



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

**EDERLON PINHEIRO BRITO
VANESSA BEATRIZ SOUZA DA SILVA**

**SELÊNIO NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA RESTRIÇÃO HÍDRICA EM
SEMENTES DE SOJA (*Glycine max* L.)**

**JURUTI-PARÁ
2026**

**EDERLON PINHEIRO BRITO
VANESSA BEATRIZ SOUZA DA SILVA**

**SELÊNIO NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA RESTRIÇÃO HÍDRICA EM
SEMENTES DE SOJA (*Glycine max* L.)**

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

B862s Brito, Ederlon Pinheiro
Selênio na mitigação dos efeitos da restrição hídrica em sementes de soja
(*Glycine max* L.). / Ederlon Pinheiro Brito e Vanessa Beatriz Souza da Silva. – Juruti,
2026.
46 p.: il.
Inclui bibliografias.

Orientador: Flávio José Rodrigues Cruz.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do
Pará, Campus Universitário de Juruti, Bacharelado em Agronomia.

1. Bioestimulante. 2. Condicionamento fisiológico. 3. Déficit hídrico. I. Silva,
Vanessa Beatriz Souza da. II. Cruz, Flávio José Rodrigues, *orient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 635.655098115

Bibliotecária - Documentalista: Renata Ferreira – CRB/2 1440

**EDERLON PINHEIRO BRITO
VANESSA BEATRIZ SOUZA DA SILVA**

**SELÊNIO NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA RESTRIÇÃO HÍDRICA EM
SEMENTES DE SOJA (*Glycine max* L.)**

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 18:33:43-0300
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
 **RAUDIELLE FERREIRA DOS SANTOS**
Data: 30/06/2026 18:40:21-0300
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 18:22:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Michelly Rios Arévalo
Universidade Federal do Oeste do Pará – *Campus* Universitário de Juruti

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu agradeço a Deus, por ter sido o meu porto seguro durante toda esta jornada nos momentos mais difíceis da minha vida.

A minha família por todo apoio, em especial a minha mãe que foi a minha maior incentivadora durante essa jornada acadêmica, apesar da sua recente partida. Agradeço meu pai, meus irmãos e as minhas sobrinhas que são os motivos de todo dia eu continuar estudando.

Aos demais familiares meus agradecimentos aos meus tios, tias, primos, primas, avós e avôs por todo apoio e incentivo nos meus momentos.

Agradeço os meus colegas de classe por todo apoio durante este tempo que estivemos juntos, pelas amizades que eu construí, que foram uma base de parcerias para alcançar os objetivos de concluir a graduação.

Ao meu orientador Doutor e professor Flávio José Cruz, por ser tão paciente e, acreditar e confiar em mim para executar um projeto tão importante.

A minha amiga e colega de turma Vanessa Beatriz Souza da Silva, que foi minha parceira de TCC, que aceitou o convite de fazer parte do projeto.

Aos docentes da Universidade Federal Do Oeste do Pará, que me capacitaram tanto com as qualidades técnicas como pessoais, saio um ser humano totalmente diferente com uma nova visão de mundo em poder compartilhar para algo que gerem benefícios para a sociedade.

Ederlon Pinheiro Brito

Acima de tudo, agradeço a Deus que sempre me manteve de pé nos momentos mais difíceis que eu passei ao longo de cinco anos de graduação.

À minha família, em especial aos meus pais Antonio Santana e Maria Delvana, que sempre estiveram ao meu lado independente de qualquer coisa, sempre foram meu refúgio quando eu mais precisava. Não posso deixar de agradecer meus irmãos Andreia, Dhemeson e Ana Thayla. As minhas sobrinhas Maevelen Adriane, Maria Antonella e Aurora, que fazem minha vida ser mais feliz.

Aos demais familiares tios, tias, primos, primas e minha avó e o meu avô, sempre estiveram se fazendo presente na minha vida acadêmica.

Aos meus amigos e colegas Luciana Sousa, Carlos Daniel. Em especial a Rayara e a Daiane que me fizeram sempre acreditar em mim, obrigada por tudo o que fizeram durante todo esse tempo de graduação, vocês faziam muitas vezes eu me sentir leve, quando muitas vezes minha cabeça estava uma confusão, e sempre vou levar todas as palavras que escutei de vocês e as boas risadas.

Ao meu orientador Doutor e professor Flávio José Cruz, por ser tão paciente e, acreditar e confiar em mim para executar um projeto tão importante.

Ao meu amigo Ederlon Pinheiro, que foi meu parceiro de TCC, que me convidou para fazer parte do projeto e por confiar na minha capacidade.

Aos docentes da Universidade Federal Do Oeste do Pará, em especial a professora Dayse Vieira e a professora Renata Santos, que não me deixaram desistir, me deram apoio quando eu mais precisava. Ao professor Gustavo Oliveira que me ajudou em meus trabalhos acadêmicos.

Aos meus colegas da turma 2021.2, deixo meus sinceros obrigada, pela amizade e companheirismo ao longo da graduação, desejo sucesso a todos.

À Universidade Federal do Oeste do Pará (CJUR), por me acolher e me dar uma grande oportunidade, a minha tão sonhada graduação. Agradeço também pela ajuda financeiras dos auxílios que disponibilizava.

A minha caminhada foi marcada por muitas pessoas que passaram pela minha vida ao longo desses anos, pessoas que irei guardar com muito carinho no meu coração, que foram fundamentais na minha vida e me ajudaram como puderam, meus sinceros muito obrigada.

Vanessa Beatriz Souza da Silva

RESUMO

O condicionamento de sementes com substâncias benéficas é uma estratégia promissora para melhorar o desempenho germinativo de culturas agrícolas sob condições adversas. Este estudo avaliou o efeito de diferentes concentrações de selenito de sódio (0; 2,5; 5; 10; 20 e 40 mg/L) no processo de germinação e no crescimento inicial de plântulas de soja da cultivar Lenda IPRO, submetidas à restrição hídrica simulada por polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) nos potenciais osmóticos de 0 e -0,1 MPa. O experimento foi conduzido em laboratório, com delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial. Foram avaliados a porcentagem de germinação, o índice e o tempo médio de germinação, o acúmulo de biomassa fresca e seca, o comprimento da parte aérea e radicular, além dos índices de vigor das plântulas. Os resultados indicaram que baixas concentrações de selênio, especialmente 5 mg/L, favoreceram o crescimento e o vigor das plântulas, inclusive superando o tratamento controle em algumas variáveis sob condição de estresse. Em contrapartida, a concentração de 40 mg/L apresentou-se uma redução, prejudicando a germinação e o desenvolvimento inicial. O déficit hídrico simulado afetou principalmente o vigor das sementes, sem comprometer de forma expressiva sua viabilidade. Conclui-se que o pré-tratamento de sementes com 5 mg/L de selênio representa uma alternativa eficiente para atenuar os efeitos negativos da escassez hídrica na fase inicial de desenvolvimento da soja.

Palavras-chave: Bioestimulante; Condicionamento fisiológico; Déficit hídrico.

ABSTRACT

Seed priming with beneficial substances is a promising strategy to improve the germination performance of agricultural crops under adverse conditions. This study evaluated the effect of different concentrations of sodium selenite (0; 2.5; 5; 10; 20 and 40 mg/L) on the germination process and early seedling growth of soybean cultivar Lenda IPRO, subjected to water restriction simulated by polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) at osmotic potentials of 0 and -0.1 MPa. The experiment was conducted in a laboratory under a completely randomized design in a factorial scheme. Germination percentage, germination speed index, mean germination time, fresh and dry biomass accumulation, shoot and root length, and seedling vigor indexes were evaluated. Results indicated that low selenium concentrations, especially 5 mg/L, promoted seedling growth and vigor, even surpassing the control treatment in some variables under stress conditions. In contrast, the concentration of 40 mg/L showed a reduction, impairing germination and early development. Simulated water deficit mainly affected seed vigor without significantly compromising germination viability. It is concluded that seed priming with 5 mg/L of selenium represents an efficient alternative to mitigate the negative effects of water deficit during the early development stage of soybean.

Palavras-chave: Bioestimulante; Condicionamento fisiológico; Déficit hídrico.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Cultura da soja	12
2.2 Selênio e seu mecanismo de ação em plantas, sementes e plântulas	13
2.3 Germinação de sementes e mobilização de reservas	15
2.4 <i>Seed priming</i> ou condicionamento de sementes.....	16
2.5 Restrição hídrica e o uso do PEG 6000 em ensaios de germinação	18
3 OBJETIVOS	19
3.1 Objetivo geral.....	19
3.2 Objetivos específicos.....	19
4 MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 Local de realização e materiais do experimento	20
4.2 Implantação e condução do experimento	20
4.3 Avaliação	20
4.4 Análises dos dados	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6 CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é a commodity mais comercializada em todo o mundo representando mais de 10% em relação ao valor total do comércio agrícola mundial (Lee *et al.*, 2016). A produção mundial de soja em 2023 foi de 371.17 milhões de toneladas, com o Brasil e Estados Unidos destacando-se como os maiores produtores mundiais com 152.14 e 113.34 milhões de toneladas produzidas (FAO, 2025) e valores de exportação de 53.1 e 27.2 bilhões de dólares respectivamente (OEC, 2024).

Embora a china seja o berço do centro de origem da cultura da soja, que é usada como ração de alta qualidade na alimentação animal e como fonte de proteínas para os seres humanos (Hamza *et al.*, 2024), ela ocupa o primeiro lugar no ranking de maior importador desta commodities, com valores de 56.6 bilhões de dólares em importação de soja no ano de 2023 (OEC, 2024).

A produção mundial de soja se concentra em três países com o Brasil, Estados Unidos e Argentina se destacando como maiores produtores mundiais de soja (USDA, 2025). No entanto, apesar dos altos índices de produção desses países, reduções em suas produções agrícolas ocorrem devido às mudanças climáticas relacionadas com a incidência de ondas de calor e seca (Hamed *et al.*, 2025), estas mudanças climáticas acabam prejudicam a ocorrência e as características da agricultura, causando à escassez do produto e a altos preços nos mercados globais (Goulart *et al.*, 2023).

Tanto plantas como sementes são afetadas negativamente pela restrição hídrica, e nesse contexto, plantas de soja são pouco tolerantes à deficiência hídrica, embora haja resposta diferenciadas de genótipos convencionais e transgênicos (Catuchi *et al.*, 2011). Em plantas de soja a redução do crescimento ocorre devido à diminuição da atividade fotossintética ocasionada por limitações não estomáticas e danos ao aparato fotoquímico (Falcioni *et al.*, 2025), o estresse hídrico impacta negativamente a germinação da soja ao reduzir a absorção da água pelas sementes, levando a germinação atrasada ou incompleta e ao estabelecimento deficientes de plântulas (Almakas *et al.*, 2025). Durante os estágios iniciais de desenvolvimento, a disponibilidade insuficiente de água impede o crescimento das raízes e da parte aérea, enfraquecendo as plantas e reduzindo sua capacidade de absorver nutrientes essenciais (Xiong *et al.*, 2021), restrições hídricas maiores que -0,05 MPa induzem considerável redução da germinação de sementes de soja, evidenciando sua menor tolerância à deficiência hídrica (Lucca *et al.*, 1998).

A fase seminal e o crescimento inicial das plântulas são fases essenciais ao estabelecimento da cultura no campo (Alaoui *et al.*, 2013), a germinação representa um estágio crítico no ciclo de vida das plantas e é altamente sensível a uma variedade de estresses abióticos, como seca, salinidade, temperaturas extremas e envelhecimento acelerado (Sedghi, 2025). A germinação bem-sucedida influencia diretamente o estabelecimento das plântulas e, em última instância, a produtividade das culturas, nesse contexto, uma dessas estratégias consiste no pré-tratamento das sementes ou *seed priming* com substâncias bioestimulantes de natureza inorgânica ou orgânica (Jatana *et al.*, 2024). O *seed priming* consiste no condicionamento controlado das sementes por meio da embebição parcial em água ou em soluções específicas suficiente para ativar processos metabólicos pré-germinativos, como reparo do DNA, síntese de proteínas e ácidos nucleicos, produção de ATP e ativação do sistema antioxidante, mas sem que ocorra a protrusão da radícula, caracterizando o início irreversível da germinação (Jatana *et al.*, 202; Janah *et al.*, 2025). Essa estratégia tem mostrado resultados positivos de sementes em relação a diversos estresses abióticos aplicados (Marthandan *et al.*, 2020).

Apesar do uso de selênio (Se) em plantas em estudos sobre biofortificação (Ramos *et al.*, 2011; Longchamp *et al.*, 2015;) ou toxicidade (Ríos *et al.*, 2009; Lehotai *et al.*, 2016), ainda são incipientes os trabalhos que avaliam o pré-tratamento de sementes com selênio. Além disso, em sementes de soja, o limite entre concentrações tóxicas e benéficas de selênio visando a tolerância à restrição hídrica é uma incógnita.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 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 adversas de cultivo 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). É uma planta que apresenta grande variabilidade genética, tanto no ciclo vegetativo (período compreendido da emergência da plântula até a abertura das primeiras flores), quanto no ciclo reprodutivo (período do início da floração até o fim do ciclo da cultura), sendo bastante influenciada pelos fatores ambientais luminosidade, temperatura e umidade (Sediyama, 2009).

A qualidade fisiológica das sementes é expressa pela porcentagem de germinação e vigor, sendo este um dos principais atributos da semente, que afeta diretamente o rendimento no campo (Ferrari *et al.*, 2014), quanto à germinação, plantas de soja apresentam germinação do tipo epígea, com a protrusão da radícula acontecendo em geral, após 24 horas do semeio e sua emergência em média após sete dias do semeio, caso os fatores ambientais como umidade, temperatura e luz não sejam limitantes (Câmara *et al.*, 1998).

Com relação ao hábito de crescimento, a soja pode apresentar o hábito de crescimento determinado, ou seja, quando a planta para de crescer em altura logo após o início do florescimento, isso acontece devido a formação de um racemo terminal, que é um cacho de flores na ponta do caule principal (Neumaier *et al.* 2000). Outro tipo de hábito de crescimento é o indeterminado, quando a planta continua a crescendo e produzindo novas folhas embora o florescimento tenha iniciado, com esse hábito de crescimento não possuem um cacho de flores na ponta do caule principal (Farias; Nepomuceno; Neumaier, 2007).

A cultivar Lenda IPRO pertence ao grupo de maturação 8.4 com hábito de crescimento do tipo indeterminado, altura de planta em torno de 100 cm, peso de mil grãos de 210 g, ramificação baixa, cor branca da flor e do hilo marrom claro e ciclo precoce (Sementes Pampeana, 2020). A cultivar Lenda IPRO, por apresentar ciclo precoce e hábito de crescimento indeterminado, constitui uma opção relevante para as regiões produtoras do Norte do Brasil (Sementes Pampeana, 2020).

2.2 Selênio e seu mecanismo de ação em plantas, sementes e plântulas

O selênio (Se) é um elemento traço distribuído em vários ambientes geoquímicos e o 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 $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ (Combs, 2001). Nos solos, os teores de Se variam entre $0,05$ e $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (Kabata-Pendias; 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; 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 absorvido 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 respostas positivas no crescimento vegetal por meio da biofortificação e por mitigar os efeitos de vários tipos de estresses abióticos induzidos por sais, metais pesados e deficiência hídrica (Ferreira *et al.*, 2024). Entretanto, sob níveis elevados, o Se desencadeia toxicidade em plantas, afetando negativamente o metabolismo fotossintético, nitrogenado e mineral (Wu *et al.*, 1994), desencadeando estresse oxidativo (Ríos *et al.*, 2009), e consequentemente a redução do crescimento de plantas (Hawrylak-Nowak, 2013).

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 promovem redução do crescimento em diferentes espécies de plantas (Van Hoewyk, 2013; Schiavon; Pilon-Smits,

2017; Ferreira *et al.*, 2016). 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 desencadeada pelo Se em plantas consiste na substituição do S nos aminoácidos cisteína e metionina quando o fornecimento de Se às plantas ultrapassa o limite da biofortificação (Noctor *et al.*, 2024). Nesse caso, o excesso de Se promove a depleção de glutathiona reduzida para a redução do SO_3^{2-} a Se^{2-} para sua posterior incorporação no aminoácido cisteína (Schiavon; Pilon-Smits, 2017). Este processo desencadeia o estresse oxidativo devido à depleção da glutathiona, um importante componente do metabolismo relacionado a reações de oxido-redução, como as do metabolismo antioxidante, metabolismo do ascorbato e metabolismo mineral do enxofre em plantas (Noctor *et al.*, 2024).

O excesso de Se além de promover a depleção da glutathiona, contribui para a malformação de proteínas, cuja estrutura conformacional é alterada pela substituição do S pelo Se nas pontes dissulfeto (Van Hoewyk, 2013). Essa alteração proteica afeta o funcionamento do metabolismo do cloroplasto e mitocôndria, onde ocorrem reações de oxido-redução importantes ao crescimento e desenvolvimento vegetal (Noctor *et al.*, 2024). 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, estudos com Se ainda são incipientes, mas com padrões de respostas similares aos apresentados pelas plantas e dependendo da concentração e fonte de Se empregadas (Al – Omairi; Al - Hilfy, 2021). Por exemplo, sementes de arroz tratadas com selenito de sódio (0, 30 e 60 μM) apresentam incremento no índice de emergência e crescimento de plântulas (Hu *et al.*, 2021). 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). Segundo Sariñana - Aldaco *et al.* (2025) em estudo com sementes de pepino, 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, o fornecimento de 5 mg/L de NaHSeO₃ incrementou a germinação, crescimento e comprimento radicular e da plúmula das plântulas (Al – Omairi; Al - Hilfy, 2021). E em trabalho com pimenta (*Capsicum annuum*) concentrações de Se promoveram maior taxa germinativa foi observada na faixa de 0 - 20 µM de selenito de sódio (Na₂SeO₃). 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 mostram a participação do selênio na melhoria da germinação, emergência e crescimento de plântulas. E, portanto, pode nortear estudos em condições de campo visando aumentar a germinação de sementes e emergência de plântulas para manter um estande de plantas homogêneo, tendo em vista o papel biofortificador e de melhorar a resposta de plantas nos vários estágios de desenvolvimento a estresses abióticos.

2.3 Germinação de sementes e mobilização de reservas

A semente de soja, ao encontrar condições favoráveis de umidade, temperatura, luminosidade e oxigênio, retoma o crescimento do embrião em um fenômeno denominado germinação (Bewley; Black, 1994; Ma et al., 2017). Por ser classificada como semente ortodoxa, a soja tolera a dessecação e pode ser armazenada com baixo teor de água sem perda de viabilidade, característica que favorece sua comercialização e armazenamento em larga escala (Bewley; Black, 1994).

A germinação da semente de soja inicia quando ocorre a embebição segundo um padrão trifásico. Na primeira fase ou fase I, há a embebição de água dirigida pelo baixo potencial matricial das sementes secas (Bewley, 1997), com aumento da atividade respiratória, síntese de mRNA, reparo de DNA e síntese de proteínas a partir de mRNAs recém-sintetizados (Waterworth et al., 2019). O aumento da taxa respiratória ocorre em função da hidratação e ativação de enzimas mitocondriais do ciclo de Krebs e da cadeia de transporte de elétrons (CTE), com aumento linear da respiração conforme ocorre a hidratação da semente (Bewley; Black, 1994). Na fase II, são ativados os mecanismos metabólicos necessários à retomada do crescimento do embrião e à finalização do processo de germinação, que na soja ocorre com a protrusão da radícula, geralmente após 24 horas do semeio (Bewley, 1997; Câmara et al., 1998). Nessa fase, as células dos tecidos multiplicam-se por mitose e a embebição de água é mínima, com o potencial hídrico da semente tendendo a zero (Bradford, 1990). Na fase III, a embebição ocorre em função do potencial de pressão ser, em termos absolutos, menor que o potencial

matricial (Weitbrecht et al., 2011), com novo incremento da atividade respiratória nos tecidos do embrião, devido à síntese de novas mitocôndrias, e nos tecidos de reserva, devido à síntese de mitocôndrias e degradação de reservas (Ma et al., 2017). Nesta fase, o processo de germinação torna-se irreversível; no entanto, na fase II, a embebição e a ativação metabólica podem ser interrompidas sem comprometimento da germinabilidade da semente pela ação de fatores ambientais, como o condicionamento de sementes ou seed priming (Bewley; Black, 1994; Ferreira; Borghetti, 2004; Marcos Filho, 2015).

A qualidade fisiológica das sementes de soja depende de fatores extrínsecos, como o manejo fitossanitário, nutricional e hídrico durante a produção, e de fatores intrínsecos, como a organização celular e a capacidade de remobilização das reservas (Delgado et al., 2015). Sementes de soja vigorosas apresentam maior concentração de proteínas solúveis, amido e açúcares solúveis, bem como alta capacidade de mobilização dessas reservas ao longo da germinação, proporcionando plantas com maior performance inicial no campo (Henning et al., 2010; Pereira et al., 2015). A mobilização das reservas lipídicas, proteicas e de carboidratos presentes nos cotilédones da soja é um evento crítico, pois além de fornecer moléculas precursoras como aminoácidos e açúcares simples, disponibiliza energia para os processos biossintéticos necessários à germinação e ao estabelecimento da plântula (Eastmond et al., 2000; Pinfield-Wells et al., 2005; Han et al., 2013). Essas reservas podem ser potencialmente mobilizadas de forma mais eficiente após o condicionamento das sementes com substâncias exógenas que aceleram a embebição, induzem a ativação de enzimas, promovem maior acúmulo de substâncias ativadoras do processo germinativo, além de favorecer reparos metabólicos e o ajuste osmótico durante a germinação (Hussain et al., 2015; Kubala et al., 2015; Hussain et al., 2016; Basit et al., 2022).

2.4 *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 ela 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 sejam postas para germinar (Jatana et al., 2024). Portanto, a técnica de *seed 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 ocorra, mas sem que haja a germinação propriamente dita (Ferreira; Borghetti, 2004; Afzal, 2023).

Seed priming é uma técnica que pode ser utilizada para aprimorar os mecanismos de defesa das plantas para fazer frente a fatores ambientais limitantes por meio de maior taxa germinativa e sincronia na germinação de sementes (Marthandan *et al.* 2020). 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; Basit *et al.*, 2021).

Na literatura pertinente, há diversas modalidades de condicionamento de sementes, com base no tipo de substância ou mecanismo físico que são utilizados: hídrico (hydropriming), salino (halopriming), substâncias osmóticas (osmopriming), substâncias hormonais (hormonal priming), substâncias inorgânicas (selenium priming) e nutrientes minerais (nutrient priming). Basicamente, o condicionamento osmótico consiste em imergir sementes em soluções de concentrações conhecida de uma determinada substância orgânica ou inorgânica por um período, após o qual as sementes podem ser submetidas à uma secagem e, após um período, postas para germinar (Santos *et al.* 2008).

No condicionamento hídrico de sementes ou hydropriming, há a imersão das sementes em água, seguida ou não de secagem ao ar. Essa modalidade de condicionamento aumenta a taxa de germinação de sementes e a emergência de plântulas em condições salinas e não salinas (Choi *et al.*, 2024). O condicionamento osmótico ou halopriming consiste na imersão de sementes em soluções salinas como NaCl, CaCl₂, KNO₃, CaSO₄ entre outros. Essa técnica melhora a germinação de sementes e crescimento de plântulas (Tolrá *et al.*, 2025; Fomekong *et al.*, 2025). A técnica de condicionamento osmótico ou osmopriming consiste no tratamento de sementes com substâncias que restringem a disponibilidade hídrica às sementes, como no caso de sementes tratadas com polietilenoglicol 6000, com efeitos positivos na germinação e características fisiológicas de plântulas (Ma *et al.*, 2024). O hormonal *priming* ou condicionamento de sementes com hormônios vegetais por meio da imersão de sementes em solução contendo hormônios vegetais como o ácido salicílico aumenta a taxa germinativa, a emergência de plantulas e diminui o tempo médio de germinação de sementes submetidas ao estresse salino (Janha *et al.*, 2025). O fornecimento de nutrientes às sementes por meio do condicionamento é uma forma de melhorar performance de sementes quando postas para germinar (Liu *et al.*, 2025). Por exemplo, o condicionamento nutricional de sementes com ferro

e boro aumenta a taxa de germinação, o comprimento de plântulas e o índice de vigor das sementes de *Stevia rebaudiana* quando submetida ao estresse salino (Shahverdi *et al.*, 2017). Elementos benéficos também são utilizados no condicionamento de sementes, por causa dos seus efeitos benéficos na fisiologia de plantas e germinação de sementes, com impacto positivo na melhoria da germinação, crescimento de plântulas e índice de qualidade de plantulas (Liu *et al.*, 2025)

2.5 Restrição hídrica e o uso do PEG 6000 em ensaios de germinação

Várias substâncias utilizadas em ensaios de germinação de sementes são capazes de simular restrição hídrica ou redução do potencial osmótico, podendo a substância conter íons que em altas concentrações podem ocasionar estresse iônico (Machado Neto, 2006). Os sais cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio (CaCl₂), nitrato de potássio (KNO₃) entre outros são bastante utilizados na germinação de sementes para simular estresse osmótico e, também, o iônico por reduzir o potencial osmótico de sistemas biológicos (Machado *et al.*, 2003). Outras substâncias como o manitol e polietilenoglicol (PEG) são atóxicas, inertes e capazes de reduzir o potencial osmótico de sistemas biológicos sem ocasionar estresse iônico (Villela *et al.*, 1991). Nesse sentido, quando o objetivo de ensaios de germinação é apenas o de avaliar os efeitos da restrição hídrica sem a presença de estresse iônico, utilizam-se substâncias como o PEG 6000 ou manitol (Braccini *et al.* 1996). O PEG 6000 é uma substância inerte e atóxica de fórmula molecular HOCH₂ - (CH₂OCH₂)_n - CH₂OH bastante utilizada em ensaios de germinação por limitar a disponibilidade hídrica até um nível em que processos metabólicos pré-germinativos podem ocorrer como a protrusão radicular, segundo um fenômeno denominado pré-condicionamento osmótico (Bradford, 1986). O uso de um determinado potencial osmótico está relacionado com a temperatura do ensaio de germinação, indicando uma quantidade conhecida de PEG 6000 em gramas que deve ser dissolvido em um litro de água (Villela *et al.*, 1991). Assim, por exemplo, para termos um potencial osmótico de - 0,1 MPa a uma temperatura de 25°C, é necessário dissolver 78,49 gramas de PEG 6000 em um litro de água (Villela *etal.*, 1991).

Vários estudos evidenciam que a germinação e crescimento de plântulas são afetados por diferentes potenciais osmóticos, as taxas de germinação de soja, milho, arroz e sorgo são prontamente reduzidas em torno de 40, 40, 30 e 10% nos potenciais osmóticos de -0,1; -0,2; -0,3 e -0,4 (- MPa), respectivamente, com impacto negativo no crescimento das plântulas (Braccini *et al.*, 1998; Silva *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2014). Com base nessas evidências, o

potencial osmótico de $-0,1$ MPa foi adotado no presente estudo para simular condições de restrição hídrica durante a germinação de sementes de soja condicionadas com selênio, por representar um nível de estresse capaz de afetar o desempenho fisiológico das sementes sem comprometer completamente a viabilidade germinativa.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar o processo germinativo e o crescimento de plântulas de soja condicionadas com diferentes concentrações de selênio (Se) e submetidas à restrição hídrica simulada por polietilenoglicol 6000.

3.2 Objetivos específicos

Avaliar os efeitos benéficos de concentração de Se sobre a germinação (G%), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes de soja sob restrição hídrica.

Identificar as concentrações de Se que favoreceram o acúmulo de massa fresca e seca da parte aérea e da raiz, bem como o comprimento da parte aérea e radicular de plântulas de soja em condições de restrição e sem restrição hídrica.

Determinar a concentração de Se a partir da qual ocorre reduções nos processos fisiológicos em sementes e plântulas de soja, com base nos parâmetros germinativos e de crescimento.

Hipótese

O selênio melhora a resposta germinativa e o crescimento de plântulas de soja, porque aumenta a mobilização de reservas em sementes de soja submetidas à restrição hídrica com polietilenoglicol 6000.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local de realização e materiais do experimento

O experimento foi realizado na Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Juruti, no Laboratório de Química e Física. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com os tratamentos arranjos em esquema fatorial 2 x 6, sendo o primeiro fator constituído por dois potenciais osmóticos e o segundo por seis concentrações de selênio, totalizando 12 tratamentos. Cada tratamento foi composto por cinco repetições de 25 sementes, totalizando 125 sementes por tratamento e 1500 sementes avaliadas no experimento (RAS, 2009). Os tratamentos de potenciais osmóticos foram constituídos pelos potenciais de (0 e -0,1 MPa) (Moraes; Menezes, 2003); e os de selênio pelas concentrações de 0; 2,5; 5; 10; 20; 40 mg/L (Sariñana-Navarrete *et al.*, 2024; Liu *et al.*, 2024). Nos tratamentos de restrição hídrica e selênio foram utilizados polietilenoglicol 6000 (PEG-6000) e selenito de sódio (Na_2SeO_3) na forma inorgânica. No experimento foram utilizadas sementes de soja cultivar Lenda IPRO. O experimento foi realizado no dia 21 de novembro ao dia 02 de dezembro de 2025.

4.2 Implantação e condução do experimento

O preparo das soluções dos potenciais osmóticos foi realizado no dia 21 de novembro, em seguida com o condicionamento das sementes (seed priming) por meio da imersão das sementes nas respectivas soluções de Na_2SeO_3 nas concentrações estabelecidas por um período de 10 minutos, à temperatura de 25°C, em ambiente com luminosidade. Após o condicionamento, as sementes foram submetidas à secagem superficial em papel absorvente e imediatamente distribuídas nos rolos de papel para o teste de germinação.

4.3 Avaliação

Avaliação da germinação ocorreram entre os dias 22 e 29 de novembro, com as sementes distribuídas em rolos de papel toalha umedecidos com água destilada, em quantidade equivalente ao volume de 2,5 vezes a massa do papel seco e mantidas a temperatura de 25°C no regime de luz/escuro constante 12 horas (Brasil, 2009). A contagem das sementes germinadas foi realizada no 2º (primeira contagem) e 8º dia do experimento, ao final do experimento (8º dia) foram avaliadas a taxa de germinação, a primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG), o tempo médio de germinação (TMG), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea

(MSPA), massa seca da raiz (MSR), o comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR).

O crescimento das plântulas foi determinado no 8º dia de avaliação, para avaliar o comprimento da parte aérea e raiz com utilização de uma régua milimetrada. As plântulas foram cortadas em parte aérea e raiz para determinação do peso da massa fresca das partes em balança analítica de precisão (0,001g). Após a pesagem das partes, as plântulas foram colocadas em saco de papel Kraft e mantidas em estufa de ventilação forçada a 65°C até atingir massa constante entre os dias 30 de novembro e 01 de dezembro.

Após o processo de secagem na estufa durante os dois dias, no dia 02 de dezembro as plântulas foram pesadas em balança analítica de precisão (0,001g) para determinação do peso da massa seca das partes. Foram determinado o índice de vigor das plântulas com base na massa fresca (IVP_{MF}) e com base no comprimento das plântulas (IVP_{CP}) 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.

4.4 Análises dos dados

Os dados coletados foram tabulados em planilha eletrônica Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2025) e submetidos à análise de variância (ANOVA). Previamente à ANOVA, os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homogeneidade de variâncias de Bartlett ($p < 0,05$). Quando verificada a existência de diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste *post hoc* de Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando o software AgroStat (Barbosa; Maldonado, 2015). Os resultados foram expressos como média $\pm$ erro padrão da média e representados graficamente com o auxílio do Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2025).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância apresentou interação significativa ($p < 0,05$) entre polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) e selenito de sódio (Se) para as variáveis germinação (G%), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) (Tabela 1), indicando que o efeito do Se sobre o desempenho fisiológico das sementes de soja é dependente das condições osmóticas impostas pelo PEG 6000. Em trabalho com sementes de pepino (*Cucumis sativus*) cultivar caipira, foram observadas que a G%, IVG e o TMG foram afetadas pelo déficit hídrico causada pelo PEG 6000 (Matias *et al.*, 2012). Segundo Silva *et al.* (2011) em pesquisa com sementes de cenoura (*Daucus carota subsp. Sativus*) verificaram que sob o potencial osmótico de PEG 6000 ($-0,3$ MPa), a G% e o IVG das sementes foram afetadas pelo déficit hídrico.

O estresse osmótico induzido pelo PEG 6000 influenciou significativamente ($p < 0,05$) o IVG e o TMG, enquanto não exerceu efeito significativo sobre a porcentagem de germinação (G%), demonstrando que a restrição hídrica afetou principalmente o vigor das sementes, sem comprometer de forma expressiva sua viabilidade germinativa. A disponibilidade de água constitui um dos principais fatores reguladores da germinação, sendo que reduções no potencial hídrico tendem a prolongar a fase de embebição, como uma das consequências, retardar a emergência da radícula (Bewley *et al.* 2012)

Em relação ao efeito isolado do Se, foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) para G%, IVG e TMG, evidenciando que as diferentes concentrações de Se influenciaram tanto a capacidade germinativa quanto o vigor das sementes. Em trabalho realizado com sementes de arroz (*Oryza sativa*) pré – germinadas com diferentes concentrações de selênio (Se), foram observadas que baixas concentrações aumentaram a germinação, a uniformidade e o crescimento inicial de plântulas de arroz, enquanto concentrações elevadas inibiram o desenvolvimento, evidenciando o efeito benéfico em concentrações baixas e tóxico em elevadas concentrações de Se (Du *et al.*, 2019). Em trabalho de tratamento de sementes de mostarda (*Brassica rapa*) com selênio, foi observado que houve o aumento da germinação e melhoria do sistema antioxidante, contribuindo para maior proteção celular e melhor estabelecimento inicial das plântulas (Hussain *et al.*, 2023).

Os coeficientes de variação, foram de 6,08% para G%, 6,77% para IVG e 1,81% para o TMG, valores classificados como baixos. Segundo Pimentel-Gomes (2009) coeficientes de variação a abaixo de 10%, indicam elevada precisão experimental e controle adequado das condições durante o experimento.

Tabela 1 - Quadrados médios da análise de variância para germinação (G%), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes de soja cultivar Lenda IPRO submetidas ao estresse osmótico induzido por PEG 6000 e tratadas com diferentes concentrações selênio (Se).

Fonte de Variação	G.L.	G%	IVG	TMG
PEG 6000	1	17,5208 ^{ns}	1124,4549*	0,5743*
Se	5	182,1875*	92,7099*	0,0379*
PEG 6000 x Se	5	74,7208*	64,0120*	0,0556*
Resíduo	36	25,9791	12,1264	0,0077
CV (%)	-	6,08	6,77	1,81

Fonte: Autores (2026)

Nota: * Significativo a 5% de probabilidade. ^{ns} = não significativo.

Para a variável G% (Figura 1A), no tratamento controle (0 MPa), observou-se diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nas concentrações de 0; 2,5 e 5 mg/L de Se as quais apresentaram as maiores médias, diferindo significativamente das concentrações de 10; 20 e 40 mg/L de Se que apresentaram as menores. Sob as condições de estresse osmótico (-0,1 MPa), não ocorreu diferenças estatísticas ($p > 0,05$) para as concentrações de 0; 2,5; 5; 10 e 20 mg/L de Se. Entretanto, elas apresentaram as maiores médias, diferindo significativamente da concentração de 40 mg/L de Se, que apresentou a menor média.

Na comparação entre os potenciais osmóticos dentro de cada concentração de Se, foram observadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nas concentrações de 5 e 10 mg/L de Se no tratamento controle (0 MPa). Esses tratamentos apresentaram as maiores médias de G% em relação ao tratamento sob estresse osmótico (-0,1 MPa). Segundo Liu *et al.* (2024) indicam que concentrações mais elevadas de 20, 40, 80 e 120 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Se reduziram a porcentagem de germinação sob condições sem estresse osmótico.

Para o IVG (Figura 1B), no tratamento controle (0 MPa), não foram observadas diferenças estatísticas ($p > 0,05$) para as concentrações de Se. Sob condições de estresse osmótico (-0,1 MPa), verificou-se que não ocorreu diferenças estatísticas ($p > 0,05$) nas concentrações de 0; 2,5; 5; 10 e 20 mg/L de Se. Esses tratamentos, no entanto, diferiram significativamente da concentração de 40 mg/L de Se, que apresentou a menor média.

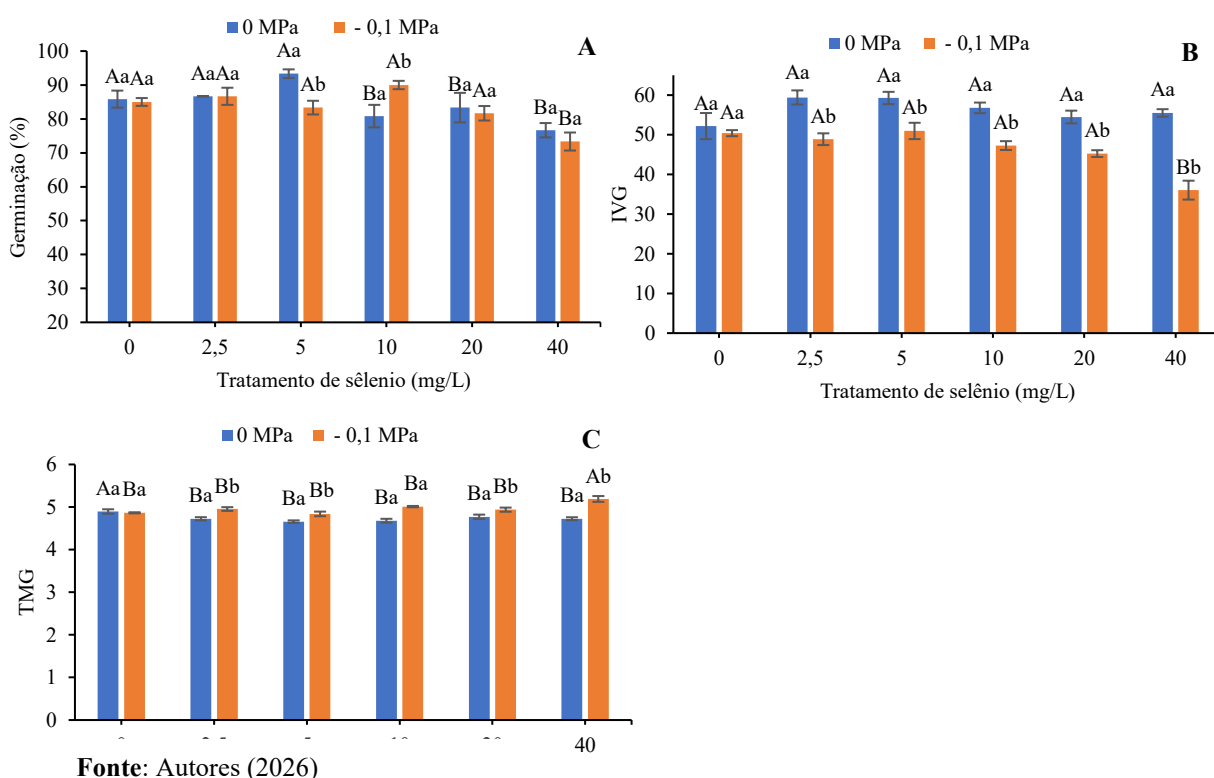
Na comparação entre os potenciais osmóticos dentro de cada concentração de Se, foram observadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nas concentrações de 2,5; 5; 10; 20 e 40 mg/L de Se. Esses tratamentos apresentaram maiores médias de IVG no tratamento controle de potencial

osmótico (0 MPa) em relação ao tratamento sob estresse osmótico (-0,1 MPa). Evidenciando que o IVG apresentou melhores resultados em condições sem estresse hídrico.

Para o TMG (Figura 1C) no tratamento controle (0 MPa), verificou-se diferenças estatísticas ($p < 0,05$) apenas na concentração de 0 mg/L de Se, que apresentou a maior média diferindo significativamente das concentrações de 2,5; 5; 10; 20 e 40 mg/L de Se. Estas médias, por sua vez, não diferiram entre si estatisticamente ($p > 0,05$), indicando maior tempo médio necessário para a germinação das sementes. Sob estresse osmótico (-0,1 MPa) foram observadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$) apenas na concentração de 40 mg/L de Se, que apresentou a maior média e diferiu significativamente das concentrações de 0; 2,5; 5; 10 e 20 de Se que apresentaram menores médias.

Na comparação entre os potenciais osmóticos dentro de cada concentração de Se, foram observadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nas concentrações de 2,5; 5; 20 e 40 mg/L de Se. Em sementes de tomateiro (*Solanum lycopersicum*) condicionadas com Se e submetidas ao déficit hídrico, foi observado aumento significativo no TMG devido ao efeito da restrição hídrica e da toxicidade de Se em altas concentrações (Silveira, 2021).

Figura 1: Efeito da aplicação de selênio (Se) e polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) em sementes de soja cultivar Lenda IPRO oito dias após a germinação. Letras maiúsculas comparam potenciais osmóticos (0; -0,1 MPa) de PEG 6000 dentro de cada tratamento de Se. As letras minúsculas comparam as concentrações de Se dentro de cada tratamento de PEG 6000, a 5% de probabilidade conforme teste de Scott-knott.



A análise de variância não revelou interação significativa ($p > 0,05$) entre PEG 6000 e Se para as variáveis de massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), indicando que os fatores atuaram de forma independente sobre o acúmulo de biomassa das plântulas de soja (Tabela 2). Em razão da não significância da interação, os efeitos principais de cada fator foram analisados separadamente.

O estresse osmótico induzido pelo PEG 6000 influenciou significativamente ($p < 0,05$) as variáveis MFPA, MSPA e MSR, evidenciando efeito negativo do déficit hídrico sobre o acúmulo de biomassa da parte aérea e do sistema radicular. A MFR foi a única variável não afetada significativamente pelo PEG 6000 ($p > 0,05$). Segundo Marcos (2015) os efeitos do estresse hídrico sobre o acúmulo de biomassa em plântulas são observados por meio da redução da parte aérea sob estresse osmótico. No entanto, em trabalho realizado para avaliar o crescimento radicular com plântulas de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max* L.) submetidas a baixos potenciais hídricos, foi observado que o sistema radicular possui capacidade adaptativa de manter o alongamento e crescimento apical, mesmo sob condições de restrição hídrica (Yamaguchi; Sharp, 2010).

Em relação ao efeito isolado do Se, foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) para MSPA e MSR, enquanto para a MFPA e MFR não apresentaram resposta significativa às concentrações de Se avaliadas. O coeficiente de variação para MFR foi de 49,22%, valor consideravelmente elevado e que indica alta heterogeneidade dos dados para essa variável. Esse nível de variação experimental limita a confiabilidade das comparações entre médias para MFR. As demais variáveis apresentaram CV entre 6,80% e 20,32%.

Tabela 2 - Quadrados médios da análise de variância para germinação (G%), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes de soja cultivar Lenda IPRO submetidas ao estresse osmótico induzido por PEG 6000 e tratadas com diferentes concentrações de selênio (Se).

Fonte de variação	G.L.	MFPA (g)	MFR (g)	MSPA	MSR
PEG 6000	1	0,2969*	0,0029 ^{ns}	0,0456*	0,0161*
Se	5	0,0139 ^{ns}	0,0159 ^{ns}	0,0512*	0,0118*
PEG 6000 x Se	5	0,0074 ^{ns}	0,0049 ^{ns}	0,0021 ^{ns}	0,0010 ^{ns}
Resíduo	36	0,0067	0,0077	0,0026	0,0015
CV (%)	-	9,66	49,22	6,80	20,32

Fonte: Autores (2026).

Nota: * Significativo a 5% de probabilidade. ^{ns} = não significativo.

Para a MSPA (Figura 2A), no tratamento controle (0 MPa), observaram-se diferenças estatísticas ($p < 0,05$) apenas na concentração de 5 mg/L de Se que apresentou a maior média. As concentrações de 2,5 e 10 mg/L de Se apresentaram comportamento intermediário, não diferindo entre si e nem das demais concentrações, enquanto as concentrações de 0, 20 e 40 mg/L de Se apresentaram as menores médias. Sob condições de estresse osmótico (-0,1 MPa), verificou-se diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nas concentrações de 2,5, 5 e 10 mg/L de Se que apresentaram as maiores médias em relação às concentrações de 0, 20 e 40 mg/L de Se as quais apresentaram as menores médias.

Na comparação entre os potenciais osmóticos dentro de cada concentração de Se, constatou-se diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nas concentrações de 5 e 10 mg/L de Se no tratamento controle (0 MPa) que apresentaram maiores médias em relação ao tratamento sob estresse osmótico (-0,1 MPa). Segundo Galic *et al.* (2021), o selênio pode exercer efeitos distintos em diferentes concentrações, pois em baixas concentrações esse elemento atua como estimulador do sistema antioxidante, por outro lado, em concentrações elevadas podem causar danos oxidativos nos tecidos vegetais.

Para a MSR (Figura 2B), observou-se diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nas concentrações de 5 e 20 mg/L de Se, que apresentaram as maiores médias, diferindo significativamente das concentrações de 0; 2,5; 10 e 40 mg/L de Se que apresentaram as menores médias. Sob condições de estresse osmótico (-0,1 MPa), verificou-se diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nas concentrações de 2,5; 5; 10 e 20 mg/L de Se, que apresentaram as

maiores médias, diferindo significativamente das concentrações de 0 e 40 mg/L de Se, que registraram as menores médias.

Na comparação entre os potenciais osmóticos dentro de cada concentração de Se, foram observadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$) apenas na concentração de 5 mg/L de Se, apresentou a maior média no tratamento controle (0 MPa) em relação ao estresse osmótico (-0,1 MPa). Evidenciando que sobre os efeitos de estresse osmótico a concentração de 5 mg/L de Se, foi capaz de promover um acúmulo de MSR.

Para a MFR (Figura 2C), no tratamento controle (0 MPa), não foram observadas diferenças estatísticas significativas ($p > 0,05$) entre as concentrações, indicando que todas as concentrações apresentaram médias estatisticamente semelhantes. Sob estresse osmótico (-0,1 MPa), observou-se diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) na concentração de 5 mg/L de Se, que apresentou a maior média de MFR, diferindo significativamente das concentrações de 0; 2,5; 10; 20 e 40 mg/L de Se, as quais apresentaram as menores médias.

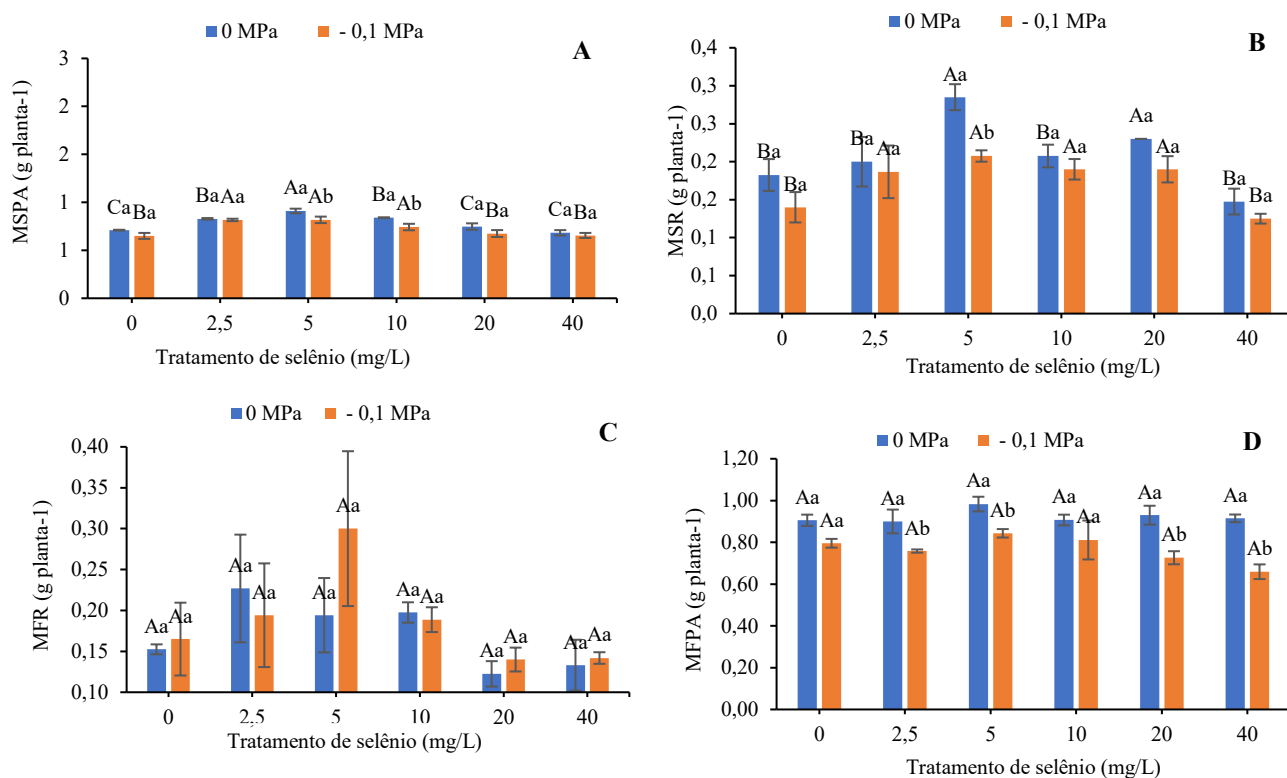
Na comparação entre os potenciais osmóticos dentro de cada concentração de Se, não foram observadas diferenças estatísticas ($p > 0,05$) nas concentrações de 0; 2,5; 5; 10; 20 e 40 mg/L de Se no tratamento controle (0 MPa) em relação ao tratamento sob estresse osmótico (-0,1 MPa). Segundo Turner (2018) em resposta ao déficit hídrico, as plantas realizam o ajuste osmótico e o acúmulo de solutos em células, permitindo a manutenção da turgescência celular e o funcionamento dos tecidos.

Para a MFPA (Figura 2D), observou-se que não houve diferenças estatísticas ($p > 0,05$) tanto no tratamento controle (0 MPa) e o tratamento sob estresse osmótico (-0,1 MPa) entre as concentrações de Se, com todas as concentrações de Se apresentando médias estatisticamente semelhantes.

Na comparação entre os potenciais osmóticos dentro de cada concentração de Se, foram observadas diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) entre as concentrações de 0; 2,5; 5; 20 e 40 mg/L de Se no tratamento controle (0 MPa), que apresentaram as maiores médias em relação ao tratamento sob estresse osmótico (-0,1 MPa). Segundo Juenger; Verslues, (2023) potenciais osmóticos de magnitude reduzida, correspondentes a estresse leve, não apresentaram efeito prejudicial sobre o crescimento de plântulas, uma vez que as plantas são capazes de realizar ajuste osmótico ativo. Em trabalho realizado com plântulas de soja (*Glycine max* L.), sob estresse hídrico induzido por PEG 8000, verificou-se que tanto a massa fresca radicular quanto a da parte aérea apresentaram reduções. Por outro lado, a massa seca radicular e da parte

aérea aumentaram, evidenciando que a resposta da biomassa fresca ao déficit hídrico é variável e dependente da intensidade do estresse (Bukan *et al.*, 2024).

Figura 2: Efeito da aplicação de selênio (Se) e polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) em sementes de soja cultivar Lenda IPRO oito dias após a germinação. Letras maiúsculas comparam potenciais osmóticos (0; -0,1 MPa) de PEG 6000 dentro de cada tratamento de Se. As letras minúsculas comparam as concentrações de Se dentro de cada tratamento de PEG 6000, a 5% de probabilidade conforme teste de Scott-knott.



Fonte: Autores (2026)

A análise de variância não revelou interação significativa ($p > 0,05$) entre PEG 6000 e Se para as variáveis índice de vigor de plântula baseado no comprimento (IVPcp) e índice de vigor de plântula baseado na massa fresca (IVPmf) (Tabela 3), indicando que os efeitos do estresse osmótico e das concentrações de Se atuaram de forma independente sobre o vigor das plântulas de soja. Em razão da não significância da interação, os efeitos principais de cada fator foram analisados separadamente.

O estresse osmótico induzido pelo PEG 6000 influenciou significativamente ($p < 0,05$) ambas as variáveis, evidenciando que o déficit hídrico simulado reduziu o vigor das plântulas tanto em relação ao comprimento quanto ao acúmulo de massa fresca. De modo semelhante, o efeito isolado das concentrações de Se também foi significativo ($p < 0,05$) para o IVPcp e IVPmf, indicando que as diferentes concentrações de Se influenciaram o vigor das plântulas de

soja independentemente das condições osmóticas. Segundo Bukan *et al.* (2024) sob estresse hídrico induzido por PEG 8000 em plântulas de soja (*Glycine max* L.), reduziu significativamente o comprimento da parte aérea e a massa fresca radicular e foliar, evidenciando que o déficit hídrico simulado compromete diretamente os parâmetros morfológicos e o vigor das plântulas de soja. Em trabalho de bioestimulação de sementes da pimenta jalapeño (*Capsicum annuum*), verificou-se que aplicação de nanopartículas de selênio (SeNPs) como agente de bioestimulação de sementes influenciou a biomassa e o índice de vigor de plântulas, com respostas distintas em função das concentrações avaliadas, confirmando o efeito dependente da concentração do Se sobre o vigor inicial (Sariñana-Navarrete *et al.*, 2024).

O CV de 10,45% para IVP_{mf} indica alta precisão experimental, enquanto o CV de 17,21% para IVP_{cp} é considerado médio, mas ainda satisfatório para características fisiológicas avaliadas sob condições de estresse.

Tabela 3 - Quadrados médios da análise de variância para germinação (G%), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes de soja cultivar Lenda IPRO submetidas ao estresse osmótico induzido por PEG 6000 e tratadas com diferentes concentrações de selênio (Se).

Fonte de variação	G.L.	IVP (CP)	IVP (MF)
PEG 6000	1	92137,6875*	164,2707*
Se	5	23406,6887*	29,9469*
PEG 6000 x Se	5	1724,6559 ^{ns}	12,5584 ^{ns}
Resíduo	36	2528,7799	7,0164
CV (%)	-	17,21	10,45

Fonte: Autores (2026)

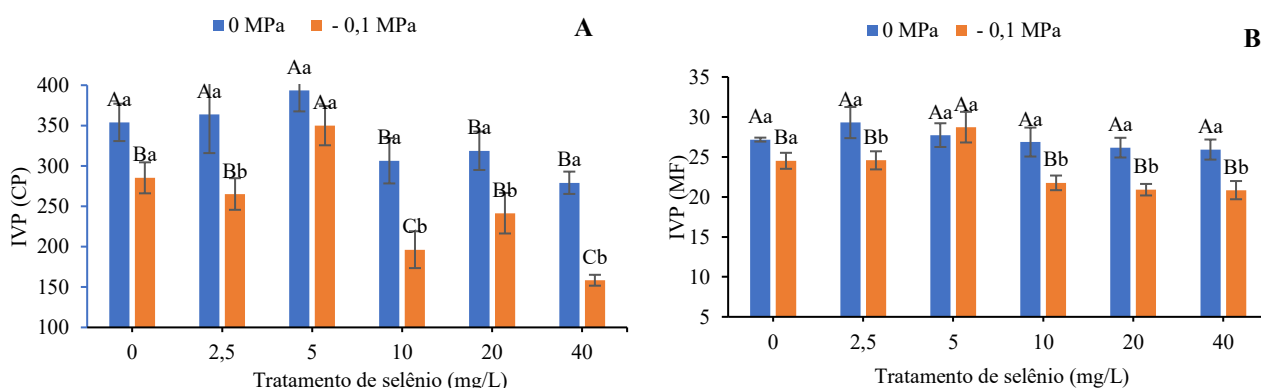
Nota: * Significativo a 5% de probabilidade. ^{ns} = não significativo.

Para o índice de vigor de plântula baseado no comprimento (IVP_{cp}) (Figura 3A), no tratamento controle (0 MPa), verificou-se diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nas concentrações de 0, 2,5 e 5 mg/L de Se, as quais apresentaram as maiores médias, diferindo significativamente das concentrações de 10; 20 e 40 mg/L de Se, que apresentaram as menores médias. Sob condições de estresse osmótico (-0,1 MPa), observou-se diferenças estatísticas ($p < 0,05$) apenas na concentração de 5 mg/L de Se, que apresentou a maior média. As concentrações de 0; 2,5 e 20 mg/L de Se apresentaram comportamento intermediário, não diferindo entre si nem das demais concentrações, enquanto as concentrações de 10 e 40 mg/L de Se apresentaram as menores médias.

Na comparação entre os potenciais osmóticos dentro de cada concentração de Se, foram observadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nas concentrações de 2,5; 10; 20 e 40 mg/L de Se, nas quais o tratamento controle (0 MPa) apresentou maiores médias em relação ao tratamento sob estresse osmótico (-0,1 MPa). Em trabalho realizado com diferentes concentrações e forma de aplicação com selênio na cultura soja (*Glycine max* L.), foram observadas quando as plantas foram expostas a altas concentrações de Se. Na adubação foliar surgiram sintomas como atrofiamento do crescimento, clorose, murchamento, decréscimo da síntese de proteína e morte prematura da planta (Martinez *et al.*, 2009).

Para o índice de vigor de plântula baseado na massa fresca (IVPmf) (Figura 3B), no tratamento controle (0 MPa), verificou-se que não ocorreu diferenças estatísticas ($p > 0,05$) entre as concentrações, com todas apresentando médias estatisticamente semelhantes entre si. Sob condições de estresse osmótico (-0,1 MPa), foram observadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$) na concentração de 5 mg/L de Se, q a qual apresentou a maior média, diferindo significativamente das concentrações de 0; 2,5; 10; 20 e 40 mg/L de Se, que apresentaram as menores médias. Na comparação entre os potenciais osmóticos dentro de cada concentração de Se, observou-se diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nas concentrações de 2,5; 10; 20 e 40 mg/L de Se, nas quais o tratamento controle (0 MPa) apresentou maiores médias em relação ao estresse osmótico (-0,1 MPa). Na concentração de 5 mg/L de Se, no tratamento sob estresse osmótico (-0,1 MPa) apresentou a maior média em relação ao tratamento controle (0 MPa), indicando que essa concentração proporcionou maior tolerância ao déficit hídrico induzido pelo PEG 6000.

Figura 3: Efeito da aplicação de selenito de selênio (Se) e polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) em sementes de soja cultivar Lenda IPRO oito dias após a germinação. Letras maiúsculas comparam potenciais osmóticos (0; -0,1 MPa) de PEG 6000 dentro de cada tratamento de Se. As letras minúsculas comparam as concentrações de Se dentro de cada tratamento de PEG 6000, a 5% de probabilidade conforme teste de Scott-knott.



Fonte: Autores (2026).

A análise de variância não revelou interação significativa ($p > 0,05$) entre PEG 6000 e Se para as variáveis CPA e CR (Tabela 4), indicando que os efeitos do estresse osmótico e das concentrações de Se atuaram de forma independente sobre o crescimento inicial das plântulas de soja. Em razão da não significância da interação, os efeitos principais de cada fator foram analisados separadamente.

O estresse osmótico induzido pelo PEG 6000 influenciou significativamente ($p < 0,05$) ambas as variáveis, demonstrando que o déficit hídrico simulado reduziu o crescimento das plântulas tanto na parte aérea quanto no sistema radicular. De modo semelhante, o efeito isolado das concentrações de Se também foi significativo ($p < 0,05$) para CPA e CR, indicando que as diferentes concentrações de Se influenciaram o crescimento inicial das plântulas independentemente das condições osmóticas impostas. Em trabalho realizado em cultivo hidropônico com objetivo de avaliar 20 genótipos de trigo (*Triticum aestivum*) induzido ao estresse hídrico por PEG 6000 com dois potenciais osmóticos no meio de cultura ($-0,7$ MPa - estresse hídrico moderado e $-1,0$ MPa - estresse hídrico elevado), verificou-se que o comprimento e a biomassa da parte aérea e do sistema radicular das plântulas foram reduzidos com o aumento do estresse osmótico (Faisal *et al.* 2019).

Os coeficientes de variação obtidos foram de 20,01% para o comprimento da parte aérea (CPA) e 21,46% para o comprimento radicular (CR). Embora classificados como médios a altos, segundo os critérios de Pimentel-Gomes (2009), esses valores são esperados em experimentos que avaliam o crescimento inicial de plântulas sob condições de estresse osmótico.

Tabela 4 - Quadrados médios da análise de variância para germinação (G%), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes de soja cultivar Lenda IPRO submetidas ao estresse osmótico induzido por PEG 6000 e tratadas com diferentes concentrações de selênio (Se).

Fonte de variação	G.L.	CPA (cm)	CR (cm)
PEG 6000	1	62,1644*	13,7929*
Se	5	12,2312*	5,9645*
PEG 6000 x Se	5	1,4708 ^{ns}	1,9839 ^{ns}
Resíduo	36	1,3432	1,8816
CV (%)	-	20,01	21,46

Fonte: Autores (2026)

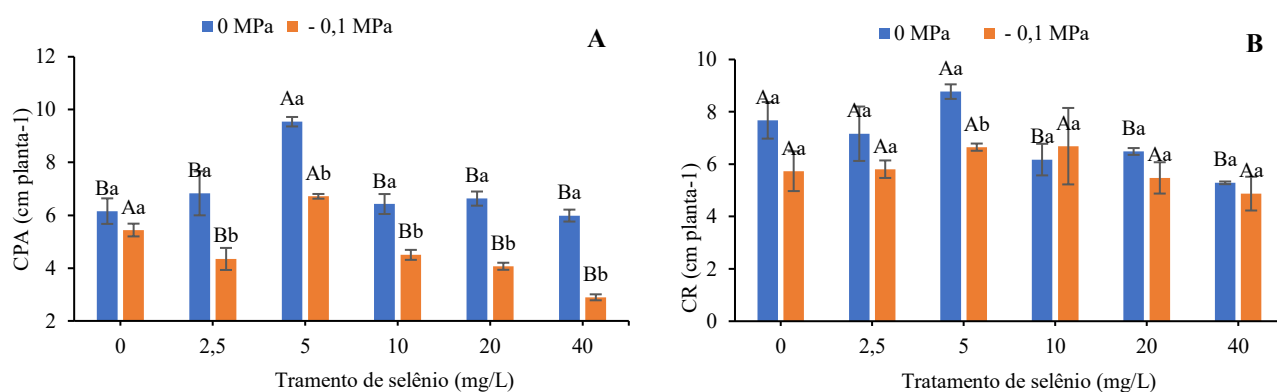
Nota: * Significativo a 5% de probabilidade. ^{ns} = não significativo.

Para o CPA (Figura 4A), no tratamento controle (0 MPa), verificou-se diferenças estatísticas ($p < 0,05$) na concentração de 5 mg/L de Se, que apresentou a maior média, diferindo significativamente das concentrações de 0; 2,5; 10; 20 e 40 mg/L de Se, as quais apresentaram as menores médias. Sob condições de estresse osmótico (-0,1 MPa) observou-se diferenças estatísticas ($p < 0,05$) apenas nas concentrações de 0 e 5 mg/L de Se, as quais apresentaram as maiores médias, diferindo significativamente das concentrações de 2,5; 10; 20 e 40 mg/L de Se, que apresentaram as menores médias. Na comparação entre os potenciais osmóticos dentro de cada concentração de Se, verificou-se diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nas concentrações de 2,5; 5; 10; 20 e 40 mg/L de Se no tratamento controle (0 MPa), as quais apresentaram as maiores médias em relação ao tratamento sob estresse osmótico (-0,1 MPa).

Para o CR (Figura 4B), no tratamento controle (0 MPa), observou-se diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nas concentrações de 0; 2,5 e 5 mg/L de Se, as quais apresentaram as maiores médias, diferindo significativamente das concentrações de 10; 20 e 40 mg/L de Se, que apresentaram as menores médias. Sob condições de estresse osmótico (-0,1 MPa), verificou-se que não houve diferenças estatísticas significativas ($p > 0,05$) entre as concentrações de Se, com todas as concentrações apresentando médias estatisticamente semelhantes entre si.

Na comparação entre os potenciais osmóticos dentro de cada concentração de Se, foi observada diferença estatística ($p < 0,05$) apenas na concentração de 5mg/L de Se. Nesta concentração de Se, o tratamento controle (0 MPa) apresentou a maior média em relação ao estresse osmótico (-0,1 MPa). Na concentração de 10 mg/L de Se, o tratamento sob estresse osmótico (-0,1 MPa) apresentou a maior média em relação ao tratamento controle (0 MPa).

Figura 4: Efeito da aplicação de selênio (Se) e polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) em sementes de soja cultivar Lenda IPRO oito dias após a germinação. Letras maiúsculas comparam potenciais osmóticos (0; -0,1 MPa) de PEG 6000 dentro de cada tratamento de Se. As letras minúsculas comparam as concentrações de Na_2SeO_3 dentro de cada tratamento de PEG 6000, a 5% de probabilidade conforme teste de Scott-knott.



Fonte: Autores (2026)

6 CONCLUSÃO

O tratamento de sementes de soja (*Glycine max* L.) com diferentes concentrações de selênio (Se) influenciaram o desempenho fisiológico e o vigor das plântulas, em resposta às condições de estresse hídrico impostas pelo polietilenoglicol (PEG 6000).

De forma geral, baixas concentrações de Se entre 2,5 e 5 mg/L apresentaram os melhores resultados para a maioria das variáveis avaliadas como a germinação, índice de velocidade de germinação, tempo médio de germinação, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, comprimento radicular, índice de vigor de plântulas (IVPcp e IVPmf), demonstrando o efeito benéfico do selênio em concentrações reduzidas.

A concentração de 5mg/L de Se promoveu os maiores valores de MSPA, CPA, IVPcp e IVPmf, tanto em condições do tratamento controle (0 MPa) quanto em tratamento sob estresse osmótico (-0,1 MPa), sendo a única concentração no tratamento sob estresse osmótico que apresentou médias superiores ao tratamento controle (0 MPa) para as variáveis IVPmf e MFR, indicando maior desempenho ao estresse hídrico induzido por PEG 6000.

Por outro lado, a concentração de 40 mg/L de Se apresentou um baixo desempenho sobre as sementes e plântulas de soja, resultando nos menores valores de G%, IVG, IVPmf, MSPA, MRS e CPA, tanto no tratamento controle como no tratamento de estresse osmótico.

O estresse osmótico induzido por PEG 6000 reduziu o vigor das sementes, sendo observado na diminuição do IVG, IVPcp, IVPmf, MSPA, MSR e CPA, demonstrando que o estresse hídrico simulado afetou principalmente o vigor das sementes.

REFERÊNCIAS

- AFZAL, Irfan. Seed priming: What's next? **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 51, n. 3, p. 379–405, dez. 2023. DOI: <https://doi.org/10.15258/sst.2023.51.3.10>. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/ista/sst/2023/00000051/00000003/art00010>. Acesso em: 06 jun. 2026.
- ALMAKAS, Aisha; ELRYS, Ahmed S.; DESOKY, El Sayed M.; AL-SHURAYM, Laila A.; ALHAG, Sadeq K.; ALSHAHARNI, Mohammed O.; ALNADARI, Fawze; NANNAN, Zhang; FAROOQ, Zunaira; EL-TARABILY, Khaled A.; ZHAO, Tuanjie. Enhancing soybean germination and vigor under water stress: the efficacy of bio-priming with sodium carboxymethyl cellulose and gum arabic. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 15, e1475148, 3 jan. 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39830943/>. Acessado em: 06 jun. 2026.
- AL-OMAIRI, Athraa A.; AL-HILFY, Intsar H. H. 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, p. 1-10, nov. 2021. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/904/1/012075/met>. Acesso em: 06 jun. 2026.
- BARBOSA, José Carlos; MALDONADO JÚNIOR, Wanderley. **Experimentação agrônômica e AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: Multipress, 2015. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/553395/1/E-book-Impactos-das-Tecnologias-nas-Ciencias-Agrarias-3.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2026.
- BASIT, Farwa *et al.* Seed priming with nitric oxide and/or spermine mitigate the chromium toxicity in rice (*Oryza sativa*) seedlings by improving the carbon-assimilation and minimising the oxidative damages. **Functional Plant Biology**, Clayton, v. 50, n. 2, p. 121–135, jan. 2022. Disponível em: <https://connectsci.au/fp/article-abstract/50/2/121/55528/Seed-priming-with-nitric-oxide-and-or-spermine>. Acesso em: 06 jun. 2026.
- BEWLEY, J. Derek; BRADFORD, Kent James; HILHORST, Henk W. M.; NONOGAKI, Hiroyuki. 2012. **Sementes: Fisiologia do Desenvolvimento, Germinação e Dormência, 3ª Edição** (p. 247-297). Nova York, 2012. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-4693-4_6#citeas. Acesso em: 01 jun. 2026. (Feito)
- BEWLEY, John Derek. Seed Germination and Dormancy. **The Plant Cell**, Rockville, v. 9, n. 7, p. 1055–1066, jul. 1997. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC156979/>. Acesso em 06 jun. 2026.
- BEWLEY, John Derek; BLACK, Michael. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum Press, 1994. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19950315483>. Acesso em: 06 jun. 2026.
- BRACCINI, Alessandro de Lucca e; RUIZ, Hugo Alberto; BRACCINI, Maria do Carmo Lana; REIS, Múcio Silva. Germinação e vigor de sementes de soja sob estresse hídrico induzido por soluções de cloreto de sódio, manitol e polietileno glicol. **Revista Brasileira de**

Sementes, Brasília, v. 18, n. 1, p. 10–16, jan./jun. 1996. Disponível em: <https://www.abrates.org.br/artigo-cientifico/5113/germinao-e-vigor-de-sementes-de-soja-sob-estresse-hidrico-induzido-por-solues-de-cloreto-de-sdio-manitol-e-polietileno-glicol>. Acesso em: 06 jun. 2026.

BRADFORD, Kent J. A Water Relations Analysis of Seed Germination Rates. **Plant Physiology**, Rockville, v. 9, n. 2, p. 840–849, out. 1990. Disponível em: <https://academic.oup.com/plphys/article/94/2/840/6086269?guestAccessKey>. Acesso em: 06 jun. 2026.

BRADFORD, Kent J. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. **HortScience**, Alexandria, v. 21, n. 5, p. 1105–1112, out. 1986. Disponível em: <https://journals.ashs.org/hort/hort/published/rest/pdf-watermark/v1/journals/hortsci/21/5/article-p1105.pdf/watermark-pdf/>. Acesso em: 06 jun. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes** Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS5 2009. 395 p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf. Acesso em: 06 jun. 2026.

BUKAN, Miroslav; KERESHA, Snježana; PEJIĆ, Ivan; SUDARIĆ, Aleksandra; LOVRIĆ, Ana; ŠARČEVIĆ, Hrvoje. Variabilidade de características de raiz e parte aérea sob estresse hídrico induzido por PEG em um estágio inicial de crescimento vegetativo da soja. **Agronomia**, v. 14, n. 6, p. 1188. Zagreb, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/6/1188>. Acesso em: 01 jun. 2026.

CÂMARA, Gil Miguel de Sousa. Fenologia da soja. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 82, p. 1-6, jun. 1998. Disponível em: [https://www.npct.com.br/publication/ia-brasil.nsf/40A3947A40F6A11583257B8D004FF8CA/\\$File/Page1-6-82.pdf](https://www.npct.com.br/publication/ia-brasil.nsf/40A3947A40F6A11583257B8D004FF8CA/$File/Page1-6-82.pdf). Acesso em: 06 jun. 2026.

CATUCHI, Tiago Aranda; VÍTOLO, Hilton Fabrício; BERTOLLI, Suzana Chiari; SOUZA, Gustavo Maia. Tolerance to water deficiency between two soybean cultivars: transgenic versus conventional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 3, p. 373–378, mar. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/wKyBLMyryNNc463B9zz4pxq/?lang=en>. Acesso em: 06 jun. 2026.

CHENG, Chen; LIU, Jianxiu; LIU, Jiahui; GAO, Zhiqiang; YANG, Yang; ZHU, Bo; YAO, Fengxian; YE, Qing; AAMER, Muhammad. 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**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 2864–2874, jun. 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-024-01712-1>. Acessado em: 06 jun. 2026.

CHOI, Ju-Young *et al.* Effect of seed hydropriming on the elongation of plumule and radicle during the germination process and changes in enzyme activity under water-deficient conditions. **Plants**, Basel, v. 13, n. 24, art. 3537, p. 1–17, dez. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/24/3537>. Acesso em: 06 jun. 2026.

COMBS JR., Gerald F. Selenium in global food systems. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 85, n. 5, p. 517-547, maio 2001. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/british-journal-of-nutrition/article/selenium-in-global-food-systems/5A3CA2BDDDB191B5BF3556892C625FDCCD>. Acesso em: 06 jun. 2026.

DELGADO, Carolina Maria Luzia; COELHO, Cileide Maria Medeiros de; BUBA, Gesieli Priscila. Mobilization of reserves and vigor of soybean seeds under desiccation with glufosinate ammonium. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 37, n. 2, p. 154-161, abr./jun. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/qwRv3LPWWtKMghxprmbqSdB/?lang=en&format=html>. Acesso em: 06 jun. 2026.

Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/componentes%20de%20rendimento.pdf>. Acessado em: 06 jun. 2026.

DU, Bin; LUO, Haowen; HE, Longxin; ZHANG, Lihe; LIU, Yangfang; MO, Zhaowen; PAN, Shenggang; TIAN, Hua; DUAN, Meiyang; TANG, Xiangru. 2019. Rice seed priming with sodium selenate: effects on germination, seedling growth, and biochemical attributes. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 9, n. 4311, p. 1-9, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-40849-3>. Acesso em: 01 jun. 2026.

EASTMOND, Peter J. *et al.* Promoter Trapping of a Novel Medium-chain Acyl-CoA Oxidase, Which Is Induced Transcriptionally during Arabidopsis Seed Germination. **The Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 275, n. 44, p. 34375-34381, nov. 2000. Disponível em: [https://www.jbc.org/article/S0021-9258\(20\)88932-7/fulltext](https://www.jbc.org/article/S0021-9258(20)88932-7/fulltext). Acesso em: 06 jun. 2026.

EL KASSIS, Elie; CATHALA, Nicole; ROUACHED, Hatem; FOURCROY, Pierre; 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**, Rockville, v. 143, n. 3, p. 1231-1241, mar. 2007. Disponível em: <https://academic.oup.com/plphys/article/143/3/1231/6106630?guestAccessKey=https://academic.oup.com/plphys/article/143/3/1231/6106630?guestAccessKey>. Acesso em: 06 jun. 2026.

EZ, Joseph Michael. Structural biology of plant sulfur metabolism: from sulfate to glutathione. **Journal of Experimental Botany**, [S. l.], v. 70, n. 16, p. 4089-4103, ago. 2019. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/70/16/4089/5368512?guestAccessKey>. Acessado em: 06 jun. 2026.

FAISAL, Summiya; MUJTABA, Syed Muhammad; ASMA; MAHBOOB, Waseem. (2019). Polyethylene glycol mediated osmotic stress impacts on growth and biochemical aspects of wheat (*Triticum aestivum*) **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 22, n. 3, p. 213-223, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12892-018-0166-0>. Acesso em: 01 jun. 2026.

FALCIONI, Renan *et al.* Progressive Water Deficit Impairs Soybean Growth, Alters Metabolic Profiles, and Decreases Photosynthetic Efficiency. **Plants**, Basel, v. 14, n. 17, art. 2615, p. 1-33, ago. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/14/17/2615>. Acesso em: 06 jun. 2026.

FAO (Food and Agriculture Organization). **Production of crops and derived Products**. Disponível em: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1c056d73-8b8a-40a8-b988-0a0809a14fba/content/CD4313EN.html#chapter-2_1. Acessado em: 06 jun. 2026.

FARIAS, José Renato Bouças; NEPOMUCENO, Alexandre Lima; NEUMAIER, Norman. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/470308>. Acessado em: 06 jun. 2026.

FERRARI, Maicon; PELEGRIN, Alessandro Jaquiel; SOUZA, Velci Queiróz de; NARDINO, Maurício; CARVALHO, Ivan Ricardo. Componentes de rendimento sob diferentes combinações de fungicidas e inseticidas em soja. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 532-540, 2014.

FERREIRA, Alfredo Gui; BORGHETTI, Fabian. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 323 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335078531_Germinacao_Do_basico_ao_aplicado. Acessado em: 06 jun. 2026.

FERREIRA, Raphael Leone da Cruz. **Biofortificação e toxicidade de selênio na cultura da alface em solução nutritiva**. Orientador: Renato de Mello Prado. Coorientador: Flávio José Rodrigues Cruz. 2016. 36 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/74aa3206-3345-4d1c-9f23-c0d207ab3db0>. Acesso em: 01 jun. 2026.

FOMEKONG, Marius Kenne; TETANG, Elise Fabiola Tchouake; TEMEGNE, Carine Nono. Effect of halopriming on seed germination performance and early seedling establishment in okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) under saline conditions. **Plant Physiology Reports**, New Delhi, v. 30, n. 1, p. 146–159, mar. 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40502-024-00818-z>. Acessado em: 06 jun. 2026.

GALIĆ, Lucija; ŠPOLJAREVIĆ, Marija; JAKOVAC, Elizabeta; RAVNJAK, Boris; TEKLIĆ, Tihana; LISJAK, Miroslav; PERIĆ, Katarina; NEMET, Franjo; LONČARIĆ, Zdenko. 2021. Selenium biofortification of soybean seeds influences physiological responses of seedlings to osmotic stress. **Plants**, [S. l.], v. 10, n. 8, p. 1498, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/8/1498>. Acesso em: 01 jun. 2026

GHOLAMI, Shocofeh; AMINI DEHAGHI, Majid; REZAZADEH, Alireza. Effect of different concentrations of Selenium on germination characteristics and proline content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. **Environmental Stresses in Crop Sciences**, Birjand, v. 14, n. 4, p. 1029-1040, out./dez. 2021. Disponível em: https://escs.birjand.ac.ir/jufile?ar_sfile=44951. Acesso em: 06 jun. 2026.

GOMES, Josilene do Nascimento; ABREU, Natan Lima; NASCIMENTO, Angélica Lucélia da Silva; ROCHA, Sara Muniz; QUADROS, Barbara Rodrigues de; FARIA, Leticia de Abreu. Tratamentos de superação de dormência e tipos de solo na emergência e desenvolvimento inicial de *Chamaecrista rotundifolia*. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 22, p. e66677, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cab/a/VfKYpr9jsSD36nc6Pq3DhCB/?lang=pt>. Acesso em: 01 jun. 2026.

GOULART, Henrique M. D.; VAN DER WIEL, Karin; FOLBERTH, Christian; BOERE, Esther; VAN DEN HURK, Bart. Aumento de falhas simultâneas na sabra de soja devido às mudanças climáticas. **Earth's Future**, [s. l.], v. 11, n. 4, e2022EF003106, 5 abr. 2023. Disponível em: <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/18707/1/Earth%20s%20Future%20-%202023%20-%20Goulart%20-%20Increase%20of%20Simultaneous%20Soybean%20Failures%20Due%20To%20Climate%20Change>. Acessado em: 06 jun. 2026.

HAMED, Raed; STEINMANN, Carmen B.; MA, Qiyun; BALANZATEGUI, Daniel; BROADMAN, Ellie; LESK, Corey; KORNHUBER, Kai. Amplified agricultural impacts from more frequent and intense sequential heat events. **Environmental Research Letters**, [S. l.], v. 20, n. 11, art. 114001, nov. 2025. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ae06b8/meta>. Acesso em: 06 jun. 2026.

HAMZA, Muhammad; BASIT, Abdul Waheed; SHEHZADI, Iram; TUFAIL, Usman; HASSAN, Ali; HUSSAIN, Tafseer; SIDDIQUE, Muhammad Usama; HAYAT, Hafiza Mubeen. Global Impact of Soybean Production: A Review. **Asian Journal of Biochemistry, Genetics and Molecular Biology**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 12-20, jan. 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Hamza-140/publication/377830717_Global_Impact_of_Soybean_Production_A_Review/links/66a789aec6e41359a8499245/Global-Impact-of-Soybean-Production-A-Review.pdf. Acessado em: 06 jun. 2026.

HAN, Chao; YIN, Xia; HE, Dongli; YANG, Pingfang. Analysis of proteome profile in germinating soybean seed, and its comparison with rice showing the styles of reserves mobilization in different crops. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 8, n. 2, art. e56947, p. 1-9, fev. 2013. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0056947>. Acessado em: 06 jun. 2026.

HAWRYLAK-NOWAK, Barbara. Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 70, n. 2, p. 149–157, jun. 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10725-013-9788-5>. Acessado em: 06 jun. 2026.

HAWRYLAK-NOWAK, Barbara; MATRASZEK, Renata; POGORZELEC, Magdalena. The dual effects of two inorganic selenium forms on the growth, selected physiological parameters and macronutrients accumulation in cucumber plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 37, n. 2, art. 41, p. 1-13, fev. 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11738-015-1788-9>. Acessado em: 06 jun. 2026.

HENNING, Fernando Augusto; MERTZ, Liliane Marcia; JACOB JUNIOR, Elias Abrahão; MACHADO, Ronei Dorneles; 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, set. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/m5VJ9yQRYTzhPVH4vTB9sbb/?format=html&lang=pt>. Acessado em: 06 jun. 2026.

HU, Feng-qin; JIANG, Shuo-chen; WANG, Zhun; HU, Kang; XIE, Yi-mei; ZHOU, Ling; ZHU, Jian-qiang; XING, Dan-ying; DU, Bin. Seed priming with selenium: effects on germination, seedling growth, biochemical attributes, and grain yield in rice growing under

flooding conditions. **Plant Direct**, [s. l.], v. 6, n. 1, art. e378, p. 1-13, jan. 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pld3.378>. Acessado em: 06 jun. 2026.

HUSSAIN, Saber; AHMED, S. Shakil; AKRAM, W. Waheed; LI, Guihua; YASIN, Nasim Ahmad. Selenium seed priming enhanced the growth of salt-stressed *Brassica rapa* L. through improving plant nutrition and the antioxidant system. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 13, art. 1050359, p. 1-16, jan. 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.1050359/full><https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.1050359/full>. Acessado em: 06 jun. 2026.

HUSSAIN, Saber; ZHENG, Min; KHAN, Fahad; KHALIQ, Asif; FAHAD, Shah; PENG, Shaobing. Benefits of rice seed priming are offset permanently by prolonged storage and the storage conditions. **Scientific Reports**, London, v. 5, art. 8101, p. 1-12, jan. 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep08101>. Acessado em: 06 jun. 2026.

HUSSAIN, Saddam; KHAN, Fahad; HUSSAIN, Hafiz A.; NIE, Lixiao. Physiological and biochemical mechanisms of Seed Priming-Induced Chilling tolerance in rice cultivars. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, art. 116, p. 1-13, fev. 2016. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2016.00116/full>. Acessado em: 06 jun. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção de soja no Brasil**: valor da produção, quantidade produzida, mapas e séries históricas. Rio de Janeiro: IBGE, [2026]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/soja/br>. Acessado em: 06 jun. 2026.

JATANA, Bhupinder Singh; GROVER, Sajjan; RAM, Hari; BAATH, Gurjinder Singh. Seed Priming: Molecular and Physiological Mechanisms Underlying Biotic and Abiotic Stress Tolerance. **Agronomy**, [S. l.], v. 14, n. 12, p. 2901, dez. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/12/2901>. Acessado em: 06 jun. 2026.

JUENGER, Thomas E.; VERSLUES, Paul E. Time for a drought experiment: do you know your plants' water status? **The Plant Cell**, [S. l.], v. 35, n. 1, p. 10–23, 2023. Disponível em: <https://academic.oup.com/plcell/article/35/1/10/6809145?guestAccessKey>. Acesso em: 01 jun. 2026.

KABATA-PENDIAS, Alina; PENDIAS, Henryk. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, p 413. 2001. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b10158/trace-elements-soils-plants-alina-kabata-pendias>. Acessado em: 06 jun. 2026.

KONG, Ling; WANG, Mao; BI, Dongling. Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress. **Plant Growth Regulation**, [S. l.], v. 45, n. 2, p. 155–163, 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10725-005-1893-7> . Acesso em: 01 jun. 2026.

KUBALA, Szymon; WOJTYLA, Łukasz; QUINET, Muriel; LECHOWSKA, Katarzyna; LUTTS, Stanley; GARNCZARSKA, Małgorzata. Enhanced expression of the proline synthesis gene P5CSA in relation to seed osmopriming improvement of *Brassica napus* germination under salinity stress. **Journal of Plant Physiology**, [S. l.], v. 183, p. 1-12, jul.

2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161715001170>. Acessado em: 06 jun. 2026.

LABOURIAU, Luiz Gouvêa; 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. 1/2, p. 37-56, 1987. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/seed-science-research/article/abs/luiz-f-g-labouriau-and-the-dawn-of-seed-science-in-brazil/75CB4AC1439107EA02F5271664>. Acessado em: 06 jun. 2026.

LEE, Tani; TRAN, Anh; HANSEN, James; ASH, Mark. Major Factors Affecting Global Soybean and Products Trade Projections. **Amber Waves**, [S. l.], 2 mai. 2016. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2016/may/major-factors-affecting-global-soybean-and-products-trade-projections/>. Acessado em: 06 jun. 2026.

LEHOTAI, Nóra; LYUBENOVA, Lyudmila; SCHRÖDER, Peter; FEIGL, Gábor; ÖRDÖG, Attila; SZILÁGYI, Kitti; KOLBERT, Zsuzsanna. Nitro-oxidative stress contributes to selenite toxicity in pea (*Pisum sativum* L.). **Plant and Soil**, [S. l.], v. 400, n. 1, p. 107–122, mar. 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-015-2716-x>. Acessado em: 06 jun. 2026.

LI, Han-Fang; MCGRATH, Steve P.; ZHAO, Fang-Jie. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. **New Phytologist**, [S. l.], v. 178, n. 1, p. 92–102, abr. 2008. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1469-8137.2007.02343.x>. Acessado em: 06 jun. 2026.

LIU, Aijie; WANG, Huazhong; WANG, Maoqian. Na₂SeO₃ seed priming improves seed germination, seedling growth and rhizosphere microbial community structure of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) under salt stress. **Plant Stress**, [S. l.], v. 11, p. 100584, mar. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667064X25000600>. Acessado em: 06 jun. 2026.

LIU, Jie; LIU, Jin; AAMER, Muhammad; LIAO, Yu; YANG, Yang; YAO, Fangfang; CHENG, Chen. Regulating effect of sodium selenite addition on seed germination and growth of pepper (*Capsicum annuum*) under mixed salt stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 2864–2874, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-024-01712-1>. Acesso em: 01 jun. 2026.

LONGCHAMP, Mélanie; CASTREC-ROUELLE, Maryse; BIRON, Philippe; BARIAC, Thierry. Variations in the accumulation, localization and rate of metabolization of selenium in mature *Zea mays* plants supplied with selenite or selenate. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 182, p. 128–135, set. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814615003404>. Acessado em: 06 jun. 2026.

MA, Leyuan; WEI, Jingui; HAN, Guojun; SUN, Xiaomei; YANG, Xiaobing. Seed osmopriming with polyethylene glycol (PEG) enhances seed germination and seedling physiological traits of *Coronilla varia* L. under water stress. **Plos One**, [S. l.], v. 19, n. 5, p. e0303145, mai. 2024. Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0303145>. Acessado em: 06 jun. 2026.

MA, Zhenguog; BYKOVA, Natalia V.; IGAMBERDIEV, Abir U. Cell signaling mechanisms and metabolic regulation of germination and dormancy in barley seeds. **The Crop Journal**, [S. l.], v. 5, n. 6, p. 459-477, dez. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214514117300909>. Acessado em: 06 jun. 2026.

MACHADO NETO, Nelson Barbosa; CUSTÓDIO, Cássia Regina; COSTA, Patrícia Reiners; DONÁ, Flávia Lima. Deficiência hídrica induzida por diferentes agentes osmóticos na germinação e vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 142–148, abr. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/MnPPGDWq8KYNnnRxLB3BHvL/?lang=pt>. Acessado em: 06 jun. 2026.

MACHADO, José da Cruz; OLIVEIRA, João Almir de; VIEIRA, Maria das Graças Guimarães Carvalho; ALVES, Marcelo de Carvalho. Controle da germinação de sementes de soja em testes de sanidade pelo uso da restrição hídrica. **Revista Brasileira de Sementes**, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 77-81, dez. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/pqrTqBHL6kntNbcCFyfjBvh/?format=html&lang=pt>. Acessado em: 06 jun. 2026.

MAGUIRE, James David. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, mar./abr. 1962. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19621604893>. Acessado em: 06 jun. 2026.

MALAGOLI, Michela; SCHIAVON, Michela; DALL'ACQUA, Stefano; PILON-SMITS, Elizabeth Anna Helena. Effects of selenium biofortification on crop nutritional quality. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 6, p. 280, mai. 2015. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2015.00280/full>. Acessado em: 06 jun. 2026.

MARCOS FILHO, Julio. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: Abrates, 2015. v. 1. 660 p. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002724502>. Acesso em: 01 jun. 2026.

MARTHANDAN, Vishnupriya; GEETHA, Ramamoorthy; KUMUTHA, Krishnamoorthy; RENGANATHAN, Venkatachalam Ganesan; KARTHIKEYAN, Adhimoolam; RAMALINGAM, Jeyakumar. Seed Priming: A Feasible Strategy to Enhance Drought Tolerance in Crop Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, [S. l.], v. 21, n. 21, p. 8258, nov. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/21/8258>. Acessado em: 06 jun. 2026.

MARTINEZ, Roberto Antonio Savelli; REZENDE, Pedro Milanez de; ALVARENGA, Amauri Alves de; ANDRADE, Messias José Bastos de; PASSOS, Alexandre Martins Abdão dos. Doses e formas de aplicação de selênio na cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 698-704, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/tXZPYkyF8k43JQtKn4kMB6B/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 01 jun. 2026.

MATIAS, Janete Rodrigues; SILVA, Tainara Cristine F. dos Santos; ARAGÃO, Carlos Alberto; DANTAS, Bárbara França. 2012. Estresse salino e hídrico na germinação de sementes de pepino. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. S7765-S7771, 2012. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/935982/1/Barbara4.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2026

MICROSOFT Corporation. **Microsoft Excel**. Versão 2025. Disponível em:

<https://office.microsoft.com/excel>. Acessado em: 06 jun. 2026.

MOHAMED, Nermin G.; AHMED, Magda; MOHAMMED, Esraa; EMAD, Bassant; MOHAMED, Mentallah; MOSTAFA, Afnan; NASSER, Amira; EMAD, Mohamed. Seed priming enhances physiological and biochemical adaptation of food crops to abiotic and biotic stresses under global warming. **Discover Plants**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 120, abr. 2026.

Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44372-026-00580-6>. Acessado em: 06 jun. 2026.

MORAES, Gilberto Antonio Freitas de; MENEZES, Nilson Lemos de. Desempenho de sementes de soja sob condições diferentes de potencial osmótico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 219–226, abr. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000200007>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cflo/a/8szD7j47LrsNLhvHW4RLYXR/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 01 jun. 2026.

MRANI ALAOUI, Meryem; EL JOURMI, Latifa; OUARZANE, Aziz; LAZAR, Saïd; EL ANTRI, Said; ZAHOUILY, Mohamed; HMYENE, Abdelaziz. Effect of salt stress on germination and growth of six Moroccan wheat varieties. **Journal of Materials and Environmental Science**, [s. l.], v. 4, n. 6, p. 997-1004, dez. 2013. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/286657317_Effect_of_salt_stress_on_germination_and_growth_of_six_moroccan_wheat_varieties. Acesso em: 06 jun. 2026.

MÜLLER, Ludwig. Taxionomia e morfologia. In: MIYASAKA, Shiro; MEDINA, Júlio César (ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981.

Disponível em: <https://pergamum-biblioteca.pucpr.br/acervo/105897>. Acessado em: 06 jun. 2026.

NEUMAIER, Norman; NEPOMUCENO, Alexandre Lima; FARIAS, José Renato Bouças; OYA, Tetsuji. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: BONATO, Emidio Rizzo (ed.). p. 19-44. **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. Disponível em:

<https://agris.fao.org/search/en/providers/122419/records/6474ad7b5eb437ddff719407>. Acessado em: 06 jun. 2026.

NOCTOR, Graham; COHEN, Marie; TRÉMULOT, Louise; CHÂTEL-INNOCENTI, Géraldine; VAN BREUSEGEM, Frank; MHAMDI, Amna. Glutathione: a key modulator of plant defence and metabolism through multiple mechanisms. **Journal of Experimental Botany**, [S. l.], v. 75, n. 15, p. 4549-4572, ago. 2024. Disponível em:

<https://academic.oup.com/jxb/article/75/15/4549/7659248?guestAccessKey>. Acessado em: 06 jun. 2026.

OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY. **Soybeans (HS: 1201): Product Profile**. [S. l.]: OEC, [2026]. Disponível em: <https://oec.world/en/profile/hs/soybeans>. Acesso em: 06 jun. 2026.

OLIVEIRA, Eliege Aparecida de Paiva; ZUCARELI, Claudemir; PRETE, Cássio Egidio Cavenaghi; ZAMUNER, Danilo. Potencial osmótico do substrato na germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de milho doce. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 4, p. 477–482, dez. 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119032902001.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2026.

PEREIRA, Wânia dos Santos; PEREIRA, Sirlene Maria de Almeida; 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**, Londrina, v. 37, n. 1, p. 63-69, jan./mar. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/WGkCrv6yx5cWMc4q9mt6VM/?lang=en>. Acesso em: 06 jun. 2026.

PIMENTEL-GOMES, Frederico. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Digitaliza Conteúdo, 200. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=-3y2EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=1.+PIMENTEL-GOMES,+F.+Curso+de+estat%C3%ADstica+experimental.+15.+ed.+Piracicaba:+FEALQ,+2009.+451+p.&ots=KtLsLo5UKa&sig=qg11neR0tVUdauXDmnRFRLe_Z3Y&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 01 jun. 2026.

PINFIELD-WELLS, Helen; RYLOTT, Elizabeth L.; GILDAY, Alison D.; GRAHAM, Stuart; JOB, Kathleen; LARSON, Tony R.; GRAHAM, Ian A. Sucrose rescues seedling establishment but not germination of Arabidopsis mutants disrupted in peroxisomal fatty acid catabolism. **The Plant Journal**, [S. l.], v. 43, n. 6, p. 861–872, set. 2005. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-313X.2005.02498.x>. Acesso em: 06 jun. 2026.

PRADO, Renato de Mello; CRUZ, Franz Hippler Ruiz; FERREIRA, Rodinei Facco da Costa. Selenium Biofortification and the Problem of its Safety. *In*: SHIOMI, Naofumi; IWAMOTO, Maremi (ed.). **Superfood and Functional Food: An Overview of Their Processing and Utilization**. Rijeka: InTech, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/15/2/440>. Acesso em: 06 jun. 2026.

RAMOS, Sílvio Júnio; FAQUIN, Valdemar; ALMEIDA, Hilário Júnio de; ÁVILA, Fabrício William; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães; BASTOS, Carla Elisa Alves; ÁVILA, Patrícia Andressa. Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação com selênio em cultivares de alface. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1347-1355, jul./ago. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/tn8GVCBsV76m9hdk8xKSbKq/?lang=pt>. Acesso em: 06 jun. 2026.

RÍOS, Juan José; BLASCO, Begoña; CERVILLA, Luis Miguel; ROSALES, Miguel Ángel; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, Eva; ROMERO, Luis; RUIZ, Juan Manuel. Production and detoxification of H₂O₂ in lettuce plants exposed to selenium. **Annals of Applied Biology**, [S. l.], v. 154, n. 1, p. 107-116, jan. 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1744-7348.2008.00276>. Acessado em: 06 jun. 2026.

SANTOS, Maria Célia Aroucha; AROUCHA, Edna Maria Mendes; SILVA, Roberto Ferreira da; SOUZA, Marcelo Sobreira de; SOUSA, Pahlevi Augusto de. Condicionamento osmótico de sementes. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 2, p. 1-6, abr./jun. 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2371/237117611033.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2026.

SARIÑANA-ALDACO, Oscar; GONZÁLEZ-MORALES, Susana; CADENAS-PLIEGO, Gregorio; PÉREZ-ALVAREZ, Marissa; MORALES-DÍAZ, América Berenice; OJEDA-BARRIOS, Dámaris Leopoldina; MEDRANO-MACÍAS, Julia; BENAVIDES-MENDOZA, Adalberto. Assay on the impact of seed priming with ionic selenium, nanoselenium and micro-selenium on early growth, biomolecules and nutrient content in cucumber seedlings. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, Cluj-Napoca, v. 53, n. 2, art. 14403, jun. 2025. Disponível em: <https://www.notulaebotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/14403>. Acesso em: 06 jun. 2026.

SARIÑANA-NAVARRETE, Maria de los Ángeles; BENAVIDES-MENDOZA, Adalberto; GONZÁLEZ-MORALES, Sandra; JUÁREZ-MALDONADO, Antonio; PRECIADO-RANGEL, Pablo; SÁNCHEZ-CHÁVEZ, Esteban; MORELOS-MORENO, Álvaro de los. 2024. Selenium seed priming and biostimulation influence the seed germination and seedling morphology of jalapeño (*Capsicum annuum*). **Horticulturae**, v. 10, n. 2, p. 119, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/2/119>. Acesso em: 01 jun. 2026. (feito).

SCHIAVON, Michela; PILON-SMITS, Elizabeth Anna Helena. The fascinating facets of plant selenium accumulation—biochemistry, physiology, evolution and ecology. **New Phytologist**, [S. l.], v. 213, n. 4, p. 1582-1596, mar. 2017. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.14378>. Acesso em: 06 jun. 2026.

SEDGHI, Mohammad. An integrated assessment of seed germination performance using classical and complementary metrics under abiotic stress. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 15, e25806, 25 nov. 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41290793/>. Acessado em: 06 jun. 2026.

SEDIYAMA, Tunseo (org.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenas, p. 314. 2009. Disponível em: <https://www.editoramecenas.com.br/wp-content/uploads/2017/06/sumario-tecnologias-de-producao-e-usos-da-soja.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2026.

SEDIYAMA, Tunseo; PEREIRA, Maurício Guerra; SEDIYAMA, Carlos Siguelyuki; GOMES, José Luiz Lopes. **Cultura da soja**: I parte. Viçosa: UFV, p. 96. 1985. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/908/90811214008.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2026.

SEMENTES PAMPEANA. **Cultivar Lenda IPRO**. Mata Roma: Sementes Pampeana, 2020. Disponível em: <https://sementespampeana.com.br/cultivares/lenda-ipro>. Acesso em: 06 jun. 2026.

SHAHVERDI, Mehdi Aghighi; OMIDI, Heshmat; TABATABAEI, Seyed Jalal. Effect of nutri-priming on germination indices and physiological characteristics of stevia seedling under salinity stress. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 39, n. 4, p. 353-362, out./dez. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/NvmHjWgbjgG88DqLY5cwrNy/?lang=en&format=html>. Acessado em: 06 jun. 2026.

SILVA, Luciana de Sobral; SILVA, Rodrigo Barros; VALADARES, Renato Nunes; MATOS, Valdevez Pontes; LIMA, Cláudio Roberto. Behavior of Rice Seed under Different Osmotic Potentials. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 6, n. 3, p. 37-44, 2012. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/5b48610d-b3f9-4ed9-a3e2-fa037fe31b0d/content>. Acesso em: 06 jun. 2026.

SILVA, Marcelo C. de C.; MEDEIROS, André F. A.; DIAS, Denise Cunha Fernandes dos Santos; ALVARENGA, Eveline M.; COELHO, Fabrício S.; BRAUN, Heder. 2011. Efeito do estresse hídrico e térmico na germinação e no vigor de sementes de cenoura. **Idesia**, Arica, v. 29, n. 3, p. 39-44, 2011. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292011000300006&script=sci_arttext&tlng=en. Acesso em: 01 jun. 2026.

SILVEIRA, Alice de Souza. **Osmocondicionamento com selênio em sementes de tomate submetidas ao déficit hídrico**. Orientador: Laércio Junio da Silva. 2021. 92 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/28257>. Acesso em: 01 jun. 2026.

SOUZA, Verônica Maria de. 2024. **Caracterização dos traços de promoção de crescimento vegetal e tolerância ao estresse abiótico de isolados bacterianos**. Orientadora: Eliana Gertrudes de Macedo 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/39a02e27-3f6a-4900-b066-69cf958cd422>. Acesso em: 01 jun. 2026.

TOLRÀ, Roser; GONZALEZ-COBO, Carlos; CORRALES, Isabel; PADILLA, Rosaly; LLUGANY, Mercè. Seed Halopriming as an Effective Strategy to Enhance Salt Tolerance in *Cakile maritima*: Activation of Antioxidant and Genetic Responses. **Antioxidants**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 353, mar. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3921/14/3/353>. Acesso em: 06 jun. 2026.

TURNER, Neil C. Turgor maintenance by osmotic adjustment: 40 years of progress. **Journal of Experimental Botany**, [S. l.], v. 69, n. 13, p. 3223–3233, 2018. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/69/13/3223/4996128?guestAccessKey>. Acesso em: 01 jun. 2026.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. **World Agricultural Production**: Production Data. Washington, D.C.: USDA, 2026. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/2222000>. Acesso em: 06 jun. 2026.

VAN HOEWYK, Doug. A tale of two toxicities: malformed selenoproteins and oxidative stress both contribute to selenium stress in plants. **Annals of Botany**, Oxford, v. 112, n. 6, p. 965–972, out. 2013. Disponível em: <https://academic.oup.com/aob/article-abstract/112/6/965/170339>. Acesso em: 06 jun. 2026.

VILLELA, Francisco Amaral; DONI FILHO, Lauro; SIQUEIRA, Elmar Luiz. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 11/12, p. 1957–1968, nov./dez. 1991. Disponível em: <https://apct.sede.embrapa.br/pab/article/view/3549>. Acesso em: 06 jun. 2026.

WATERWORTH, Christopher M.; BRAY, Christopher M.; WEST, Christopher E. Seeds and the Art of Genome Maintenance. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 10, p. 706, jun. 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2019.00706/full>. Acesso em: 06 jun. 2026.

WEITBRECHT, Karin; MÜLLER, Kerstin; LEUBNER-METZGER, Gerhard. First off the mark: early seed germination. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 10, p. 3289–3309, jun. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/err030> Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/62/10/3289/478838>. Acesso em: 01 jun. 2026.

WU, Lin; EMBERG, Amanda; BIGGAR, James Albert. Effects of Elevated Selenium Concentration on Selenium Accumulation and Nitrogen Fixation Symbiotic Activity of *Melilotus indica* L. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 50-63, fev. 1994. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651384710062>. Acessado em: 06 jun. 2026.

XIONG, Rentao; LIU, Shuo; CONSIDINE, Michael J.; SIDDIQUE, Kadambot H. M.; LAM, Hon-Ming; CHEN, Yinglong. Root system architecture, physiological and transcriptional traits of soybean (*Glycine max* L.) in response to water deficit: a review. **Physiologia Plantarum**, [s. l.], v. 172, n. 2, p. 405–418, jun. 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32880966/>. Acessado em: 06 jun. 2026.

YAMAGUCHI, Masao; SHARP, Robert E. Complexity and coordination of root growth at low water potentials: recent advances from transcriptomic and proteomic analyses. **Plant, Cell & Environment**, [S. l.], v. 33, n. 4, p. 590–603, 2010. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-3040.2009.02064.x> . Acesso em: 01 jun. 2026.