo e confiança ao longo do caminho.

Cada gesto de ajuda foi fundamental para que este momento se tornasse possível.

Minha sincera gratidão a todos que fizeram parte desta jornada.

Deise de Souza Santos

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder saúde, força, sabedoria e perseverança para superar os desafios encontrados ao longo desta caminhada acadêmica e tornar possível a realização deste trabalho.

À minha família, pelo amor, apoio, incentivo e compreensão em todos os momentos desta jornada. Em especial, à minha mãe, Celi Barroso Lima, e ao meu pai, Antônio Carlos Jesus de Souza, pelos ensinamentos, valores, dedicação e esforços incansáveis em minha formação pessoal e profissional. Sou profundamente grata por todo o carinho, confiança e apoio que sempre me ofereceram.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Flávio José Rodrigues Cruz, pela orientação, confiança, paciência, dedicação e pelos valiosos conhecimentos compartilhados durante o desenvolvimento deste trabalho. Sua contribuição foi fundamental para a realização desta pesquisa e para o meu crescimento acadêmico.

À minha dupla de TCC, Deise Santos, pela parceria, amizade, comprometimento, dedicação e colaboração durante todas as etapas deste trabalho. Agradeço pela troca de conhecimentos, pelo companheirismo, pelo apoio mútuo e pela determinação compartilhada ao longo desta jornada, tornando este desafio mais leve, enriquecedor e gratificante.

Aos professores do curso de Agronomia da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), pelos ensinamentos transmitidos ao longo da graduação e pela significativa contribuição para minha formação acadêmica e profissional.

Aos colegas e amigos que fizeram parte desta trajetória, pela convivência, troca de experiências, apoio mútuo e pelos momentos de aprendizado compartilhados. Em especial, à minha amiga Jonilce Sena, pela amizade, parceria, incentivo constante e pelas palavras de encorajamento nos momentos mais difíceis. Sua presença e apoio foram muito importantes para que eu chegasse até aqui.

À Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Campus Universitário de Juruti, pela oportunidade de crescimento acadêmico, científico e profissional.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. A cada um, os meus mais sinceros agradecimentos.

Márcia Lima de Souza

RESUMO

O uso de substâncias bioestimulantes no tratamento de sementes tem se destacado como uma estratégia promissora para melhorar o desempenho fisiológico das culturas agrícolas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes concentrações de selênio na germinação, no vigor e no crescimento inicial de plântulas de soja (*Glycine max* L.) cultivar Lenda IPRO, por meio do condicionamento de sementes com selenito de sódio (Na_2SeO_3). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, composto por oito concentrações de selênio (0; 2,5; 5; 10; 20; 40; 80 e 120 mg L^{-1}), com quatro repetições de 40 sementes. Foram avaliados parâmetros germinativos, biométricos e de biomassa, incluindo porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação, tempo médio de germinação, comprimento da parte aérea e da raiz, massa fresca e seca, e índices de vigor das plântulas. Os resultados demonstraram que o selenito de sódio influenciou significativamente a germinação, o vigor e o desenvolvimento inicial das plântulas. As concentrações baixas e intermediárias apresentaram desempenho semelhante ao tratamento controle para a maioria das variáveis avaliadas e, em algumas características, favoreceram o crescimento inicial das plântulas, indicando potencial para manutenção ou melhoria da qualidade fisiológica das sementes quando utilizadas em doses adequadas. Em contrapartida, as concentrações mais elevadas, especialmente 80 e 120 mg L^{-1} , promoveram reduções significativas na germinação, no vigor e no crescimento das plântulas, evidenciando efeito fitotóxico. Conclui-se que o uso de selenito de sódio no condicionamento de sementes de soja apresenta potencial para favorecer o desempenho fisiológico e o estabelecimento inicial da cultura quando empregado em baixas concentrações, sendo necessária a definição criteriosa da dose para evitar efeitos prejudiciais ao desenvolvimento das plântulas.

Palavras-chave: selenito de sódio; vigor fisiológico; mobilização de reservas; desenvolvimento radicular; bioestimulante.

ABSTRACT

The use of biostimulant substances in seed treatment has emerged as a promising strategy to improve the physiological performance of agricultural crops. In this context, the present study aimed to evaluate the effect of different selenium concentrations on the germination, vigor, and initial growth of soybean (*Glycine max* L.) seedlings of the Lenda IPRO cultivar through seed priming with sodium selenite (Na_2SeO_3). The experiment was conducted in a completely randomized design consisting of eight selenium concentrations (0, 2.5, 5, 10, 20, 40, 80, and 120 mg L^{-1}), with four replicates of 40 seeds each. Germination, biometric, and biomass parameters were evaluated, including germination percentage, germination speed index, mean germination time, shoot and root length, fresh and dry mass, and seedling vigor indices. The results demonstrated that sodium selenite significantly influenced germination, vigor, and the initial development of soybean seedlings. Low and intermediate concentrations showed performance similar to that of the control treatment for most of the evaluated variables and, in some characteristics, promoted seedling growth, indicating their potential to maintain or improve seed physiological quality when applied at appropriate doses. In contrast, higher concentrations, particularly 80 and 120 mg L^{-1} , significantly reduced germination, vigor, and seedling growth, demonstrating the phytotoxic effect of selenium. It can be concluded that the use of sodium selenite in soybean seed priming has the potential to enhance physiological performance and the initial establishment of the crop when applied at low concentrations. However, careful dose selection is essential, as high concentrations significantly impair the initial development of soybean seedlings.

Keywords: sodium selenite; physiological vigor; reserve mobilization; root development; biostimulant.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. Selênio e seu mecanismo de ação em plantas, sementes e plântulas	12
2.2. Germinação de sementes e mobilização de reservas	14
2.3. <i>Seed priming</i> ou condicionamento de sementes.....	15
2.4. Cultura da soja	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1. Local do experimento e material vegetal.....	18
3.2. Implantação e condução do experimento	19
3.3. Avaliações.....	20
3.4. Análise dos dados.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. Efeito das concentrações de selênio sobre a germinação e o desempenho inicial das sementes de soja	23
4.2. Massa fresca e massa seca das plântulas	27
4.3. Comprimento de plântulas	31
4.4. Índices de vigor de protrusão	33
5. CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o uso de biostimulantes na agricultura tem aumentado devido aos seus efeitos positivos no crescimento e desenvolvimento vegetal (Sariñana-Aldaco *et al.*, 2025). O biostimulante consiste em uma substância ou microrganismo aplicado à planta com o intuito de melhorar aspectos fisiológicos, como a eficiência nutricional, a tolerância a estresses e a minimização dos efeitos adversos causados por fatores abióticos (Du Jardin, 2015; Di Sario *et al.*, 2025). Dessa forma, esses produtos promovem respostas biológicas capazes de desencadear modificações adaptativas nos processos metabólicos, favorecendo o uso mais eficiente dos recursos ambientais (González-Morales *et al.*, 2021).

Dentre eles, o selênio (Se) destaca-se como um elemento inorgânico não essencial, porém benéfico às plantas. O Se está envolvido na melhoria de processos fisiológicos e bioquímicos relacionados à absorção e assimilação de nutrientes (Hawrylak-Nowak *et al.*, 2015), fotossíntese (Ferreira *et al.*, 2020), respostas antioxidantes (Bachiega *et al.*, 2016) e mitigação de estresses em plantas (Iqbal *et al.*, 2015). O Se e enxofre (S) apresentam propriedades químicas e bioquímicas similares, além de compartilharem a mesma rota de absorção, assimilação e metabolização em plantas. O Se tem diferentes estados de oxidação, sendo o selenato (SeO_4^{2-}) e selenito (SeO_3^{2-}) as formas absorvíveis de Se, devido à alta solubilidade desses ânions (Van Hoewyk, 2013; Cruz, 2025).

Apesar de inúmeros estudos mostrarem que a aplicação exógena de Se em diferentes espécies de plantas via foliar ou radicular induz respostas fisiológicas positivas, seu uso na germinação de sementes é incipiente e restrito a poucas espécies de plantas, porém com resultados positivos do ponto de vista germinativo (Al-Omairi e Al-Hilfy, 2021). Por exemplo, em sementes tratadas com Se, há aumento da taxa germinativa e do crescimento de plântulas (García-Locascio *et al.*, 2024). No entanto, o efeito do Se tanto em plantas como em sementes é dose-fonte dependente, evidenciando um limite de concentração abaixo ou acima do qual há ocorrência de efeitos benéficos ou tóxicos respectivamente (Van Hoewyk, 2013; Sariñana-Navarrete *et al.*, 2024).

Em sementes, o uso de substâncias bioestimulantes pode ocorrer por meio do umedecimento do substrato de germinação ou pela pré-embebição das sementes, processo que ativa mecanismos metabólicos relacionados à germinação, denominado *priming*. Esse processo consiste na embebição controlada das sementes em soluções com ou sem bioestimulantes, seguida de secagem e posterior semeadura (Paparella *et al.*, 2015; Afzal, 2023). Esse processo incrementa a velocidade e promove uniformidade de germinação, e induz tolerância a estresses (Cañizares *et al.*, 2025).

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) destaca-se entre as principais culturas agrícolas cultivadas mundialmente, apresentando elevada importância econômica e ampla utilização na alimentação humana e animal. O sucesso da implantação da cultura depende diretamente da qualidade fisiológica das sementes e do estabelecimento uniforme das plântulas, fatores que influenciam o crescimento inicial das plantas e o potencial produtivo da lavoura.

Embora as sementes de um lote ou espécie possam apresentar a mesma taxa de germinação, as sementes podem mostrar desuniformidade na germinação e emergência de plântulas por causa de variabilidade na umidade e temperatura do solo (Begum *et al.*, 2022; Almakas *et al.*, 2025). A uniformidade da germinação e da emergência das plântulas é fundamental para o estabelecimento adequado da cultura, uma vez que influencia diretamente o crescimento inicial das plantas e o aproveitamento eficiente dos recursos disponíveis no ambiente. Nesse contexto, estratégias que favoreçam o desempenho fisiológico das sementes podem contribuir para a obtenção de plântulas mais vigorosas e uniformes, promovendo melhor desenvolvimento inicial da cultura (Paparella *et al.*, 2015; Afzal, 2023; Cañizares *et al.*, 2025).

Nesse contexto, a pré-embebição de sementes com Se constitui uma estratégia promissora para melhorar o desempenho fisiológico das sementes, favorecendo a germinação, a emergência e o crescimento inicial das plântulas. Evidências experimentais demonstram os efeitos positivos desse elemento em espécies como pimentão (*Capsicum annuum* L.) (Liu *et al.*, 2024; Sariñana-Navarrete *et al.*, 2024), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (Nie *et al.*, 2023) e arroz (*Oryza sativa* L.) (Hu *et al.*, 2022). Entretanto, a definição da concentração adequada de Se para a pré-embebição das sementes é fundamental para o sucesso dessa técnica, uma vez que os efeitos do elemento são dependentes da dose utilizada. Além disso, o selenito de sódio apresenta maior potencial fitotóxico às plantas quando comparado ao selenato, o que reforça a necessidade de determinar concentrações que promovam benefícios fisiológicos sem comprometer a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas (Ferreira *et al.*, 2020).

Apesar dos resultados promissores observados em diferentes espécies vegetais, ainda são escassas as informações sobre os efeitos do selenito de sódio no condicionamento fisiológico de sementes de soja, especialmente quanto à definição de concentrações capazes de maximizar a germinação, o vigor e o crescimento inicial das plântulas sem provocar efeitos fitotóxicos. Dessa forma, torna-se necessária a realização de estudos que ampliem o conhecimento sobre o uso do selênio no condicionamento de sementes de soja e sua influência sobre o desempenho fisiológico das sementes e o desenvolvimento inicial das plântulas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Selênio e seu mecanismo de ação em plantas, sementes e plântulas

O selênio (Se) é um elemento traço distribuído em vários ambientes geoquímicos. Seu teor médio na crosta terrestre é estimado em $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$. No entanto, teores acima de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ podem ser encontrados. Em rochas máficas, os teores de Se são ligeiramente altos, mas não excedendo $0,14 \text{ mg kg}^{-1}$ (McNeal e Balistrieri, 1989). Nos solos, os teores de Se variam entre $0,05$ e $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (Kabata-Pendias e Pendias, 2001). Esses valores dependem do tipo de solo e do seu material de origem. Entretanto, em solos tropicais onde o intemperismo é intenso, seus teores tendem a ser baixo (Combs, 2001; Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

Em plantas, a rota de absorção e assimilação de Se é a mesma do enxofre (S) devido à similaridade química entre as formas absorvíveis de Se (SeO_4^{2-} e SeO_3^{2-}) e S (SO_4^{2-}) (Malagoli *et al.*, 2015). O selenato é absorvida via transportadores de sulfato e selenito por transportadores de fosfato (El Kassis *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2008). Após ser absorvido, o Se é assimilado nos plastídeos nos aminoácidos cisteína e metionina, agora denominados selenocisteína e selenometionina, que entrarão na constituição química de selenoproteínas (Van Hoewyk, 2013).

O Se é um nutriente mineral essencial aos animais e humanos porque é um importante componente de selenoproteínas que são importantes ao funcionamento do metabolismo (Prado *et al.*, 2017). Em plantas, embora o Se não seja considerado como um elemento essencial, tem função benéfica porque induz repostas positivas no crescimento vegetal por meio da biofortificação e por mitigar os efeitos de vários tipos de estresses abióticos induzidos sais, metais pesados e deficiência hídrica (Liu *et al.*, 2022). Entretanto, sob níveis elevados, o Se desencadeia toxicidade em plantas, afetando negativamente as trocas gasosas e a nutrição das plantas, desencadeando o estresse oxidativo, consequentemente redução do crescimento de plantas (Ferreira *et al.*, 2020).

Concentrações de Se a partir de $10 \text{ }\mu\text{M}$ em solução nutritiva (Hawrylak-Nowak *et al.*, 2015) ou teores de Se acima de 5 mg kg^{-1} nos tecidos vegetais há redução do crescimento em diferentes espécies de plantas (Reilly, 1996; Schiavon e Pílon-Smits, 2017). Entretanto, níveis tóxicos de Se variam em função da fonte e concentração de Se, bem como entre as espécies de plantas estudadas (Van Hoewyk, 2013; Kaur *et al.*, 2014).

A toxicidade do selênio em plantas ocorre devido à substituição do enxofre nos aminoácidos cisteína e metionina quando o fornecimento de Se ultrapassa níveis de biofortificação. Esse processo interfere no metabolismo do enxofre e na síntese de glutathione reduzida (GSH), promovendo desequilíbrio redox e favorecendo o estresse oxidativo. A

glutathione desempenha papel central em reações de óxido-redução, incluindo o metabolismo antioxidante e processos relacionados ao ascorbato e ao enxofre em plantas (Van Hoewyk, 2013; Noctor; Foyer, 2018).

O excesso de selênio pode promover a depleção da glutathione celular e interferir no dobramento adequado de proteínas, uma vez que a substituição do enxofre por selênio em ligações estruturais pode alterar a formação e o rearranjo das pontes dissulfeto, resultando em modificações conformacionais proteicas (Chakravarthi; Bulleid, 2004; Metanis; Hilvert, 2015). Essa alteração proteica afeta o funcionamento do metabolismo do cloroplasto e mitocôndria, onde ocorrem reações de óxido-redução importantes ao crescimento e desenvolvimento vegetal. No citosol ou retículo endoplasmático, proteínas malformadas quando não reparadas ou removidas formam agregados proteicos que causam desordem metabólicas nas células vegetais. Esse conjunto de alterações bioquímicas em um estágio final contribui para o estresse oxidativo e redução do crescimento (Van Hoewyk, 2013).

No contexto da germinação de sementes e crescimento de plântulas, os estudos com selênio ainda são relativamente incipientes, mas indicam respostas semelhantes às observadas em plantas adultas, variando de acordo com a concentração e a fonte de Se empregadas (Hajdiboland, 2020; Liu *et al.*, 2023). Por exemplo, sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) tratadas com selenito de sódio (0, 30 e 60 μM) apresentam incremento no índice de emergência e crescimento de plântulas (Hu *et al.*, 2022). Em quinoa (*Chenopodium quinoa*), sementes condicionadas com concentrações de selenato de sódio na faixa de 0 - 4,5 mg/L apresentam maior taxa de germinação e comprimento de plântulas (Gholani *et al.*, 2022). Em nabo (*Brassica rapa*), o condicionamento de sementes com 0, 75, 100 e 125 μM de selenito de sódio incrementa a taxa de germinação de sementes, a massa fresca e comprimento de plântulas (Hussain *et al.*, 2023).

Sariñana - Aldaco *et al.* (2025) em estudo com sementes de pepino (*Cucumis sativus* L.) não houve diferenças significativas na germinação de sementes tratadas com selenito de sódio na faixa de concentração de 0,1 - 3,0 mg/L, mas apenas na biomassa seca e fresca das plântulas, que aumentou com o incremento das concentrações de selenito de sódio. Em sementes de milho (*Zea mays*), o fornecimento de 5 mg/L de NaHSeO_3 incrementou a germinação, crescimento e comprimento radicular e da plúmula das plântulas (Al - Omairi e Al - Hilfy, 2021). E em Pimentão (*Capsicum annum*.L), a faixa de Se que promoveu maior taxa germinativa foi 0 - 20 μM de selenito de sódio. No entanto, o crescimento (massa fresca e comprimento radicular, e massa fresca da parte aérea) das plântulas foi incrementado apenas na faixa de 0 -10 μM . Acima dessa faixa houve redução do crescimento das plântulas (Liu *et al.*,

2024).

Esse conjunto de evidências experimentais demonstra a participação do selênio na melhoria da germinação, emergência e crescimento de plântulas (Gupta; Gupta, 2016). Dessa forma, esses resultados podem nortear estudos em condições de campo visando aumentar a germinação de sementes e a emergência de plântulas, contribuindo para a manutenção de um estande vegetal homogêneo. Além disso, destacam o potencial biofortificador do selênio e sua capacidade de melhorar as respostas das plantas aos diferentes estresses abióticos ao longo dos diversos estágios de desenvolvimento (Gupta; Gupta, 2016; Schiavon *et al.*, 2020).

2.2. Germinação de sementes e mobilização de reservas

Ao final do processo de maturação das sementes ortodoxas, elas entram em uma fase de quiescência devido à dessecação que ocorre naturalmente e que faz parte do processo de maturação fisiológica das sementes ainda ligada às plantas (Bewley e Black, 1994). A semente ao encontrar condições favoráveis de umidade, temperatura, luminosidade e oxigênio retoma o crescimento do embrião em um fenômeno denominado germinação (Ferreira e Borghetti, 2004).

A germinação de sementes ortodoxas inicia-se com a embebição, seguindo um padrão trifásico de absorção de água (Bewley *et al.*, 2013; Marcos Filho, 2015). Na primeira fase, ou fase I, ocorre rápida absorção de água pelas sementes em função do baixo potencial matricial dos tecidos secos (Bewley; Black, 1994; Ferreira; Borghetti, 2004). Nessa etapa, verifica-se aumento da atividade respiratória, reparo de DNA, síntese de RNAm e síntese de proteínas a partir de transcritos recém-formados (Nonogaki; Bassel; Bewley, 2010; Bewley *et al.*, 2013). O aumento da taxa respiratória ocorre em decorrência da hidratação e reativação das mitocôndrias, das enzimas do ciclo de Krebs e da cadeia transportadora de elétrons, resultando em incremento linear da respiração em resposta à hidratação dos tecidos (Bewley *et al.*, 2013; Marcos Filho, 2015).

Na fase II são ativados os mecanismos metabólicos necessários à retomada do crescimento do embrião e à finalização do processo germinativo, que culmina com a protrusão da radícula (Bewley *et al.*, 2013; Marcos Filho, 2015). Nessa fase, ocorre intensa atividade metabólica e divisão celular, enquanto a absorção de água é mínima, caracterizando um período de equilíbrio hídrico (Bewley; Black, 1994; Ferreira; Borghetti, 2004). A atividade respiratória permanece relativamente estável, apresentando apenas aumento gradual em comparação à fase anterior (Bewley *et al.*, 2013).

Já na fase III, a absorção de água volta a aumentar em decorrência da expansão celular e do crescimento do eixo embrionário, sendo governada principalmente pelo potencial de

pressão gerado pelo desenvolvimento dos tecidos (Bewley *et al.*, 2013; Marcos Filho, 2015). Nessa etapa ocorre novo incremento da atividade respiratória nos tecidos embrionários, associado à síntese de novas mitocôndrias, e nos tecidos de reserva, em razão da mobilização e degradação das substâncias de reserva (Bewley *et al.*, 2013). A protrusão da radícula marca o término do processo de germinação e torna o processo irreversível (Ferreira; Borghetti, 2004; Marcos Filho, 2015). Entretanto, durante a fase II, a hidratação e a ativação metabólica podem ser interrompidas sem comprometimento da germinabilidade, constituindo a base fisiológica das técnicas de condicionamento de sementes (seed priming) (Bewley; Black, 1994; Marcos Filho, 2015).

A qualidade fisiológica de sementes depende de vários fatores extrínsecos às sementes como o manejo fitossanitário, nutricional e hídrico que a planta recebeu durante a sua produção, e de fatores intrínsecos como a organização celular e a capacidade de remobilização das reservas das sementes (Delgado *et al.*, 2015). Sementes vigorosas apresentam maior concentração de proteínas solúveis, amido e açúcares solúveis, assim como alta capacidade de mobilização de reservas ao longo da germinação, proporcionando plantas com maior performance inicial (Henning *et al.*, 2010; Pereira *et al.*, 2015).

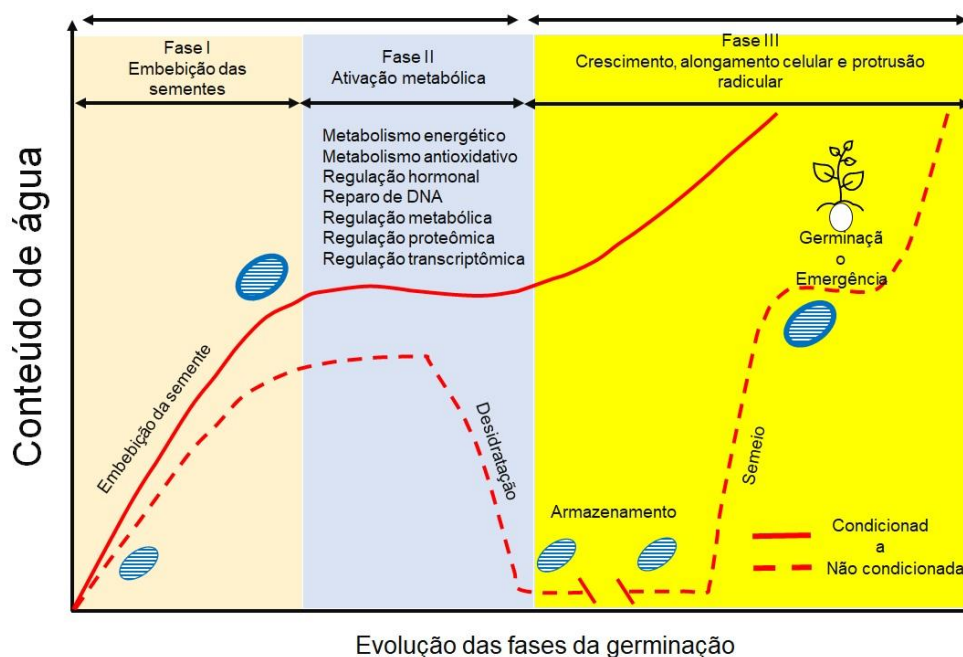
A mobilização das reservas de sementes é um evento crítico, porque além de fornecer moléculas precursoras como aminoácidos e açúcares simples, disponibiliza energia para processos biossintéticos, sendo crucial para a germinação e estabelecimento da plântula (Eastmond *et al.*, 2000; Pinfield-Wells *et al.*, 2005; Han *et al.*, 2013). No entanto, as reservas podem ser potencialmente mobilizadas após condicionamento das sementes com substâncias exógenas que aceleram a embebição, induzem a ativação de enzimas, maior acúmulo de substâncias que ativam o processo de germinação, além de promover reparos metabólicos durante a germinação e ao ajuste osmótico (Hussain *et al.*, 2015; Kubala *et al.*, 2015; Hussain *et al.*, 2016; Ejaz *et al.*, 2019; Basit *et al.*, 2021).

2.3. Seed priming ou condicionamento de sementes

O termo *seed priming* significa “dar início”, “preparar”, “começar”. Consiste em promover a embebição da semente para ativar os mecanismos bioquímicos da germinação, sem que esta necessariamente ocorra. Para tanto, é necessário que a semente logo após um prévio período de embebição, seja desidratada de modo que a fase III do processo de embebição não ocorra ou só ocorra a partir do momento em que as sementes são postas para germinar (Jatana *et al.*, 2024). Portanto, a técnica de *priming* consiste em colocar as sementes para embeber água ou solução contendo substâncias iônicas ou moleculares de modo que ocorra a hidratação

seminal, porém, de forma controlada e limitada para que alguns eventos da fase I e II do processo germinativo ocorram (Figura 1), mas sem que haja a germinação propriamente dita (Ferreira e Borghetti, 2004; Singh *et al.*, 2015; Afzal, 2023).

Figura 1 - Esquema de representação do processo de condicionamento de sementes ou *seed priming*, mostrando a curva de hidratação e fases de germinação em sementes não condicionadas e condicionadas.



Fonte:
Jantana *et*

al. (2024).

Seed priming é uma técnica que pode ser utilizada para aprimorar os mecanismos de defesa das plantas contra fatores ambientais limitantes por meio de maior taxa germinativa e sincronia na germinação de sementes. Isso acontece porque o *seed priming* induz menor tempo de latência na embebição, ativação de enzimas, maior acúmulo de substâncias que estimulam a germinação, ao maior reparo metabólico durante a germinação e ao ajuste osmótico (Hussain *et al.*, 2015; Kubala *et al.*, 2015; Hussain *et al.*, 2016; Ejaz *et al.*, 2019; Basit *et al.*, 2021).

2.4. Cultura da soja

A produção mundial de soja no ano de 2024 foi de 427.14 milhões de toneladas, com destaques ao Brasil, Estados Unidos e Argentina que figuram como os três maiores produtores mundiais, com produção em toneladas de 144.5, 117.05 e 51.11 respectivamente (IBGE, 2025; USDA, 2025). Entre os estados brasileiros, o maior produtor de soja é o estado do Mato Grosso com 38.3 milhões de toneladas produzidas, enquanto o estado do Pará produziu apenas 3.8 milhões de toneladas no ano de 2024 (IBGE, 2025).

Esses ganhos de produtividade da soja no Brasil podem ser explicados com base na utilização de tecnologias adequadas por parte dos agricultores, com destaque ao fomento de

pesquisa e geração de novas cultivares mais produtivas e menos suscetíveis às condições de cultivo adversas existentes nas regiões produtoras (Monteiro *et al.*, 2025).

Do ponto de vista botânico, a soja é uma planta herbácea incluída na classe Magnoliopsida (Dicotiledônea), ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, gênero *Glycine* e espécie *Glycine max* (L.) Merrill (Nepomuceno; Farias; Neumaier, 2021). É uma planta que apresenta grande variabilidade genética, tanto no ciclo vegetativo (período compreendido da emergência da plântula até a abertura das primeiras flores), como no reprodutivo (período do início da floração até o fim do ciclo da cultura), sendo bastante influenciada pelos fatores ambientais luz, temperatura e umidade (Sediyama, 2009).

A semente de soja constitui o principal insumo para o estabelecimento da lavoura, sendo sua qualidade determinante para o sucesso da germinação, emergência e desenvolvimento inicial das plântulas. A semente é composta pelo tegumento, responsável pela proteção dos tecidos internos contra danos mecânicos e agentes externos, pelos cotilédones, que armazenam reservas nutritivas, e pelo eixo embrionário, formado pela radícula, hipocótilo e plúmula, estruturas que darão origem ao sistema radicular e à parte aérea da planta (Carvalho; Nakagawa, 2012; Marcos Filho, 2015). Dessa forma, a integridade estrutural e fisiológica da semente exerce influência direta sobre o estabelecimento da cultura e seu potencial produtivo.

A qualidade fisiológica das sementes é geralmente avaliada por meio dos atributos germinação e vigor, os quais estão diretamente relacionados à capacidade de originar plântulas normais e uniformes em diferentes condições ambientais (Marcos Filho, 2015). O vigor representa um conjunto de características que determina o potencial de desempenho das sementes durante a germinação e o estabelecimento inicial das plantas, influenciando a velocidade de emergência, o crescimento das plântulas e a formação adequada do estande de cultivo (Carvalho; Nakagawa, 2012; Marcos Filho, 2015). Assim, avaliações relacionadas ao comprimento, acúmulo de massa fresca e massa seca das plântulas são amplamente utilizadas para estimar o potencial fisiológico das sementes.

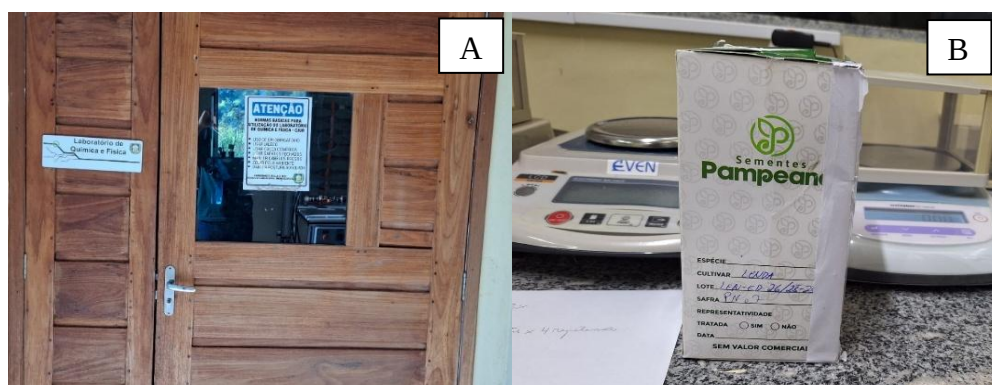
Diversos fatores podem influenciar a qualidade fisiológica das sementes, incluindo características genéticas, condições de produção, armazenamento e disponibilidade de nutrientes (Marcos Filho, 2015; Carvalho; Nakagawa, 2012). Dessa forma, o estudo dos efeitos do selênio sobre a germinação e o vigor de sementes de soja torna-se relevante para compreender sua influência no desenvolvimento inicial das plântulas e no estabelecimento da cultura

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento e material vegetal

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Química e Física da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), *Campus* Juruti, situado no município de Juruti, estado do Pará, nas coordenadas geográficas 2°08'58,6" S e 56°04'49,8" W. O experimento foi conduzido entre os dias 03 e 10 de novembro de 2025, utilizando sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) da cultivar Lenda IPRO. A Figura 2 ilustra o local de realização do experimento e o material vegetal utilizado no estudo.

Figura 2– Laboratório de Química e Física da UFOPA, Campus Juruti (A), e sementes de soja da cultivar Lenda IPRO (B).



Fonte: Santos; Souza (2025).

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), constituído por oito tratamentos correspondentes a diferentes concentrações de selênio e quatro repetições, sendo cada repetição composta por 40 sementes. O selênio foi fornecido na forma de selenito de sódio (Na_2SeO_3), conforme concentrações utilizadas por Huang *et al.* (2022), Sariñana-Navarrete *et al.* (2024) e Liu *et al.* (2024), sendo estas citados na tabela 1:

Tabela 1 – Tratamentos experimentais e concentrações de selênio utilizadas na embebição de sementes de soja cultivar Lenda IPRO.

Tratamentos	Concentração (mg L^{-1})
T0	0
T1	2,5
T2	5
T3	10
T4	20
T5	40
T6	80
T7	120

Fonte: Santos; Souza (2026).

Nota: T0= Controle (0 mg L⁻¹); T1=2,5; T2 = 5 mg L⁻¹; T3 = 10 mg L⁻¹; T4 = 20 mg L⁻¹; T5 = 40 mg L⁻¹; T6 = 80 mg L⁻¹; T7 = 120mg * L⁻¹ de selênio (Na₂SeO₃).

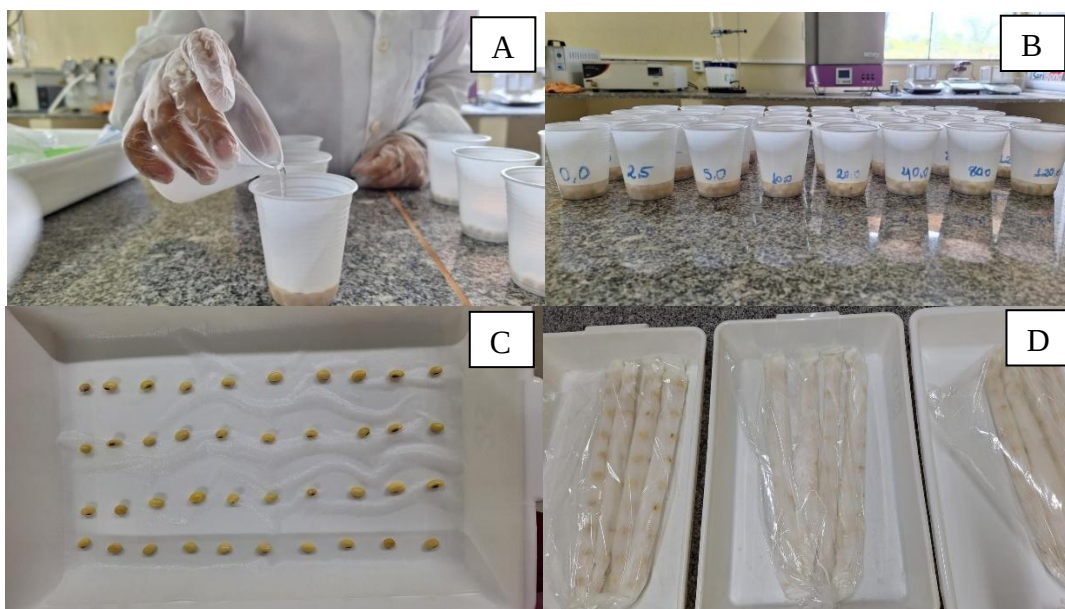
3.2. Implantação e condução do experimento

Inicialmente, as sementes foram desinfestadas em solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 0,1% durante um minuto. Em seguida, foram lavadas cinco vezes com água destilada e secas à temperatura ambiente.

Posteriormente, as sementes foram submetidas à embebição em soluções contendo as respectivas concentrações de selenito de sódio por seis horas sob agitação constante, conforme metodologia descrita por Huang *et al.* (2022).

Após a embebição, a avaliação da germinação foi realizada utilizando-se 40 sementes por repetição, distribuídas em rolos de papel Germitest previamente umedecidos com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos foram acondicionados em germinador regulado à temperatura de 25 °C, sob fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). As etapas de instalação do experimento estão apresentadas na Figura 3.

Figura 3 – Etapas de instalação do experimento de germinação de sementes de soja. A) Desinfetação das sementes em solução de NaClO a 0,1%; B) Embebição das sementes nas soluções de selenito de sódio; C) Distribuição das sementes em papel Germitest; D) Rolos de papel acondicionados no germinador.



Fonte: Santos; Souza (2025).

As contagens de germinação foram realizadas no 5º dia após a instalação do experimento, correspondente à primeira contagem, e no 8º dia, correspondente à contagem final. Foram consideradas germinadas as sementes que apresentaram protrusão da radícula igual

ou superior a 2 mm, caracterizando a conclusão do processo germinativo, conforme os conceitos de germinação descritos por Bewley *et al.* (2013).

O desenvolvimento das plântulas de soja aos cinco e oito dias após a instalação do experimento está apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Desenvolvimento das plântulas de soja aos cinco (A) e oito (B) dias após a instalação do experimento.



Fonte: Santos; Souza (2025).

3.3. Avaliações

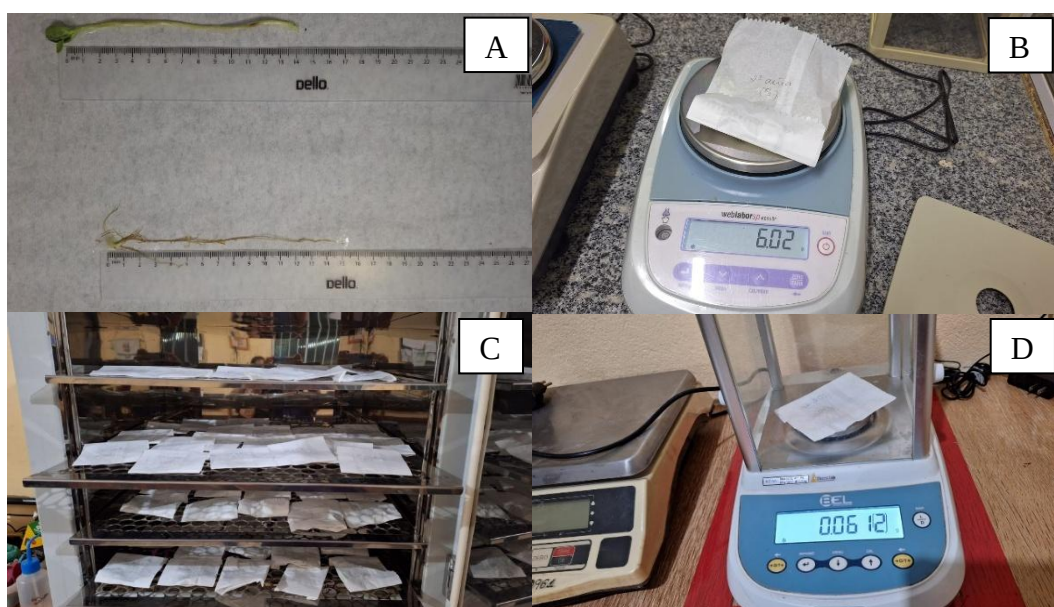
Ao final do experimento, no 8º dia após a instalação, foram avaliadas as seguintes variáveis:

- Porcentagem de germinação (G%);
- Índice de velocidade de germinação (IVG);
- Tempo médio de germinação (TMG);
- Comprimento da parte aérea (CPA);
- Comprimento da raiz (CR);
- Massa fresca da parte aérea (MFPA);
- Massa fresca da raiz (MFR);
- Massa fresca total (MFT);
- Massa seca da parte aérea (MSPA);
- Massa seca da raiz (MSR);
- Massa seca total (MST);
- Índice de vigor das plântulas baseado na massa fresca (IVPMF);
- Índice de vigor das plântulas baseado no comprimento das plântulas (IVPCP).

O comprimento da parte aérea e da raiz foi determinado com auxílio de régua milimetrada. Para determinação da massa fresca, as plântulas foram separadas em parte aérea e raiz e pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g.

Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel Kraft e mantidas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 48 horas, até atingirem massa constante. Após esse período, foram novamente pesadas em balança analítica para obtenção da massa seca. As etapas das avaliações biométricas e da determinação da massa fresca e seca das plântulas estão apresentadas na Figura 5.

Figura 5 – Avaliações biométricas e determinação da massa fresca e seca de plântulas de soja submetidas a diferentes concentrações de selênio. (A) Medição do comprimento da parte aérea e da raiz com auxílio de régua milimetrada; (B) determinação da massa fresca das plântulas em balança analítica; (C) acondicionamento das amostras em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 48 horas; e (D) determinação da massa seca das plântulas após secagem.



Fonte: Santos; Souza (2025).

A porcentagem de germinação foi calculada de acordo com Labouriau e Agudo (1987):

$$G = \left(\frac{n}{N} \right) \cdot 100$$

onde: G é a porcentagem de germinação; n é o número de sementes germinadas; N é o número total de sementes colocadas para germinar.

O índice de velocidade de germinação (IVG) foi determinado conforme Maguire (1962):

$$IVG = \sum \left(\frac{n_i}{t_i} \right)$$

Onde: IVG é índice de velocidade de germinação; n_i é o número de sementes que germinaram no tempo i ; t_i é o tempo (em dias ou horas) após o início do teste até a contagem i .

O tempo médio de germinação (TMG) foi calculado conforme Labouriau e Valadares (1976):

$$TMG = \frac{\sum(ni \cdot ti)}{\sum ni}$$

Onde: TMG é o tempo médio de germinação; ni é o número de sementes germinadas aos (n) dias após a implantação do experimento; ti é o número de dias após implantação do experimento.

O índice de vigor das plântulas com base na massa fresca (IVP_{MF}) e com base no comprimento das plântulas (IVP_{CP}) foram calculados conforme as fórmulas abaixo propostas por Sariñana-Navarrete *et al.* (2024):

$$IVP_{MF} = \text{Germinação (valor decimal)} \times MFP$$

$$IVP_{CP} = \text{Germinação (valor decimal)} \times CP$$

Onde: IVP_{MF} é o índice de vigor das plântulas com base nos valores decimais de germinação, IVP_{CP} é o índice de vigor das plântulas com base no comprimento das plântulas, MFP é a massa fresca das plântulas e CP é o comprimento das plântulas.

3.4. Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente, ambos ao nível de 5% de significância.

Os dados de porcentagem de germinação foram transformados em arcseno $\sqrt{(x/100)}$, visando atender aos pressupostos da análise estatística.

Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando verificada a existência de diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados foram expressos como média $\pm$ erro padrão da média.

Os testes de normalidade e homogeneidade foram realizados utilizando o software PAST (Hammer *et al.*, 2008). A análise de variância foi realizada utilizando o software AgroStat (Barbosa e Maldonado, 2022). As elaborações das figuras foram feitas no Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2025).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeito das concentrações de selênio sobre a germinação e o desempenho inicial das sementes de soja

A análise de variância mostrou diferença significativa entre os tratamentos para todas as características avaliadas, compreendendo as variáveis de germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG). Os resultados da análise de variância para essas variáveis estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes de soja cultivar Lenda IPRO submetidas a diferentes concentrações de selênio (Na_2SeO_3).

QM			
CV	G	IVG	TMG
TRAT	70,5357**	2342,0454**	0,2576**
RES	13,2812	65,5974	0,0054
C.V.	3,5969	10,4672	1,5421

Fonte: Santos; Souza (2026).

Nota: ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F ($p \leq 0,01$). TRAT = tratamentos; RES = resíduo; QM = quadrado médio; C.V. = coeficiente de variação (%). Os valores apresentados correspondem aos quadrados médios obtidos na análise de variância para as variáveis avaliadas. Valores seguidos por ** indicam efeito significativo dos tratamentos sobre a germinação, o índice de velocidade de germinação e o tempo médio de germinação das sementes de soja.

Com o resultado da análise de variância, pode ser constatado que ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$) em todas as variáveis estudadas (G, IVG e TMG) em função dos tratamentos aplicados. Esse resultado evidencia que os tratamentos exerceram influência direta sobre o potencial germinativo e o vigor fisiológico das sementes, rejeitando a hipótese de nulidade.

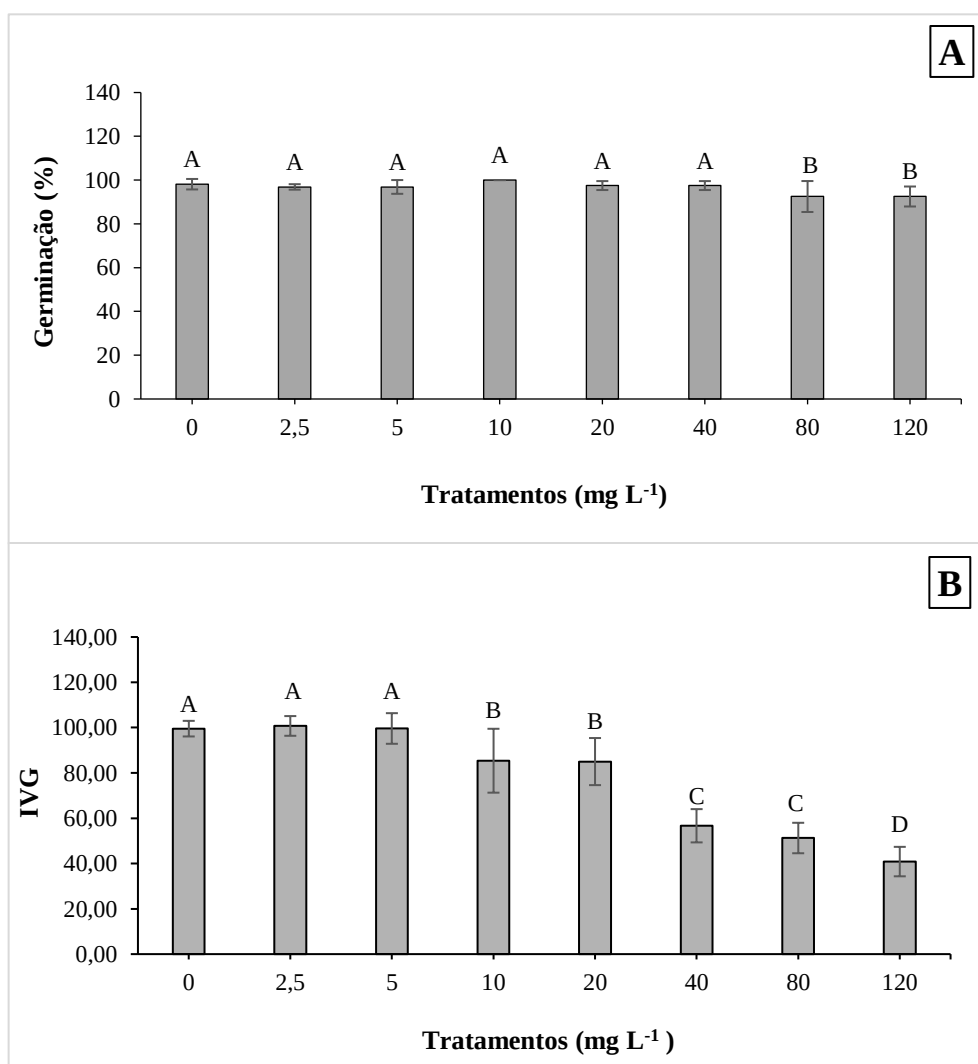
Os coeficientes de variação (CV%) obtidos apresentaram valores de 3,59% para G, 10,46% para IVG e 1,54% para TMG, indicando elevada precisão experimental e boa confiabilidade dos dados obtidos. Em experimentos envolvendo germinação e vigor de sementes, baixos valores de CV refletem adequada homogeneidade experimental, permitindo maior segurança na interpretação dos resultados, conforme descrito por Pimentel-Gomes (2009).

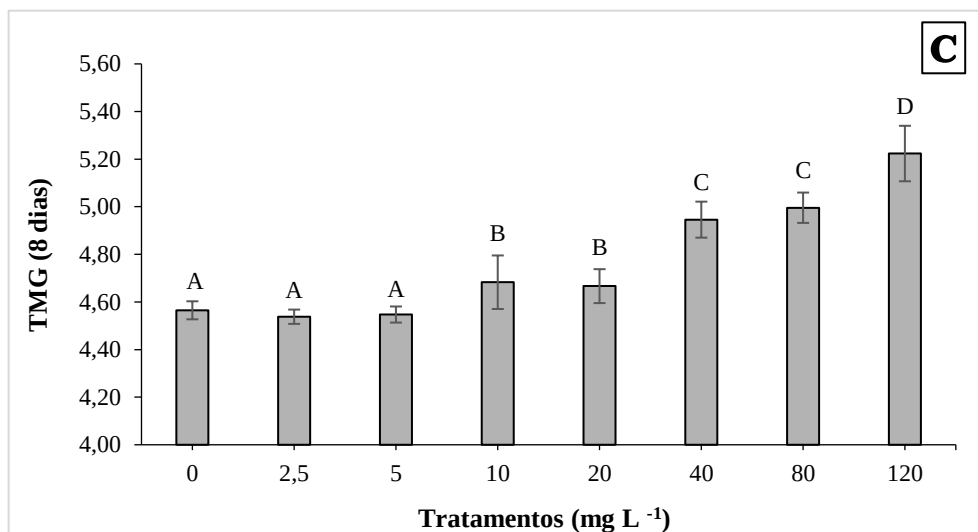
Os resultados observados confirmam estudos que demonstram a influência do tratamento de sementes sobre o desempenho fisiológico e o vigor inicial de plântulas de soja. Del Bem Junior *et al.* (2019) verificaram que tratamentos aplicados às sementes podem alterar

significativamente a germinação e o crescimento inicial das plântulas, influenciando diretamente o estabelecimento da cultura. Da mesma forma, Moterle *et al.* (2011) observaram que substâncias bioestimulantes podem favorecer o vigor das sementes, principalmente em variáveis relacionadas à velocidade germinativa.

Além disso, o selênio tem sido descrito como elemento benéfico em baixas concentrações, atuando na proteção antioxidante celular e na redução dos danos causados por espécies reativas de oxigênio durante o processo germinativo. Entretanto, em concentrações elevadas, o elemento pode apresentar efeito tóxico, reduzindo a germinação e comprometendo o desenvolvimento inicial das plântulas. Conforme a Figura 6.

Figura 6 - Porcentagem de germinação (A), índice de velocidade de germinação – IVG (B) e tempo médio de germinação – TMG (C) de sementes de soja cultivar Lenda IPRO submetidas a diferentes concentrações de selênio (Na_2SeO_3).





Fonte: Santos; Souza (2026).

Nota: As barras representam a média $\pm$ desvio padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As concentrações de selenito de sódio foram expressas em mg L⁻¹.

Conforme apresentado na Figura 6A, observa-se a porcentagem de germinação de sementes de soja submetidas a diferentes concentrações de selênio (Se).

Observa-se que os tratamentos 0; 2,5; 5; 10; 20 e 40 mg L⁻¹ apresentaram os maiores percentuais de germinação, sendo todos agrupados na classe A. Esses resultados demonstram que a aplicação de Se nessas concentrações não prejudicou o processo germinativo, mantendo índices de germinação semelhantes ao tratamento controle.

Por outro lado, as concentrações de 80 e 120 mg L⁻¹ apresentaram redução significativa da germinação, sendo agrupadas na classe B. Nesses tratamentos, os percentuais germinativos foram inferiores aos observados nos demais, indicando que concentrações mais elevadas de Se exerceram efeito negativo sobre a capacidade germinativa das sementes.

De maneira geral, os resultados demonstram que concentrações de até 40 mg L⁻¹ não comprometem a germinação de sementes de soja. Em contrapartida, as doses de 80 e 120 mg L⁻¹ reduziram significativamente essa variável, indicando efeito tóxico do excesso de selênio. Esse comportamento está de acordo com Van Hoewyk (2013), que relaciona altas concentrações de Se ao aumento do estresse oxidativo e ao comprometimento do metabolismo celular durante a germinação.

A Figura 6B apresenta o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de sementes de soja submetidas a diferentes concentrações de selênio (Se). Observa-se que os tratamentos 0; 2,5 e 5 mg L⁻¹ apresentaram os maiores valores de IVG, sendo agrupados na classe A. Esses resultados indicam que, nessas concentrações, o selênio não comprometeu a velocidade de germinação das sementes, mantendo desempenho semelhante ao tratamento controle.

As concentrações de 10 e 20 mg L⁻¹ apresentaram redução significativa do IVG em relação ao grupo A, sendo classificadas na classe B. Mesmo que a germinação ainda tenha ocorrido em níveis elevados, houve diminuição da velocidade do processo germinativo, indicando que essas concentrações começaram a afetar o vigor das sementes. Nas concentrações de 40 e 80 mg L⁻¹, os valores de IVG foram ainda menores, formando a classe C. Essa redução demonstra que o aumento da concentração de Se comprometeu progressivamente a velocidade de emergência das plântulas, evidenciando efeitos negativos sobre o desempenho fisiológico das sementes.

A concentração de 120 mg L⁻¹ apresentou o menor valor de IVG, diferindo estatisticamente de todos os demais tratamentos e sendo enquadrada na classe D. Esse resultado evidencia forte comprometimento do vigor das sementes, uma vez que a germinação ocorreu de forma significativamente mais lenta quando comparada aos demais tratamentos.

Os resultados demonstram que o IVG foi mais sensível ao aumento das concentrações de selênio do que a porcentagem de germinação, indicando que o excesso do elemento afeta inicialmente o vigor das sementes antes de reduzir sua capacidade germinativa (Van Hoewyk, 2013).

A Figura 6C observa-se que os tratamentos 0; 2,5 e 5 mg L⁻¹ apresentaram os menores valores de TMG, sendo agrupados na classe A. Esses resultados indicam que, nessas concentrações, o selênio não interferiu negativamente na velocidade de germinação das sementes, mantendo desempenho semelhante ao tratamento controle. As concentrações de 10 e 20 mg L⁻¹ apresentaram aumento significativo do TMG em relação ao grupo A, formando a classe B. Esse incremento indica que a germinação ocorreu de forma mais lenta, sugerindo que essas concentrações começaram a afetar os processos fisiológicos envolvidos na emissão da radícula.

Nas concentrações de 40 e 80 mg L⁻¹, os valores de TMG aumentaram ainda mais, sendo agrupados na classe C. Esse comportamento evidencia que o aumento da concentração de Se promoveu atraso progressivo na germinação das sementes, reduzindo seu vigor fisiológico. A concentração de 120 mg L⁻¹ apresentou o maior valor de TMG, diferindo estatisticamente de todos os demais tratamentos e sendo classificada na classe D. Esse resultado demonstra que a elevada concentração de Se retardou significativamente a germinação, indicando efeito tóxico sobre o metabolismo das sementes.

O aumento do TMG confirma que concentrações elevadas de selênio retardam a germinação das sementes, reduzindo seu desempenho fisiológico, resultado compatível com a toxicidade do elemento descrita por Van Hoewyk (2013).

4.2. Massa fresca e massa seca das plântulas

Com os resultados da análise de variância, verificou-se que houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para as variáveis massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função dos tratamentos aplicados. Esses resultados demonstram que os tratamentos influenciaram diretamente o desenvolvimento inicial das plântulas, promovendo alterações no acúmulo de biomassa vegetal.

Para a variável massa seca da raiz (MSR), não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, indicando que os fatores avaliados não exerceram influência estatística sobre essa característica nas condições do experimento. Os resultados da análise de variância para essas variáveis estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) em função dos tratamentos aplicados. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ($p \leq 0,05$).

QM				
CV	MFPA	MFR	MSPA	MSR
TRAT	1,2718**	0,0975**	0,0149**	0,0006 ^{ns}
RES	0,0706	0,0166	0,0022	0,0007
C.V.	4,6754	19,6882	4,7971	53,7441

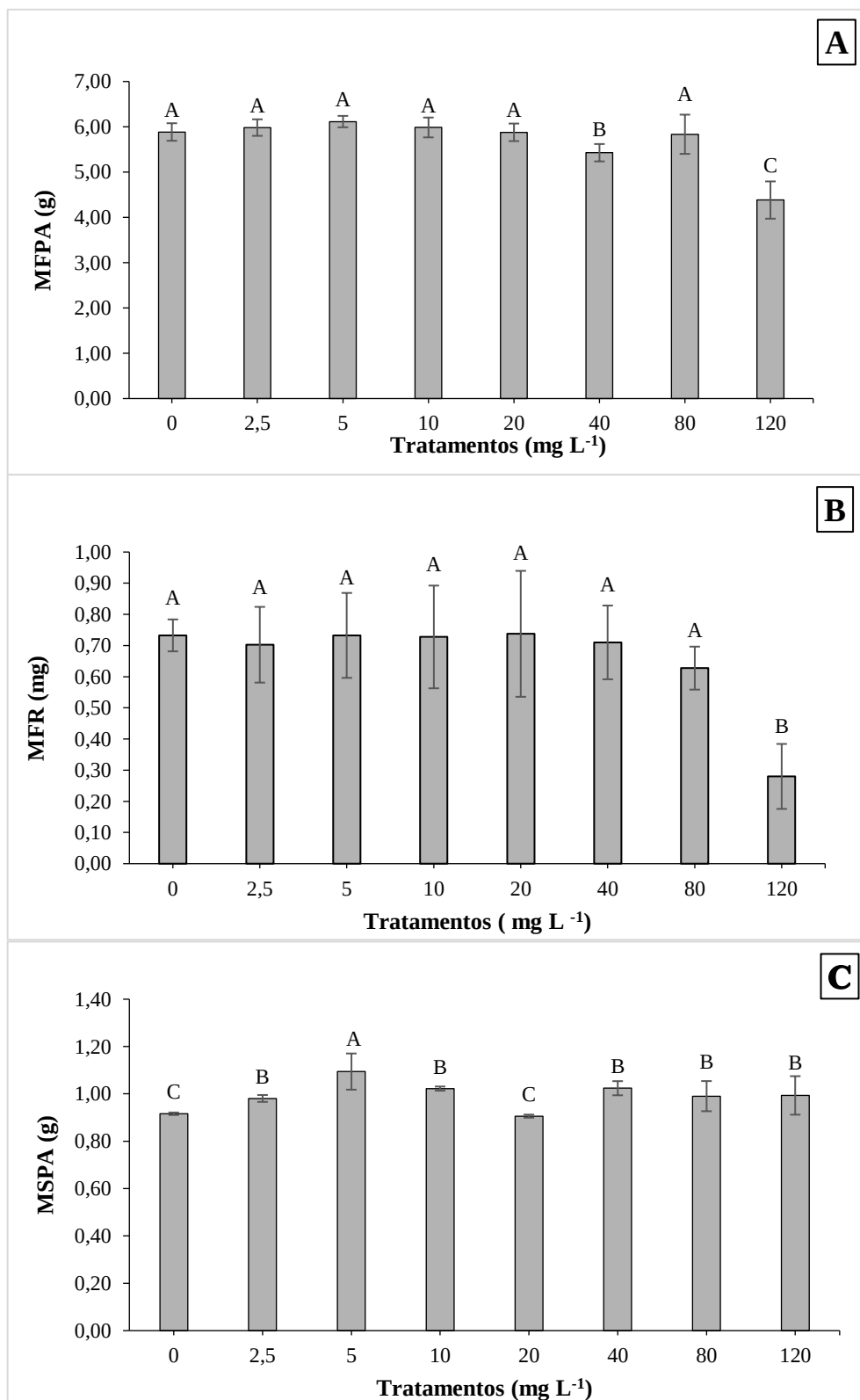
Fonte: Santos; Souza (2026).

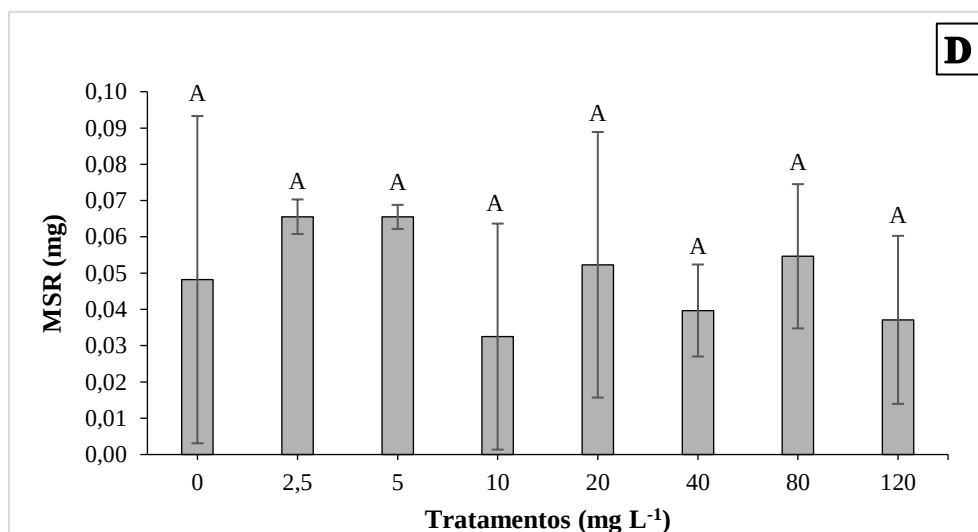
Nota: ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F ($p \leq 0,01$); ns = não significativo ($p > 0,05$). TRAT = tratamentos; RES = resíduo; QM = quadrado médio; C.V. = coeficiente de variação (%). Os valores apresentados correspondem aos quadrados médios obtidos na análise de variância para as variáveis avaliadas. Valores seguidos por ** indicam efeito significativo dos tratamentos, enquanto valores acompanhados por (ns) indicam ausência de efeito significativo.

Os coeficientes de variação (CV%) obtidos foram de 4,67% para MFPA, 19,68% para MFR, 4,79% para MSPA e 53,74% para MSR. De acordo com os critérios de classificação para experimentos agrícolas, os baixos valores observados para MFPA e MSPA indicam elevada precisão experimental e boa confiabilidade dos dados. Já os maiores valores registrados para MFR e, principalmente, para MSR evidenciam maior variabilidade experimental nessas características.

Diante da significância detectada pelo teste F para MFPA, MFR e MSPA, torna-se necessária a aplicação de testes de comparação de médias para identificar o comportamento individual dos tratamentos. Conforme a Figura 7.

Figura 7 - Massa seca da raiz – MSR (A), massa seca da parte aérea – MSPA (B), massa seca total – MST (C) e relação massa seca da raiz/massa seca da parte aérea – MSR/MSPA (D) de plântulas de soja cultivar Lenda IPRO submetidas a diferentes concentrações.





Fonte: Santos; Souza (2026).

Nota: Barras representam a média $\pm$ desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Concentrações expressas em mg L⁻¹.

Na Figura 7A, observa-se que os tratamentos 0; 2,5; 5; 10; 20 e 80 mg L⁻¹ apresentaram os maiores valores de MFPA, e foram agrupados na classe A, indicando ausência de diferenças estatísticas entre eles. Esses resultados demonstram que, nessas concentrações, o Se não prejudicou o desenvolvimento da parte aérea das plântulas, mantendo valores semelhantes ao tratamento controle.

A concentração de 40 mg L⁻¹ apresentou valor intermediário de MFPA, sendo classificada no grupo B. Esse resultado evidencia uma redução significativa da massa fresca em relação aos tratamentos do grupo A, sugerindo que, a partir dessa concentração, o Se começa a exercer efeito negativo sobre o crescimento das plântulas.

Já a concentração de 120 mg L⁻¹ proporcionou o menor valor de MFPA, diferindo significativamente de todos os demais tratamentos e sendo enquadrada no grupo C. A redução acentuada da massa fresca indica que essa concentração comprometeu o crescimento da parte aérea, possivelmente em decorrência de efeitos tóxicos causados pelo excesso de Se.

Os resultados demonstram que concentrações de até 80 mg L⁻¹ não alteraram significativamente a massa fresca da parte aérea, enquanto 120 mg L⁻¹ promoveu redução expressiva dessa variável, evidenciando efeito tóxico do excesso de selênio sobre o crescimento inicial das plântulas de acordo com Van Hoewyk (2013).

Na Figura 7B, apresenta a massa fresca de raiz (MFR) das plântulas de soja em função das diferentes concentrações de selênio (Se) aplicadas às sementes. As letras acima das barras representam os grupos estatísticos, sendo que tratamentos com a mesma letra não diferem significativamente entre si. Observa-se que os tratamentos 0; 2,5; 5; 10; 20; 40 e 80 mg L⁻¹

apresentaram valores semelhantes de MFR, sendo todos agrupados na classe A. Esses resultados indicam que, nessas concentrações, a aplicação de Se não promoveu alterações significativas no acúmulo de massa fresca das raízes em comparação ao tratamento controle.

Em contrapartida, a concentração de 120 mg L⁻¹ apresentou o menor valor de MFR, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos e sendo classificada no grupo B. Essa redução expressiva evidencia que a elevada concentração de Se comprometeu o desenvolvimento radicular das plântulas, reduzindo significativamente o acúmulo de biomassa fresca nas raízes.

A redução da massa fresca da raiz na maior concentração de selênio indica comprometimento do desenvolvimento radicular, possivelmente em decorrência do estresse oxidativo provocado pelo excesso do elemento, conforme descrito por Van Hoewyk (2013).

Na Figura 7C observa-se que a concentração de 5 mg L⁻¹ proporcionou o maior valor de MSPA, diferindo estatisticamente de todos os demais tratamentos e sendo classificada no grupo A. Esse resultado sugere efeito benéfico do selênio em baixa concentração sobre o crescimento inicial da soja.

As concentrações de 2,5; 10; 40; 80 e 120 mg L⁻¹ apresentaram valores intermediários de MSPA, formando o grupo B, sem diferenças significativas entre si, esses tratamentos não alcançaram o mesmo desempenho observado na concentração de 5 mg L⁻¹.

Por sua vez, os tratamentos 0 mg L⁻¹ (controle) e 20 mg L⁻¹ apresentaram os menores valores de MSPA, compondo o grupo C. Esses resultados indicam menor acúmulo de massa seca nessas concentrações.

De acordo com Hawrylak-Nowak (2008), baixas concentrações de selênio podem atuar como antioxidantes em tecidos vegetais, promovendo melhorias no crescimento e no metabolismo das plantas. Resultados semelhantes também foram relatados por Pilon-Smits *et al.* (2009), que destacam o papel benéfico do selênio em pequenas doses no crescimento vegetal.

Na Figura 7D, todos os tratamentos foram agrupados na mesma classe estatística, indicando que a aplicação de selênio não influenciou significativamente a massa seca da raiz das plântulas.

Embora as concentrações de 2,5 e 5 mg L⁻¹ tenham apresentado os maiores valores médios de massa seca de raiz e a concentração de 10 mg L⁻¹ o menor valor médio, essas diferenças não foram suficientes para caracterizar efeito dos tratamentos. Tal resultado pode estar relacionado à elevada variabilidade observada entre as repetições dentro de alguns tratamentos, evidenciada pelas barras de erro mais extensas. Essa variação aumentou o erro

experimental e, conseqüentemente, reduziu a capacidade do teste estatístico de detectar diferenças entre as médias.

Dessa forma, a massa seca de raiz não respondeu significativamente à aplicação de selênio nas concentrações avaliadas. Supõe-se que a grande variação entre as repetições tenha contribuído para o aumento do erro padrão, de modo que possíveis diferenças biológicas entre os tratamentos não fossem detectadas estatisticamente.

Os resultados da massa seca foram consistentes com aqueles observados para a massa fresca, indicando comportamento semelhante das variáveis de biomassa em resposta às concentrações de selênio.

4.3. Comprimento de plântulas

Os resultados da análise de variância demonstraram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para as variáveis comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR) em função dos tratamentos aplicados. Esses resultados evidenciam que os tratamentos exerceram influência direta sobre o crescimento inicial das plântulas, promovendo alterações no desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular. Os resultados da análise de variância para essas variáveis estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR) em função dos tratamentos aplicados.

QM		
CV	CPA	CR
TRAT	20,5946**	9,0861**
RES	0,3283	1,395
C.V.	5,1399	10,3402

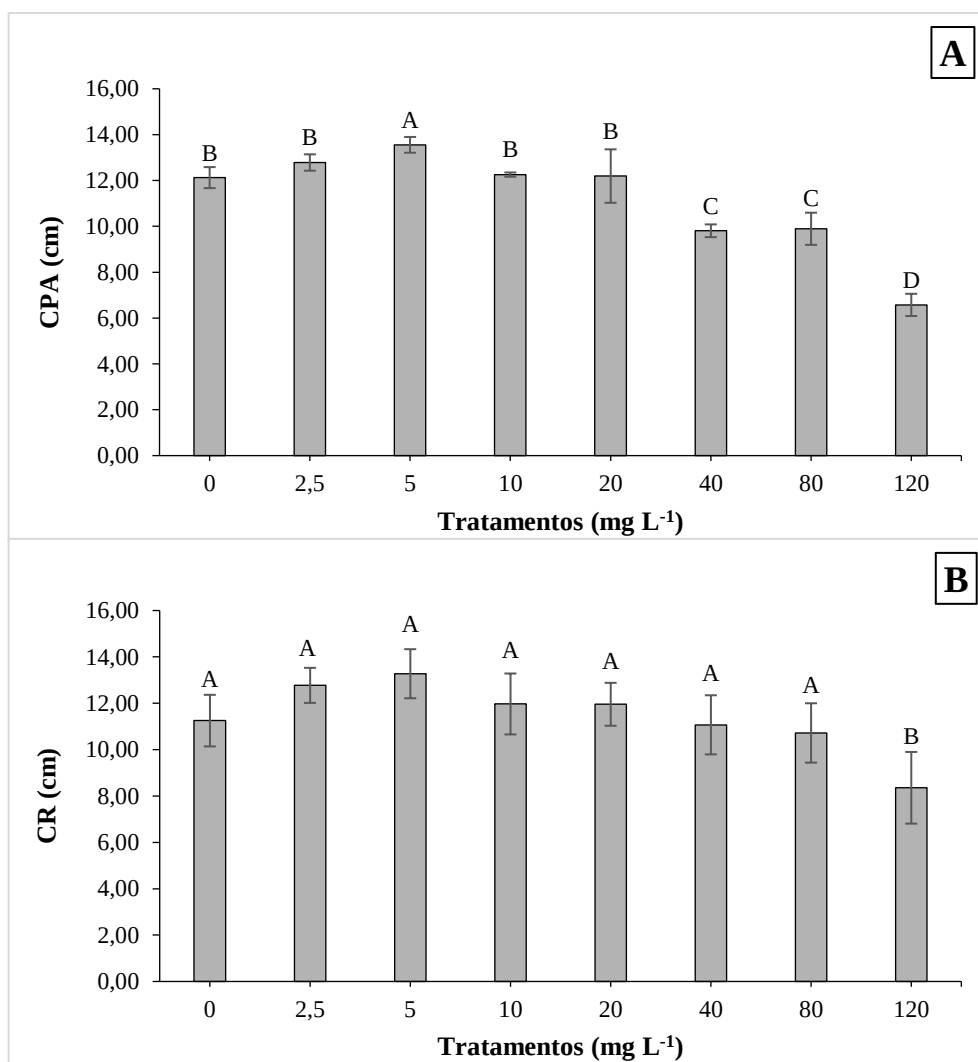
Fonte: Santos; Souza (2026).

Nota: ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F ($p \leq 0,01$). TRAT = tratamentos; RES = resíduo; QM = quadrado médio; C.V. = coeficiente de variação (%). Os valores apresentados correspondem aos quadrados médios obtidos na análise de variância para as variáveis avaliadas. Valores seguidos por ** indicam efeito significativo dos tratamentos sobre o comprimento da parte aérea e o comprimento da raiz.

De acordo com os critérios de classificação para experimentos agrícolas, esses valores indicam boa precisão experimental e adequada confiabilidade dos dados obtidos (Banzatto; Kronka, 2013).

Diante da significância observada pelo teste F para ambas as variáveis avaliadas, recomenda-se a aplicação de testes de comparação de médias para identificar o comportamento individual dos tratamentos sobre o crescimento das plântulas. Figura 8.

Figura 8 - Comprimento da parte aérea – CPA (A) e comprimento da raiz – CR (B) de plântulas de soja cultivar Lenda IPRO submetidas a diferentes concentrações de selênio (Na_2SeO_3).



Fonte: Santos; Souza (2026).

Nota: As barras representam a média $\pm$ desvio padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As concentrações de selenito de sódio foram expressas em mg L^{-1} .

A Figura 8A, observou-se que a concentração de 5 mg L^{-1} apresentou o maior valor médio de CPA, sendo classificada isoladamente no grupo A. Esse resultado sugere efeito benéfico do selênio em baixa concentração sobre o crescimento da parte aérea.

Os tratamentos 0; 2,5; 10 e 20 mg L^{-1} apresentaram valores intermediários de CPA, sendo agrupados na classe B. Esses tratamentos apresentaram desenvolvimento semelhante ao controle, porém inferior ao observado na concentração de 5 mg L^{-1} .

Nas concentrações de 40 e 80 mg L⁻¹, verificou-se redução significativa do comprimento da parte aérea, formando a classe C. Esses resultados evidenciam redução do crescimento da parte aérea nas maiores concentrações. A concentração de 120 mg L⁻¹ apresentou o menor valor de CPA, diferindo estatisticamente de todos os demais tratamentos e sendo classificada na classe D.

Esse comportamento corrobora Gupta e Gupta (2016), que descrevem o selênio como um elemento benéfico em baixas concentrações e fitotóxico quando aplicado em excesso.

Além disso, Soares *et al.* (2015) verificaram que condições de estresse afetam diretamente o crescimento da parte aérea de plântulas de soja, reduzindo o alongamento celular e comprometendo o desenvolvimento vegetal inicial.

A Figura 8B, observa-se que os tratamentos 0; 2,5; 5; 10; 20; 40 e 80 mg L⁻¹ apresentaram valores médios de comprimento da raiz, sendo todos agrupados na classe A. Assim, não houve efeito significativo das concentrações de selênio sobre o comprimento radicular até 80 mg L⁻¹.

A concentração de 120 mg L⁻¹ apresentou o menor valor médio de comprimento da raiz, diferindo estatisticamente de todos os demais tratamentos e sendo classificada na classe B. A redução do comprimento radicular na maior concentração demonstra que o sistema radicular também foi afetado pela toxicidade do selênio.

De acordo com Marcos-Filho (2015), sementes vigorosas originam plântulas com maior crescimento radicular, refletindo diretamente na capacidade de estabelecimento da cultura em campo. Resultados semelhantes também foram observados por Del Bem Junior *et al.* (2019), que verificaram relação direta entre vigor das sementes e desenvolvimento inicial das plântulas de soja.

Esses resultados corroboram Hawrylak-Nowak *et al.* (2015) e Gupta e Gupta (2016), que descrevem o selênio como elemento benéfico apenas em baixas concentrações, tornando-se tóxico quando excede a capacidade fisiológica de tolerância das plantas.

4.4. Índices de vigor de protrusão

Os resultados da análise de variância evidenciaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para as variáveis índice de velocidade de protrusão (IVP) e índice de velocidade de protrusão com tegumento protruso (IVP-CTP) em função dos tratamentos aplicados. Esses resultados indicam que os tratamentos influenciaram diretamente a velocidade e o desempenho fisiológico das sementes durante o processo inicial de protrusão radicular. Os resultados da análise de variância para essas variáveis estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis índice de velocidade de protrusão (IVP) e índice de velocidade de protrusão com tegumento protruso (IVP-CTP) em função dos tratamentos aplicados. Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ($p \leq 0,05$).

QM		
CV	IVP(MFT)	IVP(CTP)
TRAT	24306,029**	627134,209**
RES	1731,2681	20069,2484
C.V.	6,7912	6,4895

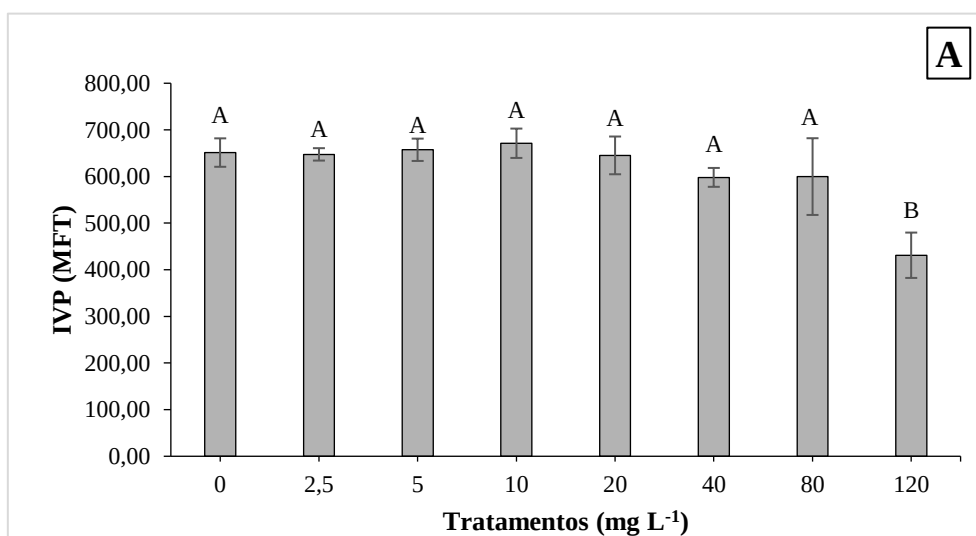
Fonte: Santos; Souza (2026).

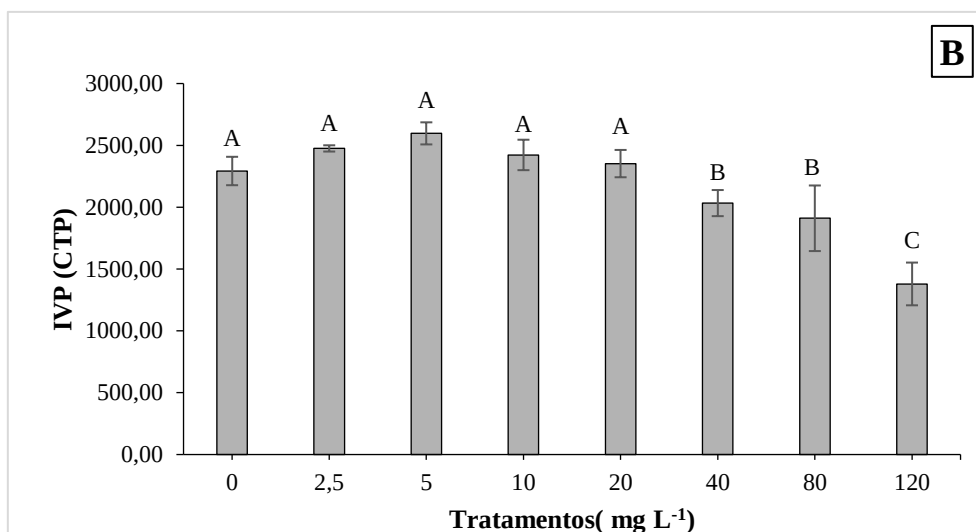
Nota: ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F ($p \leq 0,01$). TRAT = tratamentos; RES = resíduo; QM = quadrado médio; C.V. = coeficiente de variação (%). Os valores apresentados correspondem aos quadrados médios da análise de variância. Valores seguidos por ** indicam efeito significativo dos tratamentos.

Os coeficientes de variação (CV%) observados foram de 6,79% para IVP e 6,48% para IVP-CTP. De acordo com os critérios utilizados em experimentos agrícolas, esses valores demonstram boa precisão experimental e elevada confiabilidade dos dados obtidos.

Diante da significância detectada pelo teste F para ambas as variáveis avaliadas, recomenda-se a aplicação de testes de comparação de médias, visando identificar o comportamento individual dos tratamentos sobre a velocidade de protrusão das sementes. Figura 9.

Figura 9 - Índice de vigor de plântulas com base na massa fresca total – IVP(MFT) (A) e índice de vigor de plântulas com base no comprimento total – IVP(CTP) (B) de plântulas de soja cultivar Lenda IPRO submetidas a diferentes concentrações de selênio (Na_2SeO_3).





Fonte: Santos; Souza (2026).

Nota: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As barras representam o desvio padrão da média. Concentrações de selênio expressas em mg L⁻¹. O IVP-MFT corresponde ao índice de vigor calculado com base na massa fresca total das plântulas, enquanto o IVP-CTP corresponde ao índice de vigor calculado com base no comprimento total das plântulas.

Na Figura 9A observa-se que os tratamentos 0; 2,5; 5; 10; 20; 40 e 80 mg L⁻¹ apresentaram valores médios de IVP, sendo todos classificados no grupo A. Esses tratamentos apresentaram desempenho semelhante ao controle.

Ainda que o tratamento de 10 mg L⁻¹ tenha apresentado o maior valor médio de IVP, ele não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos pertencentes ao grupo A.

Por outro lado, a concentração de 120 mg L⁻¹ apresentou o menor valor médio de IVP, sendo a única enquadrada no grupo B. Esse resultado evidencia que a elevada concentração de selênio reduziu significativamente o índice avaliado em comparação aos demais tratamentos, indicando um efeito tóxico da alta dose sobre o desenvolvimento inicial das plântulas.

A manutenção dos elevados valores de IVP nas concentrações de até 80 mg L⁻¹ sugere que essas doses não comprometeram o metabolismo das plântulas durante a germinação. Em baixas concentrações, o selênio atua como elemento benéfico, estimulando o sistema antioxidante e reduzindo os danos provocados pelas espécies reativas de oxigênio (EROs). Esse efeito contribui para preservar a integridade das membranas celulares, manter a atividade metabólica e favorecer o desenvolvimento inicial das plântulas (Hawrylak-Nowak et al., 2015; Gupta; Gupta, 2016).

Na Figura 9B observa-se que os tratamentos 0; 2,5; 5; 10 e 20 mg L⁻¹ apresentaram os maiores valores médios de IVP, sendo todos classificados no grupo A. Esses tratamentos apresentaram desempenho semelhante ao controle.

Ainda que o tratamento de 5 mg L⁻¹ tenha apresentado o maior valor médio de IVP ele não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos pertencentes ao grupo A.

Entretanto, os tratamentos de 40 e 80 mg L⁻¹ apresentaram redução nos valores médios do IVP, sendo classificados no grupo B. Esses tratamentos apresentaram redução significativa do IVP em relação ao grupo A.

A concentração de 120 mg L⁻¹ apresentou o menor valor médio de IVP, sendo enquadrada isoladamente no grupo C. A redução acentuada do IVP baseada no comprimento evidencia que o excesso de selênio comprometeu diretamente o crescimento das plântulas. Segundo Van Hoewyk (2013), o excesso de selênio interfere na síntese proteica, altera o metabolismo do enxofre e intensifica o estresse oxidativo, reduzindo a divisão e a expansão celular necessárias para o crescimento das plântulas.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que o condicionamento de sementes de soja da cultivar Lenda IPRO com selenito de sódio influenciou significativamente a germinação, o vigor e o crescimento inicial das plântulas. Entretanto, para a maioria das variáveis avaliadas, as concentrações baixas e intermediárias apresentaram comportamento semelhante entre si e, em muitos casos, não diferiram estatisticamente do tratamento controle, indicando que essas doses não comprometeram o desempenho fisiológico das sementes e das plântulas. Em algumas características, essas concentrações favoreceram o crescimento inicial, evidenciando que, quando utilizado em doses adequadas, o selenito de sódio pode contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade fisiológica das sementes.

Contudo, as concentrações mais elevadas de selenito de sódio, especialmente 80 e 120 mg L⁻¹, promoveram reduções significativas na germinação, no vigor e no crescimento das plântulas, evidenciando efeito fitotóxico do elemento. Dessa forma, conclui-se que o uso de selenito de sódio no condicionamento de sementes de soja apresenta potencial como estratégia para favorecer o desempenho fisiológico e o estabelecimento inicial da cultura quando empregado em baixas concentrações. Entretanto, a definição da dose deve ser realizada de forma criteriosa, uma vez que concentrações elevadas comprometem significativamente o desenvolvimento inicial das plântulas.

REFERÊNCIAS

- AFZAL, Imran. Seed priming: what's next? **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 51, n. 3, p. 379–405, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.15258/sst.2023.51.3.10>.
- ALMAKAS, Abdullah; ELRYS, Ahmed Samy; DESOKY, Essam-Salah Mohamed; AL-SHURAYM, Laila Abdullah; ALHAG, Saad Khalaf; ALSHAHARNI, Mohammed Omar; ALNADARI, Fahad; NANNAN, Zhang; FAROOQ, Zahid; EL-TARABILY, Khaled Ahmed; ZHAO, Tingting. Enhancing soybean germination and vigor under water stress: the efficacy of bio-priming with sodium carboxymethyl cellulose and gum arabic. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 15, p. 1475148, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1475148>. Acesso em: 29 jun. 2026.
- ALMEIDA, João Paulo; SILVA, José Geraldo; GOMES, Sérgio Augusto Marques; PRADO, Marcos Roberto Vieira; MORAES, Márcio Ferreira. Selênio na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja e milho. **Revista Panorâmica**, Barra do Garças, MT, v. 29, p. 113–127, 2020.
- AL-OMAIRI, Ali Abdul; AL-HILFY, Ibrahim Hussein. Effect of soaking maize seeds with selenium and chitosan on improving germination, vigour and viability of seed and seedling. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, Bristol, v. 904, n. 1, art. 012075, 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/904/1/012075. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/904/1/012075>. Acesso em: 29 jun. 2026.
- BACHIEGA, Paula; SALGADO, João Messias; CARVALHO, João Ernesto; RUIZ, Ana Lúcia Tasca Gois; SCHWARZ, Katia; TEZOTTO, Tiago; MORZELLE, Maria Carolina. Antioxidant and antiproliferative activities in different maturation stages of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) biofortified with selenium. **Food Chemistry**, v. 190, p. 771–776, 2016.
- BANZATTO, David Arioaldo; KRONKA, Sérgio Nascimento. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2013.
- BARBOSA, João Carlos; MALDONADO JÚNIOR, Walter. **AgroStat: sistema para análises estatísticas de experimentos agronômicos**. Versão 2022. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2022.
- BASIT, Faisal; CHEN, Ming; AHMED, Tanveer; SHAHID, Muhammad; NOMAN, Muhammad; LIU, Jing; AN, Jun; HASHEM, Abeer; AL-ARJANI, Abdullah B. F.; ALQARAWI, Ali A.; ALSAYED, Mohamed F. S.; ABD ALLAH, Elsayed Fathi; HU, Jin; GUAN, Yong. Seed priming with brassinosteroids alleviates chromium stress in rice cultivars via improving ROS metabolism and antioxidant defense response at biochemical and molecular levels. **Antioxidants**, v. 10, n. 7, p. 1089, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antiox10071089>. Acesso em: 29 jun. 2026.
- BEGUM, Nasima; WANG, Lei; ZHAO, Tingting. Effects of temperature regimes on seed germination and early growth of different soybean cultivars. **International Journal of Applied and Experimental Biology**, v. 1, n. 2, p. 75–85, 2022.
- BEWLEY, John Derek; BLACK, Michael. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum Press, 1994.

BEWLEY, John Derek; BRADFORD, Kent James; HILHORST, Henk Walter Maria; NONOGAKI, Hiroyuki. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>. Acesso em: 29 jun. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009.

CÂMARA, Gil Miguel de Sousa; PIEDADE, Sônia Maria Stefano; MONTEIRO, José Henrique; GUERZONI, Roberto Alexandre. Desempenho vegetativo e produtivo de cultivares e linhagens de soja de ciclo precoce no município de Piracicaba-SP. **Scientia Agricola**, v. 55, n. 3, p. 403–412, 1998.

CAÑIZARES, Eva; GIOVANNINI, Luca; GUMUS, Berna Özge; FOTOPOULOS, Vasileios; BALESTRINI, Raffaella; GONZÁLEZ-GUZMÁN, Manuel; ARBONA, Vicente. Seeds of change: exploring the transformative effects of seed priming in sustainable agriculture. **Physiologia Plantarum**, v. 177, n. 3, e70226, 2025.

CHAKRAVARTHI, Srinivasa; BULLEID, Neil J. Glutathione is required to regulate the formation of native disulfide bonds within proteins entering the secretory pathway. **Journal of Biological Chemistry**, v. 279, n. 38, p. 39872–39879, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1074/jbc.M406912200>. Acesso em: 29 jun. 2026.

COMBS JUNIOR, Gerald F. Selenium in global food systems. **British Journal of Nutrition**, v. 85, n. 5, p. 517–547, 2001.

CRUZ, Francisco José Rodrigues. Selenium in plants: biofortification, toxicity, and redox state balance. In: BARROS, A. N.; ABRAÃO, A. C. S. (org.). **The Power of Antioxidants – Unleashing Nature's Defense Against Oxidative Stress**. London: IntechOpen, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.1004271>. Acesso em: 29 jun. 2026.

DEL BEM JUNIOR, Luiz; FERRARI, José Luiz; DARIO, Gustavo; TRIBONI, Yara Bruna; RAETANO, Carlos Gilberto. Potencial fisiológico e desenvolvimento inicial de plantas de soja em função do tratamento de sementes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, e55076, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4955076>. Acesso em: 29 jun. 2026.

DELGADO, Carlos Manuel López; PAULA, Andréa Silva de; SANTOS, Márcia; PAULILO, Maria Teresinha Silveira. Dormancy-breaking requirements of *Sophora tomentosa* and *Erythrina speciosa* (Fabaceae) seeds. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 1, p. 285–294, 2015.

DI SARIO, Luca; BOERI, Paola; MATUS, José Tomás; PIZZIO, Guillermo Ariel. Plant biostimulants to enhance abiotic stress resilience in crops. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 26, n. 3, p. 1129, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms26031129>. Acesso em: 29 jun. 2026.

DU JARDIN, Patrick. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3–14, 2015.

EASTMOND, Peter John; GERMAIN, Véronique; LANGE, Paul Robert; BRYCE, Jennifer Helen; SMITH, Steven Michael; GRAHAM, Ian Andrew. Postgerminative growth and lipid catabolism in oilseeds lacking the glyoxylate cycle. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 97, n. 10, p. 5669–5674, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.100119197>. Acesso em: 29 jun. 2026.

EJAZ, Sana; ANJUM, Muhammad Asif; HUSSAIN, Shahbaz; AZAM, Muhammad; ALI, Sajid; AHMAD, Shakeel. Pretreatment of seedlings with exogenous protectants for abiotic stress tolerance. In: HASANUZZAMAN, Mirza; FOTOPOULOS, Vasileios (ed.). **Priming and pretreatment of seeds and seedlings: implication in plant stress tolerance and enhancing productivity in crop plants**. Singapore: Springer, 2019. p. 573–593.

EL KASSIS, Elie; CATHALA, Nadine; ROUACHED, Hatem; FOURCROY, Pascale; BERTHOMIEU, Pierre; TERRY, Norman; DAVIDIAN, Jean-Claude. Characterization of a selenate-resistant *Arabidopsis* mutant: root growth as a potential target for selenate toxicity. **Plant Physiology**, v. 143, n. 3, p. 1231–1241, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.106.091462>. Acesso em: 29 jun. 2026.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil 2021**. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Soja, 2021.

EMBRAPA. Tipo de crescimento. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/estadios-de-desenvolvimento/tipo-de-crescimento>. Acesso em: 1 jun. 2026.
FERREIRA, Antonio Gomes; BORGHETTI, Fábio. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 323 p.

FERREIRA, Karina Silva; LIMA, Larissa William; GOMES, Maria Helena Pereira; SANTOS, Edna Fabiana; JALAL, Ahmad; REIS, Aline Renée dos. Selenium improves photosynthetic performance and growth in plants under stress conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 15, p. 2270–2284, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1771585>. Acesso em: 29 jun. 2026.

FERREIRA, Rodrigo Luiz Cabral; PRADO, Renato de Mello; SOUZA JUNIOR, José Pereira; GRATÃO, Priscila Lupino; TEZOTTO, Tiago; CRUZ, Francisco José Rodrigues. Oxidative stress, nutritional disorders, and gas exchange in lettuce plants subjected to two selenium sources. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 3, p. 1–15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00206-0>. Acesso em: 29 jun. 2026.

GADOTTI, Gislaïne Ines; SILVA, Rafael Nogueira Oliveira; FARIAS, Cristiano Rodrigues José; SILVA, José Geraldo; PADÃO, Heloisa Lúcia Ferreira Ferreira. Fungal and seed treatment interference in the viability of coriander seeds. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 4, p. 376–382, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-0536-20210402>. Acesso em: 29 jun. 2026.

GARCÍA-LOCASCIO, Esteban; VALENZUELA, Enrique I.; CERVANTES-AVILÉS, Pedro. Impact of seed priming with selenium nanoparticles on germination and seedlings growth of tomato. **Scientific Reports**, v. 14, art. 6726, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57372-5>. Acesso em: 29 jun. 2026.

GHOLAMI, S.; DEHAGHI, Mohammad Ali; REZAZADEH, Ali; NAJI, Amir Mohammad. Seed germination and physiological responses of quinoa to selenium priming under drought stress. **Bragantia**, Campinas, v. 81, e0722, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210183>. Acesso em: 29 jun. 2026.

GONZÁLEZ-MORALES, Sergio; SOLÍS-GAONA, Sandra; VALDÉS-CABALLERO, María Victoria; JUÁREZ-MALDONADO, Alejandro; LOREDO-TREVIÑO, Alma; BENAVIDES-MENDOZA, Adalberto. Transcriptomics of biostimulation of plants under abiotic stress. **Frontiers in Genetics**, v. 12, p. 583888, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.583888>. Acesso em: 29 jun. 2026.

GUPTA, Monika; GUPTA, Shilpi. An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in plants. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, art. 2074, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02074>. Acesso em: 29 jun. 2026.

HAJDIBOLAND, Roghieh. Selenium in plants: boon or bane? **Environmental and Experimental Botany**, v. 178, art. 104170, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104170>. Acesso em: 29 jun. 2026.

HAMMER, Øyvind; HARPER, David Alan T.; RYAN, Paul David. **PAST: Paleontological Statistics, version 1.81**. Oslo: University of Oslo, 2008. Disponível em: <http://folk.uio.no/ohammer/past>. Acesso em: 26 maio 2026.

HAN, Chao; YIN, Xia; HE, Dongliang; YANG, Ping. Analysis of proteome profile in germinating soybean seed and its comparison with rice showing the styles of reserves mobilization in different crops. **PLoS ONE**, v. 8, n. 2, e56947, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056947>. Acesso em: 29 jun. 2026.

HAWRYLAK-NOWAK, Barbara. Enhanced selenium content in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) by foliar fertilization. **Vegetable Crops Research Bulletin**, Skierniewice, v. 69, p. 63–72, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/v10032-008-0019-4>. Acesso em: 29 jun. 2026.

HAWRYLAK-NOWAK, Barbara; MATRASZEK, Renata; POGORZLEC, Marta. The dual effects of two inorganic selenium forms on the growth, selected physiological parameters and macronutrients accumulation in cucumber plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, art. 41, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1798-2>. Acesso em: 29 jun. 2026.

HELANDER, Marjo; PAUNA, Andreea; SAIKKONEN, Kari; SALONIEMI, Ilkka. Glyphosate residues in soil affect crop plant germination and growth. **Scientific Reports**, v. 9, art. 19653, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56195-3>. Acesso em: 29 jun. 2026.

HENNING, Fernando Afonso; MERTZ, Lilian Madruga; JACOB JUNIOR, Edison Augusto; MACHADO, Rodrigo Dalla; FISS, Guilherme; ZIMMER, Paulo Dejalma. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 727–734, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000300026>. Acesso em: 29 jun. 2026.

HU, Feng; JIANG, Shuo; WANG, Zhiyuan; HU, Kai; XIE, Yan; ZHOU, Liang; ZHU, Jun; XING, Dong; DU, Bin. Seed priming with selenium: effects on germination, seedling growth, biochemical attributes, and grain yield in rice growing under flooding conditions. **Plant Direct**, v. 6, n. 1, e378, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pld3.378>. Acesso em: 29 jun. 2026.

HUSSAIN, Shahbaz; AHMED, Sajid; AKRAM, Waseem; LI, Guopeng; YASIN, Nadia A. Selenium seed priming enhanced the growth of salt-stressed *Brassica rapa* L. through improving plant nutrition and the antioxidant system. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, art. 1050359, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1050359>. Acesso em: 29 jun. 2026.

HUSSAIN, Shahbaz; KHAN, Fahad; HUSSAIN, Hafiz Ahmed; NIE, Lixiao. Physiological and biochemical mechanisms of seed priming-induced chilling tolerance in rice cultivars. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, art. 116, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00116>. Acesso em: 29 jun. 2026.

HUSSAIN, Shahbaz; ZHENG, Ming; KHAN, Fahad; KHALIQ, Abdul; FAHAD, Shah; PENG, Shaobing; HUANG, Jianliang; CUI, Khaliq; NIE, Lixiao. Benefits of rice seed priming are offset permanently by prolonged storage and the storage conditions. **Scientific Reports**, v. 5, art. 8101, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep08101>. Acesso em: 29 jun. 2026.

IBGE. Produção agropecuária: soja. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/soja/br>. Acesso em: 1 jun. 2026.

IQBAL, Muhammad; HUSSAIN, Imran; LIAQAT, Hina; ASHRAF, Muhammad Arif; RASHEED, Rabia; REHMAN, Abdul. Exogenously applied selenium reduces oxidative stress and induces heat tolerance in spring wheat. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 94, p. 95–103, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.05.012>. Acesso em: 29 jun. 2026.

JATANA, Balwinder Singh; GROVER, Sandeep; RAM, Harpreet; BAATH, Gurpreet Singh. Seed priming: molecular and physiological mechanisms underlying biotic and abiotic stress tolerance. **Agronomy**, Basel, v. 14, n. 12, art. 2901, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy14122901>. Acesso em: 29 jun. 2026.

KABATA-PENDIAS, Alina; PENDIAS, Henryk. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001.
KAUR, Navreet Singh; KAUR, Parminder; SHARMA, Shilpa; NAYYAR, Harsh. Selenium in agriculture: a nutrient or contaminant for crops? **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 60, n. 12, p. 1593–1624, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.918258>. Acesso em: 29 jun. 2026.

KOPTUR, Suzanne. Effects of seed damage on germination in the common vetch (*Vicia sativa* L.). **American Midland Naturalist**, v. 140, n. 2, p. 393–396, 1998.

KUBALA, Sylwia; WOJCIECHOWSKI, Piotr; QUINET, Muriel; LECHOWSKA, Katarzyna; LUTTS, Stanley; GARNCZARSKA, Magdalena. Deciphering priming-induced improvement of rapeseed (*Brassica napus* L.) germination through an integrated

transcriptomic and proteomic approach. **Plant Science**, v. 231, p. 94–113, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.11.008>. Acesso em: 29 jun. 2026.

LABOURIAU, Luiz Gastão; AGUDO, Maria. On the physiology of seed germination in *Salvia hispanica* L. I. Temperature effects. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 59, n. 1, p. 37–56, 1987.

LABOURIAU, Luiz Gastão; VALADARES, Maria Elisa. On the germination of seeds of *Calotropis procera* (Ait.) Ait. f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 48, n. 2, p. 263–284, 1976.

LI, Hong Fang; MCGRATH, Stephen Peter; ZHAO, Fang Jie. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. **New Phytologist**, v. 178, n. 1, p. 92–102, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02343.x>. Acesso em: 29 jun. 2026.

LIU, Hui; ABLE, Alan James; ABLE, Jason Alexander. Priming crops for the future: rewiring stress memory. **Trends in Plant Science**, v. 27, n. 7, p. 699–716, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.03.005>. Acesso em: 29 jun. 2026.

LIU, Hongmei; XIAO, Chunyan; QIU, Tingting; DENG, Jian; CHENG, Hong; CONG, Xiang; CHENG, Shuai; RAO, Shuang; ZHANG, Yong. Selenium regulates antioxidant, photosynthesis, and cell permeability in plants under various abiotic stresses: a review. **Plants**, v. 12, n. 1, art. 44, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants12010044>. Acesso em: 29 jun. 2026.

LIU, Jing; LIU, Jian; AAMER, Muhammad; LIAO, Yong; YANG, Yang; YAO, Feng; ZHU, Bin; GAO, Zhigang; CHENG, Chao. Regulating effect of sodium selenite addition on seed germination and growth of pepper (*Capsicum annuum* L.) under mixed salt stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 24, p. 2864–2874, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01663-7>. Acesso em: 29 jun. 2026.

MAGUIRE, James Douglas. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176–177, 1962.

MALAGOLI, Michela; SCHIAVON, Michela; DALL'ACQUA, Stefano; PILON-SMITS, Elizabeth A. H. Effects of selenium biofortification on crop nutritional quality. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, art. 280, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00280>. Acesso em: 29 jun. 2026.

MARCOS FILHO, Júlio. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015.

MCNEAL, James Milton; BALISTRERI, Laurie Susan. Geochemistry and occurrence of selenium: an overview. In: JACOBS, Lee William (ed.). **Selenium in agriculture and the environment**. Madison: American Society of Agronomy, 1989. p. 1–13.

METANIS, Norman; HILVERT, Donald. Harnessing selenocysteine reactivity for oxidative protein folding. **Chemical Science**, v. 6, n. 1, p. 322–325, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C4SC02379J>. Acesso em: 29 jun. 2026.

MICROSOFT CORPORATION. **Microsoft Excel**. Versão 2025. Redmond: Microsoft Corporation, 2025.

MONQUERO, Patricia Andrea (org.). **Manejo de plantas daninhas nas culturas agrícolas**. São Carlos: RiMa Editora, 2014.

MONTEIRO, Nayara Oliveira Costa; NASCENTE, Adriano Stephan; SOUZA, Nayara Oliveira Santos; CRUZ, Diego Rodrigues Costa; FERREIRA, Isabela Vieira Lima; ROCHA, Isabela Silva. Beneficial rhizobacteria and cover crops on soybean development. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 72, e72016, 2025 Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X2025720016>. Acesso em: 29 jun. 2026.

MOTERLE, Leandro Marlon; SANTOS, Reginaldo Ferreira; SCAPIM, Carlos Alberto; BRACCINI, Alessandro de Lucca e; BONATO, Carlos Moacir; CONRADO, Tiago. Efeito de biorregulador na germinação e no vigor de sementes de soja. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 651–660, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000500017>. Acesso em: 29 jun. 2026.

MÜLLER, Lúcio. Taxonomia e morfologia. In: MIYASAKA, Shiro; MEDINA, João Carlos (ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981. p. 65–104. NEPOMUCENO, Alexandre Lima; FARIAS, José Renato Bouças; NEUMAIER, Neuma. Características da soja. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-soja>. Acesso em: 1 jun. 2026.

NIE, Ming; NING, Ning; LIANG, Dong; ZHANG, Hong; LI, Shun; LI, Shuang; ZHANG, Yong. Seed priming with selenite enhances germination and seedling growth of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) under salt stress. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science**, v. 73, n. 1, p. 42–53, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09064710.2022.2163006>. Acesso em: 29 jun. 2026.

NOCTOR, Graham; REICHHELD, Jean-Philippe; FOYER, Christine Helen. The roles of reactive oxygen metabolism in plants: signaling and redox homeostasis. **Annual Review of Plant Biology**, v. 69, p. 569–592, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040849>. Acesso em: 29 jun. 2026.]

NONOGAKI, Hiroyuki; BASSEL, George William; BEWLEY, John Derek. Germination still a mystery. Emerging technologies for the study of seed biology. **Plant Science**, v. 179, n. 6, p. 574–581, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.02.010>. Acesso em: 29 jun. 2026.

PAPARELLA, Stefania; ARAÚJO, Sandra Silvia; ROSSI, Giulia; WIJAYASINGHE, Malsha; CARBONERA, Daniele; BALESTRAZZI, Alma. Seed priming: state of the art and new perspectives. **Plant Cell Reports**, v. 34, n. 8, p. 1281–1293, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00299-015-1784-y>. Acesso em: 29 jun. 2026.

PEREIRA, Wesley Alves; PEREIRA, Sheila Maria Alves; DIAS, Denise Cunha Fernandes dos Santos. Dynamics of reserves of soybean seeds during the development of seedlings of different commercial cultivars. **Journal of Seed Science**, v. 37, n. 1, p. 63–69, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v37n1142204>. Acesso em: 29 jun. 2026.

PILON-SMITS, Elizabeth Ann H.; QUINN, Colin Francis; TAPKEN, Wieland; MALAGOLI, Michela; SCHIAVON, Michela. Physiological functions of beneficial elements. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, n. 3, p. 267–274, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.009>. Acesso em: 29 jun. 2026.

PIMENTEL-GOMES, Frederico. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009.

PINFIELD-WELLS, Helen; RYLOTT, Elizabeth L.; GILDAY, Alan D.; GRAHAM, Sue; JOB, Karen; LARSON, Timothy R.; GRAHAM, Ian A. Sucrose rescues seedling establishment but not germination of *Arabidopsis* mutants disrupted in peroxisomal fatty acid catabolism. **The Plant Journal**, v. 43, n. 6, p. 861–872, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2005.02497.x>. Acesso em: 29 jun. 2026.

PRADO, Renato de Mello; CRUZ, Francisco José Rodrigues; FERREIRA, Rodrigo Luiz Cabral. Selenium biofortification and the problem of its safety. In: WAISUNDARA, V. Y. (ed.). **Superfood and functional food: an overview of their processing and utilization**. London: IntechOpen, 2017. p. 229–238.

REILLY, Conor. **Selenium in food and health**. London: Blackie Academic & Professional, 1996.

SARIÑANA-ALDACO, Omar; AYALA-CONTRERAS, Carlos Alberto; GONZÁLEZ-MORALES, Sergio; CADENAS-PLIEGO, Gerardo; PÉREZ-ALVAREZ, María; MORALES-DÍAZ, Ana Beatriz; OJEDA-BARRIOS, Diana L.; URESTI-PORRAS, José G.; BENAVIDES-MENDOZA, Adalberto. Effects of seed priming and foliar application of selenite, nanoselenium, and micro selenium on growth, biomolecules, and nutrients in cucumber seedlings. **Phyton-International Journal of Experimental Botany**, v. 94, n. 7, p. 2131–2153, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.32604/phyton.2025.067577>. Acesso em: 29 jun. 2026.

SARIÑANA-NAVARRETE, María de los Ángeles; BENAVIDES-MENDOZA, Adalberto; GONZÁLEZ-MORALES, Sergio; JUÁREZ-MALDONADO, Alejandro; PRECIADO-RANGEL, Pablo; SÁNCHEZ-CHÁVEZ, Eduardo; CADENAS-PLIEGO, Gerardo; ANTONIO-BAUTISTA, Arturo; MORELOS-MORENO, Ángel. Selenium seed priming and biostimulation influence the seed germination and seedling morphology of jalapeño (*Capsicum annuum* L.). **Horticulturae**, v. 10, n. 2, p. 119, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae10020119>. Acesso em: 29 jun. 2026.

SCHIAVON, Michela; NARDI, Sandro; DALLA VECCHIA, Federica; ERTANI, Andrea. Selenium biofortification in the 21st century: status and challenges for healthy human nutrition. **Plant and Soil**, v. 453, p. 245–270, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04635-9>. Acesso em: 29 jun. 2026.

SCHIAVON, Michela; PILON-SMITS, Elizabeth Ann H. The fascinating facets of plant selenium accumulation: biochemistry, physiology, evolution and ecology. **New Phytologist**, v. 213, n. 4, p. 1582–1596, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.14378>. Acesso em: 29 jun. 2026.

SEDIYAMA, Tocio (org.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenas, 2009. 314 p. ISBN 978-85-89687-08-9.

SEDIYAMA, Tocio; OLIVEIRA, Rafael Carvalho Tavares; SEDIYAMA, Hugo Abelardo Barbosa. **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2016.

SEDIYAMA, Tocio; PEREIRA, Maurílio Gonçalves; SEDIYAMA, Carlos Sigueyuki; GOMES, José Luiz Lopes. **Cultura da soja: I parte**. Viçosa: UFV, 1985.

SEMENTES PAMPEANA. Lenda IPRO. Disponível em: <https://sementespampeana.com.br/cultivares/lenda-ipro/>. Acesso em: 19 maio 2026.

SINGH, Harmeet; JASSAL, Raj Kumar; KANG, Jagmeet Singh; SANDHU, Satnam Singh; KANG, Harpreet; GREWAL, Kuldeep. Seed priming techniques in field crops: a review. **Agricultural Reviews**, v. 36, n. 4, p. 251–264, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18805/ag.v36i4.6662>. Acesso em: 29 jun. 2026.

SOARES, Márcio Mota; SANTOS JUNIOR, Hélio Costa; SIMÕES, Marcelo Gonçalves; PAZZIN, Daniel; SILVA, Leandro José da. Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 4, p. 370–378, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4535357>. Acesso em: 29 jun. 2026.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MOLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

USDA. FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Oilseeds: world markets and trade**. Washington, DC: United States Department of Agriculture, [s.d.]. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data>. Acesso em: 1 jun. 2026.

VAN HOEWYK, Diana. A tale of two toxicities: malformed selenoproteins and oxidative stress both contribute to selenium stress in plants. **Annals of Botany**, v. 112, n. 6, p. 965–972, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mct163>. Acesso em: 29 jun. 2026.