

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE LINHO (*Linum usitatissimum* L.) PELO TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO

Alessandra Karin Johann¹, Gabriele Bigolin², Letícia dos Santos Holbig Harter³

¹ Pós-Graduanda do Curso de Especialização em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas – Pelotas (RS) - Brasil
E-mail: alessandrakjohann@gmail.com

² Acadêmica do Curso de Agronomia SETREM, Três de Maio (RS) – Brasil

³ Professora do Curso de Agronomia SETREM, Três de Maio (RS) – Brasil

Recebido em: 06/04/2019 – Aprovado em: 10/06/2019 – Publicado em: 30/06/2019
DOI: 10.18677/EnciBio_2019A24

RESUMO

A presente pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de identificar a metodologia de condução do teste de envelhecimento acelerado (EA) capaz de ranquear de forma eficiente o potencial fisiológico de cinco lotes de sementes linho. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias entre os lotes foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A qualidade inicial das sementes foi determinada pelos testes: teor de água, germinação em laboratório, teste de frio, emergência de plântulas a campo, índice de velocidade de emergência, comprimento de parte aérea e fitomassa seca da parte aérea. As metodologias de teste de EA utilizadas foram: procedimento tradicional (em água) e EA em solução saturada de Cloreto de sódio (NaCl), durante 48h e 72h à 41°C, determinando-se o teor de água das sementes após cada período de envelhecimento. Os resultados obtidos revelam que o teste germinação em laboratório e emergência a campo foram sensíveis para estratificar os lotes quanto ao seu potencial fisiológico, diferente do observado nos testes de desempenho de plântulas, índice de velocidade de emergência, fitomassa seca, comprimento da parte aérea e teste de frio, que não mostraram sensibilidade para distinguir os lotes em diferentes níveis de vigor. Conclui-se que o teste EA com solução saturada de NaCl no período de 72h é a alternativa mais eficiente e promissora para avaliação do potencial fisiológico de lotes de sementes de linho, ranqueando os lotes em três níveis distintos de vigor.

PALAVRAS- CHAVE: *Linum usitatissimum* L., potencial fisiológico, solução saturada de NaCl.

EVALUATION OF THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF LINEN SEEDS (*Linum usitatissimum* L.) BY THE ACCELERATED AGING TEST

ABSTRACT

The present research was developed with the objective of identifying the methodology of conduction of the test of accelerated aging (EA) able to efficiently rank the physiological potential of five lots of flax seeds. The experimental design was completely randomized with four replicates. The data were submitted to analysis of variance and the means between the lots were compared by the Tukey test at 5% probability. The initial seed quality was determined by the tests: water content, germination in the laboratory, cold test, emergence of field seedlings, emergence speed index, shoot length and shoot dry matter. The EA test methodologies used were: traditional procedure (in water) and EA in saturated solution of sodium chloride (NaCl) for 48h and 72h at 41°C, determining the water content of the seeds after each aging period. The results obtained show that the laboratory germination and field emergence tests were sensitive to stratify the lots to their physiological potential, different from those observed in seedling performance tests, emergence speed index, dry phytomass, shoot length and cold test, which did not show sensitivity to distinguish batches at different levels of vigor. It is concluded that the EA test with saturated solution of NaCl in the period of 72 hours is the most efficient and promising alternative for the evaluation of the physiological potential of lots of flax seeds, ranking the lots in three different levels of vigor.

KEYWORDS: *Linum usitatissimum* L., Physiological potential, Saturated NaCl solution.

INTRODUÇÃO

O linho (*Linum usitatissimum* L.) é uma espécie herbácea, polimorfa, pertencente à família *Linaceae* (TOMM et al., 2006), que constitui-se de uma importante alternativa de cultivo de inverno para a região norte do estado do Rio Grande do Sul, que apresenta rusticidade, baixo custo de produção, alto valor agregado, além de não exigir grandes práticas de manejo e tratos culturais, o que torna esta cultura uma interessante opção dentro de um sistema de rotação de culturas, recuperando solo com desgastes físicos, químicos e biológicos, além de aproveitar a adubação residual do milho e da soja (ROSSI et al., 2014; STANCK et al., 2017).

As sementes representam um dos insumos de maior importância na agricultura, além de ser um importante meio propagador de todo o potencial genético de uma cultivar para o produtor rural (MARCOS FILHO, 2015).

A qualidade de um lote de sementes, a nível de campo, resulta da interação dos atributos físicos, genéticos, fisiológicos e sanitários (germinação e vigor) (CARVALHO ; NAKAGAWA, 2000). Logo, sementes com alto potencial fisiológico são a base para o sucesso de todas as operações de produção. Lotes de sementes que apresentem altas taxas de germinação, semelhantes às comercialmente aceitas, podem desenvolver comportamento distinto a campo, em razão do vigor e das condições ambientais as quais são expostas (PESKE et al., 2012). Por conseguinte, estão sujeitas a acarretar em estande de plantas inadequado para a máxima expressão do potencial produtivo da cultura (LEÃO ARAUJO et al., 2017).

O teste de germinação serviu por muitos anos como parâmetro de avaliação da qualidade fisiológica das sementes e para a tomada de decisão, tanto para pesquisadores e tecnólogos, como para os produtores rurais (MARCOS FILHO, 2015). Para a condução deste teste, conforme Harter et al. (2014), as condições ambientais devem ser ideais para favorecer o potencial máximo de germinação, contudo, estas condições nem sempre são encontradas a campo, o que resulta em algumas discrepâncias em relação as informações obtidas em laboratório.

Em razão da insatisfação com as informações fornecidas apenas por este teste, que podem diferir quanto o potencial fisiológico da semente e no estabelecimento de uma população adequada e uniforme de plantas a campo, somado a tendência de avanços sucessivos da tecnologia voltada à agricultura e da necessidade de desenvolvimento uniforme da cultura de modo a permitir a mecanização da colheita e tratos culturais, faz-se necessária utilização de metodologias mais sensíveis para estimar com maior exatidão a qualidade fisiológica das sementes, dentre elas ressalta-se o teste de vigor (MARCOS FILHO, 2015; LEÃO ARAUJO et al., 2017).

O reconhecimento do vigor como um integrante do potencial fisiológico independente da germinação ocorreu em 1950, durante o IX Congresso organizado pela International Seed Testing Association (ISTA) em Washington, quando Franck apresentou diferentes terminologias e objetivos de testes que eram realizados sob condições controladas do ambiente (teste de germinação), daqueles conduzidos a solo avaliando o percentual de emergência de plântulas, denominado então, teste de vigor (MARCOS FILHO, 2015).

O vigor pode ser definido como o conjunto de propriedades das sementes que determinam o nível de atividade e desempenho de um lote de sementes durante as fases de germinação e emergência das plântulas, sob uma ampla faixa de condições ambientais (PESKE et al., 2012).

Um lote de sementes de alto vigor é potencialmente capaz de ter um bom desempenho, mesmo em condições sub ou supraótimas para a espécie, em contrapartida, um lote de sementes de baixo vigor apresenta alta germinação e bom desempenho somente em condições próximas às ótimas para a espécie (PESKE et al., 2012).

O teste de vigor baseia-se no comportamento das sementes ao atingirem a maturidade fisiológica, momento este que a semente passa a sofrer uma série de alterações de ordem bioquímica, fisiológica e física, associadas à redução do vigor, que podem culminar na morte das sementes e que não podem ser revertidos (HARTER et al., 2014).

O teste de germinação apresenta apenas informações condizentes ao potencial germinativo da semente, não determinando a verdadeira qualidade das sementes, ou ainda, as possíveis diferenças de qualidade existentes dentro de um lote de sementes com germinabilidade semelhante, sendo esta estimativa possível através das informações complementares fornecidas pelo teste de vigor (PESKE et al., 2012).

Para Krzyzanowski et al. (1999) e Peske et al. (2012), os testes de vigor possuem três objetivos básicos: 1) Avaliar ou detectar diferenças significativas na qualidade fisiológica de lotes com germinação semelhante, complementando as informações fornecidas pelo teste de germinação; 2) distinguir, com segurança, lotes de alto dos de baixo vigor; 3) separar (ou classificar) lotes em diferentes níveis de

vigor, de maneira proporcional ao desempenho quanto à emergência das plântulas, resistência ao transporte e potencial de armazenamento.

O teste de envelhecimento acelerado é um teste de vigor que avalia a resistência (taxa de deterioração) das sementes quando submetidas a condições ambientais adversas de temperatura e umidade relativa elevada. As condições de estresse na qual as sementes são expostas são consideradas preponderantes ao processo de intensificação da desintegração do sistema de membranas, que promove o descontrole do metabolismo celular, bem como das trocas de água e solutos, influenciando diretamente na queda da viabilidade da semente (KRZYŻANOWSKI et al., 1999). A interação entre os fatores velocidade x uniformidade de absorção de água pelas sementes expostas às condições de alta umidade relativa encontradas no teste de envelhecimento acelerado, origina alterações acentuadas do grau de umidade das amostras avaliadas (ÁVILLA et al., 2006).

Os efeitos do processo de embebição são detectados de forma mais drástica em sementes de tamanho reduzido, a exemplo das sementes de linho, que possuem maior capacidade de absorção de água, resultando em um maior grau de deterioração e redução do poder germinativo, dificultando o raqueamento dos lotes em diferentes níveis de vigor (MARCOS FILHO, 2005; MALONE et al., 2008).

A proposta de substituição de água (método tradicional do teste EA) por solução salina saturada (SSS) no interior das caixas plásticas (gerbox) permite a diminuição da velocidade de absorção de água pelas sementes e, por consequência, redução da intensidade de deterioração das sementes (MARCOS FILHO, 2015).

A redução dos efeitos drásticos às sementes é explicada em razão das moléculas de sal que adsorverem às de água do interior do gerbox, reduzindo a umidade relativa do ar a 76% ($40\text{g}\cdot 100\text{mL}^{-1}$), fato que resulta em um menor valor de equilíbrio higroscópico das sementes, consequentemente, menor velocidade de deterioração das mesmas, contudo, sem interferir na sensibilidade do teste (HARTER et al., 2014).

Além da diminuição da velocidade de absorção de água pelas sementes, o teste de envelhecimento acelerado com solução salina saturada em substituição da água possibilita a redução da ocorrência da presença de microrganismos que prejudicam a germinação e desenvolvimento das plântulas, que provocam incertezas na interpretação dos testes (MARCOS FILHO, 2005).

Estas razões explicam a amplitude de estudos para padronização do teste e envelhecimento acelerado para muitas culturas, a exemplo desta pesquisa, cujo objetivo é verificar a eficiência de diferentes testes de vigor na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de linho.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos a campo foram realizados na Fazenda Ullmann, no município de Santo Cristo, situado no noroeste do estado do Rio Grande do Sul a $27^{\circ}50'48.7''\text{S}$ de latitude, longitude $54^{\circ}38'20.9''\text{W}$ e altitude de 275m, durante o ano safra de 2016. Segundo a classificação climática de Köppen, o tipo de clima predominante na região é o Cfa, clima subtropical úmido. A temperatura média anual do município é de $20,3^{\circ}\text{C}$ e a pluviosidade média é de 1794 mm/ano.

As avaliações em laboratório foram conduzidas no Laboratório de Análise de Sementes e Laboratório de Química da Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM) localizado no município de Três de Maio (RS).

Para a realização da pesquisa, foram utilizados cinco lotes de sementes de linho dourado provenientes de empresas comercializadoras de insumos da região. Inicialmente os lotes de sementes foram submetidos à determinação do teor de água (TA), pelo método da estufa a 105 ± 3 °C, por 24 horas, utilizando-se duas subamostras $4,5 \pm 0,5$ gramas de sementes. Os dados foram expressos em porcentagem em base úmida, conforme as Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009). Após a caracterização física, os lotes foram avaliados qualitativamente através das seguintes determinações:

Teste de germinação (TG): foram utilizadas 200 sementes (quatro subamostras de 50 sementes) para cada amostra, semeadas em caixas gerbox, utilizando-se como substrato papel de germinação, tipo mata borrão, umedecidos com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa seca, permanecendo na geladeira sete dias à temperatura de 8 °C, para procedimento de superação de dormência das sementes. Posteriormente, as sementes foram colocadas em germinador a 20 °C. As avaliações foram efetuadas no terceiro e sétimo dia após a semeadura. O resultado foi expresso em porcentagem média de plântulas normais para cada lote (BRASIL, 2009).

Teste de frio (TF): quatro repetições de 50 sementes foram distribuídas em caixas gerbox utilizando como substrato o papel mata-borrão, umedecidos com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a sua massa, permanecendo na geladeira por sete dias à temperatura de 8 °C. Posteriormente as sementes foram transferidas para um germinador regulado a temperatura constante de 20°C e a avaliação foi realizada ao terceiro e sétimo dia após a semeadura. O resultado foi expresso em porcentagem média de plântulas normais para cada lote.

Emergência de plântulas em campo (EC): foram semeadas quatro repetições de 50 sementes por lote, dispostas em canteiro de terra sem adubação em linhas de 0,80 m de comprimento, espaçadas em 0,25 m. A semeadura foi realizada de modo que as sementes permaneçam a 2,0 cm de profundidade, utilizando sistema de irrigação por aspersão. A avaliação foi realizada aos 22 dias após a semeadura, computando-se o número de plântulas emergidas com altura não inferior a 5 mm.

Índice de velocidade de emergência em campo (IVE): conduzido conjuntamente com o teste de emergência em campo, com contagens diárias até a estabilização da emergência. O índice de velocidade de emergência das plântulas foi calculado segundo a Equação 1 proposta por Maguire (1962):

$$IVE = E1/N1 + E2/N2 + \dots + En/Nn. \quad (1)$$

Em que: IVE: índice de velocidade de emergência;

E1, E2, En: número de plântulas emergidas, computadas na primeira, segunda, ... última contagem.

N1, N2, Nn: número de dias expresso pelo total de plântulas emergidas em cada repetição.

O resultado será expresso pelo índice de velocidade de emergência.

Comprimento de parte aérea no campo: foi realizada aos 22 dias após a semeadura do teste de emergência a campo, em 30 plantas centrais de cada linha. Para a mensuração, utilizou-se uma régua graduada em milímetros e o resultado foi expresso em centímetros.

Fitomassa seca (FS): as plântulas avaliadas no teste de comprimento de plântula foram acondicionadas em sacos de papel kraft branco, identificados, e levados à estufa com circulação de ar à 50 °C, por um período 72 horas. Após este período, cada repetição teve a massa avaliada em balança com precisão de 0,0001 g e os resultados médios foram expressos em miligramas por plântula.

Envelhecimento acelerado (EA): foram utilizadas caixas plásticas (caixas gerbox), com compartimento individual para as quatro subamostras de 50 sementes, totalizando 200 sementes por tratamento. A umidade relativa no interior das caixas gerbox foi controlada pela adição de 40 mL de água destilada (método tradicional), 40 mL de solução saturada (40 g para 100 mL) de NaCl. As sementes foram distribuídas sobre a tela metálica mantida no interior de cada caixa plástica, formando uma camada única, ocupando toda a superfície da tela metálica, independentemente do número e da massa de sementes.

Os períodos de permanência das amostras no interior da câmara, a 41 °C foram de 48 e de 72 horas, seguindo-se a condução do teste de germinação, com avaliação das plântulas normais obtidas no sétimo dia após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

Procedimento estatístico: a análise da variância foi realizada para cada avaliação (exceto a determinação do grau de umidade). O delineamento experimental utilizado para todos os testes foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições de 200 sementes em cinco lotes de sementes de linho. A comparação entre as médias foi efetuada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 representa os dados pertinentes aos testes de determinação de umidade (GU) e avaliação do potencial fisiológico pelos testes de germinação (TG), teste de frio (TF), emergência em campo (EC) e índice de velocidade de emergência em campo (IVEC) de cinco lotes de sementes de linho.

TABELA 1 - Resultados dos testes de determinação de umidade (GU) e avaliação do potencial fisiológico pelos testes de germinação (TG), teste de frio (TF), emergência em campo (EC) e índice de velocidade de emergência em campo (IVEC) de cinco lotes de sementes de linho.

| Lote | GU | TG (%) | TF (%) | E (%) | IVE |
|--------|-----|--------|--------|-------|--------|
| Lote 1 | 8,1 | 74 ab | 73 a | 70 ab | 3,18 * |
| Lote 2 | 8,3 | 67 bc | 60 a | 58 b | 2,34 |
| Lote 3 | 8,0 | 57 c | 66 a | 58 b | 2,53 |
| Lote 4 | 8,2 | 70 ab | 61 a | 71 ab | 3,04 |
| Lote 5 | 8,2 | 78 a | 74 a | 84 a | 3,08 |
| C.V. | - | 7,44 | 10,13 | 13,73 | 14,52 |

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de significância. *Não significativo.

A caracterização da qualidade inicial dos cinco lotes de sementes de linho, expressos na Tabela 1, indica que o grau de umidade (GU) das sementes apresentou uma pequena variação de 8,0% a 8,3%, indicativo que os resultados encontrados são confiáveis e consistentes. Krzyzanowski et al. (1991) sugerem que as amostras submetidas ao teste de envelhecimento precoce apresentem teores similares de umidade. Estes resultados corroboram com a afirmação de Carvalho e Nakagawa (2000) que mencionam que o elevado grau de umidade inicial é um dos principais fatores que causam a perda da germinabilidade e vigor das sementes.

O teste de germinação (TG) em laboratório, conduzido sob condições ótimas de temperatura e umidade relativa, detectou diferenças na qualidade fisiológica dos lotes de sementes de linho (Tabela 1). Dos cinco lotes avaliados, três (lotes 1, 4 e 5) apresentaram germinação superior ao nível mínimo exigido para comercialização (70%), conforme descrito na Instrução Normativa N° 45 de 17/09/2013, sem diferença estatística entre os mesmos. O lote de sementes 2 apresentou germinação inferior ao mínimo estabelecido pela legislação vigente (67%), contudo, não se diferenciou estatisticamente dos lotes 1, 3, e 4.

Considerando os valores absolutos do teste de germinação, constata-se a superioridade do lote 5 (78% de germinação) em relação aos demais lotes, e a inferioridade do lote 3 (57% de germinação), que diferiu estatisticamente dos lotes 1, 4 e 5. Na pesquisa de Amaro et al. (2015) trabalhando com sementes de feijão, o teste de germinação não foi capaz de estratificar os lotes de sementes quanto à qualidade fisiológica de sementes. Amaro et al. (2014) e Souza Lemes et al. (2015) verificaram o mesmo comportamento em sementes de crambe e grama-bermuda, respectivamente.

O vigor é diretamente proporcional à capacidade das sementes em sobreviver a condições ambientais adversas, conforme observadas no teste de frio, que combina alto grau de umidade relativa e baixas temperaturas, para detectar diferenças sutis na qualidade fisiológica entre os lotes de sementes (MARCOS FILHO, 2005).

O teste de frio (TF) não mostrou-se eficiente no âmbito deste estudo para a diferenciação dos lotes em diferentes níveis de vigor, possibilitando apenas destacar a superioridade do lote 5 perante os demais, quando considerado os valores absolutos, porém, sem diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância (Tabela 1).

Corroborando com os resultados encontrados na presente pesquisa, o teste de germinação a baixa temperatura permitiu Bhering et al. (2000) ao trabalhar com sementes de pepino (*Cucumis sativus* L.) identificar apenas o lote de menor qualidade fisiológica, não mostrando-se eficiente para diferenciação de todos os lotes em níveis de vigor. Por outro lado, em sementes de mamona (*Ricinus communis* L.) Mendes et al. (2010), concluíram que o TF permitiu ranquear sete lotes em três níveis de vigor.

O destino final das sementes é sua propagação a campo, deste modo, a emergência rápida e uniforme e, conseqüentemente, o estabelecimento de estande de lavoura adequado e com plantas vigorosas é o principal objetivo do produtor rural (MARCOS FILHO, 2015). A perda da capacidade germinativa é o último efeito prático da deterioração, antes desta conseqüência drástica ocorre uma série de eventos multisequenciais sobre o desempenho das sementes a campo, logo, lotes

de sementes com poder germinativo semelhantes podem apresentar comportamentos distintos a campo (DELOUCHE, 2002).

O efeito do vigor das sementes sobre a emergência das plântulas a campo justifica os resultados encontrados (Tabela 1), onde, em razão das condições ambientais as quais as sementes foram expostas, as diferenças da qualidade fisiológica entre os lotes testados foram potencializadas, permitindo o raqueamento dos lotes. Em todos os lotes avaliados o percentual de emergência das plântulas a campo foi similar ao teste de germinação em laboratório.

Os lotes 5, 4 e 3 obtiveram resultados ligeiramente superiores à germinação, em razão das condições ambientais favoráveis não condicionarem ambiente limitante a emergências das plântulas. A avaliação da emergência das plântulas em campo mostra a superioridade do lote 5, que diferiu estatisticamente dos lotes 2 e 3, identificados como os lotes de pior desempenho a campo. Os lotes 1 e 4 obtiveram desempenho intermediário, contudo, não se diferiram estatisticamente perante os demais lotes avaliados.

Resultados semelhantes foram encontrados por Guedes et al. (2009), em sementes de *Erythrina velutina*, onde os testes conduzidos a campo foram eficientes para diferenciar os lotes quanto ao desempenho fisiológico. Em contrapartida, Bhering et al. (2000) ao trabalharem com sementes de pepino (*Cucumis sativus* L.) não conseguiram ranquear lotes de sementes em níveis de vigor pelo teste de emergência a campo.

O índice de velocidade de emergência (IVE) proposto por Maguire (1962) sugere que, quanto maior o valor obtido através do cálculo do número médio de plântulas normais por dia, maior será a velocidade de germinação e, por conseguinte, maior será o vigor do lote (KRZYŻANOWSKI et al., 1999). Deste modo, quanto menor o tempo entre a semente e estabelecimento da cultura, maior será o potencial fisiológico do lote.

Os resultados obtidos para a variável índice de velocidade de emergência (Tabela 1) demonstraram similaridade no comportamento em todos os lotes, agrupando-os em um mesmo nível de desempenho fisiológico, não ocorrendo diferença significativa. Embora os resultados sejam semelhantes, ao considerar os valores absolutos do teste, verifica-se que o lote 1 apresentou o melhor resultado, 3,18 de índice de velocidade de emergência, seguido do lote 5 com 3,08 de IVE, enquanto que o lote 2 obteve o menor desempenho, com IVE de 2,34. A similaridade de potencial fisiológico entre os lotes pelo teste de IVE foi detectada também por Ávila et al. (2006) ao trabalharem com sementes de rabanete (*Raphanus sativus* L.).

A intensidade do crescimento das plântulas é um teste de vigor no qual avalia-se o comprimento das plântulas normais ou parte desta (raiz primária, hipocótilo e epicótilo) ou o peso da matéria seca do eixo embrionário, a partir de sementes postas a germinar sob condições controladas de ambiente (NAKAGAWA, 1999). Os resultados do teste de comprimento da parte aérea das plântulas do campo aos 20 dias após a semente e fitomassa seca estão expressos na Tabela 2.

TABELA 2 - Resultados do ensaio a campo para o teste de comprimento da parte aérea (CPA) e fitomassa seca (FMS) de plântulas em cinco lotes de semente de linho.

| Lote | CPA (cm) | FS (g) |
|------|----------|--------|
|------|----------|--------|

| | | |
|--------|--------|----------|
| Lote 1 | 2,61 * | 0,0080 * |
| Lote 2 | 2,44 | 0,0078 |
| Lote 3 | 2,34 | 0,0065 |
| Lote 4 | 2,42 | 0,0077 |
| Lote 5 | 2,47 | 0,0072 |
| C.V. | 4,45 | 14,35 |

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a nível de 5% de significância. *Não foi significativo.

Os resultados do teste de comprimento da parte aérea das plântulas do campo aos 20 dias após a semeadura expressos na tabela 2, não foram eficazes para ranquear os lotes em níveis de vigor. Enfatiza-se, porém, ao considerar os valores absolutos do teste, a superioridade das plântulas do lote 1 que atingiram 2,61 cm de comprimento. Salienta-se que o teste foi realizado sob condições não controladas, sendo o mesmo baseado no desenvolvimento das plântulas em campo, onde pequenas diferenças podem ocasionar mudanças (KRZYZANOWSKI et al., 1999).

A obtenção destes resultados concorda com outros autores, a exemplo de Huppés et al. (2013) que, ao avaliarem oito lotes de sementes de cenoura (*Daucus carota* L.) aos 21 dias após a semeadura, não constataram diferenças significativas entre os lotes, pelo parâmetro comprimento das plântulas a campo. Em contrapartida, para sementes de *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Smith o teste de comprimento das plântulas a campo mostrou-se sensível para a separação de lotes em níveis de vigor (GUEDES et al., 2013), bem como para sementes da espécie florestal *Erythrina velutina* (GUEDES et al., 2009).

O peso da matéria seca das plântulas é uma maneira de determinar o crescimento da planta, assim, plântulas com maiores pesos médios de fitomassa seca são consideradas mais vigorosas, em função de proporcionarem maior transferência de matéria seca aos tecidos de reserva para o eixo embrionário durante a fase de germinação (KRZYZANOWSKI et al., 1999).

Comportamento semelhante ao teste do comprimento da parte aérea foi registrado para o teste de conteúdo de fitomassa seca de plântulas em campo, no qual, não foram registradas diferenças significativas entre os lotes. Os valores absolutos do teste de fitomassa seca ressaltam apenas a superioridade do lote 1, que atingiu o maior conteúdo de massa seca (0,0080 g) e a inferioridade do lote 3, que apresentou o menor conteúdo de massa seca (0,0065 g), porém sem distinguir os diferentes lotes em níveis de vigor.

Conforme destacado por Malone et al. (2008), estes resultados podem ser explicados em razão das diferenças de potencial fisiológico das sementes, evidenciadas pelos testes de laboratório, não serem significativos o suficiente para influenciar no desempenho inicial das plântulas submetidas ao teste em campo. Contudo, Guedes et al. (2009) constataram que o teste de fitomassa seca foi eficiente para estratificação das sementes de *Erythrina velutina* em níveis de vigor. De forma semelhante, Guedes et al. (2013) também constataram que o teste de fitomassa seca foi eficiente para determinação do vigor de lotes de sementes de *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Smith.

Os testes realizados a campo (IVE, comprimento de parte aérea e fitomassa seca) não foram capazes de expressar com precisão a qualidade fisiológica dos cinco lotes de sementes de linho, visto que não identificaram as diferenças mais sutis entre os lotes de sementes de alto e baixo vigor.

A baixa capacidade dos testes a campo em estratificar as características dos lotes pode ser atribuída ao fato das condições ambientais não controláveis e variáveis na qual as sementes foram expostas, terem afetado significativamente o desempenho das mesmas.

O teste de germinação realizado em laboratório sob influência de condições ótimas e controláveis de ambiente, permitiu identificar diferenças menos perceptíveis das encontradas nos testes a campo, estimando o desempenho fisiológico dos cinco lotes avaliados.

O principal fator de verificação da consistência dos dados encontrados do teste de envelhecimento acelerado é a determinação do teor de umidade das sementes antes e depois da exposição das mesmas ao envelhecimento, visto que, a desuniformidade da umidade afeta diretamente o percentual de germinação das plântulas (MARCOS FILHO, 2005).

As sementes submetidas ao teste não devem apresentar variação de umidade superior a 2%, em razão da sensibilidade das sementes úmidas às condições do teste; enquanto que, ao final do envelhecimento, a variação do grau de umidade das sementes deve ser menor a 4%, para não comprometer a fidelidade dos dados obtidos (KRZYZANOWSKI et al., 1999).

Os resultados relativos ao teor de água inicial das sementes e após o envelhecimento acelerado pelo método tradicional e com o uso de solução salina saturada de NaCl, expressos na Tabela 3, não sofreram análise estatística, servindo apenas de base para a caracterização das amostras após os períodos de envelhecimento.

TABELA 3 – Resultados do teor de água inicial (%) e após o teste de envelhecimento acelerado, conduzido por 48h e 72h pelo método tradicional (EAT H₂O) e solução salina saturada de NaCl (EA SSS) em cinco lotes de semente de linho.

| Lote | TEOR DE ÁGUA (%) | | | | |
|------|------------------|------------------------|-------|----------|-------|
| | INICIAL | EAT (H ₂ O) | | EA (SSS) | |
| | | 48 h | 72 h | 48 h | 72 h |
| 1 | 8,1 | 28,94 | 26,06 | 8,94 | 10,38 |
| 2 | 8,3 | 27,6 | 31,06 | 9,92 | 10,82 |
| 3 | 8,0 | 27,77 | 29,83 | 10,75 | 10,40 |
| 4 | 8,2 | 26,38 | 29,22 | 10,03 | 11,01 |
| 5 | 8,2 | 28,18 | 28,13 | 10,24 | 10,24 |

Com base nos dados apresentados na tabela 3, constata-se que o uso de solução salina saturada contribuiu para retardar o processo de absorção de água pelas sementes de linho durante os diferentes períodos de envelhecimento acelerado, de modo que as sementes atingiram teores de água inferiores no método

SSS quando comparado aos verificados no método tradicional. Consta-se que o estresse provocado no teste de envelhecimento acelerado com uso de solução salina saturada de NaCl (SSS) ocorre principalmente pelo aumento da temperatura.

No período de teste de EA de 48 horas, as variações máximas entre os teores de água dos lotes foram de 20,84 pontos percentuais no método tradicional e 2,75 pontos percentuais com uso de solução salina saturada. No período de 72 horas, os lotes apresentaram diferenças máximas entre os teores de água de 22,75 pontos percentuais no método tradicional e 2,81 pontos percentuais com solução salina saturada.

O grau de umidade encontrado nos resultados da metodologia com uso de SSS não apresentou variações significativas entre os lotes de sementes, sugerido como indicativo a boa condução do teste envelhecimento acelerado (MARCOS FILHO, 2005); em contrapartida, a metodologia com uso de H₂O em ambos os períodos de envelhecimento, apresentou diferenças expressivas no grau de umidade, superiores ao permitido, fato que compromete a fidelidade dos resultados obtidos.

A tabela 4 apresenta o resumo da análise de variância e coeficiente de variação para o percentual de germinação das sementes de linho submetidos ao teste de envelhecimento acelerado realizado com temperatura de 41°C, por dois períodos de exposição de envelhecimento (48 e 72 horas), combinados com o uso de duas soluções, a tradicional (com água) e a solução salina saturada (SSS de NaCl).

TABELA 4 - Resultados do teste de envelhecimento acelerado em cinco lotes de sementes de linho, pelo método tradicional (EAT H₂O) e solução salina saturada (EA SSS) e períodos de envelhecimento de 48h e 72h.

| Lote | EAT (H ₂ O) | | EA SSS | |
|--------|------------------------|-------|--------|------|
| | 48 h | 72 h | 48 h | 72 h |
| Lote 1 | 59 b | 49 a | 77 ab | 74 b |
| Lote 2 | 56 bc | 34 b | 68 bc | 70 b |
| Lote 3 | 51 c | 34 b | 58 c | 56 c |
| Lote 4 | 59 bc | 44 a | 70 ab | 72 b |
| Lote 5 | 73 a | 44 a | 79 a | 81 a |
| C.V. | 6,43 | 10,45 | 6,7 | 4,34 |

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de probabilidade de 5%.

Os resultados obtidos no teste de envelhecimento acelerado pelo método tradicional no período de exposição de 48 horas, expressos na tabela 4, mostrou-se eficiente para ranquear os lotes avaliados em diferentes níveis de vigor, destacando a superioridade do lote 5, classificado com o lote de alto vigor, que diferiu estatisticamente aos demais lotes avaliados. O lote 1, com vigor mediano, não apresentou diferença estatística com os lotes 2 e 4, classificados como vigor médio-baixo. O lote 3 apresentou inferioridade perante os demais, engajando-se como lote de vigor baixo, porém, sem diferir estatisticamente dos lotes 2 e 3.

Os resultados encontrados corroboram aos encontrados por Bhering et al. (2000), que constataram que o teste de EA pelo método tradicional no período de 48 horas, foi capaz de distinguir sementes de pepino (*Cucumis sativus* L.) em três níveis de vigor.

O teste de envelhecimento acelerado pelo método tradicional com água no período de exposição de 72 horas conseguiu diferenciar os lotes de sementes em apenas dois níveis de vigor, mostrando-se menos eficiente quando comparado ao teste de 48 horas. Observa-se com o teste de 72 horas uma redução drástica no percentual de germinação em todos os cinco lotes avaliados, além da alta incidência de fungos, que dificultam a avaliação, corroborando com a pesquisa de Radke et al. (2017) ao trabalhar com duas cultivares de melancia.

De forma dissemelhante, Malone et al. (2008), destacam que a combinação do método tradicional com período de 72 horas foi capaz de separar as sementes de mogango em três níveis de potencial fisiológico, conforme a identificação dos lotes obtida na avaliação de emergência em campo.

Os dados obtidos para o teste de EA com solução salina saturada de NaCl, utilizando-se dois períodos de acondicionamento (48 e 72 horas) mostraram-se sensíveis para detectar diferenças do potencial fisiológico dos lotes avaliados. No teste de SSS por 48 horas foi possível distinguir os lotes de sementes em diferentes níveis de vigor, destacando a superioridade do lote 5 perante os demais, porém sem apresentar diferenças estatísticas com os lotes 1 e 4, classificados com vigor médio-alto. O lote 2, de qualidade média-baixa, não apresentou diferenças estatísticas quando comparado aos lotes médio-alto (lotes 1 e 4) e o lote de baixo vigor, lote 3.

O período de exposição de 72h apresentou melhor sensibilidade para classificação dos lotes em três níveis de vigor. Assim, o lote 5 destaca-se como o mais vigoroso, diferindo-se estatisticamente dos demais lotes avaliados. Os lotes 1, 2 e 4 de qualidade intermediária foram semelhantes entre si, diferenciando-se estatisticamente de lote 1 (mais vigoroso) e do lote 3, classificado com a qualidade inferior.

Na pesquisa de Rodo et al. (2000) em sementes de cenoura, cultivar Brasília, ao trabalhar com os períodos 48, 72 e 96 horas, conclui-se que o período 72 horas a temperatura de 41°C com uso de solução de NaCl, apresentou melhor capacidade de distinção dos lotes em diferentes níveis de vigor.

De forma similar, Panobianco e Marcos Filho (2001) ao avaliarem cinco lotes de sementes de tomate híbridos Debora Plus e Bruna pelo teste de envelhecimento acelerado, empregando-se os períodos de 48 e 72 horas, a 38°C ou 41°C, concluíram que a combinação 72 horas a 41°C com ou sem o uso da solução saturada de NaCl são eficientes para detectar diferenças de vigor entre os lotes.

A partir dos resultados da análise de variância das sementes de linho submetidas ao teste de EA pelo método tradicional e solução saturada de NaCl, na temperatura de 41°C e nos períodos de exposição de 48 e 72 horas, foi possível constatar que o método alternativo (SSS) resultou em porcentagens de germinação superiores ao procedimento tradicional. Este fato pode ser explicado em virtude da absorção mais lenta e uniforme das amostras na presença de moléculas de sal, as quais reduzem a umidade relativa do ar (UR) das caixas plásticas a 76%, enquanto que o procedimento tradicional utiliza UR de 100%.

A diminuição da velocidade do processo de embebição e deterioração das sementes de linho submetidas ao teste de envelhecimento acelerado provocaram

efeitos menos drásticos sobre os lotes avaliados, resultando em dados mais consistentes e com menor grau de variabilidade, corroborando com o proposto por Panobianco e Marcos Filho (2001).

Outra vantagem observada com o uso de solução salina saturada é a diminuição da proliferação de microrganismos durante a realização do teste de envelhecimento acelerado, em razão da restrição da umidade relativa a níveis mínimos, que restringe o desenvolvimento de patógenos. Constatações semelhantes foram elucidadas por Ávila et al. (2006) ao trabalhar com sementes de rúcula, Panobianco e Marcos Filho (2001) em tomate, Rodo et al. (2000) em cenoura.

A presença de microrganismos no decorrer do teste é indesejável, pois pode comprometer a sensibilidade dos resultados, visto que a proliferação de fungos pode, por exemplo, afetar o desenvolvimento de plântulas, dificultar a avaliação das mesmas e a interpretação dos resultados, promovendo incertezas quanto aos dados do teste (HARTER, et al. 2014). Assim, um dos fatores que contribuiu para os resultados inferiores do método tradicional quando comparado ao método alternativo, estão associados a grande proliferação de fungos observada visualmente em ambos os períodos de exposição.

Dessa forma, os resultados encontrados no teste de EA utilizando solução salina saturada de NaCl (76% de UR) no período de exposição de 72 horas, caracteriza-se no âmbito deste estudo como uma alternativa interessante e eficiente na distinção dos lotes de sementes de linho em diferentes níveis de potencial fisiológico, concordando com os resultados da germinação, que revelam a qualidade fisiológica superior do lote 5, enquanto que o lote 3 apresenta o pior desempenho em termos de qualidade.

A utilização do teste alternativo de EA caracteriza-se como um método próspero para determinação do potencial fisiológico de sementes nos programas de qualidade, proporcionando o desaceleramento da velocidade de absorção da água pelas sementes, impactando na diminuição da intensidade de deterioração e no alcance de resultados consistentes. Além disto, o método alternativo não requer equipamentos diferentes aos empregados na metodologia tradicional do teste de envelhecimento acelerado.

CONCLUSÃO

Os resultados da pesquisa revelam que o teste germinação em laboratório e emergência a campo mostraram-se sensíveis para estratificar os lotes quanto ao seu potencial fisiológico, atendendo o princípio do teste de vigor. Em contrapartida, os testes de desempenho de plântulas: índice de velocidade de emergência, fitomassa seca, comprimento da parte aérea, bem como o teste de frio, não mostraram sensibilidade para distinguir os lotes em diferentes níveis de vigor.

O estudo permite concluir que o método de teste de envelhecimento acelerado (EA) com o uso de solução saturada de Cloreto de sódio (NaCl) por período de exposição de 72 horas mostrou-se a alternativa mais eficiente e promissora para avaliação do potencial fisiológico de lotes de sementes de linho, ranqueando os lotes em três níveis distintos de vigor.

Os resultados encontrados nos diferentes testes revelam a superioridade do lote 5, caracterizando-se como o lote de alto vigor, enquanto que o lote 3, caracteriza-se como o lote de baixo vigor.

REFERÊNCIAS

AMARO, H. T. R.; DAVID, A. M. S. S.; ASSIS, M. O.; RODRIGUE, B. R. A.; CANGUSSÚ, L. V. S.; OLIVEIRA, M. B. Testes de vigor para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro. **Revista de Ciências Agrárias** v.38 no.3 Lisboa set. 2015.

AMARO, H. T. R.; DAVID, A. M. S. S.; SILVA NETA, I. C.; ASSIS, M. O.; ARAUJO, E. F; ARAUJO, R. B. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst), cultivar FMS Brilhante. **Revista Ceres**, v. 61, n.2, p. 202-208, Viçosa Mar./Apr. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2014000200007>>. doi: 10.1590/S0034-737X2014000200007

ÁVILA, P.F.V.; VILLELA, F.A.; ÁVILA, M.S.V. Teste de envelhecimento para avaliação do potencial fisiológico de sementes de rabanete. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.28, n.3, p. 52-58, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222006000300008>>. doi: 10.1590/S0101-31222006000300008

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**, Londrina, v.22, n.2, p.171-175, 2000.

BRASIL. MAPA. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS. 395p. 2009.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4. ed. Jaboticabal: **FUNEP**, 558p. 2000. ISBN 85-87632-01-9.

DELOUCHE, J.C. Germinação, deterioração e vigor de sementes. In: **SEED NEWS**. Pelotas: Editora Becker e Peske Ltda, v. 6, n. 6, p. 24-31. 2002.

GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; COSTA, E. M. T.; SANTOS MOURA, S. S.; SILVA, R. S.; CRUZ, F. R. S. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de *Amburanacearensis* (Allemão) A.C. Smith. **Revista Bioscience**. J, V. 29, n. 4, p. 859-866, Uberlândia, July/Aug 2013.

GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; GONÇALVES, E. P.; SANTOS, S. R. N.; LIMA, C. R. Testes de vigor na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Erythrina velutina* Willd. (Fabaceae – Papilionoideae). **Revista Ciência e Agrotecnologia**. V. 33, n. 5. Lavras, p. 1360-1365, set./out. 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000500023>>. doi: 10.1590/S1413-70542009000500023

HARTER, L. S. H.; HARTER, F. S.; DEUNER, C.; MENEGHELLO, G. E.; VILLELA FA. 2014. Salinidade e desempenho fisiológico de sementes e plântulas de mogango. **Horticultura Brasileira**, V.32, n.1, p. 80-85, jan.-mar.2014.

HUPPES, Jonas; KIKUTI, Ana Lúcia Pereira; PEREIRA, Carlos Eduardo; KIKUTI, Hamilton. Vigor de sementes de cenoura e sua relação com o desempenho de plantas em campo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer , v. 9, n.16. Goiânia, p.2111, 2013. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/agrarias/vigor%20de%20sementes.pdf>>.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. Relato dos testes de vigor disponíveis para grandes culturas. Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, Comitê de Vigor de Sementes. **Informativo ABRATES**, V.1, n2. Londrina: ABRATES, 1991.

KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed). Vigor de sementes: conceitos e testes. **ABRATES**: Londrina, 218p, 1999.

LEÃO ARAÚJO, E. F.; SANTOS, J. F.; SILVA, C. B.; MARCOS FILHO, J.; VIEIRA, R. D. Controlled deterioration test and use of the Seed Vigor Imaging System (SVIS ®) to evaluate the physiological potential of crambe seeds. **J. Seed Science**. v. 39 no.4 Londrina Oct./Dec. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v39n4177911>>. doi: 10.1590/2317-1545v39n4177911

MALONE, P.F.V.A.; VILLELA, F.A.; MAUCH, C.R. Potencial fisiológico de sementes de mogango e desempenho das plantas no campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n 2, p.123-129, 2008.

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

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas. Londrina: **Abrates**, 659 p. 2015.

MENDES, R. C.; DIAS, D. C. F. S.; PEREIRA, M. D.; DIAS, L. A. S. Testes de vigor para avaliação do potencial fisiológico de sementes de mamona (*Ricinus communis* L.). **Revista Ciência e Agrotecnologia**. Volume 34, n 1. Lavras, Jan./Feb. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000100015>. doi: 10.1590/S1413-70542010000100015

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, Francisco Carlos; VIEIRA, Roberval Daiton; FRANÇA NETO, José de Barros. Vigor se sementes: conceitos e testes. Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, Comitê de Vigor de Sementes. Londrina: **ABRANTES**. p.2.1-2.24. 1999.

PANOBIANCO, M.; MARCOS FILHO, J. Envelhecimento acelerado e deterioração controlada em sementes de tomate. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 525-531, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162001000300014>>. doi: 10.1590/S0103-90162001000300 014

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos. 3 ed. Pelotas: Editora Universitária/ UFPEL. 573p. 2012. ISBN 978-85-7192-831-2.

RADKE, A. K.; SOARES, V. N.; XAVIER, F. M.; EBERHARDT, P. E. R.; MARTINS, A. B. N.; VILLELA, F. A. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de melancia pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** V.12, Nº 4, p. 634-640. 2017. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v12i4.4862>>. doi: 10.18378/rvads.v12i4.4862

RODO, A.B.; PANOBIANCO, M.; MARCOS FILHO, J. Metodologia alternativa do teste de envelhecimento acelerado para sementes de cenoura. **Scientia Agricola**, V. 57, n.2. Piracicaba – São Paulo, p. 289-292. 2000.

ROSSI, E.; LINDINO, C. A.; SANOS, R. F.; CREMONEZ, P. A.; NADALETTI, W. C.; MASCHIO, P. H.; SANTOS, K. G.. Influência da densidade de plantio no crescimento da linhaça marrom. **Revista Monografias Ambientais - REMOA** v.13, n.4, set-dez. 2014.

SOUZA LEMES, E.; OLIVEIRA, S.; ALMEIDA, A. S.; MENEGHELLO, G. E.; GEWEHR, E.; TUNES, L. M. Testes de vigor para avaliação da qualidade de sementes de grama-bermuda. **Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata**. Vol 114 (2): 185-192, 2015.

STANCK, L. T.; BECKER, D.; BOSCO, L. C. Crescimento e produtividade de linhaça. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.25, n.1, p.249-256, 2017.

TOMM, G. O.; FLOSS, E. L.; GARRAFA, M.; BENEDETTI, V. **Indicações para o cultivo de linho no Rio Grande do Sul**. Guarani das Missões: Giovelli, p. 40, 2006.