

Lixiviação de íons potássio, cálcio e magnésio para determinação do vigor em sementes de milho doce¹

Claudemir Zucareli², Cristian Rafael Brzezinski^{2*}, Julia Abati², Fernando Augusto Henning³, Edison Ulisses Ramos Junior⁴, João Nakagawa⁵

RESUMO - O teste de lixiviação de íons de potássio, cálcio e magnésio é baseado na integridade das membranas celulares das sementes, sendo considerado um procedimento rápido para a avaliação do vigor em sementes de várias espécies. Porém, para sementes de milho doce não se têm informações necessárias para a validação deste procedimento. Com isso, o trabalho teve como objetivo obter informações que permitam o aperfeiçoamento dos testes de lixiviação de potássio, cálcio e magnésio para a avaliação do vigor em sementes de milho doce. Foram utilizados 14 lotes de sementes de milho doce de duas cultivares, BR-401 e BR-402. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com três repetições. A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada por meio dos testes de germinação, condutividade elétrica, emergência a campo, lixiviação de potássio, de cálcio e de magnésio. Os testes de lixiviação de potássio e magnésio foram eficientes na avaliação do vigor em sementes de milho doce. A condutividade elétrica apresentou correlação negativa com a emergência de plântulas e positiva com a lixiviação de íons de potássio e magnésio.

Termos para indexação: *Zea mays* L., qualidade fisiológica, condutividade elétrica.

Introdução

O milho doce (*Zea mays* L.) difere-se do milho comum por apresentar altos teores de açúcares no endosperma (Teixeira et al., 2001). Sendo que, em função desta composição, estas sementes apresentam qualidade fisiológica inferior às do milho comum, devido à maior sensibilidade e suscetibilidade aos danos físicos (Pereira et al., 2008) e ataque de patógenos (Douglass et al., 1993).

A qualidade fisiológica das sementes é determinada por uma série de avaliações, entre estas o teste de germinação. Porém, como este é realizado em condições controladas de temperatura e umidade, se faz necessária a sua complementação com testes de vigor, os quais fornecem informações que melhor se assemelham aos resultados obtidos em campo, principalmente quando as condições ambientais são menos favoráveis (Marcos Filho, 1999; Kikuti et al., 2008).

Entre os testes de vigor destaca-se o da condutividade elétrica, que relaciona a quantidade de lixiviados na solução de embebição das sementes à integridade das membranas celulares (Vieira e Krzyzanowski, 1999).

Sendo assim, a elevada lixiviação de solutos das sementes é a primeira consequência da redução do vigor das sementes de um lote, causada por danos de embebição e pela deterioração. Esses fatores interagem entre si, pois sementes mais deterioradas são mais susceptíveis aos danos de embebição e, conseqüentemente, ao aumento de lixiviados na água de imersão (Matthews e Powell, 2006).

Dentre os íons que aparecem em maior concentração na solução de embebição das sementes destacam-se o potássio, o cálcio e o magnésio, que podem ser utilizados na determinação do vigor das sementes (Fessel et al., 2000).

Ribeiro et al. (2009) observaram que o teste de condutividade elétrica mostrou-se eficiente em detectar diferenças na qualidade fisiológica de lotes de milho pipoca. Por outro lado, Woodstock et al. (1985) observaram que a lixiviação de minerais individuais, como o potássio e o cálcio, foram melhores indicadores da qualidade de sementes de algodão do que a concentração de eletrólitos totais. E ainda, Alves et al. (2004) evidenciaram em sementes de milho que a lixiviação de potássio foi mais acentuada que a dos íons cálcio e magnésio.

Submetido em 02/08/2013. Aceito para publicação em 18/11/2013.

²Universidade Estadual de Londrina, UEL, Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias (CCA), Caixa Postal 6001, 86051-990 – Londrina, PR, Brasil. e-mail: claudemircca@uel.br, cristian_brzezinski@yahoo.com.br, bff_julia@hotmail.com,

³Pesquisador, Embrapa Soja, Caixa Postal 231, 86001 970 - Londrina, PR, Brasil. e-mail: fernando.henning@embrapa.br

⁴Pesquisador, Embrapa Soja, Sinop, MT, Brasil. e-mail: edison.ramos@embrapa.br

⁵Eng. Agrº, Dr., Professor Titular Aposentado, Departamento de Produção Vegetal, FCA/UNESP. e-mail: secdamv@fca.unesp.br

Dessa maneira, o trabalho teve como objetivo obter informações que permitam o aperfeiçoamento dos testes de lixiviação de potássio, cálcio e magnésio para a avaliação do vigor em sementes de milho doce.

Desenvolvimento

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Estadual de Londrina, UEL-PR. Foram utilizados 14 lotes de sementes de milho doce de duas cultivares, BR-401 e BR-402, sendo ambas provenientes de experimento realizado em Botucatu-SP. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com três repetições.

A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada mediante as seguintes determinações:

Teste de germinação: realizado com quatro subamostras de 50 sementes por repetição, totalizando 600 sementes por lote, sendo estas distribuídas sobre papel toalha germitest com volume de água para embebição na quantidade de 2,5 vezes a massa seca do substrato, na forma de rolos. Após, foram acondicionadas em germinador à temperatura de 25 °C e, aos sete dias, foram realizadas as avaliações e o resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

Condutividade elétrica: foram utilizadas duas subamostras de 50 sementes por repetição, totalizando 300 sementes por lote. Cada subamostra foi pesada e colocada para embeber em um recipiente (copos plásticos) contendo 75 mL de água deionizada e mantidas em um germinador a uma temperatura constante de 25 °C, durante 24 horas. Após esse período, a condutividade elétrica da solução foi medida por meio de leituras em condutivímetro e os resultados expressos em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ (Vieira e Krzyzanowski, 1999).

Emergência de plântulas no campo: conduzido com quatro subamostras de 50 sementes por repetição, totalizando 600 sementes por lote, semeadas em sulco com 2,5 m de comprimento e aproximadamente 0,03 m de profundidade. A contagem das plântulas normais emergidas foi realizada aos 10 dias após a semeadura e convertida para porcentagem de plântulas (Nakagawa, 1999).

Teste de lixiviação de potássio, cálcio e magnésio: após a leitura da condutividade elétrica, fez-se uma amostra homogênea das duas subamostras, por repetição, retirando-se uma alíquota e colocando-a em vidro tipo âmbar, com capacidade de 75 mL, para as leituras das quantidades de nutrientes lixiviados. A determinação dos teores de potássio, de cálcio e de magnésio foi feita de forma direta por absorção atômica, utilizando um espectrofotômetro de chama. Após a determinação dos teores, foi feito o cálculo e os resultados foram expressos em $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ semente.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância

e as médias separadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson para os valores de lixiviação de potássio, cálcio e magnésio e as demais variáveis.

Por meio dos dados apresentados na Tabela 1, foi possível observar que houve diferença significativa entre lotes em relação à porcentagem de germinação. Entretanto, este teste não foi eficiente para diferir os lotes em relação à sua qualidade, como observado no teste de condutividade elétrica, em que o lote 6 apresentou menor vigor, enquanto que na germinação isso não pode ser evidenciado. Resultados semelhantes foram obtidos por Barbieri et al. (2012) em sementes de arroz. Esta diferença pode ser explicada pelo fato de que o teste padrão de germinação é conduzido em condições ideais, maximizando o potencial fisiológico das sementes. Porém, este resultado nem sempre corresponde ao da emergência em campo, onde as condições ambientais são normalmente desfavoráveis (Bhering et al., 2000), indicando assim, a necessidade de complementação com a utilização de outros testes (Barbieri et al., 2012).

É importante ressaltar que todos os valores obtidos para esta variável apresentaram-se acima do padrão estabelecido para comercialização de sementes de milho doce, que exige germinação mínima de 75% (MAPA, 2005). Essa característica é importante para a confiabilidade da aplicação dos resultados do trabalho, pois os testes de vigor devem ser capazes de detectar diferenças no potencial fisiológico de lotes, principalmente dos que possuem poder germinativo semelhante (Torres e Marcos Filho, 2001).

No teste de condutividade elétrica houve diferença estatística entre os resultados, sendo que o teste foi capaz de estratificar os lotes em três níveis de vigor (Tabela 1), conforme também relatado por Ribeiro et al. (2009) em sementes de milho pipoca. Segundo Marcos Filho (2005), é esperado que os testes de vigor possam ser capazes de distinguir com segurança os lotes de alto e baixo vigor e que as diferenças detectadas estejam relacionadas ao comportamento das sementes durante o armazenamento e após a semeadura.

Em relação à emergência de plântulas no campo, foi observado que os lotes 1, 4, 5, 6 e 7 apresentaram menores porcentagens de emergência em relação aos demais (Tabela 1). Resultado parecido foi constatado por Bahry et al. (2007) na avaliação de emergência de plântulas em casa de vegetação, para sementes de milho. Porém, discorda do encontrado por Coimbra et al. (2009), no qual os autores não constataram diferença no teste de emergência de plântulas no campo em lotes de sementes de milho doce.

Quanto ao teste de lixiviação de potássio, verificou-se que este foi eficiente na separação dos lotes quanto ao vigor,

sendo que os lotes 2 e 6 apresentaram maior quantidade de lixiviados na solução, com isso demonstrando menor vigor. Isto é explicado pelo fato de que esse teste tem princípio semelhante ao de condutividade elétrica, baseando-se na integridade das membranas celulares das sementes, com a diferença de que na condutividade elétrica, determina-se a quantidade total de íons liberados durante a embebição

e, na lixiviação de potássio, quantifica-se somente o íon potássio lixiviado na solução, visto que este é o principal íon inorgânico lixiviado pelas sementes durante a embebição (Kikuti et al., 2008). Alves et al. (2004) constataram que o potássio foi o íon mais lixiviado entre os elementos avaliados em sementes de milho, sendo o mesmo observado em sementes de amendoim por Vanzolini e Nakagawa, (2003).

Tabela 1. Valores médios do teste de germinação (G), condutividade elétrica (CE), emergência de plântulas no campo (EC) e teores de lixiviação de potássio ($\mu\text{g K}^+\text{g}^{-1}$ semente), de cálcio ($\mu\text{g Ca}^{++}\text{g}^{-1}$ semente) e de magnésio ($\mu\text{g Mg}^{++}\text{g}^{-1}$ semente) na solução de condutividade elétrica, em 14 lotes de sementes das cultivares de milho doce, BR-401 (lotes 1 a 7) e BR-402 (lotes 8 a 14).

Lotes	G (%)	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$)	EC (%)	K	Ca	Mg
1	95 a	21,5 b	45 b	473,0 b	7,797 a	0,204 a
2	92 b	20,2 b	85 a	553,0 c	8,172 a	0,241 a
3	95 a	21,6 b	80 a	487,2 b	6,983 a	0,081 a
4	97 a	21,0 b	60 b	411,8 a	6,965 a	0,335 b
5	96 a	20,5 b	52 b	484,2 b	6,652 a	0,476 b
6	93 a	26,1 c	58 b	551,9 c	6,597 a	1,517 c
7	92 b	21,1 b	61 b	467,5 b	6,067 a	0,251 a
8	90 b	19,2 a	70 a	371,3 a	6,480 a	0,146 a
9	94 a	19,4 a	77 a	438,5 b	8,099 a	0,179 a
10	94 a	18,6 a	73 a	348,3 a	6,973 a	0,264 a
11	90 b	17,8 a	68 a	352,1 a	5,965 a	0,131 a
12	95 a	16,2 a	84 a	317,6 a	6,294 a	0,165 a
13	94 a	17,3 a	81 a	374,1 a	6,011 a	0,273 a
14	88 b	16,2 a	77 a	333,2 a	6,062 a	0,167 a
CV (%)	3,29	14,71	12,54	11,47	17,10	32,86

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Skott-Knott, ($p>0,05$).

Para os teores de cálcio, foi observado que não houve diferença entre lotes, demonstrando, assim, que essa avaliação não é eficiente na avaliação do vigor em sementes de milho doce (Tabela 1). Esses resultados corroboram com os obtidos por Costa et al. (2007) em sementes de cebola e por Vanzolini e Nakagawa, (2003) em sementes de amendoim.

Entretanto, o teste de lixiviação de magnésio foi eficiente para quantificar os lotes quanto ao vigor, sendo que o lote 6 diferiu estatisticamente dos demais, por apresentar maior quantidade de lixiviados e, conseqüentemente, menor vigor (Tabela 1).

As correlações entre as variáveis avaliadas para ambas as cultivares estão apresentadas na Tabela 2. Não foi constatada correlação significativa entre os íons de potássio, de cálcio e de magnésio com a germinação e a emergência em campo. Esses resultados corroboram com os relatados por Favarato et al. (2011), que verificaram que a lixiviação de potássio não apresentou correlação com a germinação, com a primeira contagem da germinação e com o índice de velocidade de emergência para sementes de trigo.

Foi observada uma correlação negativa entre a emergência em campo e a condutividade elétrica, tal qual, conforme aumentou a emergência em campo diminuí os valores de íons lixiviados na condutividade (Tabela 2). Resultado parecido foi obtido por Ribeiro et al. (2009), trabalhando com sementes de milho pipoca, observaram que houve correlação entre o teste de condutividade elétrica e a emergência de plântulas no campo, Carvalho et al. (2009) também obtiveram este mesmo resultado em sementes de soja, assim como Colete et al. (2007). Estas constatações são importantes, pois os testes de vigor além de ranquear os lotes, devem ser simples, objetivos, de fácil reprodutibilidade e devem associar-se ao desempenho das plântulas em campo, a fim de monitorar da eficiência dos procedimentos adotados em laboratório (Marcos Filho, 1999).

Houve também uma correlação positiva entre a condutividade elétrica e os teores de Ca e Mg, pois, conforme aumentou a lixiviação de íons na solução de embebição no teste de condutividade, maiores foram os valores dos íons K e Mg, sendo o mesmo observado entre a lixiviação de íons K e Ca (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de correlação de Pearson entre lixiviação de íons de potássio (K), de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg) e as demais características avaliadas para determinação do vigor em 14 lotes de sementes das cultivares de milho doce, BR-401 e BR-402.

Variável	G	CE	EC	K	Ca	Mg
G	1.00					
CE	0,3116	1.00				
EC	-0,2617	-0,5610*	1.00			
K	0,2605	0,8382**	-0,3265	1.00		
Ca	0,3496	0,3131	-0,0176	0,5294*	1.00	
Mg	0,1073	0,7213**	-0,3768	0,5047	-0,655	1.00

¹ G – Germinação; EC – Emergência em campo; CE – Condutividade elétrica.

** , * significativo a 1 e 5% de significância

Diante disso, pela interpretação dos resultados foi constatado que os testes de lixiviação de potássio e magnésio foram eficientes para ranquear os lotes de sementes de milho doce quanto ao vigor. Isso corrobora com Miguel e Marcos Filho, (2002), que demonstraram que o teste de lixiviação de potássio foi eficiente na separação de lotes de milho em diferentes níveis de vigor. Resultados semelhantes foram também relatados por Favarato et al. (2011) em sementes de trigo, assim como Barbieri et al. (2012) em sementes de arroz.

Conclusões

Os testes de lixiviação de potássio e de magnésio foram eficientes na avaliação do vigor em sementes de milho doce.

Houve correlação negativa entre a emergência de plântulas no campo e a condutividade elétrica.

A condutividade elétrica apresentou correlação positiva com a lixiviação de íons potássio e magnésio.

Referências

ALVES, E.; CAVARIANI, C.; CORRÊA, M.R.; SOUZA, F.L.G.; CORRÊA, T.M.; NAKAGAWA, J. Efeito dos períodos de envelhecimento na lixiviação de íons e proteínas solúveis em sementes de milho. *Revista Brasileira de Sementes*, v.26, n.2, p.119-125, 2004. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010131222004000200017

BAHRY, C.A.; CASAROLI, D.; MUNIZ, M.F.B.; GARCIA, D.C.; MENEZES, N.L. de; ZANATA, Z.C. Avaliação da qualidade fisiológica e sanitária de sementes de milheto. *Revista da FZVA*, v.14, n.1, p.25-35, 2007. <http://revistaseltronicas.pucrs.br/ojs/index.php/fzva/article/viewFile/2476/1935>

BARBIERI, A.P.P.; MENEZES, N.L.; CONCEIÇÃO, G.M.; TUNES, L.M. Teste de lixiviação de potássio para a avaliação do vigor de sementes de arroz. *Revista Brasileira de Sementes*, v.34, n.1, p.117-124, 2012. <http://www.scielo.br/pdf/rbs/v34n1/a15v34n1.pdf>

BHERING, M.C.; DIAS, D.C.F.S.; GOMES, J.M.; BARROS, D.I. Métodos para avaliação do vigor de sementes de pepino. *Revista Brasileira de Sementes*, v.22, n.2, p.171-175, 2000. <http://www.abrates.org.br/revista/artigos/2000/v22n2/artigo23.pdf>

CARVALHO, L.F.; SEDIYAMA, S.C.; DIAS, D.C.F.S.; REIS, M.S.; MOREIRA, M.A. Teste rápido de condutividade elétrica e correlação com outros testes de vigor. *Revista Brasileira de Sementes*, v.31, n.1, p.239-248, 2009. <http://www.scielo.br/pdf/rbs/v31n1/a27v31n1.pdf>

COIMBRA, R.A.; MARTINS, C.C.; TOMAZ, C.A.; NAKAGAWA, J. Testes de vigor utilizados na avaliação da qualidade fisiológica de lotes de sementes de milho-doce (sh2). *Ciência Rural*, v.39, n.9, p.2402-2408, 2009. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782009000900004&script=sci_arttext

COLETE, J.C.F.; VIEIRA, R.D.; PANOBIANCO, M.; DUTRA, A.S. Condutividade elétrica da solução de embebição de sementes e emergência de plântulas de soja. *Científica*, v.35, p.10-16, 2007. <http://www.cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/view/163/98>

COSTA, C.J.; VAHL, L.C.; VILLELA, F.A. Testes de lixiviação de íons inorgânicos e condutividade elétrica para avaliação do potencial fisiológico de sementes de cebola. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.13, n.4, p.449-453, 2007. <http://www.ufpel.edu.br/faem/agrociencia/v13n4/artigo05.pdf>

DOUGLASS, S.K.; JUVIK, J.A.; SPLITTSTOESSER, W.E. Sweet corn seedling emergence and variation in kernel carbohydrate reserves. *Seed Science and Technology*, v.21, p.433-45, 1993.

FAVARATO, L.F.; ROCHA, V.S.; ESPINDULA, M.C.; SOUZA, M.A.; PAULA, G.S. Teste de lixiviação de potássio para avaliação da qualidade em sementes de trigo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.4, p.670-674, 2011. http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=viewArticle&path%5B%5D=agraria_v6i4a1547

FESSEL, S.A.; VIEIRA, R.D.; CRUZ, M.C.P. Composição mineral e condutividade elétrica de soluções de embebição de sementes de milho armazenadas em diferentes temperaturas In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., Uberlândia, 2000. Resumos. Uberlândia:SBMS, 2000. p.294.

KIKUTI, H.; MEDINA, P.F.; KIKUTI, A.L.P.; RAMOS, N.P. Teste de lixiviação de potássio para avaliação do vigor de sementes de amendoim. *Revista Brasileira de Sementes*, v.30, n.1, p.10-18, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222008000100002>

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 25, de 20 de dezembro de 2005. Anexo XII - *Padrões para produção e comercialização de sementes de milho*. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/padroes_milho.pdf. Acesso em: 16 jan. 2013.

MARCOS FILHO, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba: Fealq, 2005. 495p.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, 1999. p.1.1-1.20.

MATTHEWS, S.; POWELL, A.A. Electrical conductivity vigour test: physiological basic and use. *ISTA News Bulletin*, n.131, p.32-35, 2006. <https://www.seedtest.org/upload/cms/user/STI131April2006.pdf>

MIGUEL, M.V.C.; MARCOS FILHO, J. Potassium leakage and maize seed physiological potential. *Scientia Agricola*, v.59, n.2, p.315-319, 2002. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010390162002000200017&script=sci_arttext&tlng=en.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, 1999. p.2.1-2.21.

PEREIRA, A.F.; SANTOS, P.G.; OLIVEIRA, J.P.; ASSUNÇÃO, A.; BUENO, L.G. Qualidade fisiológica de sementes e desempenho agrônômico de genótipos de milho doce. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.38, n. 4, p.249-261, 2008. <http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/5077/4230>

RIBEIRO, D.M.; BRAGANÇA, S.M.; GONELI, A.L.D.; DIAS, D.C.F.S.; ALVARENGA, E. Teste de condutividade elétrica para avaliar o vigor de sementes em milho-pipoca (*Zea mays* L.). *Revista Ceres*, v.56, n.6, p.772-776, 2009. <http://www.ceres.ufv.br/ceres/revistas/V56N006P54709.pdf>

TEIXEIRA, F.F.; SOUZA, I.R.P.; GAMA, E.E.G.; PACHECO, C.A.P.; PARENTONI, S.N.; SANTOS, M.X.; MEIRELLES, W.F. Avaliação da capacidade de combinação entre linhagens de milho doce. *Ciência e Agrotecnologia*, v.25, n.3, p.483-488, 2001. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/485561/1/Avaliacaocapacidade2.pdf>

TORRES, S.B.; MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de maxixe (*Cucumis anguria* L.). *Revista Brasileira de Sementes*, v.23, n.2, p.108-112, 2001. <http://www.abrates.org.br/revista/artigos/2001/v23n2/artigo15.pdf>

VANZOLINI, S.; NAKAGAWA, J. Lixiviação de potássio na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de amendoim. *Revista Brasileira de Sementes*, v.25, n.2, p.7-12, 2003. <http://www.scielo.br/pdf/rbs/v25n2/19643.pdf>

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Testes de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, 1999. p.4.1-4.20

WOODSTOCK, L.W.; FURMAN, K.; LEFFLER, H.R. Relationship between weathering deterioration and germination, respiratory metabolism, and mineral leaching from cottonseeds. *Crop Science*, v.25, n.3, p.249-266, 1985. <http://eurekamag.com/research/001/446/relationship-weathering-deterioration-germination-respiratory-metabolism-mineral-leaching-cottonseeds.php>