

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS FACULDADE
DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes**



Tese

**CARACTERIZAÇÃO MORFOBIOMÉTRICA E ADEQUAÇÃO DE TESTES DE
VIGOR E VIABILIDADE PARA SEMENTES DE LINHAÇA**

Josiane Cantuária Figueiredo

Pelotas, 2023

JOSIANE CANTUÁRIA FIGUEIREDO

**CARACTERIZAÇÃO MORFOBIOMÉTRICA E ADEQUAÇÃO DE TESTES DE
VIGOR E VIABILIDADE PARA SEMENTES DE LINHAÇA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciências (área do conhecimento: Ciência e Tecnologia de Sementes).

Orientadora: Prof. Dra. Andréia da Silva Almeida

Coorientadora: Dra. Andrea Bicca Noguez Martins

Coorientadora: Prof. Dra. Lilian Vanussa Madruga de Tunes

Pelotas, agosto de 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

F476c Figueiredo, Josiane Cantuária

Caracterização morfolométrica e adequação de testes de vigor e viabilidade para sementes de linhaça / Josiane Cantuária Figueiredo ; Andréia da Silva Almeida, orientadora. — Pelotas, 2023.

73 f.

Tese (Doutorado) — Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. *Linum usitatissimum* L,. 2. Germinação. 3. Emergência. 4. Envelhecimento acelerado. 5. Tetrázólio. I. Almeida, Andréia da Silva, orient. II. Título.

CDD : 633.5231

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

Josiane Cantuária Figueiredo

CARACTERIZAÇÃO MORFOBIOMÉTRICA E ADEQUAÇÃO DE TESTES DE
VIGOR E VIABILIDADE PARA SEMENTES DE LINHAÇA

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciências, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 10/08/2023

Banca Examinadora:

Prof^a. Dra. Andréia da Silva Almeida (Orientadora)

Doutora em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

Prof^a. Dra. Lilian Vanussa Madruga de Tunes

Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria

Dra. Andrea Bicca Noguez Martins

Doutora em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

Dra. Vanessa Pinto Gonçalves

Doutora em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

Prof^a. Dra. Andréia Márcia Santos de Souza David

Doutora em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa

Lista de Figuras

- Figura 1:** Frequencia relativa das características biométricas comprimento (A), largura (B) e espessura (C) de sementes de linhaça. Pelotas – RS, 2023.....22
- Figura 2:** Teor de água de cinco lotes de sementes de linhaça. Pelotas – RS, 2023.....43
- Figura 3:** Resultados médios da germinação, primeira contagem de germinação, emergência de plântulas. Pelotas – RS, 2023.....45
- .

Lista de Tabelas

- Tabela 1:** Teor de água e (%) e peso de mil sementes (g) de sementes de linhaça (*Linum usitatissimum* L.). Pelotas – RS, 2023.....21
- Tabela 2:** Média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variância (CV) de sementes de moringa (*Linum usitatissimum* L.). Pelotas - RS, 2023.....21
- Tabela 3:** Germinação de sementes de linho sob ausência e presença de luz. Pelotas - RS, 2023.....24
- Tabela 4:** Caracterização da qualidade inicial de seis lotes de linho avaliados pelo teor de água (TA), germinação (G), primeira contagem de germinação (PCG), comprimento de plântulas (CP), emergência (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica (CE). Pelotas - RS, 2023.....31
- Tabela 5:** Teor de água (%) de sementes de linho, antes e após o teste de envelhecimento acelerado, adotando procedimento tradicional, com emprego de solução salina (SS) e solução salina saturada (SSSat). Pelotas - RS, 2023.....33
- Tabela 6:** Germinação (%) de seis lotes de sementes de linho, após diferentes tempos de envelhecimento acelerado a 41 °C pelo método tradicional, solução salina não saturada e solução salina saturada de NaCl. Pelotas - RS, 2023.....37

Sumário

1 Introdução	13
2 Capítulo I - Morfobiometria de sementes e caracterização morfológica da germinação e emergência de plântulas de linho	16
2.1 Introdução.....	16
2.2 Material e métodos.....	17
2.3 Resultados e discussão.....	20
2.4 Conclusões.....	25
3 Capítulo II - Teste de envelhecimento acelerado e atividades de enzimas antioxidantes para avaliação do vigor de sementes de linho	26
3.1 Introdução.....	27
3.2 Material e métodos.....	31
3.3 Resultados e discussão.....	31
3.4 Conclusões.....	39
4 Capítulo III - Adequação do teste de tetrazólio na avaliação da viabilidade de sementes de linho	40
4.1 Introdução.....	40
4.2 Material e métodos.....	41
4.3 Resultados e discussão.....	43
4.4 Conclusões.....	46
5. Considerações finais	47
6 Referências	48

Aos meus pais, Carlos Antônio de Figueiredo e Luizalena Cantuária Figueiredo,
por serem meus maiores incentivadores e exemplos de seres humanos,
profissionais, e acima de tudo de fé, caráter e honestidade.

Ofereço e dedico essa conquista a vocês!

Agradecimentos

A Deus, pelas bênçãos concedidas, pela presença constante em minha vida, que me permitiu chegar até aqui, fortalecendo o meu espírito diante das dificuldades, enchendo o meu coração de fé e esperança de dias melhores;

A Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Ciencia e Tecnologia de Sementes, pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

Aos professores da pós-graduação, pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos, em especial ao professor Dr. Geri Eduardo Meneghello pela orientação em algumas etapas do experimento da minha tese.

À minha orientadora, professora Dra. Andréia da Silva Almeida, pela orientação.

Aos funcionários do PPG de Sementes, em especial Irene pelas valiosas contribuições e sugestões para a melhoria do trabalho;

À Dra. Andrea Bicca Noguez Martins pela presteza, pela ajuda sempre que necessária e pela boa amizade contruida.

À Dra. Vanessa Pinto Gonçalves pela amizade contruida durante o doutorado e também por ter aceitado a participar como membro da banca.

À professora Dra. Lilian Vanussa Madruga de Tunes, por ter aceitado a participar como membro da banca;

À professora Dra. Andréia Márcia Santos de Souza David, pelos conselhos, ensinamentos, conhecimentos transmitidos e amizade.

Ao doutorando Douglas Passos pela valiosa ajuda nas análises enzimáticas.

Aos meus pais, pelo amor, apoio, dedicação e orações. A vocês meu eterno amor, respeito e admiração!

Às minhas irmãs, pelo apoio, incentivo: serei sempre grata a todas vocês!

Ao meu esposo Carlos Roberto, pelo amor, companheirismo, dedicação e paciência.

Aos meus amigos e parceiros de Pelotas, Jorge, Amanda, Elson, Jacqueline, Mariana, por toda força, amizade, generosidade e torcida, vocês foram fundamentais nesse processo.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste

trabalho merecer meu profundo agradecimento.
MUITO OBRIGADA!

Resumo

FIGUEIREDO, Josiane Cantuária. **Caracterização morfológica e adequação de testes de vigor e viabilidade para sementes de linhaça.** 2023. 73f Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

O presente trabalho teve como objetivo realizar a caracterização morfológica e adequação de testes de vigor e viabilidade para sementes de linhaça, bem como analisar se a atividade das enzimas do sistema antioxidativo estão relacionadas ao vigor das sementes. Foram utilizadas sementes de linhaça da cultivar ST pioneira. Realizou-se a caracterização morfológica das sementes, sendo mensuradas as medidas de comprimento e largura com auxílio de um paquímetro digital e a visualização de partes integrantes das sementes através de lupas estereoscópicas, realizando-se ilustrações manuais da morfologia da germinação e de plântulas. Para teste de envelhecimento acelerado foram utilizadas seis lotes de semente de linhaça, inicialmente submetidas a testes para a caracterização do seu potencial fisiológico. O teste de envelhecimento acelerado foi conduzido pelo método tradicional (100% UR) e com solução salina de NaCl (96% UR) e solução salina saturada (76% UR) a 41° C por 24, 48, 72 e 96 h. Foram determinadas também a atividade das enzimas catalase, peroxidase do ascorbato, peroxidase e superóxido dismutase. O teste de tetrazólio foi conduzido utilizando cinco lotes de sementes e testadas quatro concentrações de sal de tetrazólio (0,10%; 0,25%; 0,5% e 1%). Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado. Para os testes de avaliação da qualidade inicial, adaptação de metodologia para o envelhecimento acelerado, análise de enzimas antioxidativas e teste de tetrazólio as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). A caracterização morfológica das sementes e das plântulas fornece subsídios que facilitam a correta interpretação de testes laboratoriais na avaliação da qualidade física e fisiológica das sementes. O teste de envelhecimento acelerado e atividade das enzimas do sistema antioxidativo foram eficientes para classificar os lotes de linhaça em níveis de vigor. Para o teste de envelhecimento acelerado, recomenda-se a utilização de 41°C/48h com solução de NaCl saturada (76% UR) e solução de NaCl não saturada (96% UR). O teste de tetrazólio deve ser conduzido utilizando solução de tetrazólio na concentração de 0,10%, durante duas a quatro horas ou 0,25% por período de 1 hora.

Palavras-chaves: *Linum usitatissimum* L, germinação, emergência, qualidade fisiológica, envelhecimento acelerado, enzimas do sistema antioxidativo, tetrazólio.

Abstract

FIGUEIREDO, Josiane Cantuária. **Morphobiometric characterization and adequacy of vigor and viability tests for flax seeds.** 2023. 73f. Thesis (PhD in Seed Science and Technology) - Graduate Program in Seed Science and Technology, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2020.

The present work aimed to carry out the morphobiometric characterization and adequacy of vigor and viability tests for linseed seeds, as well as to analyze whether the activity of the enzymes of the antioxidative system are related to the vigor of the seeds. Linseed seeds of the pioneer ST cultivar were used. The morphobiometric characterization of the seeds was carried out, measuring the length and width with the aid of a digital caliper and the visualization of integral parts of the seeds through stereoscopic magnifying glasses, performing manual illustrations of the morphology of germination and seedlings. For the accelerated aging test, six lots of linseed seed were used, initially submitted to tests for the characterization of their physiological potential. The accelerated aging test was conducted using the traditional method (100% RH) and with NaCl saline solution (96% RH) and saturated saline solution (76% RH) at 41° C for 24, 48, 72 and 96 h. The activity of the enzymes catalase, ascorbate peroxidase, peroxidase and superoxide dismutase were also determined. The tetrazolium test was conducted using five seed lots and tested four concentrations of tetrazolium salt (0.10%; 0.25%; 0.5% and 1%). A completely randomized design was used. For the initial quality assessment tests, methodology adaptation for accelerated aging, analysis of antioxidative enzymes and tetrazolium test, the averages were compared by Tukey's test ($P \leq 0.05$). The morphological characterization of seeds and seedlings provides subsidies that facilitate the correct interpretation of laboratory tests in the evaluation of the physical and physiological quality of seeds. The accelerated aging test and activity of the enzymes of the antioxidative system were efficient to classify the linseed lots in terms of vigor. For the accelerated aging test, it is recommended to use 41°C/48h with saturated NaCl solution (76% RH) and unsaturated NaCl solution (96% RH). The tetrazolium test should be conducted using a tetrazolium solution at a concentration of 0.10% for two to four hours or 0.25% for a period of 1 hour.

Keywords: *Linum usitatissimum L.*, germination, emergence, physiological quality, accelerated aging, antioxidant system enzymes, tetrazolium.

1 Introdução

A linhaça (*Linum usitatissimum* L.) é uma cultura de inverno que pertence à família Linaceae e ao gênero *Linum* (AZEVEDO et al., 2022). A espécie, originária do Oriente próximo a regiões da Europa, teve sua domesticação baseada para o uso de fibras, ainda no período neolítico, com posterior utilização do óleo (ALLABY et al., 2005; FU, 2005), sendo o óleo matéria-prima importante para indústria química (DAL COLL LÚCIO et al., 2021).

A espécie é conhecida no Brasil pelo seu uso na medicina devido ao seu teor de ômega 3 e ômega 6 no grão, que previnem doenças do sistema cardiovascular (ZUK et al., 2015; STANCK et al., 2017; PEGO et al., 2017). É considerada oleaginosa mais abundante de ácido alfa-linolênico, substância com função antioxidante (ANDRUSZCZAK et al., 2015) e de lignina (KAJLA et al., 2015). A linhaça também pode ser utilizada na alimentação animal, cosméticos, ou como fibra principalmente nas indústrias têxteis e na produção de biocombustíveis (RABETAFIKA et al., 2011).

No ano de 2022, a produção mundial de linhaça foi de aproximadamente 3,4 milhões de toneladas em uma área cultivada de 3,5 milhões de hectares (FAO, 2023). A Rússia é a maior produtora de linhaça do mundo, seguido pelo Cazaquistão, Canadá e China (FAOSTAT, 2023).

No Brasil a produção de linhaça foi de aproximadamente 3,8 mil toneladas em uma área cultivada de 4,0 mil hectares, no ano de 2022 (IBGE, 2022). No país a cultura vem ganhando espaço nos campos de produção da região sul, sendo que 100% dessa produção está localizada no estado do Rio Grande do Sul, que produz cerca de 1.916 ton ano⁻¹ em uma área de 2.280 hectares (IBGE, 2020). O município de Giruá é o maior produtor do estado e compreende cerca de 50% da produção brasileira (FAOSTAT, 2021; IBGE, 2021).

O Brasil apresenta 8 cultivares de linhaça registradas no RNC/MAPA, (STANCK et al., 2017; KOHN et al., 2020; BOSCO et al., 2020; VELHO; LÚCIO, 2021; CARVALHO et al., 2023), adaptadas para o cultivo nos meses de maio e junho e a colheita é realizada nos meses de novembro, dezembro e janeiro (VIEIRA et al., 2012).

Por ser uma cultura em expansão no país, a demanda de sementes também aumenta. Assim, a oferta de sementes de linhaça de qualidade no mercado é imprescindível para se obter rápida emergência de plântulas em campo. Lavouras iniciadas com boas sementes terão menores problemas com incidência de plantas daninhas, menor chance de ressemeadura, maior uniformidade no estande e na maturação, população final de plantas adequada o que garante uma lavoura com maiores desempenho e produtividade.

Contudo, a comercialização de sementes incluindo de linhaça tem sido realizada principalmente com base nos resultados do teste de germinação. Esse teste é conduzido sob ótimas condições controladas e ideais em laboratório, permitindo que as sementes expressem a capacidade máxima para originar plântulas normais (MARCOS-FILHO, 2015; RODRIGUES et al., 2022; SALES et al., 2022). Trata-se de um teste padronizado que permite a reprodutibilidade de resultados e de grande importância para viabilizar o comércio de sementes (ARAÚJO et al., 2021). No entanto, não refletir o desempenho das sementes sob condições de campo ou após determinado período de armazenamento (NASCIMENTO et al., 2011; MARCOS-FILHO, 2015). Assim, torna-se interessante a utilização de testes de vigor com o objetivo de complementar as informações fornecidas pelo teste de germinação. Tais informações são essenciais para o controle de qualidade das sementes que serão disponibilizadas aos agricultores para o plantio.

O conhecimento sobre a morfologia interna e externa das sementes, juntamente com a caracterização do desenvolvimento das plântulas, permitem a identificação das estruturas, agregando subsídios para a correta avaliação nos testes que avaliam a viabilidade das sementes (BRASIL, 2009), assim como nos testes de vigor (ABREU et al. 2012).

Apesar do teste de germinação, considerado oficial pela regulamentação brasileira, outra opção para avaliar a viabilidade das sementes é o teste de tetrazólio, que é utilizado com sucesso em programas de controle de qualidade, por ser um método rápido que estima a viabilidade de lotes de sementes de diversas espécies (FRANÇA-NETO e KRZYZANOWSKI, 2019).

A eficiência do teste de tetrazólio na avaliação da viabilidade das sementes depende do desenvolvimento de métodos adequados para cada espécie, determinando condições adequadas de hidratação, preparo das sementes,

concentração da solução de tetrazólio, bem como tempo e temperatura de condicionamento (FANTAZZINI et al., 2020).

O teste de envelhecimento acelerado é amplamente utilizado em todo o mundo para compor programas de controle de qualidade estabelecidos pela indústria de sementes (RODRIGUES et al., 2022). O teste fornece informações valiosas sobre diferenças de vigor entre as amostras analisadas, potencial de armazenamento e emergência de mudas no campo.

O princípio deste teste consiste em aumentar a taxa de deterioração das sementes, expondo-as a altas temperaturas e umidade relativa do ar, consideradas os fatores ambientais que mais afetam a intensidade e a velocidade da deterioração das sementes (TEKRONY e EGLI, 1995; MARCOS-FILHO, 2020). É um teste de vigor muito utilizado em programas de controle de qualidade em empresas produtoras de sementes, pois, em poucos dias, pode-se estimar o potencial de armazenamento dos lotes de sementes beneficiadas e, dependendo do histórico do lote, o desempenho dessas sementes no campo (MARCOS-FILHO, 2020).

Considerando que o vigor de sementes diminui com o avanço do processo de deterioração, cuja causa principal tem sido atribuída à formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), as quais provocam a peroxidação de lipídios (KUMAR et al., 2015). As sementes possuem sistemas de defesa antioxidante para reduzir os danos causados pelas ROS. Tal sistema de defesa da semente é regulado pela atividade enzimática da superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POX) que desempenham papel fundamental na neutralização dos efeitos deletérios das EROs (EBONE et al., 2019). Assim, a determinação da atividade de enzimas do sistema antioxidativo também pode fornecer informações interessantes sobre o potencial fisiológico das sementes.

Contudo, informações sobre metodologias adequadas para a avaliação da qualidade fisiológica das sementes de linhaça são escassas. Com a expansão da cultura no Brasil estudos sobre o tema são relevantes para assegurar a comercialização de lotes com alto potencial fisiológico.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi realizar a caracterização morfobiométrica e adequação de testes de vigor e viabilidade para sementes de linhaça, bem como analisar se a atividade das enzimas do sistema antioxidativo estão relacionadas ao vigor das sementes.

Capítulo I - Morfobiometria de sementes e caracterização da germinação e emergência de plântulas de linhaça

2.1 Introdução

A linhaça (*Linum usitatissimum* L), pertencente à família Lináceas, é uma planta anual do tipo herbácea, originária da Ásia, Europa e região Mediterrânea. Devido a dupla finalidade que o linho apresenta é considerada uma cultura de grande importância econômica (DAWOOD et al., 2019, KOÇAK et al., 2023).

O grão pode ser consumido *in natura*, inteiro ou moído, acrescentados diretamente aos alimentos, por ser fonte fontes de ácidos graxos, fibra e ômega-3 (TRUKHACHEV et al., 2022; LORO et al., 2022). As fibras de linho têm sido utilizadas como matéria-prima têxtil, compondo cordões e fios de tecelagem e, posteriormente, em peças de vestuário ou estofados em tecido de alta qualidade (GOUDENHOFT et al., 2019).

As pesquisas com a cultura da linhaça justificam-se pelas potencialidades que a espécie possui no agronegócio; e pela escassez de informações referentes à qualidade fisiológica com que suas sementes são produzidas, especialmente na região sul do Brasil, onde ocorre a maior produção de sementes da espécie.

O conhecimento sobre a morfologia interna e externa das sementes, juntamente com as observações do desenvolvimento das plântulas, permitem a identificação das estruturas, agregando subsídios para a correta interpretação de testes de germinação (BRASIL, 2009; FERREIRA e BARRETO et al. 2015), tetrazólio entre outros, que são testes amplamente utilizados no controle interno da qualidade das sementes. Além disso, o conhecimento da morfologia das sementes e das plântulas de linhaça nos estádios iniciais de desenvolvimento também contribui para a sistemática quanto para a ecologia

(KOÇAK et al., 2023), fornecendo subsídios importantes para a diferenciação de espécies do mesmo gênero no campo, durante o beneficiamento das sementes e indicações sobre armazenamento e métodos de semeadura, (ANDRADE et al., 2006; CARVALHO, 2020).

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho descrever as características morfobiométricas de sementes, bem como a germinação e emergência de plântulas de linhaça.

2.2 Material e métodos

A pesquisa foi conduzida no Laboratório Didático de Análise de Sementes da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, da Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão, Rio Grande do Sul.

Foram utilizadas sementes de linhaça da cultivar ST pioneira produzidas na safra 2019/2020 pela empresa Tombini localizada no município de Carazinho, Rio Grande do Sul.

No laboratório a homogeneização das sementes foi realizada no divisor de solo, seguindo os procedimentos estabelecidos nas Regras para análise de sementes (BRASIL, 2009). O peso da amostra média foi de 150 gramas e após a homogeneização, obteve-se, através de divisões sucessivas, uma amostra de trabalho de 15 gramas. A partir da amostra de trabalho foram realizadas as seguintes análises:

2.2.1 Análises físicas

Peso de mil sementes: determinado a partir da contagem de oito subamostras de 100 sementes tomadas ao acaso e pesadas em balança de precisão (0,001 g), de

acordo a metodologia descrita nas Regras de Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

Teor de água: foi determinado seguindo o método padrão da estufa a 105 °C por 24 horas (BRASIL, 2009), utilizando-se duas repetições de com 3 gramas de sementes. Os resultados foram calculados com base no peso úmido das sementes e expressos em porcentagem.

2.2.2 Caracterização biométrica das sementes

Para a descrição biométrica foram utilizadas 400 sementes, escolhidas aleatoriamente. Foram descritas as características externas (comprimento, largura, espessura, forma e coloração). Os valores de comprimento, largura e espessura foram determinados com auxílio de paquímetro digital com precisão de 0,01 mm.

2.2.3 Caracterização morfológica de sementes

Para identificar as partes constituintes internas das sementes, foi realizado um pré-condicionamento de 50 sementes em rolo de papel germiteste umedecido com água destilada em volume equivalente a 2,5 vezes o seu peso e então incubadas em câmara de germinação do tipo tipo Biochemical Oxygen Demand (B.O.D) a 25 ° por um período de 18 horas. Após o pré-condicionamento, as sementes foram seccionadas através do eixo embrionário com o auxílio de uma lâmina de aço, em seguida colocadas submersas em copo descartável (50 mL), contendo 5 mL de solução de tetrazólio na concentração de 1% por 20 minutos, em BOD à temperatura de 30°C, no escuro.

Após esses procedimentos, as sementes foram visualizadas em lupa e as características internas das sementes foram observadas em maior detalhe e posterior identificadas e desenhadas manualmente.

2.2.4 Caracterização da germinação das sementes

Para descrição e ilustração da germinação, foram semeadas 50 sementes em substrato rolo de papel umedecido com volume de água destilada equivalente a 2,5 o peso do substrato seco (BRASIL, 2009). Na sequência, o material em análise foi incubado em germinador à temperatura de 25 °C, com luz constante. As ilustrações das fases iniciais da germinação foram realizadas manualmente, a partir das observações do desenvolvimento das plântulas do primeiro ao sétimo dia de germinação.

2.2.5 Caracterização da fotoblastia da germinação das sementes

Para caracterizar a fotoblastia da germinação das sementes, as mesmas foram semeadas sobre substrato papel germistest, umedecido com volume de água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso seco e dispostas em caixas plásticas tipo gerbox (BRASIL, 2009). As caixas contendo as sementes foram mantidas em B.O.D previamente regulado à temperatura constante de 25 °C, equipada com lâmpadas fluorescentes de luz branca e fria, com fotoperíodo de 8-16 horas (luz-escuro). Já a ausência de luz foi obtida pelo envolvimento das caixas de gerbox em papel alumínio e mantido na B.O.D. com a luz desligada. As avaliações foram realizadas no sétimo dia após a semeadura, contabilizando-se o número de plântulas normais (BRASIL, 2009).

2.2.6 Caracterização da emergência das plântulas

Para o acompanhamento do desenvolvimento das plântulas, foram semeadas 10 sementes de linhaça em rizotron (62 x 53x 10 cm), previamente preenchido substrato areia + turfa, disposto em condições ambientais de laboratório. Ao primeiro dia após a semeadura (DAS) realizou-se a caracterização da emergência da primeira semente que apresentou a protrusão da radícula, posteriormente, a cada 2 dias foi feito desenhos de forma manual das estruturas até a formação de uma planta. Os desenhos foram realizados do início ao fim com as mesmas sementes, onde foi caracterizado cada estrutura durante o desenvolvimento.

2.2.7 Análise dos dados

Os dados biométricos foram submetidos à análise estatística descritiva considerando a média, desvio padrão, erro padrão da média e distribuição de frequências.

Os dados referente caracterização fotoblástica das sementes foram submetidos à ANOVA, através do programa estatístico SISVAR, ao nível de 5 % de probabilidade.

2.3 Resultados e discussão

As sementes de linhaça apresentaram teor de água de 8,55 % (Tabela 1). O teor de água exerce influência pronunciada nas propriedades físicas das sementes, sendo esta determinação muito importante em todas as etapas do processo de tecnologia de sementes, desde a colheita, beneficiamento, armazenamento, entre outras atividades (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012). Além disso, o teor de água é um fator que interfere diretamente no peso das sementes, podendo variar de acordo com as condições do local de colheita, com a idade e grau de maturação das sementes (MARCOS FILHO, 2015).

Tabela 1- Médias do teor de água e (%) e peso de mil sementes (g) de sementes de linhaça (*Linum usitatissimum* L.). Pelotas – RS, 2023.

Espécie	Teor de água (%)	Peso de mil sementes (%)
<i>Linum usitatissimum</i> L.	8,55	5,55

Fonte: Dados da pesquisa

O peso de mil sementes foi em média de 5,55 gramas, o que classifica as sementes como pequenas de acordo com Brasil (2009). Os resultados da presente pesquisa corroboram com os obtidos por Worku et al. (2015), estes autores trabalhando com 11 acervos de linhaça encontrou peso de mil sementes variando extensivamente de 2,30 g a 7,54 g.

A determinação do peso de mil sementes é importante para calcular a densidade de semeadura, número de sementes por embalagem, além de fornecer ideia do tamanho das sementes, como também do estado de maturidade e sanidade (BRASIL, 2009).

Em relação as características biométricas das sementes (Tabela 2), as mesmas possuem comprimento médio de $4,4 \pm 0,2$ mm; largura média de $2,4 \pm 0,1$ mm e espessura de $0,6 \pm 0,1$ mm.

Tabela 2. Média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variância (CV) de sementes de moringa (*Linum usitatissimum* L.). Pelotas – RS, 2023.

Medições	Média	DP	CV%
Comprimento (mm)	4,4	0,2	4,70
Largura (mm)	2,4	0,1	10,72
Espessura (mm)	0,6	0,1	12,52

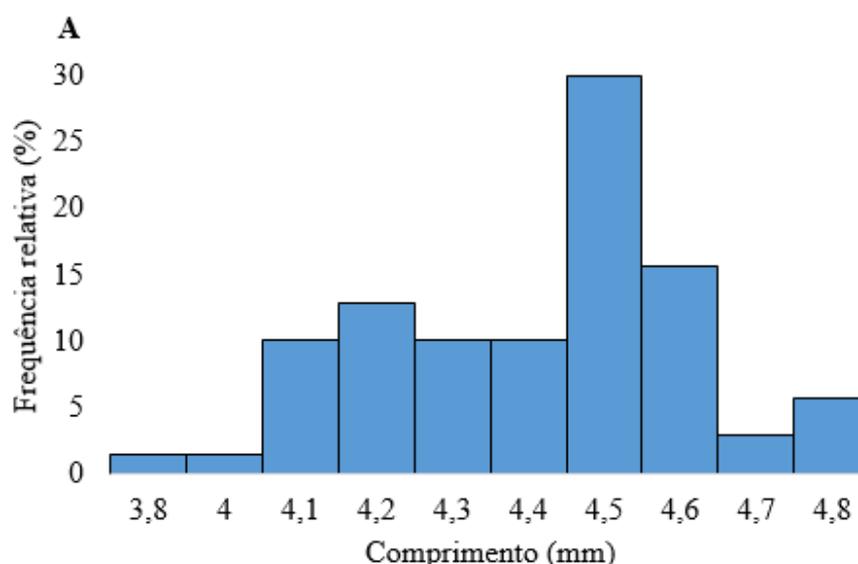
Fonte: Dados da pesquisa

De acordo Tabeli *et al.*, (2020), em estudos com diferentes populaçãoe de linho os autores verificaram comprimento das sementes de $5,22 \pm 0,56$ mm e largura de $2,76 \pm 0,19$ mm, e que o tamanho das sementes podem ser influenciados por fatores

ecológicos e genéticos.

As características biométricas são importantes na classificação e avaliação da qualidade das sementes, pois, em alguns casos, as sementes totalmente desenvolvidas estão relacionadas àquelas de maior tamanho, resultando em maior porcentagem de germinação com formação de plantas mais vigorosas (SARMENTO et al., 2018). Além disso, de acordo com Silva e cols. (2014), o conhecimento da biometria de frutos e sementes é requisito básico para permitir a conservação e exploração de uma espécie.

A frequência relativa referente ao comprimento, largura e espessura das sementes estão contidos na figura 1. Cerca de 30% dos valores referentes ao comprimento se encontra na classe de 4,5 mm (Figura 1 A). Para a largura, o intervalo de 1,25 a 1,32 cm representa 31% do total amostrado (Figura 1 B). Porém, ao se analisar o parâmetro espessura, os dados se distribuíram com homogeneidade apenas entre as classes de 0,6 a 0,8 mm (Figura 1 C). As dimensões largura e espessura apresentaram elevado coeficiente de variação quando comparadas ao comprimento, o que pode caracterizar variabilidade, causada por condições genéticas e edafoclimáticas do local onde as sementes foram produzidas (Tabela 2).



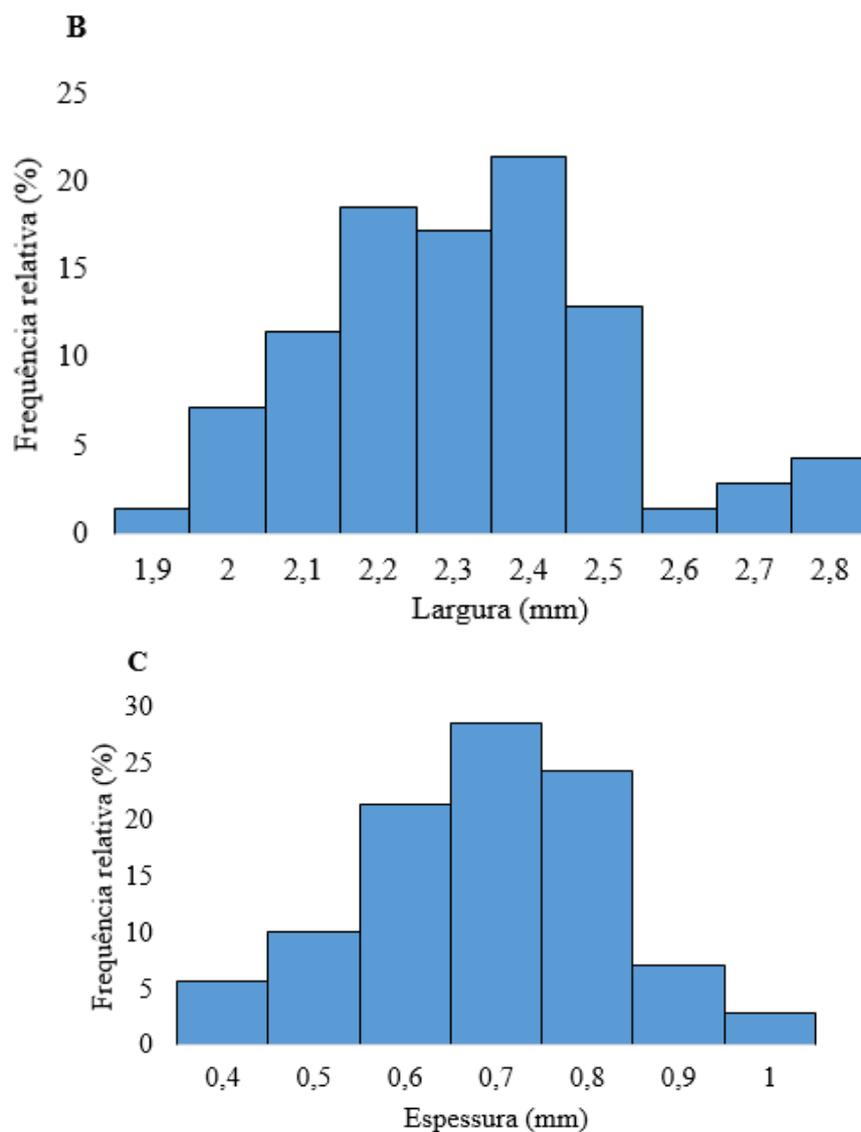


Figura 1 – Frequência relativa das características biométricas comprimento (A), largura (B) e espessura (C) de sementes de linhaça. Pelotas – RS, 2023.

Quanto a caracterização fotoblástica, observou-se que as sementes germinaram na presença e ausência de luz (Tabela 3). Desta forma, detecta-se que a espécie não possui necessidade específica de luz para iniciar o processo germinativo, assim as mesmas são classificadas como fotoblástica neutra (LOPES et al. 2005).

Tabela 3 – Resultados do teste de germinação de sementes de linho sob ausência e presença de luz. Pelotas – RS, 2023.

LUZ	Germinação (%)
Presença	74 a
Ausência	69 a
CV%	9,43

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pela análise de variância a 5% de probabilidade.

A germinação das sementes pode ser inibida ou estimulada pela luz e/ou sinais luminosos, que são captados por um sistema de pigmentos receptores, denominados fitocromos (FARIA et al., 2022). Este sistema está associado ao desencadeamento de respostas metabólicas a estímulos luminosos.

As sementes são classificadas em três categorias de acordo com sua sensibilidade à luz, o que é chamado de fotoblastismo. Este fenômeno está associado a formas e mecanismos de ação dos fitocromos. A primeira categoria é chamada de fotoblastismo positivo, onde as sementes germinam apenas sob luz branca. O segundo é o fotoblastismo negativo, onde as sementes germinam apenas no escuro, e finalmente, a terceira categoria são as sementes insensíveis à luz, onde as sementes germinam tanto na presença quanto na ausência de luz.

A classificação das sementes quando a fotoblastia é importante para a condução dos testes de germinação. Para espécies que dependem de luz para germinar, a profundidade de semeadura pode representar redução ou extinção da luminosidade (XU DONGQING, 2020), podendo culminar em prejuízo a ponto de não ocorrer a germinação mesmo com as condições ótimas de umidade e temperatura.

Conclusões

As sementes apresentam comprimento médio de $4,4 \pm 0,2$ mm; largura média de $2,4 \pm 0,1$ mm e espessura de $0,6 \pm 0,1$ mm. peso de mil sementes de 5,55 superior e umidade em torno de 7,56%.

3. Capítulo II - Teste de envelhecimento acelerado e atividades de enzimas antioxidantes para avaliação do vigor de sementes de linhaça

3.1 Introdução

A linhaça (*Linum usitatissimum* L.) é uma oleaginosa amplamente cultivada, caracterizado por maior produtividade em climas frios e úmidos (CORRÊA et al., 2020). É considerada uma cultura de duplo propósito, devido aos seus produtos primários: a fibra retirada da planta e o óleo extraído das sementes (ANASTASIU et al., 2016).

No Brasil, o cultivo da espécie tem despertado interesse do setor produtivo devido às suas múltiplas aplicações, na alimentação humana, animal, na indústria têxtil e entre outros.

No entanto, para obter altas produtividades da cultura, é importante conhecer a qualidade da semente no momento da semeadura, pois esse é um pré-requisito para a obtenção de plântulas vigorosas, uniformes e de qualidade (COSTA et al., 2008). Nesse sentido, são necessárias análises do potencial fisiológico das sementes por meio de testes padronizados para a espécie, capazes de estimar a o vigor das sementes (PEREIRA et al., 2011).

Dentre os testes de vigor desenvolvidos, o envelhecimento acelerado é um dos mais estudados para diversas espécies cultivadas, sendo utilizado em diversos programas de controle de qualidade adotados em empresas de sementes por apresentar eficiência na comparação do vigor e na estimativa do potencial de armazenamento dos lotes de sementes (OLIVEIRA et al., 2020).

Os testes de vigor das sementes são usados para estimar a qualidade das sementes. Um dos mais utilizados é o envelhecimento acelerado. Neste teste, as

sementes são envelhecidas artificialmente por exposição a altas temperaturas e alta umidade por um determinado período de tempo. O método AA foi útil para estimar o vigor de sementes várias culturas, como a chia (RADKE et al., 2018), Feijão mungo (SILVA et al., 2019), *Brachiaria brizantha* 'Xaraés' (OLIVEIRA et al., 2020), ervilha (MARTINS et al., 2021), grão de bico (ARAÚJO et al., 2021).

Considerando que o vigor das sementes diminui à medida que o processo de deterioração avança e que a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs) geradas pela peroxidação lipídica (Kumar et al., 2015) tem sido atribuída como a principal causa, uma alternativa interessante para classificação de lotes de sementes quanto ao vigor seria a avaliação de enzimas do sistema antioxidante. Dentre essas enzimas, a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT) e a ascorbato peroxidase (APX) têm papel fundamental na neutralização das EROs, sendo as mais estudadas e relevantes no intuito de realizar avaliações relacionadas ao estresse oxidativo. (ANJUM et al., 2017; EBONE et al., 2019).

Assim, estudos que visam relacionar o nível de vigor das sementes com a atividade de enzimas antioxidantes, podem fornecer informações interessantes permitindo detectar diferenças na qualidade fisiológica dos lotes de sementes.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi adaptar uma metodologia de avaliação do vigor de sementes de linhaça pelo teste de envelhecimento acelerado e analisar se a atividade de enzimas antioxidantes está relacionada ao potencial fisiológico dessas sementes.

3.2 Material e métodos

O experimento foi realizado no Laboratório Didático de Análise de Sementes–LDAS do programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, localizado no município de Capão do Leão – RS no ano de 2021.

Foram utilizadas seis lotes de sementes de linhaça da cultivar ST pioneira, produzidas na safra 2020/2021 pela empresa Tombini localizada no município de Carazinho, Rio Grande do Sul. As sementes foram acondicionadas em sacos de papel kraft e mantidas em câmara fria ($10\pm 2^{\circ}\text{C}$ e 65% UR) durante todo o período

experimental.

A homogeneização das sementes foi realizada no divisor de solo, seguindo os procedimentos estabelecidos nas Regras para análise de sementes (BRASIL, 2009). O peso da amostra média foi de 300 gramas para cada lote de sementes e após a homogeneização, obteve-se através de divisões sucessivas, uma amostra de trabalho de 150 gramas por lote. Tanto a amostra média quanto a amostra de trabalho foram superiores a recomendada na RAS devido a maior quantidade de sementes demandadas para a padronização do teste de envelhecimento acelerado. A partir da amostra de trabalho foi realizada as seguintes análises:

3.2.1 Caracterização da qualidade inicial dos lotes

Teor de água – determinado utilizando o método de estufa a 105 ± 3 °C, por um período de 24 horas, segundo as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Utilizou-se duas repetições de 3 gramas de sementes para cada lote e os resultados foram expressos em porcentagem (base úmida).

Teste de germinação - conduzido com quatro repetições de 50 sementes para cada repetição, distribuídas uniformemente sobre duas folhas de papel mata-borrão dentro de caixas plásticas tipo gerbox, umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco. As caixas foram mantidas em germinador a 20°C, sendo as avaliações realizadas no sétimo dia após a semeadura e computando-se a porcentagem de plântulas normais.

Primeira contagem da germinação: Foi realizada juntamente com o teste de germinação, calculando-se a porcentagem de plântulas normais obtidas no terceiro dia após a semeadura (BRASIL, 2009).

Teste de comprimento de plântulas: conduzido com quatro repetições de 20 sementes, distribuídas entre duas folhas de papel germitest umedecidas com água destilada, na quantidade equivalente a duas vezes seu peso seco. As sementes foram semeadas com a extremidade da radícula para a parte inferior do papel, de forma equidistantes sobre um terço horizontal demarcado no limite do terço superior do papel, sendo posteriormente confeccionados rolos (KRZYZANOWSKI, *et al.*, 2020). Estes foram colocados em sacos plásticos com a finalidade de manter constante a

umidade no seu interior, sendo levados para um germinador tipo Mangelsdorf, onde permaneceram à temperatura constante de 20°C, por um período de sete dias. O comprimento das plântulas consideradas normais (Brasil, 2009) foi determinado com o auxílio de régua milimetrada. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, obtendo-se os valores em cm planta^{-1} .

Emergência em canteiro: foram utilizadas quatro repetições com 100 sementes, semeadas em canteiro e preenchido com solo. A semeadura foi equidistante e na profundidade de 0,01m. Aos 21 dias após a semeadura foi contabilizado o número de plântulas emergidas e os resultados expressos em porcentagem.

Índice de velocidade de emergência: realizado em conjunto com o teste de emergência de plântulas. A partir da contagem das plantas emergidas diariamente, o índice de velocidade foi calculado conforme proposto por (MAGUIRE, 1962).

Condutividade elétrica: foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes, pesadas em balança com a precisão de 0,001g, colocadas para embeber copos descartáveis de 100 mL contendo 75 mL de água deionizada, por um período de 24 horas a 25°C (FIGUEIREDO et al., 2021). Após esse período, foi obtida a condutividade da solução de embebição com o auxílio de um condutivímetro Digimed (modelo DM 31), sendo os resultados expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de semente (KRZYZANOWSKI et al., 2020).

3.2.2 Adaptação da metodologia para o teste de envelhecimento acelerado

Teste de envelhecimento acelerado convencional: foram utilizadas caixas plásticas tipo “gerbox”, possuindo em seu interior uma bandeja com tela de alumínio, cada tela dividida em três compartimentos onde as sementes de cada lote após pesagem (3,0 g), foram distribuídas de maneira a formarem camada uniforme.

Dentro de cada gerbox foram adicionados 40 mL de água destilada, proporcionando ambiente com 100 % UR. As caixas foram tampadas e mantidas em câmara do tipo BOD, nas temperaturas de 41 °C, por períodos de 24, 48, 72 e 96 horas. Decorrido cada período de envelhecimento, quatro amostras de 50 sementes por tratamento foram colocadas para germinar na temperatura de 20°C, por três dias (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em percentagem de plântulas normais. Foi determinado também o teor de água das sementes antes e após os períodos de envelhecimento, visando avaliação da uniformidade das condições do teste.

Teste de envelhecimento acelerado com solução salina (SS): procedimento foi semelhante ao descrito para o teste de envelhecimento acelerado convencional, mas foram utilizados 40 mL de solução salina insaturada em vez de água (11 g de NaCl para 100 mL de água destilada), conforme proposto por Costa et al. (2008).

Teste de envelhecimento acelerado com solução salina saturada (SSS): o procedimento foi semelhante ao descrito para o teste de envelhecimento acelerado convencional, mas foram utilizados 40 mL de solução salina saturada em vez de água (40 g de NaCl para 100 mL de água destilada), conforme proposto por Marcos Filho, (2015).

Simultaneamente aos testes de envelhecimento acelerado, foi determinado o teor de umidade das sementes após cada período de envelhecimento, a fim de verificar a uniformidade das condições de teste.

3.2.3 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, e os tratamentos corresponderam aos seis lotes, com quatro repetições. Os dados obtidos foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade pelo teste de Shapiro-Wilk e. Em seguida, as médias foram submetidas à análise de variação (ANOVA) e comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Foram calculados os coeficientes de correlação simples de Pearson (r) entre os dados inicial da qualidade fisiológica das sementes, envelhecimento acelerado e

análises enzimáticas. Para todas as análises, foi utilizado o software estatístico R 4.1.1.

3.3 Resultado e discussão

O teor de água das sementes foi semelhante para ambos os lotes (Tabela 4), sendo a amplitude de variação entre 9,5 a 9,9%, demonstrando que não houve interferência do mesmo nos resultados obtidos dos testes. Esse fato é importante para a confiabilidade das demais avaliações e o fornecimento de resultados coerentes (TUNES et al., 2016; FIGUEIREDO et al., 2021). Sabe-se que o controle da umidade das sementes é de fundamental importância, pois o excesso acelera o metabolismo das sementes, influenciando diretamente vários aspectos de sua qualidade fisiológica (SARMENTO et al., 2015).

Tabela 4: Teor de água (TA), germinação (G), primeira contagem de germinação (PCG), comprimento de plântulas (CP), emergência (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica (CE) de lotes de sementes de linhaça. Pelotas – RS, 2023.

Lotes	Variáveis						
	TA %	G %	PCG %	CP (cm)	EP (%)	IVE (índice)	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$)
1	9,8	88 ab	73 b	14,67 b	86 b	13,50 ab	265,40 b
2	9,8	92 a	82 a	22,92 a	90 a	16,61 a	241,65 c
3	9,9	86 b	67 c	14,60 b	84 b	14,47 ab	265,65 b
4	9,6	92 a	76 b	20,30 a	90 a	12,57 b	244,15 c
5	9,5	88 ab	73 b	13,59 c	76 c	10,35 b	333,76 a
6	9,6	86 b	64 c	14,07 b	84 b	14,10 ab	276,32 b
Fc	-	0,001*	0,0012*	0,002*	0,001*	0,0014*	0,0024*
CV	-	6,39	6,27	9,06	7,01	11,51	4,43

* = significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; F = valor de F calculado; CV = coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Analisando os resultados do teste de germinação, os lotes 2 e 4 apresentaram as maiores porcentagens de sementes germinadas, diferindo estatisticamente dos lotes 3 e 6. Contudo, os lotes 1, 3, 5 e 6 apresentaram valores de germinação abaixo de 90%, não apresentando diferença entre si (Tabela 4). Entretanto, todos os lotes de sementes atenderam ao padrão mínimo de germinação estabelecido para a comercialização de sementes de linhaça que é 70% (BRASIL, 2013).

Vale resaltar, que se as diferenças da qualidade dos lotes de sementes de linhaça fossem observadas pelo teste de germinação, em que as condições de realização são ótimas, o próprio teste já seria capaz de diferenciá-los, não necessitando aplicar teste de vigor. Assim, em pesquisas que tem o objetivo a padronização de metodologias para o teste de envelhecimento acelerado são desejáveis utilizar lotes de sementes com germinação semelhante, pois um dos objetivos desse teste é revelar diferenças no potencial fisiológico que não são detectadas pelo teste de germinação (MARCOS FILHO, 2015).

Observando os resultados da primeira contagem do teste de germinação, verifica-se que o lote 2 foi superior aos demais. Já os lotes 1, 4 e 5 não apresentaram diferença entre si, sendo superiores aos lotes 3 e 6 (Tabela 4).

O teste de comprimento de plântulas e emergência em campo estratificou os lotes de sementes de linhaça em três níveis de vigor, os lotes 2 e 4 de alto vigor, lotes 1, 3 e 6 médio vigor e lote 5 de baixo vigor (Tabela 4). De acordo com Bewley et al., (2013), a redução na porcentagem de emergência de plântulas é consequência do processo natural de envelhecimento das sementes, que está relacionado a danos no sistema de membranas. Além disso, este teste é utilizado como teste de referência para avaliar a eficiência dos testes de vigor na diferenciação de lotes que apresentam respostas semelhantes no teste de germinação (MARCOS FILHO, 2015).

Os resultados obtidos para a variável índice de velocidade de emergência (Tabela 4) demonstraram similaridade no comportamento dos lotes 1, 3 e 6. Os lotes 4 e 5 apresentaram os menores valores de IVG 12,57 e 11,35 respectivamente, entretanto, não apresentaram diferença estatística entre os lotes 1, 3 e 6.

Analisando os resultados da condutividade elétrica das sementes (Tabela 4), verifica-se que as sementes dos lotes 2 e 4 apresentaram menor quantidade de lixiviados, característica de sementes de alto vigor. Os menores valores de condutividade elétrica indicam maior integridade das membranas celulares e menor

liberação de solutos (PRADO et al., 2019). Por outro lado, a condutividade elétrica alta é resultado da maior saída de constituintes celulares da semente, resultando em deterioração e perda de vigor (ZUCARELI et al., 2016). Assim, os resultados desse teste tem grande importância na composição de programas internos de controle de qualidade conduzidos por empresas produtoras de sementes, que poderão estabelecer valores de referência para o uso interno, visando a identificação de lotes de alto vigor (KRZYZANOWSKI et al., 2020).

Em síntese, pelos testes utilizados para a caracterização da qualidade inicial das sementes, o lote 5 foi o menos vigoroso e os lotes 2 e 4, em geral, foram os que apresentaram maior vigor e, dependendo do teste, ficando os lotes 1, 3 e 6 numa posição intermediária.

Os resultados referentes ao teor de água inicial das sementes e após as metodologias do envelhecimento acelerado, estão apresentados na Tabela 5. Vale ressaltar, que estes resultados não sofreram análise estatística, servindo apenas de base para a caracterização das amostras após os períodos de envelhecimento.

Tabela 5: Teor de água (%) de sementes de linhaça, antes e após o teste de envelhecimento acelerado, adotando procedimento tradicional, com emprego de solução salina não saturada (SS) e solução salina saturada (SSSat). Pelotas – RS, 2023.

Lotes	Períodos (h)	Umidade inicial	Teor de água (%)		
			Tradicional	SS	SSSA
1		9,8	14,76	15,96	11,85
2		9,8	14,70	14,78	13,75
3	24	9,9	15,01	16,96	12,89
4		9,6	14,63	15,57	12,57
5		9,5	14,58	15,57	13,19
6		9,6	14,27	14,86	13,32
1		9,8	14,99	15,88	11,84
2		9,8	16,18	14,74	13,87
3	48	9,9	18,85	16,84	13,54
4		9,6	17,82	15,66	12,84
5		9,5	17,19	15,89	13,54

6		9,6	18,19	15,97	13,63
1		9,8	16,84	15,88	11,05
2		9,8	17,51	14,74	13,02
3	72	9,9	19,55	16,84	13,54
4		9,6	18,47	15,56	13,84
5		9,5	18,12	15,87	13,54
6		9,6	19,52	15,87	12,13
1		9,8	18,12	15,84	10,91
2		9,8	21,32	14,71	11,84
3	96	9,9	22,01	16,85	13,54
4		9,6	20,02	15,55	12,84
5		9,5	20,89	15,84	12,84
6		9,6	21,45	14,95	13,53

Analisando as três metodologias de envelhecimento acelerado, nota-se que com uso de solução salina saturada a absorção de água pelas sementes ocorreu de forma mais lenta, resultando em deterioração menos drástica. Tal fato pode ser comprovado pelos valores mais altos de germinação após o envelhecimento acelerado obtidos com a solução salina saturada (Tabela 5), quando comparados aos valores atingidos pelo método tradicional.

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 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, conseqüentemente, menor velocidade de deterioração das mesmas, mas, sem interferir na sensibilidade do teste (HARTER et al., 2014).

A redução de velocidade de captação de água pelas sementes pelo método de envelhecimento acelerado solução salina saturada também foi verificado para as culturas, chia (RADKE et al., 2018); ervilha (MACHADO et al., 2019; MARTINS et al., 2021); *Brachiaria brizantha* 'Xaraés (OLIVEIRA et al., 2020) e grão de bico (ARAÚJO et al., 2021).

Ainda em relação ao teor de água, no teste de envelhecimento acelerado tradicional, no período de 24 horas, o teor de água das sementes variaram de 0,25 pontos percentuais e, quando se empregou solução salina não saturada, a variação

foi de 2,18 pontos percentuais e, com solução salina saturada, foi de 1,9 pontos percentuais (Tabela 5).

No período de 48 horas, as variações entre os teores de água foram de 3,86 pontos percentuais para o método tradicional; 2,1 pontos percentuais para o método empregando solução salina não saturada e 2,03 pontos percentuais para a solução salina saturada (Tabela 5).

Com o envelhecimento acelerado durante 72 horas, as variações entre os teores de água dos lotes empregando os procedimentos tradicional, solução salina não saturada e solução salina saturada foram de 2,71; 1,13 e 2,79 pontos percentuais, respectivamente. E por fim, no período de 96 horas os lotes apresentaram variações entre os teores de água de 3,89 pontos percentuais no método tradicional, 2,14 e 2,63 pontos percentuais nos métodos utilizando solução salina não saturada e saturada respectivamente (Tabela 5).

O teor de água das sementes após o envelhecimento acelerado é um dos principais indicadores da uniformidade das condições de envelhecimento, pois variações de três a quatro pontos percentuais entre amostras são toleráveis (MARCOS FILHO e NOVEMBRE, 2009). Verifica-se, que para todas as condições estudadas no presente trabalho, a variação entre o teor de água das sementes dos seis lotes permaneceu, em geral, dentro do limite tolerável.

Na tabela 6 estão apresentados os resultados da germinação das sementes obtidos após o teste de envelhecimento acelerado. Foi possível observar, que o teste detectou diferenças significativa entre os lotes de sementes, possibilitando estratificá-los quanto aos níveis de vigor.

O método tradicional (100% UR) permitiu a separação dos lotes quanto ao nível de vigor nos quatro períodos de tempo analisados (Tabela 6). Para os tempos de 24 e 48 horas, os resultados foram semelhantes, sendo os lotes 2 e 4 mais vigorosos em relação aos demais. No período de 72 horas foi possível ranquear os lotes em dois níveis de vigor, o lote 2 foi classificado com alto vigor e os lotes 1, 3, 4, 5 e 6 de baixo vigor.

Contudo, no período de 96 horas, foi possível ranquear os lotes em três níveis de vigor, sendo os lotes 2 e 4 classificados com alto vigor. O lote 6 foi considerado de baixo vigor, porém, não apresentou diferença estatística entre os lotes 3 e 5. (Tabela 6).

No período de 96 horas todos os lotes de sementes apresentaram alta incidência de fungos, após o envelhecimento acelerado. De acordo Carvalho et al., (2011), adição de NaCl na solução, no teste de envelhecimento acelerado, contribui para a redução da proliferação de fungos nas sementes devido à restrição da umidade relativa no interior das mini câmaras utilizadas para realização do teste e, também, em razão da liberação para o meio de íons de cloro e de sódio os quais têm ação antifúngica.

Tabela 6: Germinação (%) de seis lotes de sementes de linhaça, após diferentes tempos de envelhecimento acelerado a 41 °C pelo método tradicional, solução salina não saturada e solução salina saturada de NaCl. Pelotas – RS, 2023.

Lotes	Tradicional (água)				Solução não saturada (NaCl)				Solução saturada (NaCl)			
	24 h	48 h	72 h	96 h	24 h	48 h	72 h	96 h	24 h	48 h	72 h	96 h
1	87 b	84 ab	72 b	60 b	88 b	84 b	84 ab	80 ab	88 b	84 ab	84 ab	80 ab
2	91 a	88 a	88 a	68 a	92 a	90 a	86 a	84 a	92 a	90 a	86 a	84 a
3	85 b	80 b	72 b	56 bc	86 b	84 b	82 ab	78 ab	86 b	84 b	82 ab	82 ab
4	90 a	88 a	70 b	68 a	92 a	90 a	86 a	84 a	92 a	92 a	80 b	78 b
5	84 b	80 b	68 b	58 bc	86 b	74 c	70 c	68 c	86 b	76 c	72 c	70 c
6	86 b	80 b	71 b	54 c	86 b	84 b	80 b	78 b	86 b	84 b	78 b	72 c
CV %	5,52	6,72	5,57	5,89	7,05	7,32	4,32	5,72	5,73	4,52	8,95	10,25

Médias seguidas por letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para os métodos utilizando as soluções de NaCl não saturada (96% UR) e saturada (76% UR) (Tabela 6), no período de 24 horas, os resultados obtidos foram semelhantes aos observados pelo método tradicional. Os lotes 2 e 4 foram classificados de alto vigor.

No período de 48 horas, os métodos utilizando solução de NaCl não saturada (96% UR) e saturada (76% UR), foi possível separar os lotes em três níveis de vigor semelhantes aos resultados obtidos no teste de emergência em canteiro e comprimento de plântulas, o que não foi observado no teste conduzido pelo método tradicional. Os lotes 2 e 4 classificados com vigor alto, lotes 1, 3 e 6 vigor intermediário e lote 5 de baixo vigor (Tabela 6).

Os resultados encontrados corroboram aos encontrados por Araújo et al. (2021), que constataram que o teste de EA pelo método solução salina saturada no período de 48 horas, foi capaz de distinguir sementes de grão de bico em três níveis de vigor.

No período de 72 horas, para o método de solução não saturada (96% UR) e solução saturada (76% UR), os resultados foram semelhantes, permitindo diferenciar os lotes em apenas três níveis de vigor, lotes 2 e 4 mais vigorosos, não apresentando diferença significativa entre os lotes 1 e 3. No entanto, o período de 72 horas mostrou-se menos eficiente quando comparado ao tempo de 48 horas.

Com 96 horas de envelhecimento acelerado das sementes, a classificação dos lotes foi semelhante à obtida com 72 h, mas os valores foram inferiores aos obtidos nos demais tempos, para os métodos de solução não saturada (96% UR) e saturada (76% UR).

Em geral, diante dos resultados obtidos fica evidente o aumento da taxa de deterioração com o aumento do período de exposição ao teste, sobretudo quando se utiliza 100% UR, fato também observado em sementes de feijão (BINOTTI et al., 2008; BERTOLIN et al., 2011). Kapoor et al. (2010), em um estudo sobre deterioração de sementes de grão-de-bico após essas serem submetidas ao envelhecimento com 100% UR a 45 °C por 24, 48 e 72 horas, constataram reduções na qualidade fisiológica das sementes, como também nos teores de proteína e açúcar, com o aumento do tempo de envelhecimento acelerado.

3.4 Conclusões

O teste de envelhecimento acelerado utilizando-se o método solução salina não saturada (UR 76%) e solução salina saturada (100% UR) a 41°C por 48 h é eficiente para a avaliação do vigor de sementes de linhaça.

4.0 CAPÍTULO III - Adequação do teste de tetrazólio na avaliação da viabilidade de sementes de linhaça

4.1 Introdução

A linhaça é uma oleaginosa que pode ser cultivada em regiões quentes e frias (PARIZOTO *et al.*, 2013). O grão pode ser consumido *in natura*, inteiro ou moído, também pode ser utilizado como ingrediente na preparação de produtos de panificação, sobremesas e produtos cárneos (FIGUEIREDO *et al.*, 2021). No Brasil o principal destino da linhaça é para indústria, na qual utilizam como componente de secante de tintas, vernizes, corantes, linóleos e biodiesel (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Assim como as demais espécies anuais cultivadas, para obter sucesso na lavoura comercial é necessário o uso de sementes de alta qualidade (VERA *et al.*, 2020). Muitos métodos são usados para avaliar a qualidade fisiológica das sementes, entre eles podemos citar o teste de germinação. No entanto, o mesmo apresenta limitações principalmente quanto à sua duração, que dependendo da espécie analisada, a obtenção dos resultados pode levar um tempo considerável, no caso da linhaça o teste de germinação dura mais de 5 dias.

Por conta disso, o teste de tetrazólio é uma alternativa interessante para avaliar o potencial fisiológico de sementes (PARAÍSO *et al.*, 2019), por ser um método rápido que estima a viabilidade de lotes de sementes de diversas espécies (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2019).

Entretanto, a eficiência do teste de tetrazólio para avaliação da viabilidade de sementes depende do desenvolvimento de um método adequado para cada espécie, determinando a concentração da solução de tetrazólio, bem como tempo de exposição das sementes na solução (FANTAZZINI *et al.*, 2020; ARAÚJO *et al.*, 2019).

Embora exista uma metodologia para avaliação da viabilidade das sementes de *Linum usitatissimum* L. prescritas nas Regras para análise de sementes RAS

(BRASIL, 2009), não há registro da utilização desse método como prática rotineira em programas internos de controle de qualidade no Brasil.

No procedimento proposto Brasil (2009), os resultados de viabilidade são obtidos entre 24 a 42 horas, devido ao período de pré-condicionamento (18 horas) e o longo tempo de exposição (de 6 a 24 horas) das sementes na solução de tetrazólio. Além disso, recomenda-se uma concentração de solução de sal de tetrazólio de 0,5% a 1,0%. No entanto, estes fatores tornam desafiadora a aplicação dessa metodologia, necessitando de ajuste metodológicos pois cada vez mais se deseja análises mais rápidas e de baixo custo.

Vários autores abordaram a adequação da metodologia do teste de tetrazólio para sementes de diferentes espécies, cenoura (LIMA *et al.*, 2018), arroz (CARVALHO *et al.*, 2019), pinhão manso (ARAÚJO *et al.*, 2019), couve, pupunha (BELNIAKI *et al.*, 2020), coentro (SILVA *et al.*, 2021), *Himatanthus sucuuba* (RAMIREZ *et al.*, 2021), orquídeas (RIBEIRO *et al.*, 2021), couve (SALES *et al.*, 2022), tamarindo (CORDEIRO *et al.*, 2022).

Assim, o objetivo desta pesquisa foi propor um ajuste de metodologia para a realização do teste de tetrazólio e avaliar a viabilidade de sementes de linho.

4.2 Material e métodos

O experimento foi realizado no Laboratório Didático de Análise de Sementes–LDAS do programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, localizado no município de Capão do Leão – RS no ano de 2021.

Foram utilizados cinco lotes de sementes de linhaça da cultivar ST Pioneira, safra 2021, com níveis distintos de germinação. Inicialmente, os lotes foram homogeneizados pelo método mecânico (divisor centrífugo), com base nos critérios das regras para análise de sementes (BRASIL, 2009) e separados em quatro amostras que formaram as repetições estatísticas.

4.2.1 Caracterização da qualidade inicial dos lotes

Teor de água: foi determinado através do método em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, por um período de 24 horas, utilizando 5g de sementes de cada lote, conforme as Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009), e os resultados expressos em porcentagem.

Teste de germinação: conduzido de acordo Brasil (2009), em caixas plásticas tipo gerbox, cujas sementes foram semeadas sobre papel mata-borrão, umedecido com volume de água equivalente a capacidade de retenção do papel. As caixas contendo as sementes foram mantidas em câmara de crescimento tipo BOD regulada à temperatura de 25°C com fotoperíodo de 12 horas. As avaliações foram realizadas no sétimo dia após semeadura. Consideraram-se normais as plântulas com raiz bem desenvolvida e parte aérea contendo primórdios foliares.

Primeira contagem da germinação: constou no registro do número de plântulas normais obtidas no terceiro dia após o início do teste de germinação, com os resultados expressos em porcentagem.

Emergência de plântulas: foi conduzida em casa de vegetação utilizando caixas plásticas tipo gerbox contendo areia como substrato. A semeadura foi realizada na profundidade de 0,5 cm e o substrato foi irrigado diariamente. Foram utilizadas quatro repetições de cinquenta sementes, sendo as plântulas consideradas emergidas quando apresentaram a alça cotiledonar acima da superfície do substrato. Contagens diárias foram feitas até a estabilização do estande, e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas emergidas.

4.2.2 Procedimento estatístico

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, e as médias dos lotes foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As médias do teste de germinação foram comparadas com os demais tratamentos pelo teste de Dunnett a 5% de significância, utilizando o software estatístico R. A viabilidade das sementes também foi avaliada por meio da correlação de *Spearman* entre os valores médios do teste de tetrazólio e o teste de germinação.

4.3 Resultados e discussão

O teor inicial de água das sementes de cada lote (Figura 2), apresentou valores semelhantes, condição fundamental para a execução dos experimentos, padronização das avaliações e obtenção de resultados consistentes (TUNES et al., 2016; FIGUEIREDO et al., 2021).

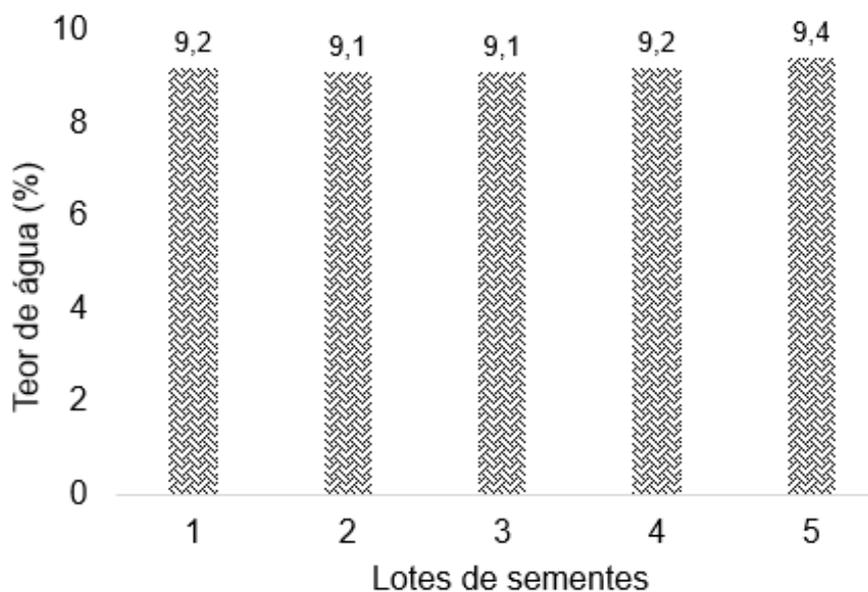
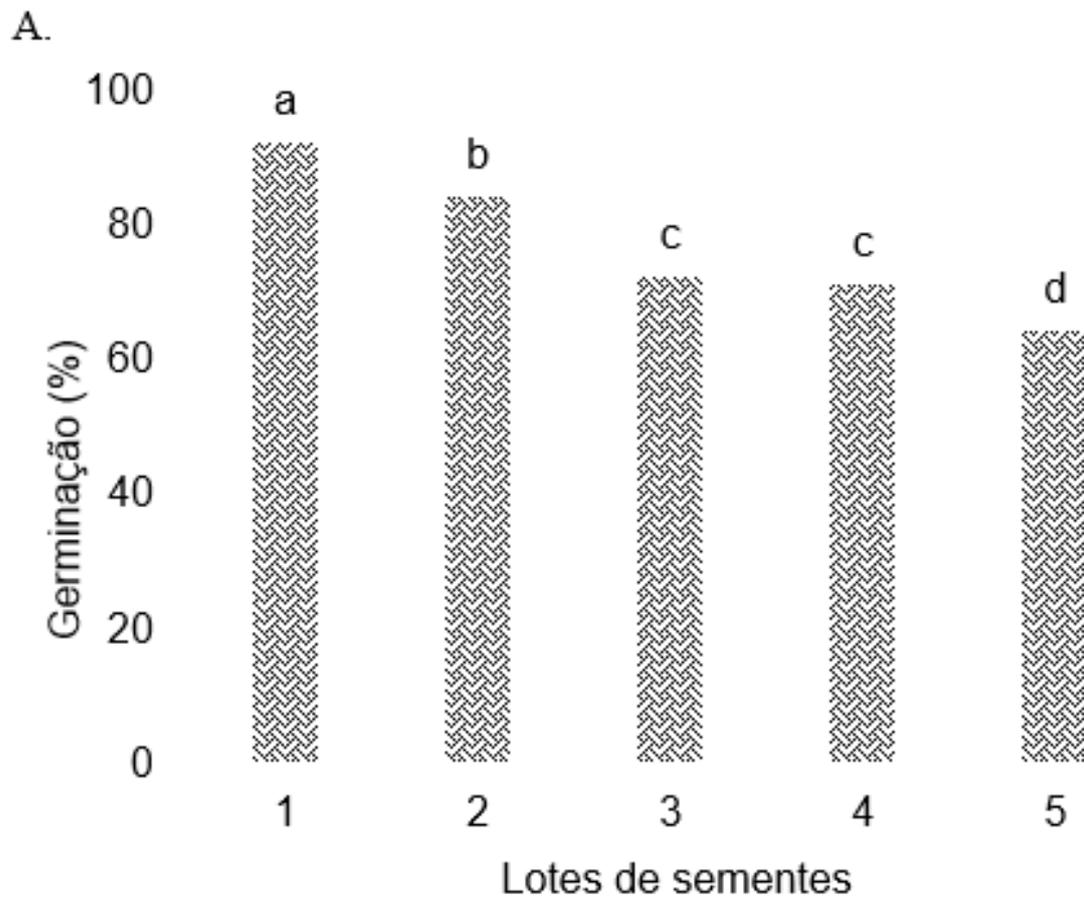


Figura 2: Teor de água de cinco lotes de sementes de linhaça. Pelotas –RS, 2023.

Diferenças de 1 a 2 pontos percentuais nos teores de água entre as amostras não comprometem os resultados dos testes, conforme verificado neste trabalho, cuja maior diferença observada foi de 0,3%, estando, portanto, abaixo do limite considerado tolerável (MARCOS FILHO, 2015), não deixando que as análises realizadas sejam afetadas por diferenças na atividade metabólica, velocidade de umedecimento e na intensidade de deterioração das sementes por diferenças iniciais do teor de água (COIMBRA et al., 2009).

Quanto a germinação, houve variação entre 84 e 59%, constatando-se que apenas os lotes 4 e 5 apresentaram poder germinativo abaixo do padrão para

comercialização de sementes, o qual deve ser igual ou superior a 70%, estabelecidos pela Instrução Normativa nº 45 (BRASIL, 2013). Assim, o lote 1 foi classificado como de qualidade fisiológica superior, apresentado diferença estatística entre os demais lotes (Figura 3A). Os lotes 3 e 4 não apresentaram diferença estatística entre si. Já o lote 5 apresentou uma taxa de germinação inferior aos demais lotes.



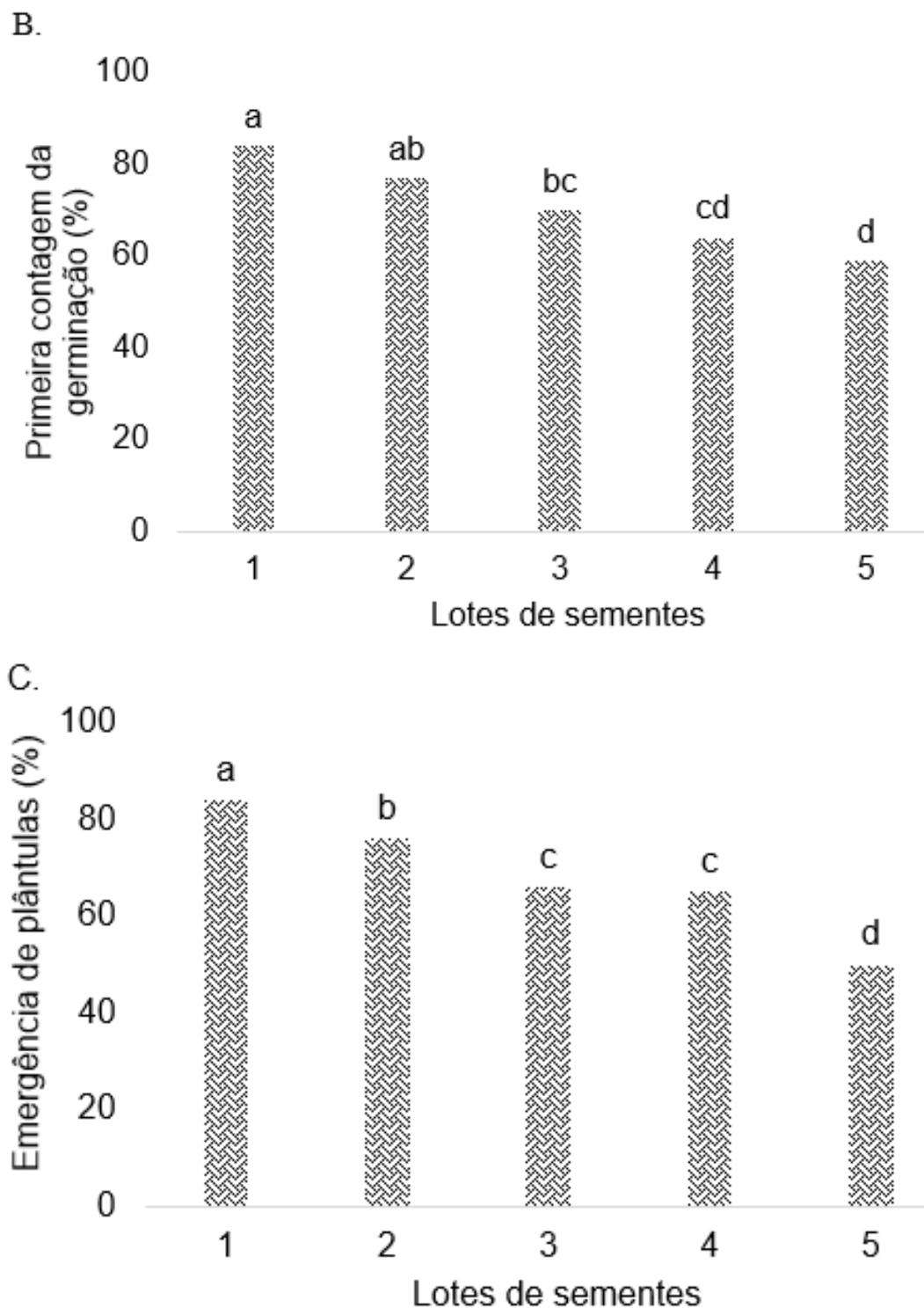


Figura 3: Resultados médios da germinação, primeira contagem de germinação, emergência de plântulas. Pelotas – RS, 2023.

Lotes de sementes com níveis contrastantes de qualidade são desejáveis em pesquisas que visam padronização de metodologias para o teste de tetrazólio, pois a metodologia do teste de tetrazólio deve ser eficiente em identificar a qualidade

fisiológica de um lote, independentemente de ser alta, média ou baixa (CARVALHO et al., 2019; VERA et al., 2020).

Em relação a primeira contagem da germinação, que avalia indiretamente o vigor das sementes, verifica-se que os lote o lote 4 não deferiu do lote 5, mas os resultados foram inferiores aos lotes 1 e 2 (Figura 3 B).

De modo geral, os resultados obtidos da emergência de plântula foram semelhantes em termos de classificação dos lotes em níveis (Figura 3 C). Nestes testes, os lotes 1 e 2 não diferiram entre si sendo superiores aos lotes 3, 4 e 5, sendo este último o de menor vigor, ficando os lotes 3 e 4 numa posição intermediária.

2.4 Conclusão

Conclui-se que a avaliação da viabilidade das sementes de linho por meio do teste de tetrazólio é eficiente mediante hidratação das sementes entre papel por 18 horas a 25 °C, coloração por imersão em solução de tetrazólio a 0,10%, durante duas horas, e 0,25% por período de 1 hora.

6. Considerações Finais

A caracterização morfológica das sementes e das plântulas fornece subsídios que facilitam a correta interpretação de testes laboratoriais na avaliação da qualidade física e fisiológica das sementes.

O aperfeiçoamento de metodologias destinadas à avaliação da qualidade fisiológica de linhaça é imprescindível para garantir um bom estande de plantas no campo, bem como para a possibilidade de comercialização das sementes.

A indústria sementeira, por sua vez, tem demanda por métodos que sejam eficientes e rápidos, se possível, capazes de fornecer resultados em poucas horas.

Neste contexto, enquadra-se o teste de tetrazólio, largamente utilizado tanto para avaliação de viabilidade quanto para vigor. No caso da linhaça, a utilização deste teste é menos frequente, e restrito à viabilidade. Soma-se a isso, o fato de que a metodologia tradicionalmente utilizada demanda praticamente 24 horas para sua conclusão. Assim, o período de execução do teste de tetrazólio para sementes de linhaça pode ser reduzido em menos de 24 horas, mediante hidratação das sementes entre papel por 18 horas a 25 °C, coloração por imersão em solução de tetrazólio a 0,10%, durante duas ou quatro horas, e 0,25% por período de 1 hora.

Para o teste de vigo, verificou-se que o teste de envelhecimento acelerado é eficiente para avaliação do potencial fisiológico de sementes de linhaça e a utilização de solução salina auxilia na obtenção de melhores resultados para essa espécie. As melhores adequações da metodologia referente ao teste, foi a temperatura de 41 °C com uso de solução salina nos períodos de 48 horas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L.A.S.; CARVALHO, M.L.M.; PINTO, C.A.G.; KATAOKA, V.Y.; SILVA, T.T.A. Deterioration of sunflower seeds during storage. **Journal of Seed Science**, v.35, n.2, p.240- 247, 2013.
- ANASTASIU, A. E.; CHIRA, N. A.; LONESCU, N.; STAN, R.; ROSCA, S. Oil productivity of seven Romanian linseed varieties as affected by weather conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 86, p. 219-230, 2016.
- ANDRUSZCZAK, S.; GAWLIK-DZIKI, U.; KRASKA, P.; KWIECIŃSKA-POPPE, E.; RÓŻYŁO, K.; PAŁYS, E. Yield and quality traits of two linseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars as affected by some agronomic factors. **Plant, Soil and Environment**, v.61, p.247-252, 2015.
- ANJUM, S.A.; ASHRAF, U.; TANVEER, M.; KHAN, I.; HUSSAIN, S.; SHAHZAD, B.; ZOHAIB, A.; ABBAS, F.; SALEEM, M.F.; ALI, L.; WANG, L. C. Drought induced changes in growth, osmolyte accumulation and antioxidant metabolism of three maize hybrids. **Frontiers in Plant Science**, v.8, n.69, p.1-12, 2017.
- ALLABY, Robin G. *et al.* Evidence of the domestication history of flax (*Linum usitatissimum* L.) from genetic of the sad2 locus. **Theor Appl Genet**, v. 112, p.58-65, out. 2005.
- AZEVEDO, C.F.; CARVALHO, I.R.; NASCIMENTO, M.; SILVA, J.A.G. da; NASCIMENTO, A.C.C.; CRUZ, C.D.; HUTH, C.; ALMEIDA, H.C.F. de. Informative prior distribution applied to linseed for the estimation of genetic parameters using a small sample size. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.57, e02793, 2022.
- ARAÚJO, J.O. *et al.* Adequacy of the tetrazolium test to evaluate the viability of *Jatropha curcas* L. seeds. **Journal of Seed Science**, v.41, n.4, p.470-477, 2019.
- ARAÚJO, J de. O.; DIAS, D. C. F.; NASCIMENTO, W. M.; MARTINS, A. O.; LIMÃO, M. A. R. Accelerated aging test and antioxidant enzyme activity to assess chickpea seed vigor. **Journal of seed Science**, V. 43, e202143038, 2021.
- BANDEIRA, J.M.; MARINI, P.; BORBA, I.C.G.; MARTINS, A.B.N.; AMARANTE, L.; MORAES, D.M. Antioxidative metabolism: a tool to detect small differences in the vigor of soybean seeds. **Iheringia**, v.69, n.2, p.285-292, 2014.
- BARROS, D.I. *et al.* Uso do teste de tetrazólio para avaliação da qualidade de sementes de abobrinha. **Revista Brasileira de Sementes**, v.27, n.2, p.165-171, 2005.
- BEERS JR., R.F., SIZER, I.W., 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. **Journal of Biological Chemistry**. 195, 133–140.
- BELNIAKI, A.C. *et al.* Rapid results of peach palm seed viability: a methodological

proposition for the tetrazolium test. **Journal of Seed Science**, v.42, e202042034, 2020.

BELTRATI, C. M.; PAOLI, A. A. S. Morfologia, anatomia e desenvolvimento das sementes e plântulas de *Bauhiniaforficata* Link.(Leguminosae-Caesalpinioideae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 49, n. 2, p.583-590, 1989.

BEWLEY, J. D; BRADFORD KJ, HILHORST HWM, NONOGAKI H (2013) Sementes: Fisiologia do desenvolvimento, germinação e dormência. 3ra ed. Springer, Nova York.

BORBA, I. C. G.; BANDEIRA, J. M.; MARINI, P.; MARTINS, A. B. N.; MORAES, D. M. Metabolismo antioxidativo para separação de lotes de sementes de diferentes graus de homogeneidade. **Revista Brasileira de Biociências**, v.12, n.1, p.20-26, 2014.

BOSCO, L.C.; CARDUCCI, C.E.; FIOREZE, A.C. da C.L.; KOHN, L.S.; BECKER, D.; KONKOL, A.C.B. Experiências com o cultivo de linhaça em Santa Catarina: aspectos edafoclimáticos e genéticos. In: VELHO, J.P.; LÚCIO, A.D.C. (Org.). **Linhaça: perspectiva de produção e usos na alimentação humana e animal**. Ponta Grossa: Atena, 2021. p.10-37.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n.45, de 17 de setembro de 2013**. Estabelece padrões de identidade e qualidade para a produção e a comercialização de sementes de espécies de grandes culturas inscritas no Registro Nacional de Cultivares - RNC e não contempladas com padrão específico. Diário Oficial da União, v.150, n. 183, seção 1, p. 6-27, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p.

CARVALHO, I. L. *et al.* Preparo da semente de arroz para execução do teste de tetrazólio. **Colloquium Agrariae**, v.15, p.51-63, 2019.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. (Ed.) Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP, 588p. 2012.

COIMBRA, R. A. *et al.* Testes de vigor utilizados na avaliação da qualidade fisiológica de lotes de sementes de milho-doce (sh2). **Ciência Rural**, v.39, n.9, 2402-2408, 2009.

CORDEIRO, L.N. *et al.* Suitability of tetrazolium test for *Tamarindus indica* L. seeds. **Semina: Ciência Agrária**, v. 43, n. 2, p. 509-522, 2022.

CORRÊA, P. C.; ZEYMER, J. S.; OLIVEIRA, G. H. H de.; ARAÚJO, M. E. V de.; SILVA, C. S da. Comparison between desorption isotherm curves of ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) and flax (*Linum usitatissimum* L.) seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, n. e004420, p. 1-10, 2020.

COSMO, B.M.N. *et al.* Linhaça *Linum asitatissimum*, suas características. **Revista**

Brasileira de Energias Renováveis, v. 3, n. 3, p. 189-196, 2014.

COSTA, C.J.; TRZECIAK, M.B.; VILLELA, F.A. Potencial fisiológico de sementes de brássicas com ênfase no teste de envelhecimento acelerado. **Horticultura Brasileira**, v.26, n.2, p.144- 148, 2008.

DAL'COL LÚCIO, A.; FOLLMANN, D. N.; EMANUELLI, T.; MARCHIORO, V.S.; VELHO, J.P.; (2021) Histórico, usos e importância econômica da linhaça. In: VELHO, J. P.; DAL'COL LÚCIO A.; Linhaça: Perspectiva de produção e usos na alimentação humana e animal. **Editora Atena** 1:1-9.

DAWOOD, M.G.; SADAK, M. S.; ABDALLAH, M. M. S.; ABDALLAH, B.A.; BAKRY, E.; DARWISH, O. 2019 . Influence of biofertilizers on growth and some biochemical aspects of flax cultivars grown under sandy soil conditions. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 43, n. 81, p. 1-13, 2019.

DAMIÃO FILHO, C.F. Morfologia vegetal. Jaboticabal:FUNEP, 243 p, 1993.

DUKE, J. A. Keys for the identification of seedlings of some preeminent wood species in eight forest types in Puerto Rico. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v.52, n. 3, p.314-350,1965.

DUARTE, E. F. Morfologia de sementes e suas aplicações. **Botânica Pública**, v. 1, p. 1-3, 2020.

EBONE, L.A.; CAVERZAN, A.; CHAVARRIA, G. Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.145, p.34-42, 2019.

FAOSTAT. **Crops**. 2023. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#compare> >. Acesso em: 10 mar. 2023.

FAOSTAT. **Crops**. 2021. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#compare> >. Acesso em: 05 mar. 2023.

FANTAZZINI, T.B. *et al.* Correlação entre dados históricos do teste de germinação e do teste de tetrazólio em sementes de café por GAMLSS. **Ciência e Tecnologia de Sementes**, v.48, n.2, p.179-188, 2020.

Ferreira, R. A., & Barretto, S. S. B. (2015). Caracterização morfológica de frutos, sementes, plântulas e mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lamarck). *Revista Árvore*, 39(3), 505-512.

FIGUEIREDO, J.C. *et al.*, Teste de condutividade elétrica em sementes de linho. **Investigación Agraria**, v. 23 n.2, p. 81-85, 2021.

FU, Yong-Bi. *et al.* RAPD analysis of genetic relationship of seven flax species in the genus *Linum*. **Genetic Resources Crop Evolution**, v. 49, n. 3, p. 253 - 259, 2005.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. Tetrazólio: importante teste para

avaliação da qualidade fisiológica de sementes. **Journal of Seed Science**, v.41, p.359-366, 2019.

GOUDENHOFT C, BOURMAUD A, BALEY C (2019) Flax (*Linum usitatissimum* L.) fibers for composite reinforcement: exploring the link between plant growth, cell walls development, and fiber properties. *Front. Plant. Sci.* 10, 411.

HERCHI, W.; AHASHWAN, S.; RABELSI, H.; SEBEI, K.; BOUKHCHINA, S. Effect of seed maturation stages on physical properties and antioxidant activity in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). **Food Science and Technology**, v. 35, n. 4, p. 598-604, 2015.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Agropecuário**. 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf> Acesso em: 10 mar. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tabela 5457 – Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes**. 2020. Available at: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>>. Accessed on: Nov. 7 2021.

KAJLA, P.; SHARMA, A.; SOOD, D.R. (2015) Flaxseed—a potential functional food source. **Journal of Food Science and Technology** 52: 1857–1871.

KOÇAK, M. Z.; KUMLAY, A. M.; ALMA, M. H. Morphological and molecular characterization of flax (*Linum usitatissimum* L.) accessions obtained from different locations in **Turkey**. **Genet Resour Crop Evol**, v.48, n. 10, p. 1-27, 2023.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO J.DE B.; GOMES JUNIOR; NAKAGAWA; J. Teste de Vigor Baseados em Desempenho de Plântulas in Vigor de Sementes: Conceitos e Testes. Londrina: **Abrates**, p. 601, 2020.

KUMAR, S. P.J.; PRASAD, S. R.; BANERJEE, R.; THAMMINENI, C. Seed birth to death: Dual functions of reactive oxygen species in seed physiology. **Annals of Botany**, v. 116, p. 663-668, 2015.

LIMA, C.B.; BOAVENTURA, A.C.; VILLELA, T.T. Comparação de metodologias do teste de tetrazólio para estimativa do potencial germinativo de sementes de cenoura. **Horticultura Brasileira**, v.36, n.2, p.240-245, 2018.

LORO, M. V.; CARVALHO, I. R.; HUTH, C. SILVA, J. A. G.; PORT, E. D.; PRADEBON, L. C. Agronomic performance of linseed as a function of plant arrangement. **Brazilian Journal of Sustainable Agriculture**, v. 12, p.1-11, 2022.

MACHADO, C.G.; SILVA, G.Z.; OLIVEIRA, S.S.C.; MARTINS, C.C. Accelerated

aging test for forage pea seeds. **Semina: Ciências Agrárias**, v.40, n.5, p.1819-1828, 2019.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, v. 2, p. 176-177, 1962.

MARCOS-FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: **Abrates**, 2015. 660 p

MARTINS, G. Z.; CATÃO, H. C. R. M.; CAXEITA, F.; CASTILHO, I. M.; MARINKE, L. DE. S. Evaluation of pea seed vigor by the accelerated aging and controlled deterioration tests. **Comunicata Scientiae**, v.12, p. 1-7, 2021.

MARCOS-FILHO, J. International Seed Testing Association. **Seed Science and Technology**, v.48, n.1, p.439-451, 2020.

MCDONALD, M.B. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. **Seed Science and Technology**, v.27, n.1, p.177-237, 1999.

MORAIS, T de. C.; DIAS, D. C. F dos. S.; TEXEIRA, T. P.; GAMA, G. F. V.; SILVA, L. J. Physiological quality and antioxidant enzymatic action in sunflower seeds exposed to deterioration. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 3, p. 570 – 579, 2021.

MORRIS, D.H. Flax—a health and nutrition primer. Canadá: **Flax Council of Canada**, Winnipeg, 2007. 140 p.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v.22, n.5, p. 867–880, 1981.

OLIVEIRA, A. M. S.; NERY, M. C.; RIBEIRO, K. G.; ROCHA, A. S.; CUNHA, P. T. Accelerated aging for evaluation of vigor in *Brachiaria brizantha* 'Xaraés' seeds. **Journal of Seed Science**, v.42, n. e202042006, p. 1-9. 2020.

OLIVEIRA, M.R. *et al.* Fertirrigação da cultura de linhaça *Linum usitatissimum*. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 1, p. 22-32, 2012.

PAGE, J.; KHADRAOUI, F.; BOUTOUIL, M.; GOMINA M. Multiphysical properties of a structural concrete incorporating short fax fbers. **Constr Build Mater**, v.140, p.344–353, 2017.

PARAÍSO, H.A. *et al.* Adjustments in the tetrazolium test methodology for assessing the physiological quality of chickpea seeds. **Journal of Seed Science**, v.41, n.1, p.007-012, 2019.

PARIZOTO, C. *et al.* Produção agroecológica de linhaça dourada (*Linum usitatissimum*) sob diferentes doses de cama de aves em diferentes espaçamentos entre linhas. **Cadernos de Agroecologia**, v.v8, n. 2, p. 2013.

PEREIRA, M.F.S.; TORRES, S.B.; LINHARES, P.C.F.; PAIVA, A.C.C.; PAZ, A.E.S.; DANTAS, A.H. Qualidade fisiológica de sementes de coentro [*Coriandrum sativum* (L.)]. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, v.13, n. spe, p.518-522, 2011.

PRADO, J. P.; 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, n. 4, p. 407-415, 2019.

RABETAFIKA, H.N.; REMOORTEL, V. VAN; DANTHINE, S.; PAQUOT, M.; BLECKER, C. Flaxseed proteins: food uses and health benefits. **International Journal of Food Science & Technology**, v.46, p.221-228, 2011.

RAMÍREZ, L.H.S. *et al.* Viabilidade de sementes armazenadas de *Himatanthus sukuuba* Wood pelo teste de tetrazólio. **Revista Ciência Florestal**, v. 31, n. 1, p. 333-349. 2021.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. 2001. *Biologia Vegetal*. 6ª edição Guanabara Koogan. Rio de Janeiro.

RADKE, A.K.; XAVIER, F.M.; EBERHARDT, P.E.R.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. Methodological adjustment of the accelerated aging test to evaluate the vigor of chia seeds. **Journal of Seed Science**, v.40, n.2, p.173-178, 2018.

RIBEIRO, L.M. *et al.* Methodology of the tetrazolium test for identifying viable seeds of orchids of the genus *Cattleya* native to the Brazilian Cerrado. **Semina: Ciências agrárias**, v. 42, n. 3, p. 1351-1360, 2021.

SALES, T.S. *et al.*, Tetrazolium test to assess the viability of kale seeds. **Journal of Seed Science**, v.44, e202244033, 2022.

SAISANTHOSH, K; SUMALATHA, GM; SHUBA, AC; KOMALA, NT; PATIL, NK. Role of enzymatic antioxidants defense system in seeds. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v.7, p.584-594, 2018.

SARMENTO, H.G.S.; DAVID, A. M. S. S.; BARBOSA, M. G.; NOBRE, D. A. C.; AMARO, H. T. R. Determinação do teor de água em sementes de milho, feijão e pinhão-manso por métodos alternativos. **Energia na Agricultura**, v. 30, n. 3, p. 249-256, 2015.

SHIM, Y.y.; GUI, B.; ARNISON, P. G.; WANG, Y.; REANEY, M. J.T. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 38, n. 1, p. 5-20, 2014.

SINGH, P.; MOR, V. S.; MALIK, A.; PUNIA, H.; BHUKER, A. Biochemical responses to natural and accelerated ageing on seed quality in Indian mustard (*Brassica juncea*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, V.92, n.7, p.882–5, 2022.

SILVA, L. M da.; SOUZA, A. D. V de.; JUNIOR, R. L. S.; ARRUDA, N.; PEIXOTO, N.; BENNETT, K. S. S. Accelerated Aging Test to Determine the Vigor of Mungbean Seeds. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 7, p. 1-7, 2019.

SILVA, R.N.O. *et al.* Methodological adjustments to the tetrazolium test in coriander seeds. **Journal of Seed Science**, v.43, e202143026, 2021.

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

TUNES, L.M.; VILLELA, F.A. Alternativas metodológicas do teste de envelhecimento acelerado em sementes de coentro. **Ciência Rural**, v.46, n.1, p.95-99, 2016.

TRUKHACHEV, V. I.; Belopukhovb, S. L.; Dmitrevskaiab, I. I.; Baibekovc, R. F.; SEREGINA, I. I. Changes in flax yield and quality in response to various mineral nutrition. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e264215, 2022.

WESTCOTT, N.D.; MUIR, A. D. **Chemical studies on the constituents of *Linum* spp. Flax, of the genus *Linum***. Amsterdã: Hardwood Academic Publishers, 1 ed

WORKU, N.; HESLOP-HARRISON, J. S.; ADUGNA, W. Diversity in 198 Ethiopian linseed (*Linum usitatissimum*) accessions based on morphological characterization and seed oil characteristics. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 62, p. 1037–1053, 2015.

ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C. R.; WERNER, F.; ABATI, J., NAKAGAWA, J. Physiological quality of the seeds of common bean cultivars grown in different phosphorus levels and growing seasons. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 6, p. 3859-3870, 2016.