

CIRCULAR TÉCNICA

199

Londrina, PR
Outubro, 2023

Teste de condutividade elétrica para avaliar o vigor da semente de soja

Francisco Carlos Krzyzanowski, José Barros França-Neto,
Jessica Pavão do Prado, Fernando Augusto Henning



Teste de condutividade elétrica para avaliar o vigor da semente de soja¹

Introdução

O processo de deterioração da semente é conceituado como um processo inexorável, irreversível, mínimo na maturação fisiológica e seu progresso varia entre as cultivares de soja em função de diversos fatores, dentre os quais destacam-se o conteúdo de lignina na vagem e no tegumento (Krzyzanowski et al., 2022a). É inexorável porque é inevitável, é possível reduzir o seu avanço, mas não é possível pará-lo. É irreversível porque quando ele se inicia não é possível retroagir ao ponto inicial da qualidade da semente.

Portanto, deterioração e vigor são processos fisiológicos intimamente relacionados, pois decorrente do avanço da deterioração existe uma correspondente redução do vigor da semente (Krzyzanowski et al., 2022b).

Uma das primeiras manifestações da deterioração que ocorre na semente é a desestruturação das membranas celulares, pela peroxidação dos fosfolípidos presentes em sua constituição (Figuras 1 e 2).

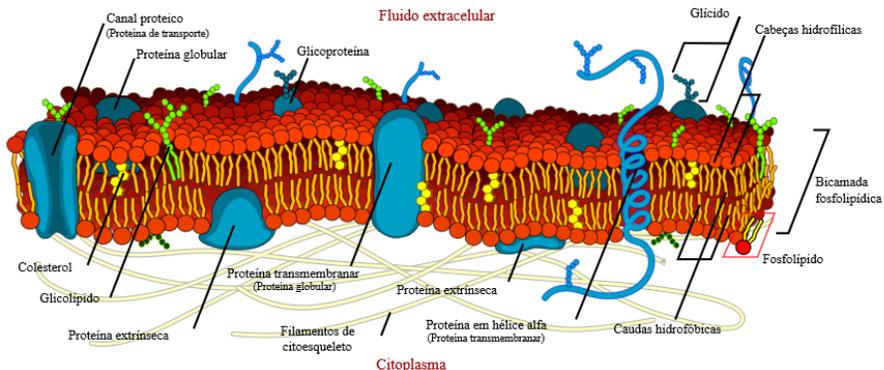


Figura 1. Ilustração da membrana plasmática mostrando os fosfolípidios e proteínas.

Fonte: Bellairs e Rysavy (2018).

¹ **Francisco Carlos Krzyzanowski**, engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Tecnologia de Sementes, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **José de Barros França-Neto**, engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Tecnologia de Sementes, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; **Jessica Pavão do Prado**, engenheira-agrônoma, mestre em Agronomia - Produção Vegetal, UNESP, Jaboticabal, SP; **Fernando Augusto Henning**, engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências e Tecnologia de Sementes, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

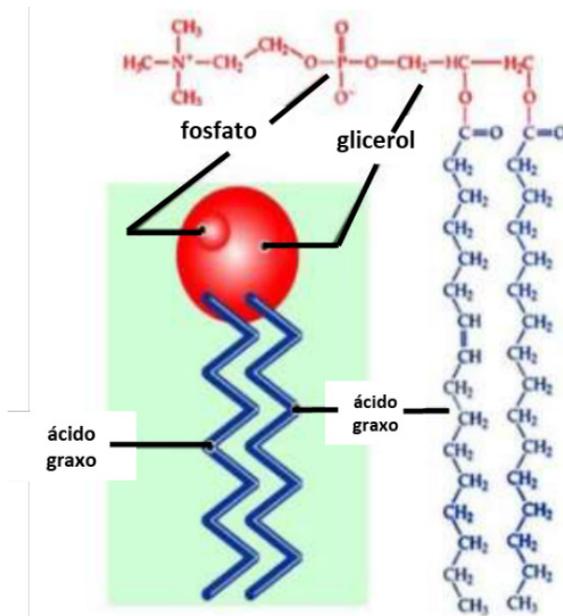


Figura 2. Molécula de fosfolípido mostrando os componentes: ácido graxo, fosfato e glicerol.

Fonte: Bellairs e Rysavy (2018).

O teste de condutividade elétrica está fundamentado na quantidade de liberação de solutos, aminoácidos e íons inorgânicos na água de embebição da semente, o que é decorrente da integridade das membranas celulares. Portanto, é um teste bem sensível para a detecção do início da queda do vigor da semente, que é a degradação das membranas celulares (Delouche; Baskin, 1973). Portanto, indica o grau de integridade das membranas celulares, o que reflete indiretamente no nível de deterioração da semente.

A restauração da integridade das membranas celulares depende do estado fisiológico da semente. Nas sementes de alto vigor, quando postas para embeber, as suas membranas passam mais rapidamente da forma hexagonal para a bilamelar.

Em sementes secas colocadas para embeber em água, ocorre a lixiviação de solutos das células para o meio exterior durante um determinado período de tempo e, gradativamente, a forma bilamelar das membranas é restabelecida durante esse processo de embebição, ao mesmo tempo em que a liberação

de exsudatos vai sendo reduzida. Portanto, quanto menor o valor medido de condutividade, maior será o vigor da semente.

A integridade das membranas é fundamental para a normalidade de reações químicas em células vivas, bem como para a preservação da compartimentalização celular. A integridade afeta diretamente a permeabilidade seletiva, permitindo a formação de barreira eficiente para evitar a lixiviação de solutos celulares.

A integridade do sistema de membranas é garantida quando as sementes estão com 25% de água. A Figura 3 mostra a representação esquemática das alterações da sua estrutura, que ocorrem durante os processos de secagem (forma hexagonal) e de reidratação (forma bilamelar), afetando a permeabilidade seletiva.

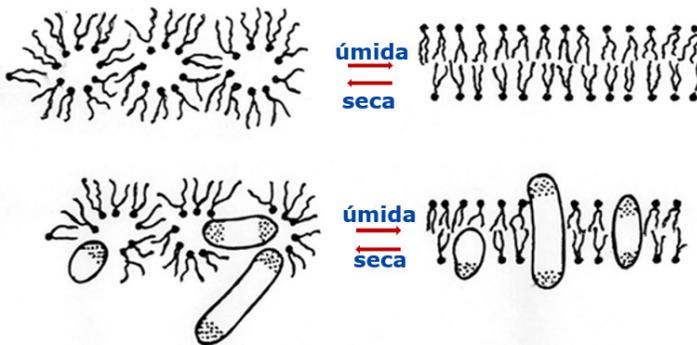


Figura 3. Alterações na configuração dos fosfolípidos das membranas celulares durante a embebição e desidratação.

Fonte: Bewley e Black (1994).

O teste de condutividade elétrica é um dos mais importantes para a avaliação do vigor de sementes de várias espécies e tem sido mais recomendado para aquelas que produzem sementes relativamente grandes, como as fabáceas (soja, ervilha, feijão e outras, chamadas sementes ortodoxas), conforme destacaram Hampton e TeKrony (1995), AOSA (2002) e Baalbaki et al. (2009).

Para serem armazenadas, as sementes ortodoxas passam pelo processo de secagem e, na secagem, a membrana celular converte-se da forma bilamelar para a forma hexagonal. Isso permite a sobrevivência das sementes no estágio de latência (dormência decorrente da dessecação), onde as atvida-

des metabólicas são mínimas, preservando as suas qualidades fisiológica e sanitária.

Os primeiros pesquisadores que utilizaram o teste de condutividade elétrica para avaliar o vigor de sementes foram Fick e Hibbard (1925) e Hibbard e Miller (1928). Eles verificaram que a condutividade da solução durante a embebição de sementes de trevo, capim timóteo, milho, feijão, trigo e ervilha era inversamente proporcional à germinação.

Priestley (1958) adaptou esse conhecimento para a análise de sementes de algodão. Ele utilizou amostras de sementes com diferentes porcentagens de germinação e verificou que a condutividade elétrica da solução aumentava à medida que a germinação decrescia; nessa época, o conceito de avaliação do vigor de sementes ainda não estava bem definido.

A primeira referência ao uso da condutividade elétrica para a determinação do vigor de sementes é atribuída a Thomas (1960), que constatou que os resultados da condutividade elétrica e do teste de frio em sementes de mamona estavam associados à emergência de plântulas em campo. Com a evolução do conhecimento, após estudos minuciosos, Matthews e Bradnock (1967) desenvolveram um protocolo detalhado para a avaliação do vigor de sementes de ervilha e a estimativa da porcentagem de emergência de plântulas em campo.

A integridade das membranas é fundamental para a normalidade de reações químicas em células vivas, bem como para a preservação da compartimentalização celular. A integridade afeta diretamente a permeabilidade seletiva, permitindo a formação de barreira eficiente para evitar a lixiviação de solutos celulares.

O teste de condutividade elétrica é citado pela Associação Internacional de Análise de Sementes (ISTA, 2011) como um dos testes de vigor mais promissores, uma vez que apresenta base teórica consistente, objetividade, rapidez, facilidade de execução e possibilidade de ser padronizado como teste rotineiro devido sua reprodutibilidade (Vieira, 1994a; Vieira; Krzyzanowski, 1999).

A condutividade elétrica é relatada como um teste bioquímico para avaliar o vigor (Hampton; TeKrony, 1995) com base em dois princípios: um físico, relacionado à avaliação da corrente elétrica, por meio de uma ponte de con-

utividade na solução de embebição, e um biológico, que se refere à perda de líquidos do interior da célula para o meio exterior, envolvendo processos bioquímicos relacionados à integridade das membranas celulares (Vieira, 1994b; Vieira; Krzyzanowski, 1999).

O teste de condutividade elétrica pode ser realizado pelos métodos de massa (Figura 4) ou individual (Figura 5). No primeiro, após certo período de imersão de uma amostra de sementes em água, a condutividade é medida, o que indicará o nível de vigor da amostra. No método individual, cada semente é colocada para embeber em água, em compartimentos individualizados, sendo que o resultado expressa a situação de cada semente (Vieira; Krzyzanowski, 1999).

No método de massa, a avaliação é realizada por meio de um condutímetro cujo eletrodo introduzido na solução de embebição mede a intensidade da passagem da corrente elétrica oriunda da fonte. A unidade de medida pode ser em $\mu\text{mho}\cdot\text{cm}^{-1}$ ou $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no condutímetro, na temperatura de 25 °C.

Foto: Francisco Carlos Krzyzanowski



Figura 4. Condutímetro de massa para medir a condutividade elétrica da solução de embebição.

Na avaliação da condutividade individual da semente o condutímetro dispõe de um terminal com múltiplos eletrodos e uma bandeja com recipientes individuais onde a semente é posta para embeber e lixiviar. O terminal de medição é acoplado à bandeja de lixiviação e a leitura da condutividade é realizada (Figura 5).

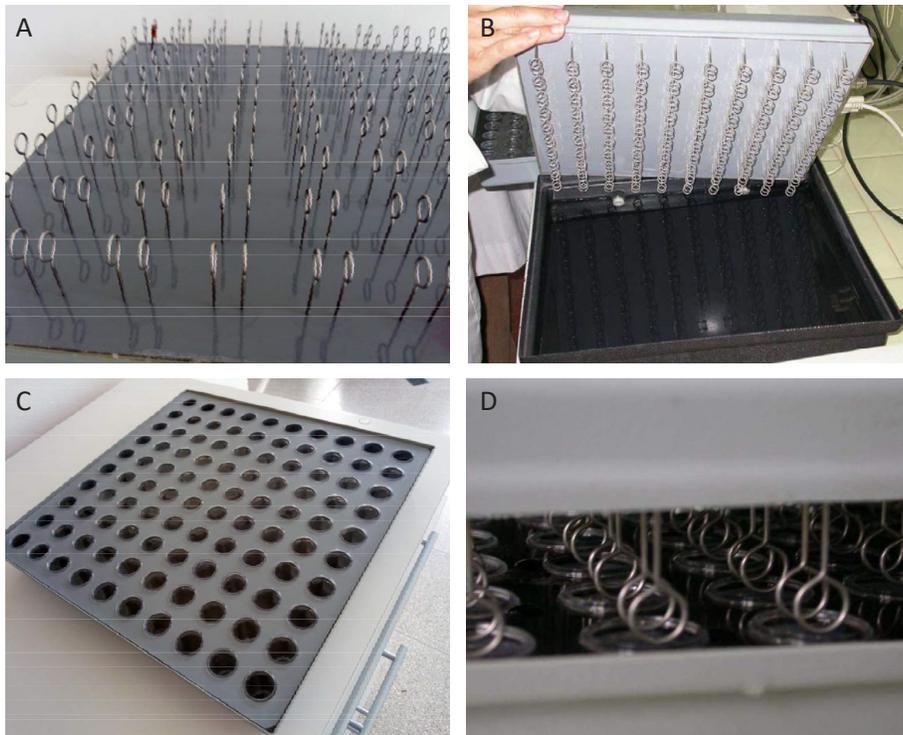


Figura 5. Terminal de medição com os eletrodos (A e B), bandeja de lixiviação (C) e acoplamento do terminal com a bandeja (D).

Fonte: Gallo et al. (2019).

Fatores que podem afetar os resultados do teste de condutividade elétrica (CE)

Maturação da semente

A integridade das membranas é alterada durante o processo de maturação. Na semente madura o sistema de membranas apresenta máximo grau de organização independente da fase, bilamelar quando úmida ou hexagonal quando seca. A avaliação da permeabilidade do sistema de membranas celulares permite acompanhar a evolução do processo de maturação da semente de soja, caracterizar o ponto de maturidade fisiológica e o início do processo de deterioração (Marcos-Filho et al., 1982).

Tamanho das sementes

Considerando que a semente de soja é classificada por tamanho por meio de peneiras, onde as diferenças podem ser de 1 mm ou 0,5 mm entre peneiras, é importante considerar a taxa de retenção de peneiras no tamanho da semente da amostra a ser avaliada. Por isso é importante dividir o resultado da CE, dado em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, pelo peso da amostra em gramas, obtendo-se o resultado em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$, o que estabiliza os resultados, reduzindo grandes diferenças de leitura CE.

Genótipo

No caso específico da soja, a presença de lignina no tegumento da semente interfere na quantidade de lixiviados e, portanto, na CE das sementes de cada cultivar (Panobianco et al., 1999). Sementes de cultivar com maior teor de lignina apresentam índices de CE menores em relação às sementes de cultivares com menor teor, mesmo produzidas nas mesmas condições edafoclimáticas e ciclo de maturação.

Presença de patógenos

Sementes de soja infectadas por *Phomopsis sojae* podem ter o resultado da CE alterado para menos, indicando, portanto, maior vigor, visto que fungos podem utilizar nutrientes liberados pela semente, inclusive íons durante o processo de embebição (Panizzi et al., 2005; Wain-Tassi et al., 2012). Além disso, sabe-se que sementes de soja com infecção superficial por *Phomopsis* sp. e *Fusarium* spp. podem apresentar boa emergência em campo ou em substrato de areia e baixa germinação em laboratório, quando o teste é realizado em rolo de papel (Henning; França-Neto, 1980).

Grau de umidade da semente

Sementes de soja com grau de umidade menor de que 10%, quando postas para embeber, irão lixiviar mais, obtendo, portanto, leituras mais altas de CE, sem necessariamente serem sementes de menor vigor. Para soja, graus de

umidade entre 11% a 15% não interferem significativamente nos resultados da CE (Vieira et al., 2002). Sugere-se corrigir os resultados para 13% de umidade, utilizando a seguinte equação de correção de resultados:

$$CE = [0,3227 + 0,05115 (TA)] \times CE_0$$

onde:

CE = condutividade elétrica corrigida ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$)

TA = teor de água (%)

CE₀ = condutividade elétrica observada ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$)

Ocorrência de danos mecânicos

Sementes que sofreram impactos na operação de colheita e no transporte na Indústria de Beneficiamento de Sementes (IBS) lixiviarão mais quando postas para embeber, devido aos rompimentos no tegumento, o qual perde a sua função regulatória, resultando em leituras maiores de CE. Sugere-se avaliar a taxa de ocorrência de dano mecânico na matéria prima a ser recebida e beneficiada, por meio dos testes de tetrazólio (França-Neto; Krzyzanowski, 2022) e do hipoclorito de sódio (Krzyzanowski et al., 2023), para avaliar os danos mecânicos imediatos, latentes e os não aparentes, conhecidos como microfissura.

Tratamento químico da semente

Sementes de soja podem ser tratadas com diversos produtos, incluindo fungicidas, inseticidas, micronutrientes, reguladores de crescimento, hormônios, inoculantes, polímeros, corantes, pigmentos e pó-secantes. Conforme relatado por Vieira e Marcos-Filho (2020), a composição química do produto, principalmente quando inclui resíduos metálicos, pode afetar os resultados do teste de condutividade elétrica. Entretanto, como aparentemente poucos produtos disponíveis para o tratamento de sementes apresentam tais resíduos em sua composição, é possível supor que o tratamento químico geralmente não tem influência nos resultados. No entanto, sugere-se cautela na interpretação de testes conduzidos com sementes tratadas, especialmente quando ocorrer(em) discrepância(s) não esperadas. Uma alternativa para essa limi-

tação, seria a lavagem das sementes com metanol, antes da instalação do teste com sementes submetidas a tratamento químico com qualquer produto (AOSA, 1983).

Materiais e Equipamentos

Água

Recomenda-se a utilização de água deionizada ou destilada, considerando que a sua condutividade não esteja acima de $5 \mu\text{mho.cm}^{-1}$ ou $\mu\text{S.cm}^{-1}$ na temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Esta é a temperatura sob a qual a água deve ser armazenada por, pelo menos, 24 horas antes da embebição das sementes (Vieira; Krzyzanowski, 1999).

Recipientes para embebição das sementes e volume de água no método condutividade de massa

Para maior praticidade no uso de recipiente para a embebição das sementes de soja, sugere-se o uso de copos plásticos descartáveis, com capacidade de 200 mL, 40 mm de diâmetro de base e altura de 78 mm (Figura 6).

Foto: Francisco Carlos Krzyzanowski



Figura 6. Recipiente para embebição das sementes no teste de condutividade elétrica.

Germinador ou BOD

Esses equipamentos devem prover para a semente de soja a temperatura constante de 25 °C durante o período de embebição (Vieira, 1994b; Vieira; Krzyzanowski, 1999) com a mínima variação possível de + ou - 1 °C (Figura 7). Variações para mais da temperatura de condicionamento da semente influenciam o resultado, aumentando os valores de condutividade medidos pelo condutímetro.

Fotos: Francisco Carlos Krzyzanowski



Figura 7. Sementes de soja mantidas no interior da câmara durante o período de embebição.

Grau de umidade da semente

O grau de umidade das semente de soja a serem submetidas ao teste de CE deve ser entre 10% a 13% base úmida. Diferenças superiores a 2,0 pontos percentuais (p.p.) no grau de umidade das sementes das amostras comparadas são suficientes para alterar os resultados do teste, interferindo no ranqueamento dos lotes, pois sementes mais úmidas tendem ter menores valores de condutividade elétrica porque têm o sistema de membranas mais bem estruturados. Portanto, o grau de umidade da semente deve ser conhecido antes da instalação do teste. Sendo recomendável avaliar amostras com teores de água semelhantes, isto é, dentro da variação tolerada. Sugere-se ajustar o grau de umidade de cada amostra para um nível padrão de 12,0%, mediante secagem em estufa ou umedecimento da amostra em atmosfera úmida (Vieira; Marcos-Filho, 2020), ou utilizar o fator de correção para ajustar a leitura da condutividade elétrica de semente de soja, considerando o padrão 13% de água conforme equação (Vieira et al., 2002):

$$CE = [0,3227 + 0,05115 (TA)] \times CE_0$$

onde:

CE = condutividade elétrica corrigida ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)

TA = teor de água (%)

CE₀ = condutividade elétrica observada ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)

Recomenda-se que a determinação do grau de umidade da semente seja efetuada pelo método da estufa (Brasil, 2009).

Amostragem e embebição das sementes

Sugere-se a utilização de quatro repetições de 50 sementes, obtidas ao acaso da fração de sementes puras. A pesagem de cada repetição deve ser efetuada com precisão mínima de 0,01 g (Figura 8). Cada repetição deve ser colocada no copo plástico onde será adicionada água deionizada ou destilada, conforme especificada anteriormente (Figura 9). Após a colocação das sementes e da água, cada recipiente deverá ser coberto com uma lâmina de alumínio ou filme plástico e colocado em câmara regulada na temperatura de 25 °C por 24 horas, para a embebição.

Considerando o tempo necessário de 2 minutos para ler uma amostra, um conjunto de 10 amostras por vez deverão ser colocadas num intervalo de 20 minutos, permitindo a operacionalidade da leitura da condutividade. Recomenda-se que a temperatura do ambiente de leitura seja de 25 °C, isto é, a mesma da câmara de embebição.

Fotos: Francisco Carlos Krzyzanowski

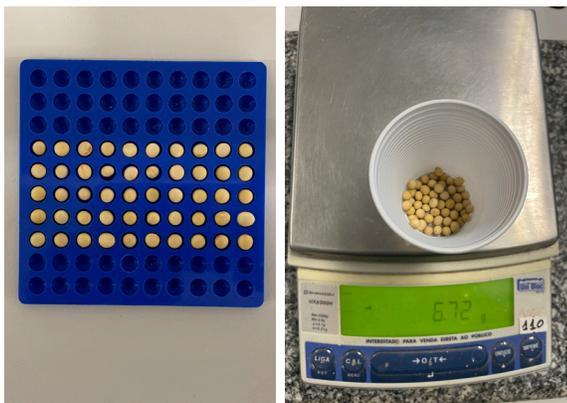


Figura 8. Amostra de 50 sementes (uma repetição) e pesagem dessas 50 sementes em balança com precisão de 0,01 g.

Fotos: Francisco Carlos Krzyzanowski

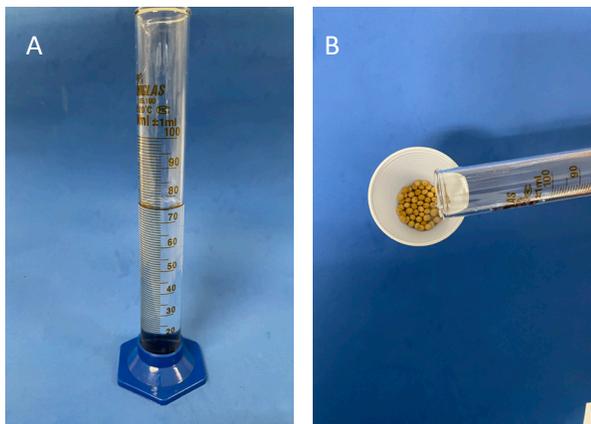


Figura 9. Proveta com 75 mL de água deionizada (A) e adição da água no copo de embebição (B).

Leitura da condutividade elétrica e interpretação dos resultados

O condutímetro deve ser instalado em uma sala exclusiva para a realização do teste de CE, que deve dispor de corrente elétrica estabilizada, sem circulação de pessoas e sem correntes de ar, pois são fatores que podem interferir no resultado.

A célula do condutímetro deve ser armazenada imersa em água deionizada ou destilada e em ambiente escuro obtido pelo revestimento com lâmina de alumínio, para evitar o desenvolvimento de algas na água de imbebição e no próprio eletrodo, o que poderá causar possíveis erros na leitura da CE (Figura 10).

Foto: Francisco Carlos Krzyzanowski



Figura 10. Eletrodo do condutímetro de massa protegido no escuro, com lâmina de folha de alumínio.

A calibração do condutímetro deve ser realizada semanalmente, quando em uso rotineiro do teste de condutividade elétrica. O equipamento deve ser ligado 15 minutos antes do seu uso e irá aparecer na tela a solicitação para colocar a célula sensora na solução padrão que acompanha o aparelho, cuja leitura deverá ser $1412 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Figura 11).

Fotos: Francisco Carlos Krzyzanowski

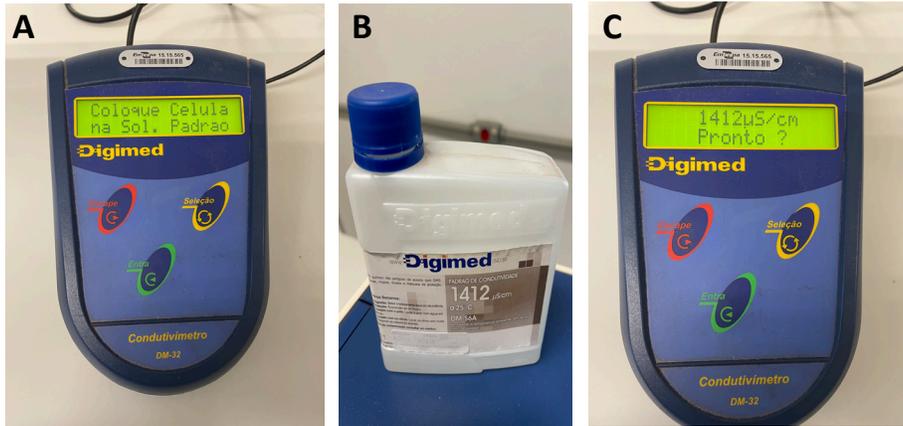


Figura 11. Painel do condutímetro (A), solução padrão (B) e resultado da leitura da solução padrão (C).

Antes de iniciar a leitura das amostras, é importante efetuar a leitura da condutividade elétrica da água destilada ou deionizada, cuja condutividade deve ser inferior a $5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ou $5 \mu\text{mho}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Figura 12).

Fotos: Francisco Carlos Krzyzanowski



Figura 12. Medição da CE da água de embebição.

Após a leitura da CE da água de embebição, o eletrodo (célula) do condutímetro deve ser lavado (Figura 13).



Figura 13. Lavagem e secagem do eletrodo.

A leitura da condutividade elétrica das amostras em avaliação deve ser realizada num intervalo máximo de 15 minutos após a retirada das mesmas da câmara onde foram colocadas para embeber, visando assegurar que as leituras sejam realizadas sem variação de temperatura da solução. Antes da leitura, visando a distribuição uniforme dos lixiviados na solução, cada recipiente deve ser suavemente agitado por cinco a dez segundos e a leitura realizada mediante a imersão do eletrodo na solução até cobri-lo totalmente, mas sem tocar nas sementes depositadas no fundo do recipiente (Figura 14).



Figura 14. Terminal de leitura imerso na solução de embebição cobrindo o eletrodo e sem tocar nas sementes.

Quando da leitura da CE das amostras em avaliação (Figura 15), os resultados deverão ser divididos pelo peso inicial de cada repetição e o resultado da amostra será a média das quatro repetições. Caso ocorra diferença acima de $5 \mu\text{mho.cm}^{-1}$ ou $5 \mu\text{S.cm}^{-1}$ entre repetições, o teste deverá ser repetido para essa amostra (Hampton; TeKrony, 1995).

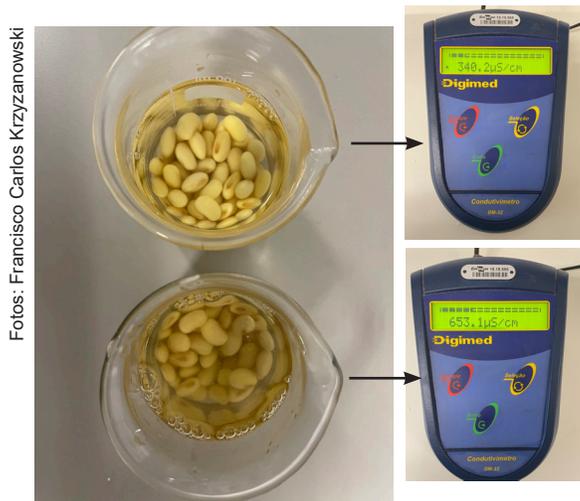


Figura 15. Resultados de leitura de duas amostras de sementes de soja com diferentes níveis de vigor: amostra superior apresenta qualidade fisiológica melhor em relação à amostra inferior na foto.

Dividindo o valor da CE (em $\mu\text{S.cm}^{-1}$), pelo peso da amostra em gramas, obtem-se o resultado em $\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$. Assim, na Figura 14 acima, dividindo a leitura obtida de $340,2 \mu\text{S.cm}^{-1}$ por 6,68 gramas, que é o peso da primeira amostra, resulta em $50,92 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ de CE; no segundo exemplo $653,2 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ dividido por 6,81 gramas resulta $95,91 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ de CE.

Na avaliação do vigor da semente de soja com base no resultado da condutividade elétrica sugere-se a seguinte classificação (Tabela 1) proposta por Prado et al. (2019).

Tabela 1. Indicações do uso de lotes de sementes de soja, em função do valor da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) do lote (Prado et al., 2019).

CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)	Vigor	Indicação de uso do lote de sementes
< 70	Muito Alto	Bom desempenho dos lotes de sementes em campo, sob condições de baixa umidade do solo.
71 a 90	Alto	
91 a 110	Médio	Lotes inapropriados para semeadura sob condições de estresse, como deficiência hídrica em campo.
> 111	Baixo	Lotes inviáveis para semeadura.

Portanto, de acordo com a Tabela 1, o resultado obtido na primeira amostra da Figura 15 é uma semente de alto vigor e na segunda amostra é de médio vigor.

Os resultados obtidos no teste de CE podem ser utilizados para prever o potencial comportamento de lotes de semente de soja nos distintos testes de qualidade fisiológica, conforme o trabalho de Prado et al. (2019), onde foram desenvolvidas as equações de regressão a partir do teste de condutividade elétrica, como variável independente e dos testes de germinação, envelhecimento acelerado e emergência de plântulas em areia, como variáveis dependentes (Tabela 2).

Tabela 2. Equações de regressão e coeficiente de determinação (R²) para as variáveis germinação (G), envelhecimento acelerado (EA) e emergência de plântulas em areia (EPA), em função do teste de condutividade elétrica (CE).

Equações $Y = \beta_0 + \beta_1 X$	Teste de F	R ²
G = 113,04 - 0,29 CE	82,71**	0,66
EA = 116,45 - 0,36 CE	120,61**	0,74
EPA = 111,86 - 0,26 CE	105,28**	0,71

** Significativo pelo teste de F ($P \leq 0,01$).

Substituindo o valor da condutividade elétrica (CE) nas equações é possível estimar o desempenho fisiológico da semente nos distintos testes constantes na Tabela 2, permitindo prognosticar os resultados esperados, conforme ilustrados na Tabela 3 (Prado, 2018), o que é uma informação importante para a gestão do trabalho no laboratório de sementes. Em caso de discrepância acentuada entre o resultado esperado (E) e o observado (O), sugere-se averiguar as possíveis causas.

Tabela 3. Distintos níveis de condutividade elétrica e desempenho fisiológico de sementes de soja estimados através da equação de regressão linear simples.

Nível de vigor	G			E A		EPA	
	CE	Estimado	Observado	Estimado	Observado	Estimado	Observado
Muito alto	58,28	96	98	96	97	97	96
	60,09	96	96	95	95	96	96
	64,03	94	96	94	97	95	99
Alto	72,87	92	89	91	86	93	87
	78,16	90	85	89	79	92	88
	89,79	87	90	85	88	88	88
Médio	94,74	85	85	83	84	87	87
	106,84	82	86	78	82	84	85
	116,53	79	80	75	75	82	82
Baixo	122,08	77	83	73	70	80	77
	127,08	76	69	71	66	79	80
	147,66	70	71	64	68	73	71

Condutividade elétrica (CE), germinação (G), envelhecimento acelerado (EA) e emergência da plântula em areia (EPA); valor estimado (E) e valor obtido (O).

O teste de CE é um teste relativamente simples de realizar e apresenta bom potencial para ser utilizado rotineiramente para a avaliação da qualidade fisiológica de lotes de sementes de soja.

Referências

- AOSA - Association of Official Seed Analysts. **Seed vigor testing handbook**. Lincoln, 1983. 88 p. (Contribution n. 32).
- AOSA - Association of Official Seed Analysts. **Seed vigor testing handbook revision**. Stillwater, 2002. 134 p. (Contribution n. 32).
- BAALBAKI, R.; SABRY, E.; MARCOS-FILHO, J.; McDONALD, M. B. **Seed vigor testing handbook**. Ithaca: AOSA, 2009. 341 p.
- BELLAIRS, S. M.; RYSAVY, H. **Plant anatomy and restoration ecology**. Casuarina: Charles Darwin University, College of Engineering and Restoration Ecology, 2018. 83 p.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395 p.
- DELOUCHE, J. C.; BASKIN, C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, v. 1, p. 427-552, 1973.
- FICK, G. L.; HIBBARD, R. P. A method for determining seed viability by electrical conductivity measurements. **Michigan Academy of Sciences, Arts and Letters**, v. 5, p. 95-103, 1925.
- FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYŻANOWSKI, F. C. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 111 p. (Embrapa Soja. Documentos, 449).
- GALLO, C.; ARANGO, M.; CRAVIOTTO, R. **Control de calidad de semillas: prueba de condutividade elétrica**. London: Editorial Académica Española, 2019. 140 p.
- HAMPTON, J. G.; TEKRONY, D. M. **Handbook of vigor test methods**. Zurich: ISTA, 1995. 117 p.
- HENNING, A. A.; FRANÇA-NETO, J. B. Problemas na avaliação da germinação de sementes de soja com alta incidência de *Phomopsis* sp. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 2, n. 3, p. 9-22, 1980.
- HIBBARD, R. P.; MILLER, E. V. Biochemical studies on seed viability: I. Measurements of conductance and reduction. **Plant Physiology**, v. 3, p. 335-352, 1928.
- ISTA - International Seed Testing Association. **International rules for seed testing**. Bassersdorf, 2011. 53 p.
- KRZYŻANOWSKI, F. C.; DIAS, D. C. F. dos S.; FRANÇA-NETO, J. B. **Deterioração e vigor da semente**. Londrina: Embrapa Soja, 2022b. 19 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 191).
- KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, F. A. **Importância do conteúdo de lignina da parede celular da vagem e do tegumento da semente de soja sobre o seu desempenho fisiológico e sanitário**. Londrina: Embrapa Soja, 2022a. 22 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 180).
- KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; OLIVEIRA, G. R. F. de; HENNING, F. A. **Teste do hipoclorito de sódio para determinação da ocorrência de microfissuras no tegumento da semente de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2023. 15 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 192).

MARCOS-FILHO, J.; AMORIM, H. V.; SILVAROLLA, M. B.; PESCARIN, H. M. C. Relações entre germinação, vigor e permeabilidade das membranas celulares durante a maturação de sementes de soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2., 1981, Brasília, DF. **Anais...** Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1982. v. 1, p. 676-688.

MATTHEWS, S.; BRADNOCK, W. T. The detection of seed samples of wrinkle-seeded peas (*Pisum sativum* L.) of potentially low planting value. **Proceedings of the International Seed Testing Association**, v. 32, p. 553-563, 1967.

PANIZZI, R. C.; VIEIRA, R. D.; RAMOS, N. P.; GALLI, J. A. Germinação e vigor (envelhecimento acelerado e condutividade elétrica) em sementes altamente infectadas por patógenos. **Informativo ABRATES**, v. 15, p. 76, 2005.

PANOBIANCO, M.; VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B. Electrical conductivity of soybean seed and correlation with seed coat lignin content. **Seed Science and Technology**, v. 27, p. 945-949, 1999.

PRADO, J. P. do. **Potencial fisiológico de sementes de soja e sua relação com a condutividade elétrica**. 2018. 28 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

PRADO, J. P. do; KRZYZANOWSKI, F. C.; MARTINS, C. C.; VIEIRA, R. D. Physiological potential of soybean seeds and its relationship to electrical conductivity. **Journal of Seed Science**, v. 41, p. 407-415, 2019.

PRIESTLEY, J. T. Relation of protoplast permeability to cotton seed viability and predisposition to seedling disease. **Plant Disease Reporter**, v. 42, p. 852, 1958.

THOMAS, C. A. Permeability measurements of castor bean seeds indicative of cold test performance. **Science**, v. 131, p. 1045-1046, 1960.

VIEIRA, R. D. Teste de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. (ed.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994b. p. 103-132.

VIEIRA, R. D. Testes de vigor e suas possibilidades de uso. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. (ed.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994a. p. 31-47.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. (ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap. 4, p. 1-26.

VIEIRA, R. D.; MARCOS-FILHO, J. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. (ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020. p. 333-388.

VIEIRA, R. D.; PENARIOL, A. L.; PERECIN, D.; PANOBIANCO, M. Condutividade elétrica e teor de água inicial de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1333-1338, 2002.

WAIN-TASSI, A. L.; SANTOS, J. F.; PANIZZI, R. C.; VIEIRA, R. D. Seed-borne pathogens and electrical conductivity of soybean seeds. **Scientia Agricola**, v. 69, p. 19-25, 2012.

Exemplares desta edição
podem ser obtidas na:

Embrapa Soja
Rod. Carlos João Strass, s/n,
acesso Orlando Amaral
Caixa Postal 4006 CEP: 86085-981
Distrito de Warta
Londrina, PR
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição
PDF digitalizado (2023)



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA



Comitê Local de Publicações

Presidente
Adeney de Freitas Bueno

Secretária-Executiva
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros
*Claudine Dinali Santos Seixas, Edson Hirose,
Ivani de Oliveira Negrão Lopes, José de Barros
França Neto, Leandro Eugênio Cardamone
Diniz, Marco Antonio Nogueira, Mônica Juliani
Zavaglia Pereira e Norman Neumaier*

Supervisão editorial
Vanessa Fuzinato Dall' Agnol

Normalização
Valéria de Fátima Cardoso

Projeto gráfico
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Marisa Yuri Horikawa

Foto da capa
Francisco Carlos Krzyzanowski