



INSTITUTO FEDERAL
Rondônia



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia

Campus Colorado do Oeste
Coordenação do Curso em Engenharia Agrônoma

MATEUS COSTA FERREIRA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE SOJA PELO
TESTE DE ALAGAMENTO**

COLORADO DO OESTE

2025

MATEUS COSTA FERREIRA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE SOJA PELO
TESTE DE ALAGAMENTO**

Artigo científico apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – Campus Colorado do Oeste, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica, sob orientação do professor Ernando Balbinot.

COLORADO DO OESTE

2025

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Ferreira, Mateus Costa.

Avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja pelo teste de alagamento / Mateus Costa Ferreira. - Colorado do Oeste, 2025. 24 f.

Orientador(a): Prof. Ernando Balbinot.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Colorado do Oeste, 2025.

1. Comparação de vigor. 2. Estresse hídrico. 3. Glycine max. I. Balbinot, Ernando (orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Roseni Santos Rodrigues, CRB-11/916

FOLHA DE APROVAÇÃO

Artigo científico apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – Campus Colorado do Oeste, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Autor: Mateus Costa Ferreira

Orientador: Ernando Balbinot

Aprovado em: 08 de Dezembro de 2025

Banca Examinadora:

Prof. Ernando Balbinot

Prof. Fabiana da Rocha

Prof. Murilo Vargas da Silveira

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE SOJA PELO TESTE DE ALAGAMENTO

RESUMO: O teste de alagamento pode servir para diferenciar lotes de sementes quanto ao vigor, especialmente para espécies sensíveis à rápida embebição, como a soja, podendo simular a semeadura em solo com excesso de umidade. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do teste de alagamento na determinação do vigor de sementes de diferentes cultivares de soja. Foram utilizados os materiais 80I82RSF IPRO (Olimpo), 8579 RSF IPRO (Bônus), RR 8473 RSF (Desafio) e 81SC120 I2X (Coari), disponíveis para safra 2024/2025, submetidos a cinco períodos de embebição (0, 2, 4, 8 e 16 horas). Após os tratamentos, realizaram-se determinações de teor de água, peso de mil sementes, condutividade elétrica do exsudato, potencial hidrogeniônico do exsudato, teste de germinação e matéria seca de plântulas. Os lotes também foram avaliados quanto à emergência de plântulas em campo, índice de velocidade de emergência e tempo médio de emergência. Os resultados evidenciaram que o teste de alagamento foi eficiente em diferenciar os cultivares quanto à tolerância ao estresse hídrico, destacando-se positivamente o lote de sementes da cultivar Coari, que apresentou maior vigor e capacidade de estabelecimento, enquanto Olimpo foi a mais sensível. O teste de alagamento pode ser usado como ferramenta complementar relevante para o controle de qualidade de sementes de soja.

Palavras-chave: Comparação de vigor; Estresse hídrico; *Glycine max*.

ASSESSMENT OF THE PHYSIOLOGICAL POTENTIAL OF SOYBEAN SEEDS BY THE FLOODING TEST

ABSTRACT: The flooding test can be used to distinguish seed lots in terms of vigor, especially for species sensitive to rapid imbibition, such as soybean, as it simulates sowing under excess soil moisture. This study aimed to evaluate the efficiency of the flooding test in determining the vigor of seeds from different soybean cultivars. The materials 80I82RSF IPRO (Olimpo), 8579 RSF IPRO (Bônus), RR 8473 RSF (Desafio), and 81SC120 I2X (Coari), available for the 2024/2025 season, were subjected to five imbibition periods (0, 2, 4, 8, and 16 hours). After treatments, determinations were made of water content, electrical conductivity of the exudate, hydrogen ion potential of the exudate, germination test, and seedling dry matter. The batches were also evaluated for the weight of one thousand seeds, seedling emergence in the field, emergence speed index, and mean emergence time. The results showed that the flooding test was effective in differentiating cultivars regarding tolerance to water stress. The Coari cultivar exhibited higher vigor and establishment capacity, whereas Olimpo was the most sensitive. Therefore, the flooding test can be used as a relevant complementary tool for soybean seed quality control.

Keywords: Vigor comparison; Water stress; *Glycine max*.

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma cultura de grande relevância econômica para o mundo, diversos produtos são extraídos do processamento dos grãos, além de ser considerada a proteína de origem vegetal com melhor custo benefício para a produção de proteína animal, com carnes, ovos, leite e outros derivados, destaca Associação Brasileira dos Produtores de Soja (APROSOJA, 2024).

A produção mundial de soja na safra 2024/2025 atingiu a marca de 424,2 milhões de toneladas métricas, cultivadas em 146,81 milhões de hectares. Como país de destaque, o Brasil se manteve na liderança do ranking mundial de produção, com 169 milhões de toneladas métricas, produzidas em 47,40 milhões de hectares, de acordo com os dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2025).

Os números expressivos de produção obtidos na sojicultura podem ser atribuídos a diversos fatores, dentre eles, as novas tecnologias de produção e conservação de sementes. O bom desempenho das lavouras depende diretamente da qualidade fisiológica das sementes. Por isso, os testes utilizados em laboratórios de sementes são essenciais para prever o comportamento dos lotes no campo (Miguel *et al.*, 2001).

Os testes de vigor permitem identificar diferenças no desempenho fisiológico entre lotes. O vigor expressa a capacidade da semente germinar e originar plântulas uniformes, mesmo sob condições menos favoráveis (Krzyzanowski; França Neto, 2001). Carvalho *et al.* (2002) também destaca a importância dos testes para proporcionar vantagens econômicas como o descarte de lotes de sementes de baixa qualidade, resultando na redução de custos com armazenamento desnecessário de sementes de baixa qualidade. O autor também chama a atenção para as características fisiológicas das sementes de soja, mostrando ser altamente sensível às condições de ambiente.

Como ferramenta, o teste de alagamento tem se consolidado como uma metodologia eficiente para a avaliação do vigor de sementes de soja, por submeter os lotes a condições de estresse semelhantes às que podem ocorrer no campo, como encharcamento e baixa disponibilidade de oxigênio no solo. A submersão das sementes cria um cenário de estresse que tende a evidenciar diferenças de vigor que não aparecem no teste convencional de germinação, permitindo uma estimativa

mais precisa da capacidade de emergência em condições adversas (Krzyzanowski; França-Neto; Henning, 2020).

Segundo Marcos-Filho (2015), sementes vigorosas apresentam maior tolerância a estresses ambientais, expressando-se em plântulas mais uniformes e de melhor desempenho inicial, característica fundamental para o estabelecimento da cultura. Além disso, estudos como os de Gomes Junior *et al.* (2014) reforçam que testes de estresse, como o de alagamento, apresentam alta correlação com a emergência em campo, o que os torna ferramentas essenciais para programas de controle de qualidade e certificação de sementes.

Embora diversas metodologias para a condução de vários testes de vigor estejam estabelecidos e produzam resultados satisfatórios, sempre haverá a necessidade de atualização e aprimoramento dessas metodologias em relação aos novos métodos de produção e armazenamento de sementes. Além disso, ainda faltam muitas informações sobre o teste de alagamento como ferramenta para distinção do vigor de lotes de sementes, fazendo-se necessária a realização de pesquisas para que sejam fornecidos parâmetros adequados e simples para avaliação de vigor em sementes de soja.

Assim, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a eficiência do teste de alagamento como ferramenta para análise do potencial fisiológico de sementes de soja.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no laboratório de sementes e no campo experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Colorado do Oeste - RO, na latitude 13°07'03" S, longitude: 60°32'28" W, cerca de 460 metros acima do nível do mar, tendo clima tropical úmido do tipo Aw (Beck *et al.*, 2018).

Para realização deste trabalho foram adquiridas sementes de soja sem tratamento da Cooperativa Mista Agroindustrial da Amazônia (COPAMA), localizada no município de Cerejeiras, Rondônia. Os cultivares testados, disponíveis para a safra 2024/2025, foram: 80182RSF IPRO (Olimpo); 8579 RSF IPRO (Bônus); RR 8473 RSF (Desafio) e 81SC120 I2X (Coari), que apresentaram bom desempenho em testes preliminares de qualidade realizados pela cooperativa. Após a aquisição,

os lotes de sementes ficaram armazenados em sala com ar condicionado regulado à temperatura de 22°C, por período de seis meses, até a realização dos testes.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), organizado em um esquema fatorial duplo 4 x 5, sendo quatro cultivares de soja (Bônus, Coari, Desafio e Olimpo), submetidas a cinco períodos de embebição (0, 2, 4, 8, 16 horas), com quatro repetições de 50 sementes, para cada cultivar, totalizando 80 unidades experimentais.

Os lotes de sementes foram avaliados pelos seguintes testes:

Teor de água: foi utilizado o método da estufa, durante 24 horas, a 105°C, com duas repetições de 5,0 g de sementes para cada lote. Os resultados foram expressos em porcentagem (base úmida), conforme recomendações das regras para análise de sementes - RAS (Brasil, 2009).

Peso de mil sementes: foram contadas ao acaso, manualmente, oito repetições de 100 sementes, seguindo a metodologia das RAS.

Teste de alagamento: foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes por tratamento. As sementes foram imersas em 50 mL de água destilada, em copos plásticos, os quais foram mantidos em germinador a 25 °C, no escuro, sendo posteriormente submetidos ao teste de germinação (Brasil, 2009). Foram estudados os períodos de embebição estabelecidos de 0, 2, 4, 8 e 16 horas de embebição, sendo caracterizadas quanto à condutividade elétrica do exsudato, potencial hidrogeniônico do exsudato, peso das amostras umedecidas, teste de germinação e matéria seca de plântulas. As sementes dos lotes também foram avaliadas quanto à emergência de plântulas em campo, índice de velocidade de emergência e tempo médio para emergência.

Condutividade elétrica: foi utilizada metodologia descrita por Krzyzanowski *et al.* (2023), onde as quatro repetições de 50 sementes foram previamente pesadas, submersas em 50 mL de água destilada e mantidas a 25°C, no escuro, conforme os períodos de alagamento (2, 4, 8, 16 horas). Após foi realizada a leitura com medidor de condutividade mCA150, MS TecnoPON. Os resultados obtidos foram expressos em microsiemens por centímetro por grama de semente ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$).

Potencial hidrogeniônico do exsudato: foi realizado após o teste de alagamento, concomitante ao teste de condutividade elétrica. Para obtenção dos resultados utilizou-se o pHmetro digital Microprocessado Mod. DLA-PH, DEL LAB de

bancada. A metodologia é considerada uma adaptação moderna dos testes de pH do exsudato originalmente propostos por Amaral e Peske (1984).

O peso das amostras umedecidas foi realizado avaliando o peso das amostras antes e após cada período de embebição. Durante o teste de alagamento, cada repetição foi pesada imediatamente antes da imersão e novamente ao final de cada intervalo de hidratação (0, 2, 4, 8 e 16 horas). A diferença entre as massas permitiu quantificar a absorção de água pelas sementes em cada tratamento, possibilitando a caracterização da dinâmica de embebição (Bewley & Black, 1994).

Teste de germinação: as amostras geradas no teste de alagamento foram distribuídas proporcionalmente em um arranjo sobre duas folhas de papel germitest e posteriormente coberta por uma folha, previamente umedecidas com quantidade de água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco, sendo mantidas em germinador regulado à temperatura alternada 20 - 30 °C, com fotoperíodo de 12 horas. A contagem de germinação foi realizada no quinto dia após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, de acordo com as definições estabelecidas pelas RAS (Brasil, 2009).

Massa de matéria seca de plântula: as plântulas normais obtidas na contagem da germinação foram separadas em hipocótilo e raiz, descartando os cotilédones. Após separação as sementes foram armazenadas em saquinhos de papel e levadas para secar em estufa Tecnal TE-394/2 com circulação e renovação de ar, a 60 ± 5 °C, por 48 horas. A massa seca obtida, dividida pelo número de plântulas, expressou os resultados em miligramas por plântula das porções aérea (MSA), radicular (MSR) e total (MS). O teste foi adaptado de Nakagawa (1999).

Teste de emergência: foi conduzido em solo, em nível de campo conforme metodologia descrita por Marcos-Filho (2015). Para cada cultivar, foram utilizadas quatro subamostras de 100 sementes, distribuídas em sulcos de 4,0 m de comprimento, a 3,0 cm de profundidade, com espaçamento de 25,0 cm entre sulcos. A irrigação foi realizada sempre que necessário para assegurar condições adequadas de umidade. As plântulas emergidas foram contadas diariamente até o 21º dia após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de emergência.

Índice de velocidade de emergência (IVE): realizado juntamente com o teste de emergência, com contagem diária das plântulas emergidas e calculado pela fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVE = N1/D1 + N2/D2 + \dots + Nn/Dn, \text{ onde:}$$

IVE = índice de velocidade de emergência

N1, N2,, Nn = número de plântulas emergidas a 1, 2, e n dias após a semeadura, respectivamente.

D1, D2,, Dn = número de dias após a implantação do teste.

Tempo médio de emergência (TME): realizado juntamente com o teste de emergência, com contagem diária das plântulas emergidas e calculado pela fórmula de Edmond e Drapala (1958):

$$TM = (E1 \times T1 + E2 \times T2 + \dots + En \times Tn) / (E1 + E2 + \dots + En), \text{ onde:}$$

TM = tempo médio necessário para atingir a emergência máxima em dias;

E = número de plântulas emergidas por dia;

T = tempo em dias.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade pelo teste Shapiro-Wilk, transformação de dados quando necessário (Arcosseno da raiz de X) e análise de variância seguida pelo teste de comparação de médias Tukey, em nível de 5% de probabilidade, e processados pelo Sistema de Análises Estatísticas Sisvar® 5.6 (Ferreira, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para determinação do teor de água e peso de mil sementes (Tabela 1), não foram analisados estatisticamente. A similaridade dos cultivares no intervalo de 6,93 a 7,53% de umidade reflete uma baixa variação no teor de água dos materiais avaliados, o que sugere que os lotes estão dentro da margem de 2% recomendado para garantir a confiabilidade dos resultados (Marcos-Filho, 2015). O peso de mil sementes, isoladamente, não representa o vigor das sementes; entretanto, é um parâmetro útil como complemento em análises que envolvem germinação, pureza e outros testes de qualidade, conforme destacado por Kräuter *et al.* (2008).

O baixo teor de água inicial obtido em todos os materiais avaliados, é considerado abaixo do ideal para a realização de testes fisiológicos, como a condutividade elétrica e o envelhecimento acelerado. De acordo com Vieira *et al.*

(2002), teores muito baixos de água, especialmente abaixo de 10%, podem comprometer a precisão de testes de vigor, pois tornam a membrana celular menos suscetível à lixiviação de solutos, o que pode resultar em subestimativas do dano celular.

Tabela 1 - Médias de teor de água (TA) e peso de mil sementes (PMS) de cultivares de soja utilizadas no teste de alagamento.

Cultivar	TA (%)	PMS (g)
Bônus	7,10	156,1760
Coari	7,53	182,9045
Desafio	6,93	161,7810
Olimpo	7,10	195,7305

Médias obtidas através das metodologias descritas nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Também Vieira *et al.* (2002) estudando sementes de soja com diferentes teores de água (7, 9, 11, 13, 15 e 17 %), concluíram que teores muito baixos ($\leq 10\%$) ou muito elevados ($\geq 17\%$) alteram os resultados do teste de condutividade elétrica, gerando valores mais altos e variabilidade entre lotes.

Mesmo com valores de umidade abaixo do considerado ideal, a resposta observada não apresentou divergências nos resultados dos testes subsequentes, que apresentaram coerência nas informações obtidas para condutividade elétrica do exsudato, potencial hidrogeniônico do exsudato, teste de germinação, matéria seca e emergência em campo.

Na condutividade elétrica do exsudato o período de embebição de 0 horas não foi realizado devido a ausência de exsudato para leitura. Os resultados (Tabela 2) revelaram efeitos significativos para ambos os fatores, cultivares e tempos de embebição, bem como para a interação entre eles, indicando que a lixiviação de eletrólitos variou de forma distinta conforme o genótipo e o período de imersão das sementes.

As respostas dos cultivares variaram conforme o tempo de embebição. No tempo inicial (2 horas), Bônus apresentou valor inferior de condutividade elétrica ($27,82 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$), enquanto Desafio registrou valor superior ($42,32 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$). Em 8 horas, o cultivar Olimpo destacou-se com maior condutividade ($95,27 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$), e Coari manteve valores mais baixos. Já em 16 horas, todos os cultivares

apresentaram valores mais elevados, com destaque novamente para Olimpo (145,60 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$).

Tabela 2 - Condutividade elétrica do exsudato ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) em sementes de cultivares de soja avaliados por diferentes períodos de embebição pelo teste de alagamento.

Cultivares	Períodos de embebição (horas)			
	2	4	8	16
Bônus	27,82 Bd	62,58 Ac	88,97 ABb	139,07 Aa
Coari	33,14 ABc	68,52 Ab	75,95 Bb	118,25 Ba
Desafio	42,32 Ac	55,78 Ac	85,41 ABb	133,66 Aa
Olimpo	39,89 ABd	57,79 Ac	95,27 Ab	145,60 Aa
Coeficiente de variação (%)				9,21

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna (cultivares) e minúsculas na linha (períodos de embebição), diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

A condutividade elétrica reflete a integridade das membranas, quanto maior a perda de solutos durante a embebição, menor tende a ser o vigor, como demonstrado por Marcos-Filho (2015) e reforçado por Vieira *et al.* (2004), que relacionam altos valores de condutividade elétrica com menor emergência de plântulas em campo.

Este comportamento confirma que a elevação do tempo de imersão intensifica a liberação de solutos, resultado esperado devido à maior exposição das sementes ao processo de hidratação, o que facilita a difusão de eletrólitos para a solução (Vieira; Krzyzanowski, 1999; Araújo *et al.*, 2011). Esse padrão demonstra que períodos mais longos de embebição potencializam a sensibilidade do teste para discriminar diferenças fisiológicas entre os lotes. Resultados semelhantes foram relatados por Barros *et al.* (1999), que verificaram maior eficiência do teste de condutividade elétrica em tempos superiores a 12 horas para diferenciar lotes de sementes de soja.

Os resultados também se alinham ao princípio fisiológico descrito por Krzyzanowski *et al.* (2023), segundo o qual a lixiviação de solutos como íons e aminoácidos para a água de embebição ocorre em maior intensidade em sementes com membranas desestruturadas, o que reflete em valores mais altos de

condutividade elétrica e, conseqüentemente, em menor vigor fisiológico. Os autores destacam ainda que sementes com tegumento mais lignificado tendem a apresentar menores valores de condutividade devido à maior resistência à permeabilidade, característica que pode explicar as diferenças observadas entre as cultivares avaliadas.

Contudo os resultados obtidos neste trabalho indicam que, para o teste de condutividade elétrica do exsudato, o período de 16 horas de embebição foi o que proporcionou a melhor diferenciação entre os cultivares, destacando o cultivar Coari que manteve os menores valores de condutividade, indicando melhor integridade de membranas e maior vigor.

Para avaliação do potencial hidrogeniônico do exsudato (Tabela 3), igualmente a condutividade elétrica do exsudato, no período de embebição de 0 horas não foram obtidos dados devido a ausência de exsudato para leitura neste período.

No tempo inicial (2 horas), Bônus apresentou os maiores valores de pH (6,56), diferindo dos demais, enquanto em períodos mais longos, como 8 e 16 horas, a tendência foi de redução e aproximação dos valores entre os cultivares.

Tabela 3 - Potencial hidrogeniônico do exsudato de sementes de cultivares de soja submetidas a diferentes períodos de embebição pelo teste de alagamento.

Cultivares	Períodos de embebição (horas)			
	2	4	8	16
Bônus	6,56 Aa	5,98 Ab	5,47 Cd	5,71 ABc
Coari	6,21 Ba	5,91 Ab	5,64 Bc	5,55 Cc
Desafio	6,28 Ba	5,61 Cc	5,81 Ab	5,75 Ab
Olimpo	6,19 Ba	5,76 Bb	5,65 Bbc	5,59 BCc
Coeficiente de variação (%)				1,14

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna (cultivares) e minúsculas na linha (períodos de embebição), diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Esse padrão sugere que, em tempos curtos, o pH pode ser sensível para identificar diferenças fisiológicas entre materiais, mas em períodos prolongados ocorre estabilização dos valores, o que está de acordo com observações de Vieira e

Krzyzanowski (1999) sobre a influência das condições de hidratação na interpretação dos testes de vigor.

As diferenças observadas indicam que cada cultivar libera quantidades distintas de compostos durante a hidratação, possivelmente devido às características do tegumento e reservas internas, o que pode alterar a acidez da solução, corroborando com a afirmação de Guedes *et al.* (2011) de que o pH pode refletir a integridade das membranas celulares.

Os resultados demonstram que o monitoramento do pH da solução de embebição é uma ferramenta complementar relevante ao teste de condutividade elétrica, pois permite compreender melhor os processos de lixiviação de solutos e a integridade fisiológica das sementes, corroborando com Marcos-Filho (2015), que aponta a importância da interação entre pH e qualidade fisiológica em testes de vigor.

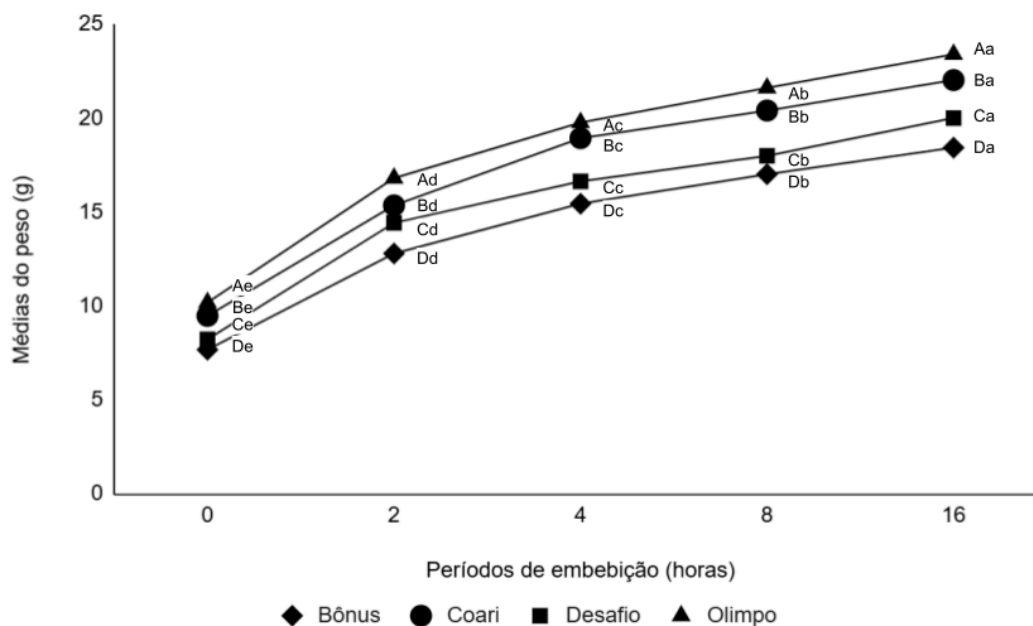
No entanto, a avaliação indicou que no período de 2 horas de embebição, observou-se a maior diferenciação entre os cultivares quanto ao pH do exsudato, indicando diferenças entre os materiais avaliados. Destacando o cultivar Bônus que apresentou o maior valor, portanto, maior vigor. Contudo este resultado pode estar relacionado às características genéticas, uma vez que o cultivar Coari expressou a menor variação de pH, na elevação do período de embebição de 2 para 4 horas, evidenciando menor liberação de compostos ácidos e maior integridade fisiológica das sementes.

Para análise do peso das amostras umedecidas (Gráfico 1) os resultados indicaram que a velocidade e a magnitude da absorção de água variaram entre os materiais avaliados. O cultivar Olimpo apresentou os maiores valores em todos os períodos, enquanto Bônus registrou os menores valores. Esse contraste pode estar associado a diferenças na permeabilidade do tegumento, composição química e estrutura das sementes, fatores destacados por Marcos-Filho (2015) como determinantes na eficiência de hidratação.

Os dados evidenciam a influência genética no tamanho e na absorção de água, uma vez que cultivares de maior massa de semente tendem a apresentar também maior ganho de peso durante a embebição (Carvalho; Nakagawa, 2012). Em relação ao aumento do período de embebição, a variação no ganho de massa das sementes acompanha o padrão trifásico de absorção de água descrito por

Bewley e Black (1994), em que a fase I é marcada por rápida embebição, seguida de estabilização metabólica (fase II) e retomada do crescimento (fase III).

Gráfico 1 - Médias do peso (g) das amostras de sementes de cultivares de soja após diferentes períodos de embebição pelo teste de alagamento.



Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os cultivares dentro de cada período de embebição e letras minúsculas comparam os períodos de embebição dentro de cada cultivar.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025.

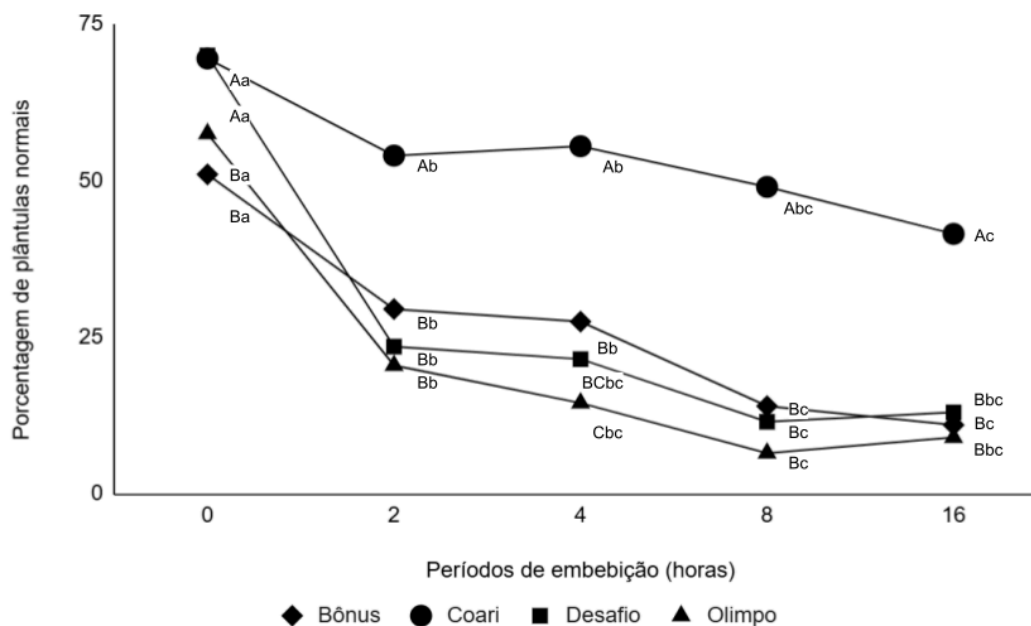
Assim, a comparação entre o peso das sementes hidratadas, associada à avaliação de condutividade elétrica do exsudato e pH do exsudato, fornece uma interpretação mais ampla sobre a qualidade fisiológica, permitindo identificar diferenças entre cultivares e a influência do tempo de embebição, como verificado nos resultados deste estudo.

Na análise de germinação final (Gráfico 2), as avaliações realizadas revelaram que a germinação foi influenciada pelo período de hidratação das sementes.

Em tempo 0, os cultivares Desafio e Coari apresentaram os maiores valores, enquanto Olimpo e Bônus foram inferiores. Contudo, após a embebição, todos os cultivares sofreram reduções expressivas, com valores abaixo de 15% após oito horas de embebição, exceto a cultivar Coari que manteve valores relativamente mais

elevados (acima de 40%) de germinação mesmo por períodos mais prolongados de submersão.

Gráfico 2 - Porcentagem de plântulas normais de cultivares de soja após diferentes períodos de embebição pelo teste de alagamento.



Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam os cultivares dentro de cada período de embebição e letras minúsculas comparam os períodos de embebição dentro de cada cultivar.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025.

Essas diferenças podem estar associadas à integridade fisiológica dos lotes, uma vez que cultivares com maior vigor tendem a manter maior capacidade germinativa em condições de estresse (Marcos-Filho, 2015). Esse comportamento indica que períodos prolongados de alagamento comprometem a viabilidade das sementes, favorecendo a deterioração celular, reduzindo o potencial germinativo, resultado consistente com observações de Krzyzanowski; Vieira e França Neto (1999) sobre os efeitos do excesso de umidade.

Trabalhos como os de Panobianco e Vieira (1996) e Araújo *et al.* (2011) também relatam a importância dos testes de estresse hídrico na diferenciação do vigor de sementes, ressaltando que cultivares mais vigorosos apresentam maior capacidade de manter a germinação sob condições adversas.

Todavia os resultados obtidos nesta avaliação indicaram que, para o teste de germinação, o período de 0 horas de embebição foi o que proporcionou a maior

capacidade germinativa dos cultivares, destacando, Desafio e Coari, com os maiores percentuais. Contudo o alagamento isolou o cultivar Coari com maior desempenho germinativo em todos os períodos, indicando maior potencial fisiológico deste material.

A matéria seca de plântulas, conforme apresentado nas tabelas 4, 5 e 6, evidenciou diferenças de comportamento do hipocótilo e raiz em resposta ao estresse hídrico após os períodos de embebição.

Tabela 4 - Peso da matéria seca aérea das plântulas normais (mg/plântula) de cultivares de soja submetidas a diferentes períodos de embebição pelo teste de alagamento.

Cultivares	Períodos de embebição (horas)				
	0	2	4	8	16
Bônus	12,62 Ba	7,90 Bb	7,10 Bb	6,70 Bb	6,72 Ab
Coari	16,80 Aa	9,88 Ab	9,50 Ab	8,61 Ab	6,35 Ac
Desafio	13,57 Ba	6,42 Bb	5,96 Bb	6,24 Bb	5,37 Ab
Olimpo	13,99 Ba	6,95 Bb	7,35 Bb	3,83 Cc	6,25 Ab
Coeficiente de variação (%)					10,53

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna (cultivares) e minúsculas na linha (períodos de embebição), diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Quando avaliado individualmente a matéria seca da parte aérea, constata-se que entre os genótipos, a cultivar Coari se destaca mais uma vez, com maior acúmulo de biomassa, diferindo estatisticamente das demais em diferentes períodos de alagamento. Os valores decresceram de forma acentuada à medida que o tempo de alagamento aumentou, sendo a ausência de alagamento superior. Esse comportamento reforça a maior sensibilidade da parte aérea das plântulas de soja ao estresse por excesso hídrico, limitando a fotossíntese e o crescimento inicial (Marcos-Filho, 2015; Taiz *et al.*, 2017).

Já para matéria seca radicular, embora os valores absolutos tenham sido menores em relação à parte aérea, observou-se que as diferenças entre cultivares foram menos pronunciadas. Ainda assim, a cultivar Coari manteve tendência de maior acúmulo em alguns períodos, se mantendo semelhante à ausência de estresse hídrico, enquanto 'Desafio' apresentou os menores valores. Em relação ao

tempo de alagamento, os períodos mais longos reduziram drasticamente a matéria seca radicular, indicando prejuízo na absorção e transporte de água e nutrientes, em concordância com observações de Vieira e Carvalho (2014).

Tabela 5 - Peso da matéria seca radicular das plântulas normais (mg/plântula) de cultivares de soja submetidos à diferentes períodos de embebição pelo teste de alagamento.

Cultivares	Períodos de embebição (horas)				
	0	2	4	8	16
Bônus	2,11 Aa	1,87 ABa	2,02 Aa	2,00 Aa	1,83 Aa
Coari	2,53 Aa	2,35 Aab	2,10 Aab	1,75 Ab	1,69 Ab
Desafio	2,44 Aa	1,65 Bb	0,91 Bc	1,82 Aab	1,44 Abc
Olimpo	2,37 Aa	1,46 Bb	2,29 Aa	1,56 Ab	2,01 Aab
Coeficiente de variação (%)					18,77

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna (cultivares) e minúsculas na linha (períodos de embebição), diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Considerando a matéria seca total, a cultivar Coari novamente apresentou desempenho superior, evidenciando maior capacidade de tolerar condições de alagamento. Quanto ao fator tempo, a redução progressiva do acúmulo de matéria seca foi nítida, com tempo 0 apresentando os maiores valores e 16 horas os menores.

Tabela 6 - Peso da matéria seca total (MS) das plântulas (mg/plântula) de cultivares de soja submetidas à diferentes períodos de embebição pelo teste de alagamento.

Cultivares	Períodos de embebição (horas)				
	0	2	4	8	16
Bônus	14,74 Ba	9,77 Bb	9,13 Bb	8,70 ABb	8,55 Ab
Coari	19,34 Aa	12,23 Ab	11,61 Ab	10,36 Ab	8,05 Ac
Desafio	16,02 Ba	8,07 Bb	6,87 Cb	8,06 Bb	6,81 Ab
Olimpo	16,37 Ba	8,42 Bb	9,64 ABb	5,40 Cc	8,27 Ab
Coeficiente de variação (%)					10,49

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna (cultivares) e minúsculas na linha (períodos de embebição), diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Esse resultado demonstra que o estresse hídrico por alagamento limita severamente o crescimento vegetal e compromete o vigor das plântulas, o que está de acordo com a fisiologia do estresse em plantas (Marcos-Filho, 2015; Taiz *et al.*, 2017).

Dessa forma concluí-se que sementes que originaram plântulas com maior acúmulo de matéria seca tendem a apresentar melhor desempenho em condições de estresse, já que o conteúdo de biomassa está diretamente relacionado ao vigor e à longevidade do lote (Nakagawa, 1999). De acordo com Krzyzanowski; França-Neto e Henning (2020), a determinação da matéria seca de plântulas é um teste complementar que auxilia na diferenciação entre lotes com germinação semelhante, mas com potenciais fisiológicos distintos.

Resultados semelhantes foram descritos por Gomes Junior *et al.* (2014), que verificou forte associação entre maior acúmulo de matéria seca e melhor desempenho de sementes de soja em condições adversas, confirmando a relevância dessa variável como indicadora da qualidade fisiológica.

Os resultados de emergência de plântulas em campo estão apresentados em índice de velocidade de emergência, tempo médio de emergência e porcentagem de emergência (Tabela 7), os quais permitem compreender o comportamento dos cultivares quanto à emergência a campo.

Tabela 7 - Médias de índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME) e porcentagem de emergência (%) de cultivares de soja.

Cultivares	IVE	TME	Emergência (%)
Bônus	28,60 B	7,39 A	53,00 BC
Coari	68,86 A	9,24 A	77,75 A
Desafio	43,82 B	8,06 A	62,25 B
Olimpo	23,62 B	7,92 A	42,00 C
Coeficiente de variação (%)	25,59	12,50	12,39

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna (cultivares), diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

A diferença entre os cultivares considerando o IVE, destaca que a cultivar Coari, apresentou o maior valor (68,86), diferindo das demais. Esse resultado indica maior vigor e rapidez no processo de emergência, uma vez que sementes mais

vigorosas tendem a originar plântulas com maior velocidade e uniformidade de estabelecimento em campo. De acordo com Marcos-Filho (2015), o índice de velocidade de emergência é um dos parâmetros mais sensíveis para avaliar o vigor de sementes, pois reflete a capacidade de rápida mobilização das reservas e adaptação das plântulas em condições adversas. Resultados semelhantes foram descritos por Gomes Junior *et al.* (2014), que associaram maiores valores de IVE a lotes de soja de maior qualidade fisiológica, evidenciando sua importância na diferenciação entre genótipos.

Para o tempo médio de emergência, não foram verificadas diferenças entre os cultivares, embora os valores tenham variado de 7,39 dias em 'Bônus' até 9,24 dias em 'Coari'. A ausência de diferenças entre os materiais mostra que esse parâmetro, isoladamente, apresenta menor sensibilidade para distinguir o vigor entre lotes, quando comparado ao IVE. Segundo Nakagawa (1999), o TME é útil para descrever a distribuição da emergência ao longo do tempo, mas pode não discriminar eficientemente cultivares quando os lotes apresentam potencial fisiológico semelhante.

Krzyzanowski; França-Neto e Henning (2020) ressaltam que a utilização conjunta de diferentes variáveis, como tempo médio de emergência e índice de velocidade de emergência, aumenta a precisão das inferências sobre a qualidade fisiológica das sementes, destacando que o tempo médio de emergência funciona melhor como complemento de outros testes do que de forma isolada.

A porcentagem de germinação em campo, apresentou diferenças entre os cultivares, com destaque novamente para a cultivar Coari (77,75%), que superou as demais, enquanto 'Olimpo' apresentou o menor valor (42,00%). Esses resultados confirmam que cultivares com maior vigor tendem a originar plântulas com maior taxa de estabelecimento em condições reais de cultivo.

Segundo Marcos-Filho (2015), a germinação em campo é um parâmetro que integra o efeito de diversos fatores ambientais, servindo como teste complementar ao de laboratório. Além disso, Krzyzanowski; França-Neto e Henning (2020) destacam que a germinação em condições naturais é uma das formas mais seguras de avaliar o desempenho prático das sementes, uma vez que simula diretamente o ambiente de produção.

Os resultados obtidos para índice de velocidade de emergência, tempo médio de emergência e germinação demonstraram que a cultivar Coari se destacou pelo

maior vigor e capacidade de emergência em campo, confirmando sua superioridade fisiológica em relação às demais cultivares avaliadas. O índice de velocidade de emergência mostrou-se eficiente para discriminar o desempenho entre os genótipos, o tempo médio de emergência apresentou menor sensibilidade, sendo mais útil como variável complementar.

A emergência em campo reforçou os resultados do índice de velocidade de emergência, confirmando a maior capacidade de estabelecimento de plântulas do lote da cultivar Coari. Assim, a integração dessas variáveis evidencia a relevância da emergência em campo como parâmetro essencial na avaliação da qualidade fisiológica de sementes, em concordância com Krzyzanowski; França-Neto e Henning (2020).

4. CONCLUSÃO

O alagamento por período de 16 horas foi o que melhor diferenciou os lotes de sementes, especialmente pela condutividade elétrica do exsudato, que apresentou a maior amplitude entre valores e maior sensibilidade ao estresse.

O período de duas horas destacou diferenças iniciais pelo pH do exsudato, antes da acidificação generalizada da solução.

O teste de germinação após o alagamento por apenas duas horas foi eficiente para a seleção dos lotes de sementes de soja.

Coari foi o cultivar de maior vigor e maior tolerância ao alagamento, apresentando menor condutividade elétrica do exsudato, maior massa de matéria seca de plântula, maior germinação, melhor emergência em campo e maior índice de velocidade de emergência.

O lote de sementes do cultivar Olimpo apresentou o menor desempenho, sendo a mais sensível ao estresse hídrico por alagamento.

O teste de alagamento, associado à análises complementares, mostrou-se uma ferramenta eficaz para avaliar o potencial fisiológico de sementes de soja, sendo interessante a sua utilização para distinção de lotes de sementes para uso em condições de risco de estresse por excesso hídrico.

REFERÊNCIAS

- APROSOJA – Associação Brasileira dos Produtores de Soja. **A soja: a origem do grão**. Brasília, DF: APROSOJA, 2023. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/>. Acesso em: 5 abr. 2024.
- AMARAL, A. S.; PESKE, S. T. Avaliação da viabilidade de sementes através do teste de pH do exsudato. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 6, n. 1, p. 23–28, 1984.
- ARAÚJO, R. F.; SILVA, C. B.; CICERO, S. M. Teste de condutividade elétrica em sementes de soja: tempo de embebição e volume de água. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 1, p. 123-130, 2011.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 395 p.
- BARROS, A. S. R.; VIEIRA, R. D.; PANOBIANCO, M. Teste de condutividade elétrica para avaliação do vigor de sementes de soja submetidas a diferentes períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 21, n. 2, p. 1-9, 1999.
- BECK, Silke; MAHONY, Martin. The IPCC and the new map of science and politics. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 9, n. 6, p. e547, 2018. DOI: 10.1002/wcc.547.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum Press, 1994. ISBN 978-0-306-44748-8.
- CARVALHO, J. A. *et al.* Testes rápidos para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de Citromelo Swingle. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 1, p. 263-270, 2002.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. ISBN 978-85-7805-090-0.
- EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v. 71, p. 428-434, 1958.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.
- GOMES JUNIOR, F. G. *et al.* Avaliação do vigor de sementes de soja por meio do teste de comprimento e matéria seca de plântulas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 36, n. 1, p. 27-34, 2014.
- GUEDES, R. S. *et al.* Condutividade elétrica e pH da solução de embebição na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de feijão-mungo-verde. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 3, p. 520-531, 2011.

KRÄUTER, R. F. *et al.* Padrões para germinação, pureza, umidade e peso de mil sementes em análises de sementes de espécies florestais nativas do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 2, p. 183-191, 2008.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; PRADO, J. P. do; HENNING, F. A. **Teste de condutividade elétrica para avaliar o vigor da semente de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2023. 20 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 199).

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. ISBN 978-65-992000-0-7.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B. Vigor de sementes. **Informativo ABRATES**, v. 11, n. 3, p. 81, 2001.

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aids in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>. Acesso em: 8 dez. 2025.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015. ISBN 978-85-64895-03-4.

MIGUEL, M. H. *et al.* Teste de frio para avaliação do potencial fisiológico de sementes de algodão. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 4, p. 741-746, 2001.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. *In*: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. (org.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 2.1-2.24.

PANOBIANCO, M.; VIEIRA, R. D. Electrical conductivity of soybean seed and its relationship to field emergence. **Seed Science and Technology**, v. 24, n. 3, p. 537-546, 1996. <https://doi.org/10.15258/sst.1996.24.3.16>. Acesso em: 8 dez. 2025.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

USDA. United States Department of Agriculture. **World Agricultural Production**. Circular Series, Washington, D.C.: USDA, Foreign Agricultural Service, Global Market Analysis, 2024. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 26 set. 2025.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Teste de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 2014.

VIEIRA, R. D. *et al.* Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, p. 1333-1338, 2002.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. *In*: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. (org.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES - Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, 1999. p. 1-26.

VIEIRA, R. D.; SCAPPA NETO, A.; BITTENCOURT, S. R. M.; PANOBIANCO, M. Electrical conductivity of the seed soaking solution and soybean seedling emergence. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 2, p. 164-168, 2004.
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000200008>. Acesso em: 8 dez. 2025.