

**JANINE FARIAS MENEGAES
RAQUEL STEFANELLO
UBIRAJARA RUSSI NUNES
ORGANIZADORES**

Sementes

**FOCO EM PESQUISA SOBRE
QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA
VOLUME II**



2024



Janine Farias Menegaes
Raquel Stefanello
Ubirajara Russi Nunes
Organizadores

**Sementes: foco em pesquisa sobre
qualidade fisiológica e sanitária**
Volume 2



Pantanal Editora

2024

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com.

Revisão: O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos

Profa. MSc. Adriana Flávia Neu

Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior

Profa. MSc. Aris Verdecia Peña

Profa. Arisleidis Chapman Verdecia

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva

Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo

Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu

Prof. Dr. Carlos Nick

Prof. Dr. Claudio Silveira Maia

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos

Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva

Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos

Prof. MSc. David Chacon Alvarez

Prof. Dr. Denis Silva Nogueira

Profa. Dra. Denise Silva Nogueira

Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão

Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves

Prof. Me. Ernane Rosa Martins

Prof. Dr. Fábio Steiner

Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza

Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez

Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles

Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira

Prof. MSc. Javier Revilla Armesto

Prof. MSc. João Camilo Sevilla

Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales

Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski

Prof. MSc. Lucas R. Oliveira

Prof. Dr. Luciano Façanha Marques

Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela

Prof. Dr. Leandro Argente-Martínez

Profa. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa

Marchesan

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann

Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior

Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos

Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla

Profa. MSc. Mary Jose Almeida Pereira

Profa. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes

Profa. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira

Profa. Dra. Patrícia Maurer

Profa. Dra. Queila Pahim da Silva

Prof. Dr. Rafael Chapman Auty

Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke

Prof. Dr. Raphael Reis da Silva

Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes

Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)

Instituição

OAB/PB

Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã

UO (Cuba)

IF SUDESTE MG

Facultad de Medicina (Cuba)

ISCM (Cuba)

UFESSPA

UEA

UNEMAT

UFV

AJES

UFGD

UEMS

IFPA

UNICENTRO

IFMT

UFMG

URCA

ISEPAM-FAETEC

IFG

UEMS

UFF

(Colômbia)

UNAM (Peru)

IFRR

UCG (México)

Rede Municipal de Niterói (RJ)

UNMSM (Peru)

UFMT

SED Mato Grosso do Sul

UEMA

IFPR

Tec-NM (México)

Consultório em Santa Maria

UFJF

UEG

FAQ

UNAM (Peru)

SEDUC/PA

IFB

IFPA

UNIPAMPA

IFB

UO (Cuba)

UFMS

UFPI

UFG

UEMA

Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos IFB
MSc. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca UFPI
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira FURG
Profa. Dra. Yilan Fung Boix UO (Cuba)
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme UFT

Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Catalogação na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

S471

Sementes: foco em pesquisa sobre qualidade fisiológica e sanitária – Volume 2 / Organização de Janine Farias Menegaes, Raquel Stefanello, Ubirajara Russi Nunes. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2024. 156p.

Livro em PDF

ISBN 978-65-85756-28-0

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756280>

1. Sementes. I. Menegaes, Janine Farias (Organizadora). II. Stefanello, Raquel (Organizadora). III. Nunes, Ubirajara Russi (Organizador). IV. Título.

CDD 631.521

Índice para catálogo sistemático

I. Sementes



Pantanal Editora

Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Apresentação

O e-book **Sementes: foco em pesquisa sobre qualidade fisiológica e sanitária – volume 2** de publicação da Pantanal Editora, apresenta, em seus treze capítulos, os resultados de pesquisas desenvolvidas ao longo dos últimos anos de várias instituições de ensino como a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) Campus Botucatu, todas com participação direta dos acadêmicos de graduação e de pós-graduação.

Sabendo que as pesquisas na Área de Sementes são essenciais para uma agricultura de baixo impacto ambiental e aumento da produtividade, nosso trabalho visa contemplar as necessidades de desenvolvimento do Setor Agrônômico Brasileiro. Aproximando o **produtor** da **ciência**, para que ambos obtenham sucesso na aplicabilidade desse conhecimento no **campo**, de forma a promover um manejo sustentável e rentável ao meio rural.

Ótima leitura e atentiosamente,

Janine Farias Menegaes

Raquel Stefanello

Ubirajara Russi Nunes

...

Quem cultiva a semente do amor
Segue em frente e não se apavora
Se na vida encontrar dissabor
Vai saber esperar a sua hora

...

(Madureira, Bernini & Pilares)

Sumário

Apresentação	4
Capítulo I	7
Introdução: principais aspectos na qualidade de sementes (revisão)	7
Capítulo II	25
Nutrição mineral de plantas e qualidade fisiológica de sementes: uma análise científica.....	25
Capítulo III	44
Componentes de produtividade de sementes de nabo-forrageiro em diferentes épocas de colheita ..	44
Capítulo IV	54
Embebição e qualidade fisiológica de sementes de cultivares de soja	54
Capítulo V	65
Mancha-púrpura na qualidade fisiológica de sementes de cultivares de soja.....	65
Capítulo VI	74
Qualidade fisiológica e sanitária e patogenicidade de sementes de sorgo-sacarino	74
Capítulo VII	88
Ácido salicílico na germinação de sementes de trevo-persa.....	88
Capítulo VIII	98
Efeitos do estresse salino na germinação de sementes de aveia-branca.....	98
Capítulo IV	107
Radiação ultravioleta (UV-B) na germinação de sementes de aveia-branca	107
Capítulo X	117
Óxido de grafeno na germinação de sementes de aveia-branca	117
Capítulo XI	127
Germinação de sementes de <i>Solanum sessiliflorum</i> Dunal sob efeito da embebição com ácido giberélico	127
Capítulo XII	135
Morfologia das sementes e sua relação com a presença de <i>Fusarium</i> spp.....	135
Capítulo XIII	144
Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de cártamo armazenadas por diferentes períodos	144
Sobre os organizadores	155
Índice Remissivo	156

Introdução: principais aspectos na qualidade de sementes (revisão)

 10.46420/9786585756280cap1

Janine Farias Menegaes 
Raquel Stefanello 
Ubirajara Russi Nunes 

INTRODUÇÃO

A semente é um dos insumos agrícolas mais importante, pois nela contém as potencialidades produtivas da planta e a preservação dos recursos genéticos vegetais fundamentais para a garantia da sustentabilidade e segurança alimentar. As qualidades dos atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários determinam a capacidade da semente de originar plantas de alta produtividade (Popinigis, 1985; Machado, 2000; Zini et al., 2021) e, ao longo do tempo esses atribuídos vão se modificando.

A preservação da qualidade das sementes para a implantação da lavoura ocorre devido aos seus tratamentos, que consistem na aplicação de processos e substâncias sobre as mesmas, que auxiliam na expressão do seu potencial genético, visando, especialmente, o vigor das sementes e a eficiência do controle de fitopatógenos (Menten & Moraes, 2010).

Deste modo, as sementes no processo de pós-colheita ou beneficiamento receberão uma triagem para a retirada das sementes de outras espécies, danificadas, de coloração acentuada, das impurezas e, por fim, realizar-se-á separação por tamanho. Assim, obtêm-se sementes com características agronômicas uniformes e homogêneas denominando-se como lote. E, deste lote retirar-se-á uma amostra a ser submetida aos testes de verificação das qualidades, principalmente, físicas e fisiológicas (Brasil, 2009a; Ferreira & Borghetti, 2004), os mesmos testes são verificados na pesquisa com as mais distintas finalidades, destacando, os testes fisiológicos de vigor e germinação.

As avaliações das qualidades fisiológica, genéticas, físicas e sanitárias ocorrem de diversas formas, sendo específicas a cada espécie, algumas já são preconizadas pelas Regras para Análise de Sementes (RAS; Brasil, 2009a) e pelo Manual de Análise Sanitária de Sementes (MASS; Brasil, 2009b) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Assim, o objetivo desse capítulo foi realizar uma breve revisão de literatura sobre a temática de qualidade de sementes e seus aspectos perpassando desde a maturação, colheita até o armazenamento.

METODOLOGIA

Para a elaboração do presente trabalho realizou-se uma revisão de literatura baseada em artigos científicos, livros e anais de eventos, todos referentes a temática abordada conforme sugerido por Pereira et al. (2018). Para a obtenção das referências citadas neste trabalho foram consultados os sites eletrônicos de pesquisa, como, SciELO, Google Acadêmico e Portal de Periódicos CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). Utilizando as seguintes palavras-chave para essa pesquisa: “qualidade de sementes, atributos de sementes, qualidade física, qualidade fisiológica, qualidade sanitária, aspectos genéticos, armazenamento, secagem de sementes”.

ATRIBUTOS DE QUALIDADE DE SEMENTES

Genéticos

A qualidade genética envolve a pureza varietal, potencial de produtividade, resistência a pragas e moléstias, precocidade, qualidade do grão e resistência a condições adversas de solo e clima, entre outros. Essas características são, em maior ou menor grau, influenciadas pelo meio ambiente e melhor identificadas examinando-se o desenvolvimento das plantas em nível de campo (Carvalho & Nakagawa, 2000; Ferreira & Borghetti, 2004).

Há necessidade de uma série de medidas a serem tomadas, para evitar contaminações genéticas ou varietais e, assim, colocar à disposição do agricultor sementes com características desejadas. Por **contaminação genética**, entende-se a resultante da troca de grãos de pólen entre diferentes cultivares, enquanto por **contaminação varietal**, entende-se a que acontece quando sementes de diferentes variedades se misturam. A primeira ocorre na fase de produção e a segunda, principalmente, na etapa de pós-colheita.

Com a certeza da pureza genética da cultivar, ter-se-á no campo plantas que irão reproduzir fielmente as características selecionadas pelo melhorista e originar um produto em quantidade e com as qualidades esperadas pelo agricultor e consumidor.

Nos últimos anos, tem-se dado bastante ênfase em características genéticas das sementes que possibilitem um maior desempenho para o seu estabelecimento no campo. Algumas dessas características já foram ou estão sendo incorporadas em cultivares de algumas espécies como:

- a) resistência à deterioração de campo através da incorporação dos caracteres de dureza da semente;
- b) capacidade de germinar em condições de baixa temperatura;
- c) capacidade de germinar a maiores profundidades do solo.

Físicos

A qualidade física prediz que em um lote de sementes, por exemplo, de arroz (*Oryza sativa* L.) terá apenas sementes de arroz e não de outras espécies, assim, denomina-se pureza física. Pois, uma vez um lote de sementes com baixa qualidade física poderá haver sementes silvestres, tóxicas ou contaminantes a espécie de interesse agroeconômico. Outro ponto importante desta qualidade é a umidade das sementes, que determina a quantidade de água presente, a qual pode causar danos quando em excesso ou mesmo quando em baixo grau, chegando a inibir a germinação (Carvalho & Nakagawa, 2000; Brasil, 2009a).

a) **Pureza física** - é uma característica que reflete a composição física ou mecânica de um lote de sementes. Através desse atributo, tem-se a informação do grau de contaminação do lote com sementes de plantas daninhas, de outras variedades e material inerte.

b) **Umidade** - o grau de umidade é a quantidade de água contida na semente, expressa em porcentagem, em função de seu peso úmido. A umidade exerce grande influência sobre o desempenho da semente em várias situações. Há uma faixa de umidade em que a semente sofre menos danos mecânicos e debulha com facilidade (15%). Há, também, exigências quanto a umidade para a comercialização, pois esta encontrar-se associada ao peso (massa) do material adquirido. Na maioria dos países, considera-se como 13% o padrão de umidade para comercialização.

c) **Danificações mecânicas** - toda vez que a semente é manuseada, está sujeita a danificações mecânicas. O ideal seria colhê-la e beneficiá-la manualmente. Entretanto, na grande maioria das vezes, isso não é prático nem econômico. As colhedoras, mesmo quando perfeitamente reguladas, podem danificar severamente as sementes durante a operação de debulha. Esse processo causa danos às sementes, principalmente se forem colhidas muito úmidas ou secas.

d) **Massa (peso) de 1000 sementes** - é uma característica utilizada para informar o tamanho e massa da semente. Como a semeadura é realizada ajustando-se a máquina para colocar um determinado número de sementes por metro, sabendo a massa de 1000 sementes e, por conseguinte, o número de sementes por kg, é fácil de determinar o peso de sementes a ser utilizado por área.

f) **Aparência** - a aparência do lote de sementes atua como um forte elemento de comercialização. A semente deve ser boa e parecer boa. Lotes de sementes, com ervas daninhas, materiais inertes e com sementes malformadas e opacas, não possuem o reconhecimento do agricultor.

g) **Peso volumétrico** - é o peso de um determinado volume de sementes. Recebe o nome de peso hectolítrico se for o peso de 100 L. Em relação à umidade, a mesma varia conforme o tipo de semente; por exemplo, em trigo, milho e soja, quanto maior o grau de umidade, menor será o peso volumétrico, enquanto para sementes de arroz ocorre o inverso, onde 1 m³ de arroz com 13% de umidade pesa ao redor de 560 kg e, com 17%, pesa mais de 600 kg.

Fisiológicos

A **germinação** é definida como a emergência e o desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, manifestando sua capacidade para dar origem a uma plântula normal, sob condições ambientais favoráveis (Carvalho & Nakagawa, 2000; Brasil, 2009a). O percentual de germinação é atributo obrigatório no comércio de sementes, sendo (em geral) 80% o valor mínimo requerido nas transações. Em função do percentual de germinação e das sementes puras, o agricultor pode determinar a densidade de sua semeadura.

Marcos Filho (2015a) diz que a manutenção da integridade do sistema de membranas é fundamental para a preservação da vitalidade e da viabilidade das sementes. E, que o processo de germinação é desencadeado em condições ambientais favoráveis em presença de água, caracterizando este processo com a protrusão da radícula. Assim, no padrão trifásico proposto por Bewley & Black (1978), a germinação ocorre definitivamente na Fase III do padrão (Figura 1), com a retomada do embrião identificado com a protrusão da radícula. Anteriormente, ocorre a Fase I, que se caracteriza pelo período de transferência de água do substrato para sementes, em virtude da diferença de potenciais. E, a Fase II é um período de reorganização com degradação e mobilização das reservas e preparo para o alongamento celular.

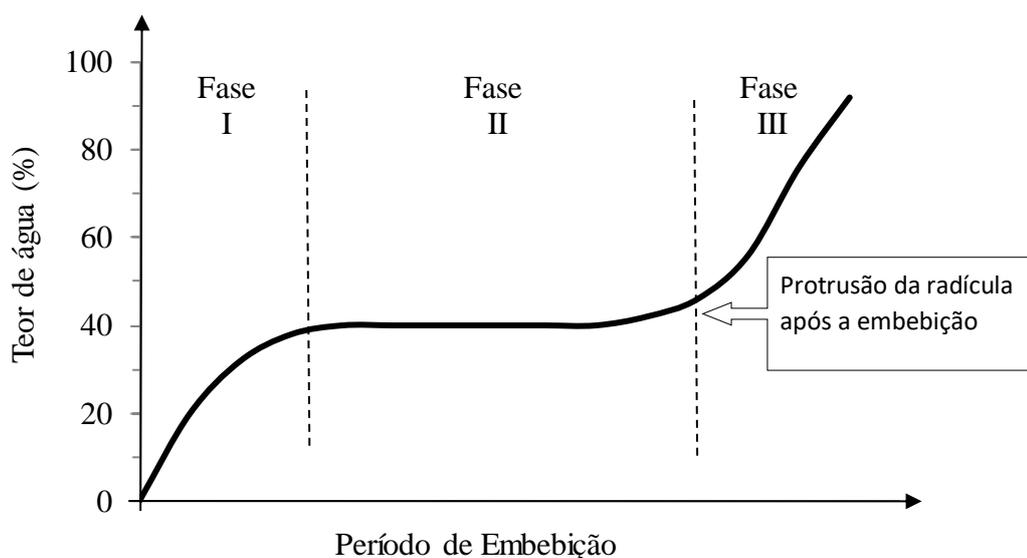


Figura 1. Padrão trifásico de captação de sementes durante a germinação. Fonte: adaptado de Bewley & Black (1978).

Marcos Filho (2015a) exemplifica que o desenvolvimento inicial das plântulas, especialmente, as flores, é expresso pela taxa de emergência (potencial fisiológico) que pode ser relacionada com a adaptação e a interação das sementes com as condições climáticas as quais foram expostas.

O **teste de vigor** de sementes é definido pela Association of Official Seed Analysis (AOSA, 1983) e Marcos Filho (2015b), como, uma das propriedades das sementes que determinam seu potencial para uma rápida emergência no campo, bem como, o desenvolvimento uniforme de plântulas normais em

uma faixa ampla de condições ambientais. Neste sentido, o teste para conferência do vigor das sementes deve apresentar sensibilidade, simplicidade e rapidez na sua execução. Pois, o vigor reflete a manifestação de

um conjunto de características que determinam o potencial para a emergência rápida e uniforme de plântulas e, por esse motivo, torna-se muito difícil, senão impossível, o desenvolvimento de apenas um teste que indique com precisão razoável o potencial de desempenho das sementes expostas as mais variadas situações (Marcos Filho, 2015a, p.622).

Sanitários

As sementes utilizadas para reprodução devem ser sadias e livres de patógenos. Sementes infectadas por doenças podem não apresentar viabilidade ou serem de baixo vigor. A semente é um bom veículo para distribuição e disseminação de patógenos, os quais podem, às vezes, causar surtos de doenças nas plantas, pois pequenas quantidades de inóculo na semente podem ter uma grande significância epidemiológica. Os patógenos transmitidos pela semente incluem bactérias, fungos, nematoides e vírus, sendo os fungos os mais frequentes (Zini et al., 2021).

A associação entre sementes e microrganismos patogênicos é determinada durante o desenvolvimento vegetativo ou o processo reprodutivo. O transporte de patógenos e a transmissão de doenças pelas sementes são geralmente encontrados em todas as espécies com reprodução sexuada, sendo vários destes patógenos prejudiciais à germinação e ao crescimento da planta (Marcos Filho, 2015a).

De modo geral, o transporte de patógenos por sementes pode ocorrer quando o microrganismo se encontra misturado com as sementes ou presente nas suas estruturas essenciais (tecidos ou embrião) ou aderido à superfície destas (Brasil, 2009a). Normalmente, o controle químico com fungicidas e inseticidas tem sido a principal estratégia utilizada no tratamento de sementes (Domene et al., 2016), seguido de outros métodos de controle alternativo como assepsia (Pinheiro et al., 2016), extratos vegetais (Menegaes et al., 2019; Pires et al., 2023), *Trichoderma* sp. (Sales et al., 2023), termoterapia (Lazarotto et al., 2013; Menegaes et al., 2020a), ondas eletromagnéticas (Santos et al., 2023), entre outros.

Os maiores problemas ligados a doenças ocorrem durante a germinação e formação das mudas e são geralmente causados por fungos, seguidos por bactérias e vírus, em menor proporção (Brasil, 2009b; Vechiato, 2010). Nesse contexto, é preciso atenção à qualidade sanitária das sementes, pois estas podem se tornar o principal veículo de disseminação de microrganismos em áreas inexistentes. A utilização de sementes sadias e com o tratamento adequado é essencial para a prevenção ou redução das perdas de produção.

Assim, o tratamento de sementes é imprescindível para evitar a disseminação de doenças a campo, entre as técnicas de tratamentos de sementes a termoterapia via calor úmido ou seco torna-se uma alternativa viável e com baixo impacto ambiental (Lazarotto et al., 2013; Silva et al., 2002). Esta técnica

tem sido amplamente utilizada para diversas espécies e estruturas vegetais com resultados satisfatórios. Entretanto, a termoterapia ainda depende do conhecimento da sensibilidade entre a semente e o patógeno (Françoso & Barbedo, 2014; Grondeau, Samson & Sands, 1994).

Deste modo, os mesmos autores, classificam os tratamentos de sementes em quatro tipos:

Químico: com uso de fungicidas, normalmente, em tratamento realizado imediatamente antes da semeadura;

Biológico: agentes de controle biológico (*Trichoderma*, *Bacillus*, entre outros) são incorporados às sementes, agindo através de antagonismo e competição;

Bioquímico: por fermentação anaeróbica, através de extratos;

Físico (termoterapia): as sementes são submetidas ao calor (binômio temperatura-tempo), sendo eficiente quando o patógeno for mais sensível que a semente.

MATURAÇÃO (DESENVOLVIMENTO) E COLHEITA DE SEMENTES

O processo de formação das sementes é desencadeado com a indução floral e a formação dos gametas, e óvulo depois de fecundado sofre uma série de modificações, tanto em suas funções e forma como em sua fisiologia, originando a semente que, em seu estágio final de desenvolvimento, atinge o seu maior tamanho e maior matéria (peso) seca, chegando à maturidade fisiológica com alto teor de água nas sementes, o qual na sequência inicia o processo de desidratação. Nesses pontos de máximas as sementes atingem as maiores porcentagens de germinação e vigor (Carvalho & Nakagawa, 2000; Taiz & Zeiger, 2009).

A maturação de sementes foi conceituada por Delouche (1971) como

o processo constituído por uma série de alterações morfológicas, físicas, fisiológicas e bioquímicas que ocorrem a partir da fecundação do óvulo e prosseguem até o momento em que as sementes se desligam fisiologicamente da planta-matriz (maturidade fisiológica).

Durante o processo de maturação ocorre grande diferenciação celular, acúmulo de matéria seca e dessecação, até o ponto de máximo potencial fisiológico denominado maturidade fisiológica. Após essa etapa inicia o processo de deterioração que ao longo do período de armazenamento ou conservação vão se modificando com a degeneração de membranas, respiração e biossíntese alteradas, processo germinativo lento, menor taxa, uniformidade e emergência de plântulas, anormalidades, entre outros, até casos mais severos ocorrendo a perda de viabilidade e morte das sementes (Peske, Rosenthal & Rota, 2003; Marcos Filho, 2015a).

O processo de desenvolvimento (maturação) da semente compreende quatro fases, contendo a divisão e a expansão celular, a histodiferenciação, o acúmulo de matéria seca e a dessecação. Nas fases de divisão, expansão e histodiferenciação ocorre alta atividade metabólica e fisiológica regada pelos fitormônios como citocininas e giberelinas, resultando em um rápido acréscimo de matéria verde e aumento do volume celular que estabelecem o limite para acúmulo de reservas nas sementes (Figura 2).

Na fase de acúmulo de massa seca pelas sementes, os processos metabólicos são direcionados através da digestão da nucela e tecidos adjacentes e transferência de reservas da planta mãe para as sementes, aproveitando o processo fonte-dreno da planta. E, na fase final a dessecação, a semente perde conexão vascular com a planta-matriz e sofre rápida desidratação, nesta fase ocorrem os ajustes finais da organização das membranas, da síntese de enzimas, da estrutura e do metabolismo de desenvolvimento das sementes ortodoxas aptas a germinar, e as espécies recalcitrantes não exibem essa secagem rápida ao final da maturação e a germinação (Ferreira & Borghetti, 2004; Amabile et al., 2018, Dias, 2018).

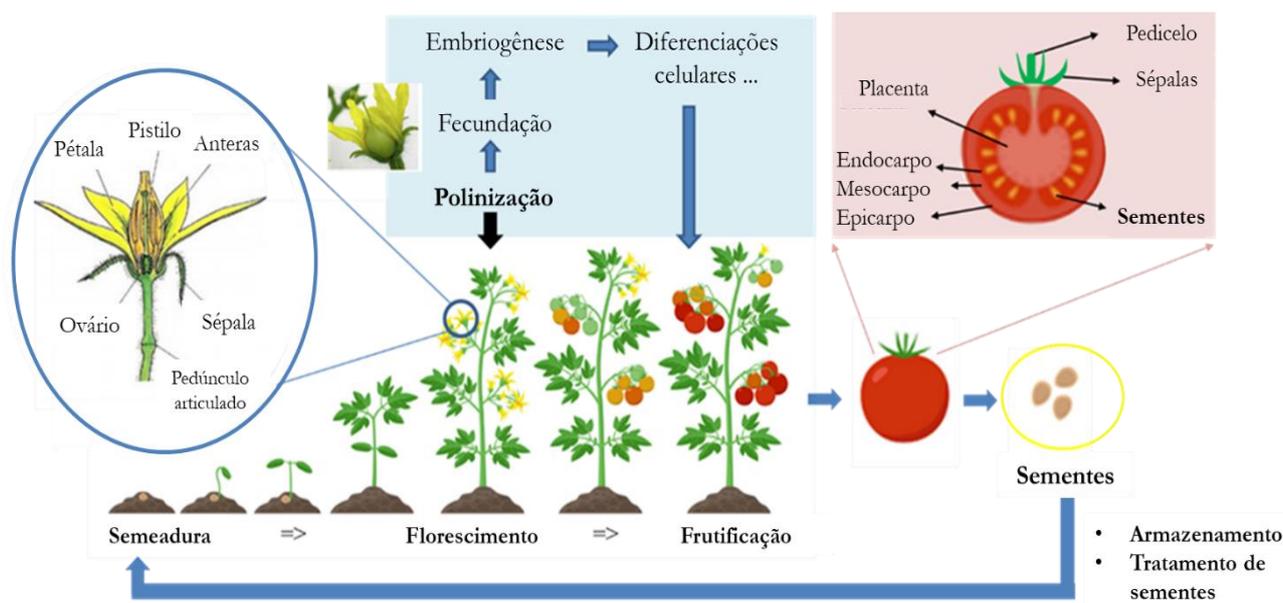


Figura 2. Formação de sementes sequências de processos. Fonte: os autores.

Peske et al. (2003) mencionam que depois de ocorrida a fecundação, ou dupla fertilização, o óvulo sofre uma série de modificações, tanto em suas funções e forma como em sua fisiologia, originando a semente que, em seu estágio final de desenvolvimento, atinge o seu maior tamanho e maior matéria (peso) seca. Nesse ponto as sementes atingem máxima germinação e vigor.

A soma de todos os atributos, tais como matéria seca, tamanho, germinação, vigor e mais as variações ocorridas em termos de proteína, lipídios e carboidratos, além de mecanismos de autoproteção, como o aparecimento de inibidores no momento da maturidade fisiológica (MF), são fatos marcantes da formação completa da semente. Em resumo, tem-se que após a fertilização, o tamanho da semente aumenta rapidamente, atingindo o máximo em curto período em relação à duração total do período de maturação. Este rápido crescimento é devido à multiplicação e ao desenvolvimento das células do embrião e do tecido de reserva. Após atingir o máximo, o tamanho vai diminuindo devido à perda de água pelas sementes.

Paralelamente, os produtos formados nas folhas, pela fotossíntese, são encaminhados para a semente em formação, onde são transformados e aproveitados para a formação de novas células, tecidos

e como futuro material de reserva. Na realidade, o que denominamos “matéria seca” da semente são as proteínas, açúcares, lipídios e outras substâncias que são acumuladas nas sementes durante o seu desenvolvimento. Logo após a fertilização, o acúmulo de matéria seca se processa de maneira lenta, pois as divisões celulares predominam, ou seja, está ocorrendo um aumento expressivo no número de células. Em seguida, verifica-se um aumento contínuo e rápido na matéria seca acompanhado por um aumento do percentual de germinação e de vigor, até atingir o máximo (Klaus & Timm, 2012; Esau, 2015).

Desse modo, pode-se afirmar que, em geral, a semente deve atingir a sua máxima qualidade fisiológica quando o conteúdo de matéria seca for máximo. É importante observar que durante esta fase de intenso acúmulo de matéria seca, o teor de água da semente permanece alto, visto ser a água o veículo responsável pela translocação do material fotossintetizado da planta para a semente. Portanto, durante esta fase é primordial que haja adequada disponibilidade de água e de nutrientes no solo para que o “enchimento” das sementes seja satisfatório. Muitos estudos feitos com maturação de sementes de diversas espécies apontam o ponto de máximo conteúdo de matéria seca como o melhor e mais seguro indicativo de que as sementes atingiram a maturidade fisiológica.

Assim, a maturidade fisiológica fica caracterizada como aquele ponto após o qual a semente não recebe mais nutrientes da planta-matriz, cessando a conexão entre a planta e a semente. A partir daí a semente permanece ligada à planta apenas fisicamente. É preciso ressaltar os cuidados com a semente neste ponto, visto que o conteúdo de reservas é máximo e o grau de umidade ainda é muito alto.

O que pode afetar o desenvolvimento da semente no campo são vários fatores, a ocorrência de estresse hídrico, o qual vai afetar a qualidade da semente nos processos de floração; fase divisão e expansão, fase de acúmulo de massa seca e dessecação; a temperatura muito alta afeta a maturação forçada (sementes verdes); a fertilidade do solo afeta as plantas bem nutridas produzindo sementes maiores e é importante no período de acúmulo de matéria seca (Bryant, 1989; Bueno, Mendes & Carvalho, 2006).

Como forma de identificar o ponto de maturidade fisiológica, os primeiros critérios propostos de período decorrido após a semeadura ou emergência de plântulas, ou dias após início do florescimento; a máxima matéria seca representa o momento em que a semente se desliga da planta e atinge a maturidade fisiológica e o grau de umidade das sementes e, aspectos morfológicos da planta, fruto e/ou sementes durante a senescência.

A resistência à desidratação durante a maturação a semente passa a tolerar a desidratação no processo final de maturação e a capacidade de germinar, intolerância à desidratação precoce (antes da maturidade fisiológica) ou muito rápida, o grau de tolerância a desidratação refere-se a capacidade de recuperar as funções biológicas quando as sementes são reidratadas e esse período de desidratação leva o embrião a quiescência período que se interpõem entre o desenvolvimento da semente e do embrião repouso da semente (Bryant, 1989; Bueno et al., 2006; Marcos Filho, 2015a).

Quiescência (repouso fisiológico) - é quando a semente inicia e completa o processo germinativo quando não há insuficiência de fatores exógenos (como água, calor e oxigênio) ou, numa definição mais

exata, é aquela capaz de germinar na maior amplitude possível de fatores do ambiente físico, considerando-se os limites impostos pelo seu genótipo. Em outras palavras, uma semente quiescente não germina a menos que encontre um conjunto de fatores ambientais não limitante às suas necessidades.

Dormência - é o estágio em que uma semente viva se encontra quando se fornecem todas as condições adequadas para germinação e a mesma não germina. A dormência é uma proteção natural da planta para que a espécie não se extinga em situações adversas (umidade, temperatura, entre outros.). Isto pode acontecer devido à imaturidade do embrião, impermeabilidade da estrutura protetora da semente e presença de substâncias inibidoras. Muitas das sementes dormentes devem passar por um período de amadurecimento pós-colheita, caracterizado por complexas reações enzimáticas e bioquímicas, antes de elas germinarem.

Esse é o caso das sementes de muitas espécies de clima temperado, as quais necessitam ter passado por um período de baixas temperaturas, para superar a dormência e germinar somente, quando as temperaturas sejam adequadas. Essa característica pode ser encarada como benéfica ou não. No caso das sementes de plantas daninhas, ela é considerada ruim para o agricultor, pois dificulta o seu controle, onde algumas sementes podem ficar dormentes por vários anos no solo.

Em forrageiras, o estágio de dormência é benéfico, pois possibilita a ressemeadura natural. Outro exemplo benéfico da dormência é o caso de sementes duras de soja que podem ficar no campo aguardando a colheita com um mínimo de deterioração.

A Colheita é a ação de colher e de coletar do ambiente o produto vegetal, visando a preservação da espécie, pelo armazenamento e semeadura futura para perpetuação da espécie. Requer cuidados importantes, como o conhecimento do ponto de maturidade fisiológica, dessecação, entre outros, para evitar perdas da produção durante a colheita (Peske et al., 2003; Ludwig, 2016).

Os parâmetros que caracterizam a maturação para colheita são:

Umidade: logo após formação do zigoto apresenta em torno de 70 a 80%; em sequência fase de lento decréscimo (clima, espécie, estágio de desenvolvimento); fase de rápida desidratação □ é o ponto da MF (indica a MF de campo); decresce até um certo ponto (ocorrem oscilações □ ambiente).

Cor e Tamanho: máximo tamanho na metade do período de acúmulo de MS – depois perde água e diminui o tamanho; etapa em que as sementes crescem em tamanho rapidamente; ocorre intensa multiplicação de células do embrião e tecido de reserva; ocorre pequena redução no final do período □ desidratação.

Massa de matéria seca: - fase inicial lenta para em seguida rápido acúmulo de matéria seca; - no máximo acúmulo de MS □ MF; trabalhar com outros indicadores (dormência).

Vigor: tende a acompanhar a curva da matéria seca (ambiente); vigor das sementes é proporcional ao acúmulo da matéria seca; assim a semente tem vigor máximo quando há o final do acúmulo da matéria seca.

Germinação: as sementes têm capacidade de germinar e produzir uma plântula na medida em que há o acúmulo da matéria seca.

Viviparidade ou germinação precoce: ocorre quando não há restrição da germinação, permitindo o crescimento do embrião com a semente ainda ligada a planta-matriz.

Cuidados a serem observados durante a colheita o que varia com solo, topografia, ambiente, práticas culturais, espécies sensíveis (maior retardamento, maiores as perdas), espécies com hábito indeterminado (trepador), espécies com maturação desuniforme (forrageiras), observar características morfológicas na colheita (camada negra no milho, encolhimento da semente e ausência de sementes verde-amarela, hilo homocromo e perda de cor verde em mais de 90% na soja [*Glycine max* (L.) Merrill]).

A umidade das sementes na colheita na maturação fisiológica, alta quantidade de massa verde dificulta colheita mecânica, injúrias por amassamento, secagem a níveis compatíveis com armazenamento e perdas das sementes na colheita.

O atraso da colheita, expõe as sementes às condições menos favoráveis do ambiente; queda do potencial fisiológico; queda da produção deiscência de frutos (ex. leguminosas), degrana natural (ex. arroz), conhecer características de cada espécie (momento certo de colheita), conseqüente da má implantação e condução do campo (acamamento, estatura das plantas, inserção das vagens, plantas daninhas, topografia, regulagem inadequada de colhedoras, ponto de colheita, atraso de colheita) (Peske et al., 2003; Henning, 2005; Ludwig, 2016).

Os danos mecânicos são um dos mais sérios problemas para produção de sementes, na colheita é resultado dos impactos recebidos na trilha e separação, a intensidade do dano depende: número e local do impacto, características da semente (tamanho, tipo reserva, forma, localização do eixo embrionário, presença de tegumentos, apêndices, grau de umidade), prejuízos: germinação, vigor, pureza física, capacidade de armazenamento, valor comercial, facilita ataque de microrganismos (Machado, 2000; Brasil, 2009b).

SECAGEM DE SEMENTES

A colheita de sementes com grau de umidade acima dos recomendados para armazenamento seguro torna-se uma prática comum entre os produtores de sementes, pois, as sementes permanecendo na lavoura após a maturidade fisiológica, ficam expostas à ação das flutuações de temperatura e umidade relativa e do orvalho e/ou chuvas que, em processos alternados de sorção e dessorção de água, podem causar significativos danos físicos e fisiológicos (Ludwig, 2016).

Assim, para evitar o “armazenamento no campo” torna-se necessário antecipar ao máximo o momento de colheita, obtendo sementes com grau de umidade tal que ocorrerá a necessidade de secagem imediata, mas, em contrapartida, possibilitando obter sementes que apresentem reduzidos índices de danificação e deterioração, permitindo ao produtor melhor planejar a colheita. O intervalo de tempo que separa o final da colheita do início do processo de secagem deve ser o mais reduzido possível porque,

nesta fase do processo, as sementes com umidade elevada apresentam altas taxas de atividade respiratória e, o consumo antecipado de reservas provoca um desgaste fisiológico que, na prática, produzirão baixos índices de germinação e vigor no futuro (Costa, 2009; Menegaes et al., 2020b).

Princípios de secagem o vapor d'água presente nas sementes tende a ocupar todos os espaços intercelulares, gerando pressões em todas as direções. Por outro lado, a água presente no ar de secagem sob a forma de vapor exerce, também, uma pressão parcial, designada pressão parcial de vapor d'água no ar. O processo de secagem envolve a retirada parcial de água das sementes através da transferência simultânea de calor do ar para as sementes e de água, por meio de fluxo de vapor, das sementes para o ar (Bueno et al., 2006; Klaus & Timm, 2012). Assim, a secagem de sementes, mediante convecção forçada do ar aquecido compreende, essencialmente, dois processos simultâneos:

a) evaporação da água superficial das sementes para o ar circundante;

b) movimento de água do interior para a superfície das sementes, em virtude de gradiente hídrico entre essas duas regiões.

O modo mais utilizado para aumentar o diferencial entre as pressões de vapor da superfície das sementes e do ar de secagem é o aquecimento do ar, diminuindo sua umidade relativa, que adquire maior capacidade de retirada de água.

A secagem natural utiliza as energias solar e eólica para remover a umidade das sementes, utilizando recursos como eiras ou lonas. Cuidados especiais devem ser tomados para que as sementes não sofram aquecimento excessivo e que a secagem ocorra do modo mais uniforme possível. Este método, em geral, é pouco suscetível a riscos de danificação mecânica e térmica sendo, no entanto, dependente das condições psicrométricas do ar ambiente, que muitas vezes não são adequadas para a secagem das sementes. É um método adequado para reduzida quantidade de sementes (Peske et al., 2003; Nascimento, 2009; Ludwig, 2016).

Secagem artificial

Secagem estacionária: Consiste, basicamente, no insuflamento de ar aquecido através de um volume de sementes que permanece estático. A secagem ocorre em camadas com a formação de zonas de secagem. A camada de sementes onde mais efetivamente se verifica a passagem de água das sementes para o ar é denominada de frente de secagem. Os secadores estacionários mais utilizados para secagem de sementes utilizando este método são os silos com distribuição axial ou radial do fluxo de ar. Deve-se ter cuidados operacionais para evitar secagem excessiva na camada de sementes próxima a entrada de ar quente e a demora de secagem das camadas mais distantes. Resultados de pesquisas indicam para sementes com 16 a 18% de umidade a utilização de fluxos de ar de 8 a 10 m³/min./t, temperatura do ar máxima de 40 a 43 °C, umidade relativa do ar mínima de 40% e altura da camada de sementes não

superior a 1,5 m para sementes com dimensões semelhantes a soja (Peske et al., 2003; Villela & Menezes, 2009).

Secagem Intermitente: na secagem intermitente, as sementes são submetidas à ação do ar aquecido na câmara de secagem a intervalos regulares de tempo permitindo, assim, a homogeneização da umidade e resfriamento quando as mesmas estão passando pelas partes do sistema onde não recebem ar aquecido (elevador e câmara de equalização ou resfriamento). Neste método a rapidez e uniformidade de secagem são as características mais relevantes. A secagem de sementes empregando ar aquecido durante intervalos regulares de tempo, intercalado por períodos sem aquecimento (equalização), possibilita a redistribuição de umidade, reduzindo os gradientes hídrico e térmico e, como consequência os danos físicos (fissuras) às sementes. Em razão da intermitência, é possível o emprego de temperaturas do ar aquecido que alcançam até 70 a 80 °C, sem, no entanto, ocasionar excessivo aquecimento das sementes que, em geral, não atingem temperaturas acima de 40 a 43 °C (Peske et al., 2003; Villela & Menezes, 2009).

ARMAZENAMENTO DE SEMENTES

O objetivo do armazenamento de sementes é assegurar a integralidade e a viabilidade das estruturas vegetais por períodos prolongados, preservando suas qualidades genéticas, fisiológicas, sanitárias e físicas. A conservação da qualidade das sementes, sobretudo, a fisiológica ocorre por meio da dessecação (remoção da água) e da diminuição da temperatura, sendo esta técnica empregada apenas às sementes ortodoxas (Angelovici et al., 2010; Oliveira et al., 2011; Popinigis, 1985). A presença e a ação de fitopatógenos e insetos, a umidade relativa e temperatura do ar, os tipos de embalagens, a disponibilidade de oxigênio e o período de armazenamento, também são fatores importantes para a conservação da qualidade de sementes (Carvalho & Nakagawa, 2000; Costa, 2009).

A inadequação das condições de estocagem propicia a aceleração da deterioração e, conseqüentemente, a redução da qualidade das sementes, evidenciada durante a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas (Costa, 2009; José et al., 2010). A velocidade em que ocorre esta deterioração pode ser amenizada pela adequação da qualidade inicial do lote, do estágio de maturação, da longevidade, do grau de umidade, das condições físicas das sementes e do tratamento fitossanitário (Sales et al., 2011).

A conservação da qualidade das sementes, durante o período de armazenamento, é dada pelo teor de água (umidade de secagem), presença e ação de fitopatógenos e insetos, umidade relativa e temperatura do ar, tipos de embalagens, disponibilidade de oxigênio e pelo período de armazenamento (Carvalho & Nakagawa, 2000; Costa, 2009). Contudo, apesar do manejo dos fatores na conservação das sementes, observa-se que há a deterioração das sementes em virtude das condições de estocagem, sendo estes sintomas, sobretudo, os fisiológicos evidenciados durante a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas (Menegas et al., 2020b).

A longevidade e a viabilidade das sementes são classificadas em categorias, como, ortodoxa, recalcitrante e intermediária, em função ao seu comportamento frente a tolerância a dessecação e ao armazenamento em diferentes condições ambientais.

Hong e Ellis (1996) desenvolveram um protocolo que permite identificar o grau de tolerância das sementes à dessecação (Figura 3), classificadas, como:

a) Sementes ortodoxas: são as que podem ser submetidas à secagem até atingir baixos teores de água e toleram a exposição a temperaturas relativamente baixas, sem ocorrências de danos ao metabolismo durante o armazenamento por longos períodos. Das angiospermas aproximadamente 75% das espécies produzem sementes ortodoxas, em que estas apresentam equilíbrio médio próximo de 10-15% umidade relativa do ar (UR);

b) Sementes recalcitrantes: são as incapazes de sobreviver ao armazenamento em ambientes secos e são sensíveis a dessecação e a baixas temperaturas. Das angiospermas aproximadamente 10% das espécies produzem sementes recalcitrantes, em que estas apresentam equilíbrio médio próximo de 90% UR (-1,5 a -2 MPa);

c) Sementes intermediárias: são as que apresentam características intermediárias as sementes ortodoxas e recalcitrantes, com desempenho germinativo a diferentes níveis de temperatura e dessecação. Das angiospermas aproximadamente 15% das espécies produzem sementes intermediárias, em que estas apresentam equilíbrio médio entre 40 a 50% UR.

As sementes ortodoxas caracterizam-se por tolerar armazenamento por longos períodos sem ocorrências de danos ao seu metabolismo durante o processo germinativo. Assim, a conservação da qualidade destas sementes, sobretudo, a fisiológica ocorre por meio da dessecação (remoção da água) e da diminuição da temperatura (Klaus & Timm, 2012; Dias, 2018; Esau, 2015).

Em que, conforme os graus de umidade contidos nas sementes ocorrem os seguintes eventos:

Grau de umidade superior a 45 a 60%: a semente germina;

Grau de umidade entre 20 a 45%: a velocidade respiratória da semente e dos fitopatógenos é muito elevada, ocorre o aquecimento, esse aquecimento pode gerar temperatura suficientemente elevada, ocasionando a morte da semente;

Grau de umidade entre 14 a 20%: pode ocorrer o desenvolvimento de fitopatógenos, principalmente de fungos que podem infeccionar a semente, especialmente, se esta apresentar danos físicos;

Grau de umidade entre 8 a 14%: há uma redução ou supressão na atividade dos insetos;

Grau de umidade entre 4 a 8%: favorável ao armazenamento em embalagens impermeáveis.

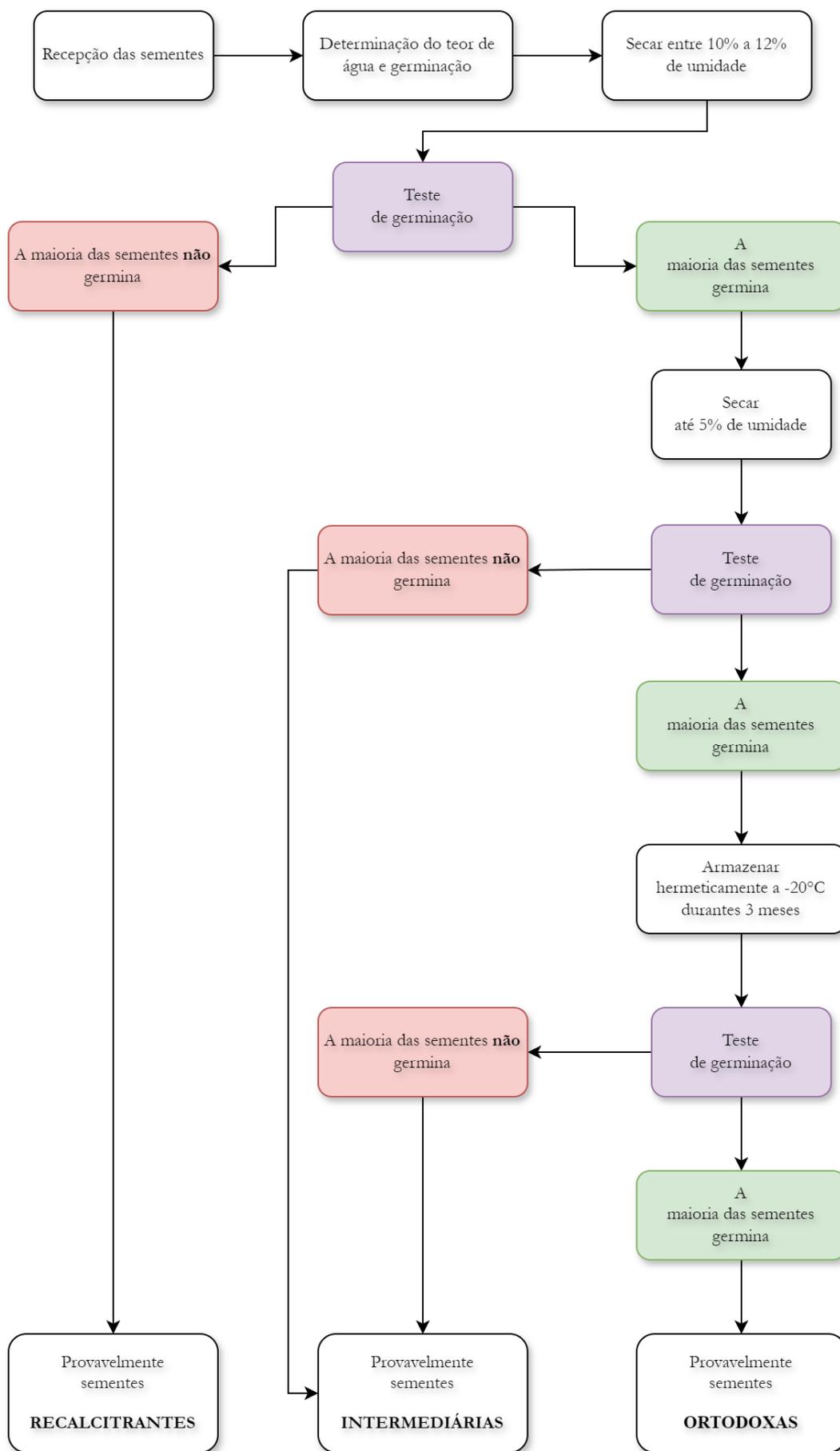


Figura 3. Protocolo simplificado para determinar o grau de tolerância à dessecação, adaptado de Hong e Ellis (1996).

A presença e a ação de patógenos e insetos, a umidade relativa e temperatura do ar, os tipos de embalagens, a disponibilidade de oxigênio e o período de armazenamento, também, são fatores importantes para a conservação da qualidade de sementes. A inadequação das condições de estocagem propicia a aceleração da deterioração e, conseqüentemente, a redução da qualidade das sementes, evidenciada durante a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas. A velocidade em que ocorre esta deterioração pode ser amenizada pela adequação da qualidade inicial do lote, do estágio de maturação, da longevidade, do grau de umidade, das condições físicas das sementes e do tratamento fitossanitário (Menegaes et al., 2020b; Zini et al., 2021).

O tratamento de sementes durante o período de armazenamento pode ser considerado uma vantagem na longevidade das sementes, entretanto, depende do método e da técnica a ser utilizado, por exemplo, uso de produtos químicos apesar da eficiência e facilidade de aplicação, podem causar efeitos fitotóxicos sobre as sementes ao longo do armazenamento. Em que, a utilização destes produtos requer registro e indicação de uso auditado pelo MAPA.

Henning (2005) elenca três formas de associação de agentes causadores de doenças em plantas advindas das sementes, por mistura física com as sementes constituindo uma fração de impureza no lote, por contaminação veiculada por adesão à superfície externa e, por infecção presente no interior das mesmas. Sendo, o grau de associação entre os fitopatógenos e a semente proporcional à sua velocidade de deterioração, em que o tratamento das sementes pode atuar como:

Desinfetante: agindo sobre os fitopatógenos que infestam a superfície da semente;

Erradicante: agindo contra os fitopatógenos que tenha infeccionado a semente;

Protetor: protegendo a semente e a plântula de fitopatógenos do solo ou dos restos culturais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A semente como um insumo agrícola deve ter preservado ao máximo as suas qualidades – genética, física, fisiológica e sanitária, para expressar no campo em forma de produtividade. Assim, são necessários cuidados desde a maturação fisiológica das sementes para resultar em uma colheita satisfatória, perpassando pelos processos de secagem até o armazenamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amabile, R. F., Vilela, M. S., & Peixoto, J. R. (2018). Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado. Brasília: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas. 108 p.
- Angelovici, R., Galili, G., Fernie, A. R., & Fait, A. (2010). Seed desiccation: a bridge between maturation and germination. *Trends in Plant Science*, 15(1), 211-218. DOI: 10.1016/j.tplants.2010.01.003

- AOSA - Association of Official Seed Analysis (1983). Seed vigour handbook. In: Association of Official Seed Analysis. The handbook of seed testing. East Lansing. 88p.
- Bewley, J. D., & Black, M. (1978). Physiology and biochemistry of seed in relation to germination. Berlin: Springer Verlag. 306 p.
- Brasil (2009a). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para Análise de Sementes. Brasília: MAPA. 395p.
- Brasil (2009b). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de Análise Sanitária de Sementes. Brasília: MAPA. 200p.
- Bryant, J. A. (1989). Fisiologia de sementes. São Paulo: EDU. 86p.
- Bueno, L. C. S., Mendes, A. N. G, & Carvalho, S. P. (2006). Melhoramento genético de plantas - princípios e procedimentos. Lavras: UFLA. 319p.
- Carvalho, N. M., & Nakagawa, J. (2000). Sementes: ciência, tecnologia e produção. Jaboticabal: FUNEP. 429p.
- Costa, C. J. (2009). Armazenamento e conservação de sementes de espécie do Cerrado. Planaltina: EMBRAPA Cerrados. 30p
- Delouche, J. C. (1971). Seed maturation. In: Handbook of seed technology. Mississippi: Mississippi State University. p. 17-21.
- Dias, J. P. T. (2018). Ecofisiologia de culturas agrícolas. - Belo Horizonte: EdUEMG. 169p.
- Domene, M. P., Gloria, E. M., Biagi, J., Benedetti, B. C., & Martins, L. (2016). Efeito do tratamento com óleos essenciais sobre a qualidade fisiológica e sanitária das sementes de milho (*Zea mays* L.). Arquivos do Instituto Biológico, 83(1), 1-6. DOI: 10.1590/1808-1657000072014
- Esau, K. (2015). Anatomia das plantas com sementes. São Paulo: Blucher (20ª reimpressão 2015), 293p.
- Ferreira, A. G., & Borghetti, F. (2004). Germinação: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed. 323p.
- Françoso, C. F., & Barbedo, C. J. (2014). Tratamentos osmóticos e térmicos para controle de fungos em sementes de grumixameira (*Eugenia brasiliensis* Lam.) e pitangueira (*Eugenia uniflora* L.). Hoehnea, 41(4), 541-552. DOI: 10.1590/2236-8906-30/2013
- Grondeau, C., Samson, R., & Sands, D. C. A. (1994). Review of thermotherapy to free plant materials from pathogens, especially seeds from bacteria. Critical Reviews in Plant Sciences, 13(1), 57-75. DOI: 10.1080/07352689409701908
- Henning, A. A. (2005). Patologia e tratamento de sementes: noções gerais. 2. ed. Londrina: EMBRAPA Soja. 52p.
- Hong, T. D., & Ellis, R. H. (1996). A protocol to determine seed storage behavior. Rome: IPGRI Technical Bulletin n. 1. International Plant Genetic Resources Institute. 62p.
- José, S. C. B. R., Salomão, A. N., Costa, T, S. A., Silva, J. T. T. T., & Curi, C. C. S. (2010). Armazenamento de sementes de girassol em temperaturas subzero: aspectos fisiológicos e bioquímicos. Revista Brasileira de Sementes, 32(4), 029-038. DOI: 10.1590/S0101-31222010000400004

- Klaus, R., & Timm, L. C. (2012). Solo, Planta e Atmosfera - Conceitos, Processos e Aplicações. 2ª Ed. Barueri: Manole. 524p.
- Lazarotto, M., Mezzomo, R., Maciel, C. G., Bovolini, M. P., & Muniz, M. F. B. (2013). Tratamento de sementes de canafístula via calor úmido. Revista Ciência Agrária, 56(3), 268-273. DOI: 10.4322/rca.2013.038
- Ludwig, M. P. (2016). Fundamentos da produção de sementes em culturas produtoras de grãos. Ibirubá: IFRS Campus Ibirubá. 123p.
- Machado, J. C. (2000). Tratamento de sementes no controle de doenças. Lavras: UFLA. 138p.
- Marcos Filho, J. (2015a). Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: ABRATES. 659p.
- Marcos Filho, J. (2015b). Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. Scientia Agrícola, 72(47), 63-374. DOI: 10.1590/0103-9016-2015-0007
- Menegaes, J. F., Nunes, U. R., Bellé, R. A., Backes, F. A. A. L., & Lidório, H. F. (2020a). Thermotherapy via dry heat for the treatment of safflower seeds. Ciência e Natura, 42(e92), 1-23. DOI: 10.5902/2179460X42698
- Menegaes, J. F., Nunes, U. R., Bellé, R. A., Backes, F. A. A. L., Barbieri, G. F., & Sousa, N. A. (2020b). Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de cártamo armazenadas em diferentes períodos e embalagens. Brazilian Journal of Development, 6(4), 17022-17034. DOI: 10.34117/bjdv6n4-028
- Menegaes, J. F., Nunes, U. R., Bellé, R. A., Muniz, M. F. B., & Franzen, F. L. (2019). Polvo de hojas de *Melia azedarach* L., *Dendranthema grandiflora* Tzvelev y *Tagetes erecta* L. para el tratamiento de semillas de *Carthamus tinctorius* L. Biotecnología Vegetal, 19(2), 103-111.
- Menten, J. O., & Moraes, M. H. D. (2010). Tratamento de sementes: histórico, tipos, características e benefícios. Informativo ABRATES, 20(3), 52-53.
- Nascimento, W. M. (2009). Tecnologia de sementes de hortaliças. Brasília: EMBRAPA Hortaliças. 432p.
- Oliveira, M. D. M., Nascimento, L. C., Alves, E. U., Gonçalves, E. P., Guedes, R. S., & Silva Neto, J. J. (2011). Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de *Amburana cearenses* A.C. Smith submetidas à termoterapia e tratamento químico. Acta Scientiarum. Agronomy, 33(1), 45-50. DOI: 10.4025/actasciagron.v33i1.5645
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. Santa Maria: UFSM. 119p.
- Peske, S. T., Rosenthal, M. D., & Rota, G. R. M. (2003). Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos. Pelotas: UPEL. 415p.
- Pinheiro, C. G., Lazarotto, M., Muniz, M. F. B., Redin, C. G., & Santos, M. V. (2016). Efeito da assepsia superficial na germinação e incidência de fungos em sementes de espécies florestais. Pesquisa Florestal Brasileira, 36(87), 253-260. DOI: 10.4336/2016.pfb.36.87.1234

- Pires, L. L., Silva, B. A., Sousa, E. S., Silva Neta, E. R., Lima, S. G., & Beserra Junior, J. E. (2023). Ethanollic extract of *Copaifera*, *Croton* and *Lippia* on the control of phytopathogenic fungi. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 53(1), e75126. DOI: 10.1590/1983-40632023v5375126
- Popinigis, F. (1985). *Fisiologia da semente*. 2. ed. Brasília: ABRATES. 289p.
- Sales, G. O. S., Gomes, R. S. S., Carvalho, T. K. N., Santos, M. R., & Medeiros, J. G. F. (2023). Microbiolização de sementes de soja com *Trichoderma harzianum*: qualidade fisiológica e sanitária. *Nativa*, 11(2), 220-225. DOI: 10.31413/nativa.v11i2.15234
- Sales, J. F., Pinto, J. E. B. P., Oliveira, J. A., Botrel, P. P., Silva, F. G., & Corrêa, R. M. (2011). The germination of bush mint (*Hyptis marrubioides* EPL) seeds as a function of haverst stage, light, temperature and duration of storage. *Acta scientiarum. Agronomy*, 33(4), 709-713. DOI: 10.4025/actasciagron.v33i4.4611
- Santos, D. S. S., Gomes, R. S. S., Carvalho, T. K. N., Lacerda, A. V., Dornelas, C. S. M., & Medeiros, J. G. F. (2023). Fisiologia e sanidade de sementes de soja utilizando ondas eletromagnéticas. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 16(4), e11394. DOI: 10.17765/2176-9168.2023v16n4e11394
- Silva, A. M. S., Carmo, M. G. F., Olivares, F., & Pereira, A. J. (2002). Termoterapia via calor seco no tratamento de sementes de tomate: eficiência na erradicação de *Xanthomona campestris* pv. *vesicatoria* e efeitos sobre a semente. *Fitopatologia Brasileira*, 27(6): 586-593. DOI: 10.1590/S0100-41582002000600005
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2009). *Fisiologia Vegetal*. 4.ed. Porto Alegre: Artemed. 848p.
- Vechiato, M. H. (2010). Importância da qualidade sanitária de sementes de florestais na produção de mudas. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_3/SementesFlorestais/index.htm>. Acesso em: 31 de janeiro de 2024.
- Villela, F., A., & Menezes, N. L. (2009). O potencial de armazenamento de cada semente. *Revista Seed News*, 8(1), 22-25.
- Zini, P. B., Fantinel, V. S., Toletto, T., & Menegaes, J. F. (2021). Patologia de sementes conceitos e aplicações: uma revisão de literatura. In: Menegaes, J. F., & Nunes, U. R. (Orgs.). *Sementes: foco em pesquisa sobre qualidade fisiológica e sanitária*. Nova Xavantina: Pantanal Editora.

Nutrição mineral de plantas e qualidade fisiológica de sementes: uma análise científica

 10.46420/9786585756280cap2

Nathália Cristina Marchiori Pereira 
Gustavo Roberto Fonseca de Oliveira 

INTRODUÇÃO

Tente imaginar um mundo sem agricultura. Provavelmente, ainda estaríamos vivendo como os hominídeos do período paleolítico, nômades, coletando e caçando para poder sobreviver. Certamente, nossos cérebros continuariam primitivos e nem teríamos chegado tão longe como civilização. Existe uma possibilidade de nunca termos viajado para a lua, se alguém, algum dia, não tivesse pensado em cultivar o próprio alimento. Mas há mais ou menos 10.000 anos tudo mudou, e a semente se tornou “o elemento modificador da história do homem”, quando a relação semente-planta foi enfim compreendida (Carvalho & Nakagawa, 2012).

Essas reflexões, ainda que pareçam hipotéticas, nos mostram que a importância das sementes é indiscutível, pois consideradas como “a pedra fundamental da civilização”, elas servem de provisão para humanos e animais, para a propagação de espécies, e como material de pesquisa para os mais diversos domínios do conhecimento (Carvalho & Nakagawa, 2012). Mas, quando se trata das atividades agrícolas, é importante ter uma visão holística dos sistemas de produção, e no que tange esse assunto, a nutrição mineral das plantas tem grandes impactos na qualidade das sementes, mais especificamente, na qualidade fisiológica. As informações desse vínculo existem, mas não estão totalmente conectadas, assim surge a ideia de reuni-las em um capítulo único. Adicionalmente, ao final deste referencial teórico, um resumo gráfico de todo o conteúdo abordado estará disponível.

Pelos critérios de essencialidade, os nutrientes são insubstituíveis e necessários para que as plantas completem seu ciclo de vida e, na sua falta, as manifestações das deficiências não irão comprometer somente a fisiologia vegetal, mas, conjuntamente prejudicar a produtividade das culturas, inclusive nos termos qualitativos. É possível lançar mão de algumas técnicas, como a adubação convencional com insumos sintéticos ou orgânicos ou outras mais recentes e inovadoras, para melhorar a nutrição das plantas, e pelo efeito cascata obter sementes mais vigorosas, com melhor performance em campo.

Face ao contexto apresentado, objetiva-se com esta revisão responder à seguinte pergunta: “O que se entende por qualidade fisiológica de sementes e qual sua ligação com a nutrição mineral das plantas?”. Para tanto, alguns conceitos e definições serão elucidados, e, à luz do saber atual, também será

discutido como o fluxo de assimilados afeta a formação e a maturação das sementes, e como os nutrientes são armazenados e mobilizados durante o processo germinativo. Outrossim, suas funções e efeitos, sejam eles relacionados aos parâmetros de vigor, características morfológicas ou resistência aos estresses bióticos e abióticos, bem como as repercussões de algumas práticas agronômicas que como resultado obtêm sementes com desempenho superior, serão, de mesmo modo, abordados.

MATERIAL E MÉTODOS

A revisão de literatura, peça fundamental na escrita de textos científicos, estabelece uma linha de raciocínio que guia os leitores a tirarem suas próprias conclusões sobre um determinado assunto (Dorsa, 2020). Sendo escrita a partir de leituras aprofundadas das publicações já existentes, ela informa, de maneira totalmente imparcial, o estado da arte e as lacunas de conhecimento que coexistem acerca de um tema (Brizola & Fantin, 2016). Isso posto, a elaboração deste compêndio fundamentou-se em artigos revisados por pares, boletins, comunicados técnicos, livros, entre outros trabalhos, todos selecionados de acordo com temática delimitada, conforme sugerido por Lakatos e Marconi (2010) e Pereira et al. (2018).

O processo de curadoria desse material bibliográfico, dividido em levantamento e coleta, foi feito de forma sistemática e metódica, em sites eletrônicos de pesquisa e bases de dados, como Elsevier, Google Acadêmico, Portal de Periódicos CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), SciELO (Scientific Electronic Library Online), Science Direct, Web of Science e repositórios de universidades federais e estaduais, utilizando palavras-chaves em português e inglês, como qualidade de sementes, qualidade fisiológica de sementes, fisiologia de sementes, metabolismo mineral, nutrição de plantas, macronutrientes, micronutrientes, “*seed quality*”, “*seed physiology*” e “*plant nutrition*”.

REVISÃO DE LITERATURA

O que se entende por qualidade fisiológica de sementes e qual sua ligação com a nutrição mineral de plantas?

O sucesso de todo e qualquer cultivo, das espécies propagadas de forma não vegetativa, começa pela semente. Portadora do potencial de êxito da produção agrícola e da manutenção dos ecossistemas, seus bons atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários são os alicerces do desenvolvimento das plantas (França Neto et al., 2016), e que, em conjunto, formam a chamada e muito conhecida “qualidade de sementes”, como definida por Marcos Filho (2015). No Brasil, há legislação que regula e padronizada esses parâmetros para a comercialização das sementes, por meio de testes específicos e normas rígidas, tamanha sua importância (Brasil, 2009; Nascimento, 2013). Por consequência, tudo isso faz com que elas se diferenciem de grãos comuns destinados para o consumo (Krzyzanowski, França Neto & Henning, 2018) e sejam o objeto de constantes estudos por parte do setor sementeiro.

Os aspectos genéticos da semente estão ligados à pureza genética e às características intrínsecas das variedades e cultivares, por vezes adquiridas através das técnicas de melhoramento (Menten et al.,

2006). Já a ausência de sementes de outras espécies, material inerte e danos mecânicos caracteriza a pureza física e varietal de um lote. Para cada cultura são estipulados valores aceitáveis de impurezas, conforme publicado nas Regras para Análise de Sementes pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (Brasil, 2009). Por sua vez, a propriedade sanitária refere-se à sanidade das sementes, visto que a contaminação por patógenos, como as bactérias, fungos, insetos, nematoides e vírus, prejudicam sua qualidade e impactam sua fisiologia e estabelecimento nos ambientes agrícolas (Henning, 2014). E por último, a qualidade fisiológica, é compreendida como a capacidade da semente em desempenhar suas funções vitais (Popinigis, 1997). Ela reflete a aptidão das sementes em gerar novas e vigorosas plantas, e pode ser avaliada pelos testes de germinação e vigor (Malagutti, 2022), ambos intimamente correlacionados e complementares (Ohlson et al., 2010; Piva, 2017).

Em síntese, o teste de germinação consiste em avaliar a viabilidade e o desenvolvimento das estruturas fundamentais do embrião na formação de plântulas, normais ou anormais, sob condições ambientais favoráveis (Nakagawa, 2020; Schuch, Kolchinski & Cantarelli, 2008; Brasil, 2009). Os testes de vigor possuem o mesmo objetivo, no entanto, diferem-se pela condição de estresse em que as sementes são submetidas (Vieira & Rava, 2000) e por identificar manifestações do comportamento dos processos fisiológicos (Silva et al., 2019). Por esse motivo, dividem-se, a título de exemplos, em teste de tetrazólio, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado, velocidade de emergência, entre outros (Brasil, 2009). Ainda, pode-se afirmar que são avaliações que reúnem o potencial de desempenho das sementes no campo que é fundamental para produção agrícola (Cunha Filho, 2022).

Os impactos e os prejuízos da baixa qualidade fisiológica são inúmeros e diversos. A desuniformidade na velocidade e na percentagem de germinação e de emergência (TeKrony & Egli, 1991), e o menor tamanho inicial, área foliar e matéria seca de plântulas são alguns exemplos (Schuch, Kolchinski & Finatto, 2009; Dias, Mondo & Cicero, 2010). Em alguns casos, a ressemeadura ou substituição da cultura no campo podem ser necessários (Coelho, Martins & Santos, 2019). Em contrapartida, lavouras originadas a partir de sementes com maior qualidade fisiológica apresentam rendimentos superiores ao final do ciclo. A vantagem inicial conferida pela rápida emergência, mesmo que de poucos dias, permite que as plântulas se desenvolvam de forma mais acelerada e tenham maior capacidade de competir pelos recursos do ambiente, como água, luz e nutrientes (Merotto Júnior et al., 1999; França Neto et al., 2016). Como reforçam Krzyzanowski et al. (2018), o estabelecimento de um bom estande de plantas relaciona-se diretamente com altas produtividades.

Os quatro pilares que abarcam a qualidade das sementes possuem o mesmo grau de importância, todavia, é o atributo fisiológico que tem recebido maior atenção nas pesquisas (Marcos Filho, 2013), dado suas implicações e uma vez que ele pode ser alterado por condições climáticas, fertilidade do solo, circunstâncias nutricionais, armazenamento, transporte e tratamento das sementes (Ludwig, 2016; Nakao et al., 2018; Malagutti, 2022). Nesse sentido, a aplicação dos testes de vigor tem aumentado no setor de

sementes, não somente pela sua rapidez, mas, também pela confiabilidade de seus resultados (Nunes, 2016).

Segundo Delouche (1981) e Fageria et al. (2009), para se obter sementes de alta qualidade fisiológica é indispensável o fornecimento de nutrientes provindos dos tecidos maternos e primariamente do solo. É nesse ponto que a Tecnologia de Sementes se encontra com as ciências da Fertilidade do Solo e da Nutrição Mineral. De forma metafórica, ambas as áreas do conhecimento agrônomo são engrenagens que funcionam em conjunto e simultaneamente na agricultura moderna. Plantas-matrizes bem nutridas produzem mais e melhor, em quantidade e qualidade (Amaro et al., 2020). Suas sementes são capazes de resistir mais facilmente às adversidades (Sá, 1994), porque acumulam mais minerais e compostos de reserva (Ramos, 2021), o que se traduz em um maior número de reações metabólicas e funcionamento fisiológico elevado (Bono et al., 2008). Em especial, para sobreviver no estado seco por longos períodos em com máximo desempenho (Leprince et al., 2017).

Neste ciclo produtivo de acontecimentos coexistentes, sementes oriundas de bons campos de produção irão gerar plantas mais vigorosas, que, por conseguinte darão origem a sementes melhores. Por isso, muita atenção deve ser dada à disponibilidade de nutrientes no solo, de modo a se obter maiores produtividades e sementes de melhor qualidade fisiológica (Carvalho & Nakagawa, 2012). Contudo, parcimônia, harmonia e equilíbrio são necessários, pois, a adubação deve levar em conta a dose correta, a forma e local de aplicação, e o momento certo para ser eficiente (Carvalho & Nakagawa, 2012; Todeschini et al., 2016).

Fisiologia e desenvolvimento de sementes em função do metabolismo mineral

O ciclo de vida dos vegetais gira em torno do solo e todos os seus componentes. Para que a fotossíntese se inicie e a planta tenha energia suficiente para se desenvolver e produzir, além da luz solar, ela necessita de minerais, água e ar. Uma vez fornecidos, seu metabolismo é acionado, e todas as reações envolvendo os nutrientes e a formação de substâncias orgânicas acontecem (Primavesi, 2016; Taiz et al., 2017). O mesmo é válido para as sementes. Sua fisiologia e desenvolvimento, que compreende os eventos de formação, maturação e germinação, dependem dessa disponibilidade energética (Carvalho & Nakagawa, 2012).

De forma resumida e simplificada, conforme explicam Carvalho e Nakagawa (2012), a **formação das sementes** se inicia após a fecundação do óvulo pelo gametófito masculino. Já nesse ponto, existem vários nutrientes que podem ser citados que atuaram anteriormente para que isso fosse possível, destacando-se por exemplo o boro. A floração, germinação do grão de pólen e o crescimento do tubo polínico são muito dependentes desse elemento (Prado, 2020). Em seguida, durante a **maturação** do embrião recém-formado, os assimilados vão sendo translocados à medida que o enchimento das sementes acontece. Nessa ocasião, segundo Sá (1994), os nutrientes podem afetar o peso e o tamanho das sementes, embora esses efeitos variem em função das condições do ambiente e do potencial genético

das cultivares. Ao final, quando atingem a maturidade, em termos de alterações bioquímicas, físicas, fisiológicas e morfológicas (Feliceti et al., 2020) interpostas pelos nutrientes acumulados, elas entram em um processo natural de rápida desidratação, marcando o momento da colheita (Carvalho & Nakagawa, 2012). Quaisquer desequilíbrios nessas fases acarretam distúrbios fisiológicos nas sementes (Santos, 2016). Em contraponto, boas práticas de manejo da fertilidade do solo podem melhorar sua qualidade fisiológica (Rodrigues et al., 2015), seu rendimento (Amaro et al., 2020), metabolismo, composição química e vigor (Carvalho & Nakagawa, 2012), desde que bem fundamentadas e usadas com ponderação.

Mas, as funções dos nutrientes não se limitam a esses acontecimentos. A estrutura das sementes, formada basicamente por tegumento, embrião e endosperma (exemplo: sementes de milho (*Zea mays* L.)), também conta com os mesmos minerais que são encontrados em outras partes das plantas na sua composição (Carvalho & Nakagawa, 2012), especialmente na constituição de membranas e no acúmulo de reservas, como carboidratos, lipídeos, proteínas, entre outras moléculas biologicamente ativas da unidade funcional (Teixeira et al., 2005; Mondal & Bose, 2019).

Apesar das definições existentes não contemplarem toda a complexidade dos fenômenos necessários para constituir a qualidade de sementes, é de conhecimento que a *germinação* é igualmente influenciada pelo conteúdo mineral dos cotilédones (Carvalho & Nakagawa, 2012). Na esfera bioquímica, após sofrer ação da enzima fitase, a fitina, uma importante fonte de fosfato, cálcio, magnésio e potássio nas sementes, libera esses nutrientes durante a germinação para suprir as necessidades exigidas (Lott, Greenwood & Batten, 1995). Outro exemplo, que pode ser citado é o zinco (Zn). Estudos demonstraram ganhos na germinação mediante a aplicação desse nutriente, por conferir osmocondicionamento às sementes, isto é, regulação da velocidade de absorção de água no momento da embebição, uma subdivisão dos processos germinativos (Marcos Filho & Kikuti, 2008). Ademais, outros nutrientes podem ser ativadores enzimáticos e favorecer a germinação e a emergência das plântulas, como o próprio Zn, novamente o boro (B), e o manganês (Mn) (Mondal & Bose, 2019).

O que há na literatura sobre esta relação entre nutrientes, plantas e sementes?

Após passarem pelo crivo dos chamados “critérios de essencialidade”, alguns elementos químicos tornaram-se “nutrientes de plantas”, em razão de desempenharem funções significativas e não poderem ser substituídos no metabolismo vegetal. É válido ressaltar que tanto a insuficiência como o excesso de algum deles, acontecendo de forma isolada ou simultânea, causam sérios distúrbios fisiológicos, deixando as plantas mais suscetíveis a condições estressantes e fazendo com que produzam menos (Santos, 2016). Em contrapartida, o fornecimento adequado é capaz de suprir a demanda nutricional, melhorar a emergência e estabelecimento no campo, produzir mais e lograr grãos de melhor valor energético alimentar e sementes com qualidade fisiológica superior para novos ciclos produtivos (Farooq, Wahid & Siddique, 2012).

Atualmente, a academia considera dezessete elementos como nutrientes, divididos em macronutrientes, a saber, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), cuja exigência é expressa em g kg^{-1} de matéria seca, micronutrientes, ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), cloro (Cl), molibdênio (Mo) e níquel (Ni), requeridos em mg kg^{-1} de matéria seca, e macronutrientes orgânicos, que são os elementos estruturais constituintes da matéria orgânica, carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), também exigidos em g kg^{-1} de matéria seca (Prado, 2020). Há ainda alguns elementos traços, requeridos em quantidade ínfimas, mas que atuam nas plantas, como bário (Ba), bromo (Br), césio (Cs), flúor (F), iodo (I), lantânio (La), chumbo (Pb), tório (Th), zircônio (Zr), entre outros, e uma outra categoria, a dos elementos benéficos, como o cobalto (Co), selênio (Se), silício (Si) e sódio (Na), assim chamados pois de alguma forma estimulam o crescimento das plantas, mas que por algum motivo não atendem aos critérios de essencialidade (Primavesi, 2022).

Como o intuito aqui é estabelecer uma conexão entre a nutrição das plantas com a formação e o desempenho das sementes, o Quadro 1 foi elaborado para reunir e resumir as principais funções dos nutrientes relacionadas a esses quesitos.

Quadro 1. Funções dos nutrientes ligadas à fisiologia, metabolismo, desenvolvimento e qualidade de sementes e plântulas. Fonte: os autores.

Nutriente	Funções nas sementes e nas plântulas
Nitrogênio (N).	Desempenha função estrutural como parte de proteínas, ácidos nucleicos, enzimas, vitaminas e pigmentos, e participa ativamente dos processos de absorção iônica, fotossíntese, respiração e multiplicação celular (Malavolta, 1980). Sua deficiência reduz o número de flores e, por consequência, o número de grãos a serem formados, e diminui o conteúdo de clorofila nas plântulas, resultando em baixa atividade fotossintética (Prado, 2020).
Fósforo (P).	Tem função estrutural, ao integrar ácidos nucleicos, carboidratos, coenzimas e fosfolipídios, e desempenha papel importante nos processos de absorção de outros nutrientes, armazenamento e transferência de energia, fotossíntese, multiplicação de células e síntese de outros compostos (Malavolta, 1980). Sua carência leva ao baixo florescimento (Prado, 2020).
Potássio (K).	Sendo um importante ativador enzimático, é atuante no transporte de carboidratos, na síntese proteica e na expansão celular (Prado, 2020). Sua deficiência enfraquece as membranas celulares (Malavolta, 1984).
Cálcio (Ca).	Desempenha função estrutural, em alguns sais e proteínas, e de ativação enzimática. Auxilia na absorção iônica e compõe membranas, conferindo-lhes estabilidade e bom funcionamento (Malavolta, 1980). Plantas com acesso restrito a esse nutriente produzem poucas sementes (Prado, 2020).

Nutriente	Funções nas sementes e nas plântulas
Magnésio (Mg).	Participa dos processos de absorção iônica, ativação enzimática, armazenamento e transferência de energia, respiração, transporte de fotoassimilados, além de destacar-se como o átomo central da molécula de clorofila. Sua deficiência induz a redução das atividades fotossintéticas e as reservas das sementes, como óleos e proteínas (Malavolta, 1980; Prado, 2020; Geng et al., 2021). A disponibilidade adequada favorece a produção de sementes mais longevas (Silva et al., 2022).
Enxofre (S).	Compõe proteínas, vitaminas e sulfolípídeos formadores de membranas, e tem função enzimática, podendo ainda atuar nos processos de fotossíntese e respiração (Malavolta, 1980; Prado, 2020). Sua deficiência reduz o florescimento e a fotossíntese (Prado, 2020).
Ferro (Fe).	É essencial na síntese de proteínas, biossíntese de clorofila, ativação de enzimas e no processo de respiração; papéis que, ao serem somados à sua função estrutural, como parte de proteínas que influenciam na fotossíntese, surtem grandes efeitos nos processos fotossintéticos e de trocas gasosas (Prado, 2020).
Manganês (Mn).	Está ligado aos sistemas enzimáticos, seja como constituinte ou como ativador. Os processos de absorção de outros nutrientes, fotossíntese, síntese de proteínas e respiração estão sujeitos à sua disponibilidade e intervenção (Malavolta, 1980; Prado, 2020).
Zinco (Zn).	Exerce influência sobre a atividade de várias enzimas e faz parte de algumas delas. De forma geral, opera na síntese de proteínas e do ácido indolacético (Malavolta, 1980), um importante fitohormônio que regula a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas (Carvalho & Nakagawa, 2012). Ademais, pode aumentar a germinação, emergência de plântulas, estabelecimento de bons estandes e acúmulo de matéria seca, e melhorar o vigor e a eficiência no uso da água (Mondal & Bose, 2019).
Cobre (Cu).	É constituinte de algumas enzimas e um importante ativador enzimático. Por ser um elemento de transição, tal qual o ferro, está intimamente ligado aos processos de oxirredução, como a fotossíntese e a respiração (Malavolta, 1980; Prado, 2020).
Boro (B).	A síntese da parede celular, integridade das membranas e o transporte de carboidratos estão entre suas principais funções, assim como o processo reprodutivo. A germinação do grão de pólen e o desenvolvimento do tubo polínico, eventos importantes no momento da fecundação das flores, são muito dependentes de sua disponibilidade; o que explica o número reduzido de

Nutriente	Funções nas sementes e nas plântulas
Cloro (Cl).	sementes ou a “síndrome do coração oco” (sementes mal-formadas), quando em situações de deficiência (Mondal & Bose, 2019; Prado, 2020). Nas plantas, alguns poucos compostos orgânicos têm cloro na sua composição. Assim, ser cofator de enzimas da fotossíntese, inibir a síntese ou degradação de proteínas e estimular a divisão das células são suas principais funções (Prado, 2020).
Molibdênio (Mo).	É um importante constituinte de enzimas relacionadas à assimilação de nitrogênio e enxofre (Prado, 2020).
Níquel (Ni).	Age de forma associada às enzimas do metabolismo de nitrogênio (Prado, 2020), e mobilizando esse nutriente durante a germinação (Mondal & Bose, 2019).

Haja vista a participação dos nutrientes em todo o ciclo de formação das sementes, é possível afirmar que plantas nutridas de forma equilibrada apresentarão condições de produzir com maior eficiência, em termos de rendimento, aliada a melhores atributos de qualidade fisiológica. Pensando nisso, a seguir, encontram-se alguns estudos de caso nessa temática, nas culturas do arroz (*Oryza sativa* L.) e da soja [*Glycine max* (L.) Merrill], um cereal e uma oleaginosa, respectivamente, muito expressivos no mercado nacional e internacional.

Qualidade fisiológica de sementes de arroz e soja em função de nutrientes

Com o objetivo de avaliar o efeito do nitrogênio na qualidade fisiológica de sementes de arroz, Fidelis et al. (2010) submeteram diferentes cultivares a ambientes com condições ideais e de estresse do nutriente. Após condução e colheita, aplicaram testes de germinação, primeira contagem e tetrazólio às sementes. Em seus resultados, perceberam que alguns materiais genéticos se sobressaíram, mas no geral, a qualidade foi influenciada pela disponibilidade nutricional. Conclusão semelhante foi feita por Smiderle et al. (2011), com a diferença que, a época de aplicação também afetou a qualidade das sementes, nesse caso, os parâmetros de emergência, germinação, primeira contagem e umidade, de forma positiva. Com relação ao vigor, em trabalho de Ohse et al. (2000), a aplicação dos micronutrientes boro, cobre, zinco e suas combinações, via tratamento de sementes, teve bons efeitos no início do desenvolvimento e crescimento das plantas, mesmo que não tenha interferido no índice de germinação.

Para a soja, repercussões parecidas são encontradas na literatura científica. Em trabalho clássico de França Neto et al. (1985), a qualidade fisiológica das sementes, avaliada pelos testes de germinação, emergência de plântulas em areia, envelhecimento acelerado, massa de 100 sementes e tetrazólio, foi significativamente superior à testemunha, mediante a adubação potássica.

Influência das práticas agrícolas na produção de sementes com melhor desempenho

As práticas agrícolas são intervenções do homem capazes de modificar a paisagem e os ecossistemas. O solo é parte integrante primordial desses complexos, pois suporta a vida e é de onde os vegetais retiram tudo que precisam para sobreviverem. Pode-se acrescentar que ele é um meio trifásico, composto de ar, água e partículas sólidas, que por sua vez dividem-se em minerais e matéria orgânica, funcionando como fonte e reserva de nutrientes (Novais & Mello, 2007). Adicionando essa nova visão às ideias anteriormente apresentadas, entende-se o porquê de as técnicas de manejo terem impactos sobre a qualidade das sementes. Dado que o solo é seu ambiente de desenvolvimento, tudo que se fizer a ele refletirá em sua fisiologia. Por isso, para completar a redação desse capítulo, algumas delas e suas respostas foram selecionadas para serem discutidas com mais atenção, umas mais célebres e consolidadas, como **adubação orgânica, calagem e inoculação com microrganismos eficientes**, e outras desenvolvidas mais recentemente, como a **aplicação de bioestimulantes**.

Adubação orgânica

Os fertilizantes químicos sintéticos foram por muito tempo a opção mais adotada para aumentar a fertilidade dos solos e atender os modelos de agricultura extensiva que surgiam décadas atrás (Hafez, Popov & Rashad, 2020; Bergstrand, 2022). Com o avanço das pesquisas, e a necessidade de formas mais sustentáveis de produção, os cientistas constataram que há muitas maneiras de deixar o solo mais fértil, e a adubação com compostos orgânicos é uma delas (Foloni et al., 2016). Esse material, além de ser uma fonte mais econômica de nutrientes, estimula a atividade microbiana do solo, que por sua vez, agrega muito aos seus atributos biológicos, químicos e físicos (Hafez et al., 2020).

A qualidade das sementes também é influenciada por essa prática. Estudos feitos em milho por Aboukila et al. (2018) e Deshev, Desheva e Stamatov (2020) demonstraram que a aplicação de fertilizantes orgânicos aumentou o índice de velocidade de germinação e a porcentagem final de germinação das plântulas. Não há uma explicação única para esses resultados, pois como se trata de uma reação em cadeia, os segmentos se beneficiam mutuamente. A melhoria dos parâmetros do solo recai novamente na qualidade fisiológica das sementes.

Calagem

A presença de grupos de caráter ácido, aumentando o nível de elementos tóxicos e reduzindo a disponibilidade de nutrientes, caracteriza a acidez do solo e tem suas origens na remoção de bases, na aplicação excessiva de fertilizantes e até mesmo na ação natural dos agentes do intemperismo (Souza, Miranda & Oliveira, 2007). Felizmente, esses efeitos adversos podem ser atenuados pela aplicação de calcário. O cerne dessa prática, conhecida como calagem, é elevar o pH do solo, e como decorrência aumenta a capacidade de troca catiônica, a saturação por bases e abundância de microrganismos eficientes, e reduz a toxicidade por Al^{+3} , Fe e Mn (Crusciol et al., 2016; Bossolani et al., 2020).

Os efeitos benéficos desse corretivo na produção das culturas já são bastante conhecidos, mas na qualidade fisiológica das sementes ainda não estão totalmente elucidados (Silva et al., 2022). Em estudo de Silva et al. (2022), a aplicação de calcário aumentou a longevidade de sementes de trigo (*Triticum aestivum* L.) produzidas em solo ácido. Diferente de outros atributos, essa capacidade de se manter viável durante o armazenamento é muito plástica nas sementes, e a sua aquisição, que ocorre durante a maturação tardia e envolve diversos mecanismos, é fortemente impactada pelas condições experienciadas pelas plantas-matrizes (Righetti et al., 2015). Resultados similares foram encontrados por Nakagawa et al. (1990) na cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.), cujo vigor das sementes, medido pelo teste de condutividade elétrica, foi maior mediante a correção da acidez do solo com esse insumo. Nesse particular, a temperatura do ar durante o ciclo também pode ser uma explicação para tal acontecimento (Li et al., 2017). Porém, e ainda que os trabalhos nessa temática sejam escassos, há indícios e evidências que a calagem pode aumentar, de fato, a qualidade fisiológica das sementes, e essa lacuna abre espaço para que mais pesquisas nessa área sejam conduzidas.

Inoculação com microrganismos eficientes

O uso de microrganismos na agricultura é bastante recente, mas tem aumentado de forma considerável nas últimas décadas. Esses insumos biológicos, muito mais ambientalmente responsáveis na produção de alimentos, tornaram-se pauta de muitas subáreas de investigação dentro da pesquisa agrônômica. Isso porque, a população microbiana, a parte viva do solo, dá suporte às plantas contra agentes fito e entomopatogênicos (Bernd et al., 2014), ajuda na reciclagem de nutrientes, na absorção dos minerais e no incremento das produções, pelas melhorias que promovem ao solo como um todo (Galindo et al., 2020; Hafez et al., 2020).

Muito tem sido falado das bactérias promotoras de crescimento de plantas, as chamadas BPCP, ou em inglês “*plant growth-promoting rhizobacteria*”. Esse termo foi criado em 1978 por Kloepper e Schroth para se referir a organismos que, devido à sua capacidade de colonizar a filosfera, rizosfera ou ainda os tecidos internos, auxiliam no desenvolvimento das plantas (Kloepper, Lifshitz & Zablotowicz, 1989; Alina, Constantinescu & Petruța, 2015), desde sua germinação à produção de grãos (Lazzaretti & Bettiol, 1997). A síntese de metabólitos, como fitohormônios e compostos do metabolismo secundário, a solubilização de fosfato e mineralização do fósforo orgânico, bem como aumento da atividade da enzima redutase do nitrato, são exemplos de alguns de seus mecanismos de ação que se sobressaem, e que, sem dúvidas, cooperam diretamente para tais efeitos benéficos (Tien, Gaskins & Hubbell, 1979; Park et al., 2005; Hungria, 2011).

Entre as BPCP mais estudadas destacam-se os gêneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Rhizobium* (Araújo, 2008). Manjula e Podile (2015), ao estudarem o efeito da inoculação de *Bacillus subtilis* em feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), obtiveram respostas satisfatórias na germinação, emergência e na massa seca de plântulas. O mesmo foi observado por Araújo (2008) em sementes de algodão

(*Gosypium hirsutum* L.), milho e soja. A utilização desses microrganismos em conjunto com micronutrientes também passou a ser uma prática muito utilizada na inoculação de sementes, cujos produtos comerciais são comumente chamados de biofertilizantes. Nesse prisma, combinando doses de *Bacillus subtilis* com cobalto e molibdênio, Malagutti (2022) obteve maiores produtividades e sementes de alto vigor na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).

Muitas outras respostas podem ser extraídas da literatura mundial, que endossam e robustecem esse ramo da microbiologia agrícola, todavia, diante da consulta realizada para a elaboração desse tópico, fica perceptível o vasto potencial que ainda há a ser explorado nessa vertente.

Aplicação de bioestimulantes

Mesmo com sua crescente utilização na agricultura contemporânea, ainda não há definição específica sobre o que são os bioestimulantes. Para a legislação europeia, em última revisão do Regulamento 2019/1009, que dispõe sobre o uso de produtos fertilizantes seguros e eficazes no mercado europeu, eles são definidos como “materiais que melhoram os processos de nutrição das culturas, particularmente ao aumentarem a eficiência com que utilizam nutrientes e a sua resistência às condições ambientais” (Conselho da União Europeia, 2022). Todavia, outras descrições são argumentos que a complementam e justificam seu uso. Vasconcelos (2006) e Castro & Vieira (2011) acrescentam que os bioestimulantes podem ser substâncias naturais ou sintéticas que melhoram o rendimento das culturas, mesmo em situações difíceis de estresse, sem causar danos ou prejudicar seu crescimento natural, e cujo fornecimento pode ser feito por aplicações via solo, foliar ou com tratamento de sementes (Frasca et al., 2020).

Como vem sendo comentado, todo estímulo positivo que se dá às plantas-matrizes resulta em benefícios às progêneses. Aplicação de aminoácidos, ácidos húmicos e extrato de algas marinhas são apenas alguns exemplos desses insumos (Dörr et al., 2020; Alizadeh et al., 2022; Biondo, 2023), que podem influenciar a qualidade fisiológica das sementes. No entanto, os resultados oscilam muito, pois os efeitos estão sujeitos a muitas condições, sejam elas dos produtos, da planta ou do ambiente (Shukla et al., 2019), mas há relatos que sua associação com micronutrientes é capaz de melhorar a germinação e o estabelecimento das plantas em campo (Silva et al., 2008).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude dos pontos examinados e desenvolvidos nesse levantamento, conclui-se que **as sementes são as chaves para o sucesso das produções agrícolas**, e sua qualidade não deve ser, de forma alguma, ignorada. Nesse sentido, dentre todos os parâmetros que atestam seus bons atributos, a qualidade fisiológica é a mais notória deles, sendo objeto de muitos testes, estudos e discussões.

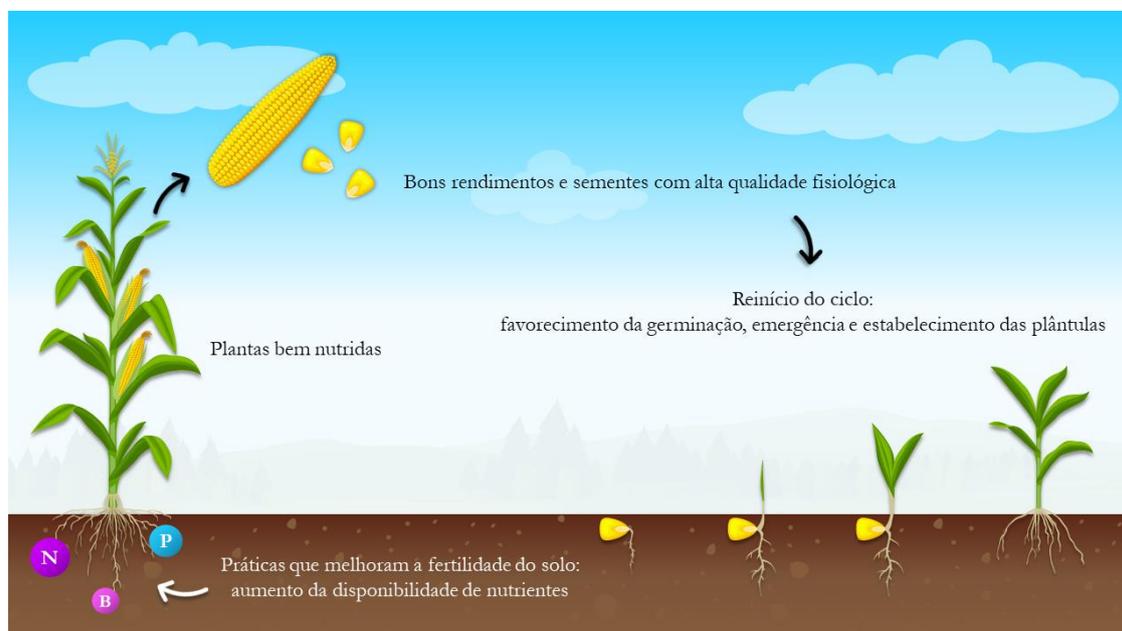
Produto final da cadeia produtiva e espelho de todas as estratégias de manejo, elas refletem se a condução das lavouras foi feita de forma criteriosa e precisa. Embora genética e sanidade desempenhem

papéis fundamentais nesse tocante, os finos ajustes intermediados pelos nutrientes, fornecidos prontamente via fertilização e adubação, ou indiretamente pelo uso de técnicas consagradas como a calagem, ou promissoras como a aplicação de microrganismos benéficos, bioestimulantes e muitas outras, são primordiais para que a maquinaria celular funcione de forma harmônica e eficiente.

Ainda há muito a se esclarecer, por isso, os fundamentos elaborados e as inovações produzidas pelo setor sementeiro, o elo entre a ciência e o campo, devem ser amplamente divulgados. Uma vez interlaçados na trama científica do conhecimento, eles se somam e se potencializam, e no fim, toda a comunidade é beneficiada.

RESUMO GRÁFICO

Para ilustrar a dinâmica dos elementos da temática apresentada nesse capítulo, um resumo gráfico dos conceitos, fenômenos e práticas que gravitam em torno da interação existente entre a nutrição mineral de plantas e a qualidade fisiológica de sementes, foi pensando para sintetizar o conteúdo abordado.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboukila, E. F., Nassar, I. N., Rashad, M., Hafez, M., & Norton, J. B. (2018). Reclamation of calcareous soil and improvement of squash growth using brewers' spent grain and compost. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(4), 390-397. DOI: 10.1016/j.jssas.2016.09.005
- Alina, S. O., Constantinescu, F., & Petruța, C. C. (2015). Biodiversity of *Bacillus subtilis* group and beneficial traits of *Bacillus* species useful in plant protection. *Romanian Biotechnological Letters*, 20(5), 10737-10750.
- Alizadeh, S., Roozbahani, A., Rad, A. H. S., & Seyedhadi, M. H. (2022). Foliar application of humic acids improves seed yield and oil quality of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes at well-time and late planting dates. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(1), 549-559. DOI: 10.1007/s42729-021-00670-2

- Amaro, H. T. R., Costa, R. C., Porto, E. M. V., Araújo, E. C. M., & Fernandes, H. M. F. (2020). Tratamento de sementes com produtos à base de fertilizantes e reguladores de crescimento. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, 26(1), 222-242. DOI: 10.36812/pag.2020261222-242
- Araújo, F. F. (2008). Inoculação de sementes com *Bacillus subtilis*, formulado com farinha de ostras e desenvolvimento de milho, soja e algodão. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(2), 456-462. DOI: 10.1590/S1413-70542008000200017
- Bergstrand, K. J. (2022). Organic fertilizers in greenhouse production systems - a review. *Scientia Horticulturae*, 295, 110855. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110855
- Bernd, L. P., Souza, T. M., Oliveira, M. A. D., Ono, E., Zucareli, C., & Hirooka, E. Y. (2014). Inoculação de *Pseudomonas fluorescens* e adubação NPK na composição química e contaminação fungo-fumonisina de milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 1274-1280. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1274-1280
- Biondo, A. R. (2023). Efeito do extrato de algas marinhas sobre a qualidade fisiológica de sementes salvas de soja de diferentes cultivares. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal da Fronteira Sul.
- Bono, J. A. M., Rodrigues, A. P. D. A. C., Mauad, M., Albuquerque, J. C., Yamamoto, C. R., Chermouth, K. S., & Freitas, M. E. (2008). Modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiológica de sementes de milho. *Agrarian*, 1(2), 91-102.
- Bossolani, J. W., Crusciol, C. A. C., Merloti, L. F., Moretti, L. G., Costa, N. R., Tsai, S. M., & Kuramae, E. E. (2020). Long-term lime and gypsum amendment increase nitrogen fixation and decrease nitrification and denitrification gene abundances in the rhizosphere and soil in a tropical no-till intercropping system. *Geoderma*, 375, 114476. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114476
- Brasil (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS. 399p.
- Brizola, J., & Fantin, N. (2016). Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura. *Revista de Educação do Vale do Arinos*, 3(2), 23-29. DOI: 10.30681/relva.v3i2.1738
- Carvalho, N. M., & Nakagawa, J. (2012). Sementes: ciência, tecnologia e produção. (5.ed.). Jaboticabal: FUNEP.
- Castro, P. R., & Vieira, E. L. (2001). Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical. Guaíba: Agropecuária.
- Coelho, E. B., Martins, T. A., & Santos, D. P. (2019). Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica da soja. *Ipê Agronomic Journal*, 3(1), 71-79. DOI: 10.37951/2595-6906.2019V3I1.4330
- Conselho da União Europeia (2022). União Europeia. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/LSU/?uri=CELEX%3A32019R1009>>. Acesso em: 16 março de 2024.
- Crusciol, C. A., Marques, R. R., Carmeis Filho, A. C., Soratto, R. P., Costa, C. H., Neto, J. F., Castro, G. S. A., Pariz, C. M., & Castilhos, A. M. (2016). Annual crop rotation of tropical pastures with no-till

- soil as affected by lime surface application. *European Journal of Agronomy*, 80, 88-104. DOI: 10.1016/j.eja.2016.07.002
- Cunha Filho, C. P. (2022). Qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi em função da adubação foliar e método de preparo para colheita. Dissertação (Bioenergia e grãos), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.
- Delouche, J. C. (1981). Metodologia de pesquisa em sementes: vigor, envigoramento e desempenho no campo. *Revista Brasileira de Sementes*, 3(2), 57-64.
- Desheva, G., Desheva, G. N., & Stamatov, S. K. (2020). Germination and early seedling growth characteristics of *Arachis hypogaea* L. under salinity (NaCl) stress. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 85(2), 113-121.
- Dias, M. A. N., Mondo, V. H. V., & Cicero, S. M. (2010). Vigor de sementes de milho associado à mato-competição. *Revista Brasileira de Sementes*, 32, 93-101. DOI: 10.1590/S0101-31222010000200011
- Dörr, C. S., Almeida, T. L., Macedo, V. G. K., Gularte, J. A., Diel, V., & Panozzo, L. E. (2020). Efeito do vigor e tratamento de sementes de soja com aminoácidos no desempenho das sementes produzidas. *Revista Científica Rural*, 22(1), 112-124. DOI: 10.30945/rcr-v22i1.2713
- Dorsa, A. C. (2020). O papel da revisão da literatura na escrita de artigos científicos. *Interações*, 21, 681-683. DOI: 10.20435/inter.v21i4.3203
- Fageria, N. K., Barbosa Filho, M., Moreira, A., & Guimarães, C. M. (2009). Foliar fertilization of crop plants. *Journal of plant nutrition*, 32(6), 1044-1064. DOI: 10.1080/01904160902872826
- Farooq, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. (2012). Micronutrient application through seed treatments: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(1), 125-142. DOI: 10.4067/S0718-95162012000100011
- Feliceti, M. L., Siega, T. C., Silva, M., Mesquita, A. P. B., Silva, J. A., Bahry, C. A., & Possenti, J. C. (2020). Grupos de maturidade relativa frente à qualidade fisiológica das sementes de soja. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 27410-27421. DOI: 10.34117/bjdv6n5-260
- Fidelis, R. R., Oliveira, T. C., Lui, J. J., Rodrigues, A. M., Barros, H. B., & Cancellier, E. L. (2010). Physiological quality of rice seeds submitted to nitrogen stress. *Bioscience Journal*, 26(4), 531-538.
- Foloni, J. S. S., Barbosa, A. M., Catuchi, T. A., Calonego, J. C., Tiritan, C. S., Dominato, J. C., & Creste, J. E. (2016). Efeitos da gessagem e da adubação boratada sobre os componentes de produção da cultura do amendoim. *Scientia Agraria Paranaensis*, 15(2), 202-208. DOI: 10.18188/sap.v15i2.11419
- França Neto, J. B., Costa, N. P., Henning, A. A., Palhano, J. B., Sfredo, G. J., & Borkert, C. M. (1985). Efeito de doses e métodos de aplicação de cloreto de potássio sobre a qualidade da semente de soja. *Documentos - Centro Nacional de Pesquisa de Soja*, 15.

- França Neto, J. B., Krzyzanowski, F. C., Henning, A. A., Pádua, G. P., Lorini, I.; & Henning, F. A. (2016). Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade. Informativo ABRATES, 20(3), 26-32.
- Frasca, L. L. M., Nascente, A. S., Lanna, A. C., Carvalho, M. C. S., & Costa, G. G. (2020). Bioestimulantes no crescimento vegetal e desempenho agrônômico do feijão-comum de ciclo superprecoce. *Agrarian*, 13(47), 27-41. DOI: 10.30612/agrarian.v13i47.8571
- Galindo, F. S., Filho, M. C. M. T., Buzetti, S., Rodrigues, W. L., Fernandes, G. C., Boleta, E. H. M., Neto, M. B., Pereira, A., Rosa, P. A. L., Pereira, Í. T., & Gaspareto, R.N. (2020). Influence of *Azospirillum brasilense* associated with silicon and nitrogen fertilization on macronutrient contents in corn. *Open Agriculture*, 5(1), 126-137. DOI: 10.1515/opag-2020-0013
- Geng, G., Cakmak, I., Ren, T., Lu, Z., & Lu, J. (2021). Effect of magnesium fertilization on seed yield, seed quality, carbon assimilation and nutrient uptake of rapeseed plants. *Field Crops Research*, 264, 108082. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108082
- Hafez, M., Popov, A. I., & Rashad, M. (2021). Integrated use of bio-organic fertilizers for enhancing soil fertility-plant nutrition, germination status and initial growth of corn (*Zea mays* L.). *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101329. DOI: 10.1016/j.eti.2020.101329
- Henning, A. A., Almeida, A. M. R., Godoy, C. V., Seixas, C. D. S., Yorinori, J. T., Costamilan, L. M., Ferreira, L. P., Meyer, M. C., Soares, R. M., & Dias, W. P. (2014). Manual de identificação de doenças de soja. (5.ed.). Londrina: Embrapa Soja.
- Hungria, M. (2011). Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja.
- Kloepper, J. W., Lifshitz, R., & Zablotowicz, R. M. (1989). Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology*, 7(2), 39-44. DOI: 10.1016/0167-7799(89)90057-7
- Krzyzanowski, F. C., França Neto, J. D. B., & Henning, A. A. (2018). A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura. *Circular Técnica - Embrapa Soja*, 136(1).
- Lakatos, E. M., & Marconi, M. A. (2010). Fundamentos da metodologia científica. São Paulo: Atlas.
- Lazzaretti, E., & Bettioli, W. (1997). Tratamento de sementes de arroz, trigo, feijão e soja com um produto formulado à base de células e de metabólitos de *Bacillus subtilis*. *Scientia Agricola*, 54, 89-96. DOI: 10.1590/S0103-90161997000100013
- Leprince, O., Pellizzaro, A., Berriri, S., & Buitink, J. (2017). Late seed maturation: drying without dying. *Journal of Experimental Botany*, 68, 827-841. DOI: 10.1093/jxb/erw363
- Li, R., Chen, L. C., Wu, Y. W., Zhang, R. Z., Baskin, C. C., Baskin, J. M., & Xiaowen, H. (2017). Effects of cultivar and maternal environment on seed quality in *Vicia sativa*. *Frontiers in Plant Science*, 8, 283273. DOI: 10.3389/fpls.2017.01411

- Lott, J. N. A., Greenwood, J. S., & Batten, G. D. (1995). Mechanisms and regulation of mineral nutrient storage during seed development. In: Kigel, J., & Galili, G. (Orgs.). Seed development and germination. Nova Iorque: Routledge.
- Ludwig, M. (2016). Fundamentos da produção de sementes em culturas produtoras de grãos. Ibirubá: IFRS.
- Malagutti, E. S. (2022). Doses de *Bacillus subtilis* na presença e ausência de cobalto e molibdênio na produção e qualidade fisiológica de sementes de feijão. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Estadual Paulista.
- Malavolta, E. (1980). Elementos da nutrição de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres.
- Malavolta, E. (1984). O potássio e a planta. Piracicaba: Potafós.
- Manjula, K., & Podile, A. R. (2005). Increase in seedling emergence and dry weight of pigeon pea in the field with chitin-supplemented formulations of *Bacillus subtilis* AF 1. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 21, 1057-1062. DOI: 10.1007/s11274-004-8148-z
- Marcos Filho, J. (2015). Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: ABRATES, 660 p.
- Marcos Filho, J. (2013). Importância do potencial fisiológico da semente de soja. Informativo ABRATES, 23(1), 21-24.
- Marcos Filho, J., & Kikuti, A. L. P. (2008). Condicionamento fisiológico de sementes de couve-flor e desempenho das plantas em campo. Horticultura Brasileira, 26, 165-169. DOI: 10.1590/S0102-05362008000200007
- Menten, J. O. M., Moraes, M. D., Novembre, A. D. L. C., & Ito, M. A. (2006). Qualidade das sementes de feijão no Brasil. Pesquisa & Tecnologia, 3(2), 7.
- Merotto Junior, A., Sangoi, L., Ender, M., Guidolin, A. F., & Haverroth, H. S. (1999). A desuniformidade de emergência reduz o rendimento de grãos de milho. Ciência Rural, 29, 595-601. DOI: 10.1590/S0103-84781999000400004
- Mondal, S., & Bose, B. (2019). Impact of micronutrient seed priming on germination, growth, development, nutritional status and yield aspects of plants. Journal of Plant Nutrition, 42(19), 2577-2599. DOI: 10.1080/01904167.2019.1655032
- Nakagawa, J. (2020). Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: Krzyzanowski, F. C., Vieira, R. D., & França Neto, J. B. (Orgs.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES.
- Nakagawa, J., Nakagawa, J., Imaizumi, I., & Rosseto, C. A. V. (1990). Efeitos de fontes de fósforo e da calagem na produção de amendoim. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 25(4), 505-512.
- Nakao, A. H., Costa, N. R., Andreotti, M., Souza, M. F. P., Dickmann, L., Centeno, D. C., & Catalani, G. C. (2018). Características agronômicas e qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação foliar com boro e zinco. Revista Cultura Agronômica, 27(3), 312-327. DOI: 10.32929/2446-8355.2018v27n3p312-327

- Nascimento, A. F. (2013). Método e umidade de colheita na qualidade de sementes de milho variedade. Dissertação (Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia.
- Novais, R. F., & Mello, J. W. V. (2017). Relação solo-planta. In: Novais, R. F., Venegas, V. H. A., Barros, N. F., Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B., & Lima, J. C. (Orgs.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS.
- Nunes, R. T. C. (2016). Qualidade fisiológica e produção de sementes de feijão-caupi submetidas a doses de molibdênio e população de plantas. Dissertação (Agronomia), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.
- Ohlson, O. D. C., Krzyzanowski, F. C., Caieiro, J. T., & Panobianco, M. (2010). Teste de envelhecimento acelerado em sementes de trigo. *Revista Brasileira de Sementes*, 32, 118-124. DOI: 10.1590/S0101-31222010000400013
- Ohse, S., Marodim, V., Santos, O. S., Lopes, S. J., & Manfron, P. A. (2000). Germinação e vigor de sementes de arroz irrigado tratadas com zinco, boro e cobre. *Revista Faculdade Zootecnia Veterinária e Agronomia*, 7(1), 73-79.
- Park, M., Kim, C., Yang, J., Lee, H., Shin, W., Kim, S., & Sa, T. (2005). Isolation and characterization of diazotrophic growth promoting bacteria from rhizosphere of agricultural crops of Korea. *Microbiological Research*, 160(2), 127-133. DOI: 10.1016/j.micres.2004.10.003
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. UFSM.
- Piva, A. L. (2017). Atributos de qualidade de sementes salvas de trigo na safra 2016/2017. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Popinigis, F. (1977). Fisiologia da semente. Brasília: AGIPLAN.
- Prado, R. D. (2020). Nutrição de plantas. (2.ed.). São Paulo: Editora Unesp.
- Primavesi, A. M. (2016). Manual do solo vivo: solo sadio, planta sadia, ser humano sadio. (2.ed.). São Paulo: Expressão Popular.
- Primavesi, A. M. (2022). Micronutrientes: os duendes gigantes da vida. São Paulo: Expressão Popular.
- Ramos, D. S. (2013). Qualidade fisiológica de sementes de soja (*Glycine max (L.) Merrill*) em resposta ao tratamento com fertilizantes. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Uberlândia.
- Righetti, K., Vu, J. L., Pelletier, S., Vu, B. L., Glaab, E., Lalanne, D., Pasha, A., Patel, R. V., Provart, N. J., Verdier, J., Leprince, O., & Buitink, J. (2015). Inference of longevity-related genes from a robust coexpression network of seed maturation identifies regulators linking seed storability to biotic defense-related pathways. *The plant cell*, 27(10), 2692-2708. DOI: 10.1105/tpc.15.00632
- Rodrigues, J. I. D. S., Arruda, K. M. A., Cruz, C. D., Piovesan, N. D., Barros, E. G. D., & Moreira, M. A. (2015). Divergência em QTLs e variância genética para teores de proteína e óleo em soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50, 1042-1053. DOI: 10.1590/S0100-204X2015001100007
- Sá, M. E. (1994). Importância da adubação nitrogenada na qualidade de sementes. In: Sá, M. E., & Buzetti, S. (Orgs.). Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas. São Paulo: Ícone.

- Santos, M. (2016). Adubação foliar de boro em associação com cálcio na cultura da soja em sistema de plantio direto. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Schuch, L. O. B., Kolchinski, E. M., & Cantarelli, L. D. (2008). Relação entre a qualidade de sementes de aveia-preta e a produção de forragem e de sementes. *Scientia Agraria*, 9(1), 1-6.
- Schuch, L. O. B., Kolchinski, E. M., & Finatto, J. A. (2009). Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja. *Revista Brasileira de Sementes*, 31, 144-149. DOI: 10.1590/S0101-31222009000100016
- Shukla, P. S., Mantin, E. G., Adil, M., Bajpai, S., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2019). *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. *Frontiers in Plant Science*, 10, 462648. DOI: 10.3389/fpls.2019.00655
- Silva, F. H. A., Torres, S. B., Carvalho, S. M. C., Bai, M., & Lopes, W. D. A. R. (2019). Atributos físicos e fisiológicos de sementes salvas de feijão-caupi utilizadas no semiárido brasileiro. *Revista Caatinga*, 32(1), 113-120. DOI: 10.1590/1983-21252019v32n112rc
- Silva, T. A., Crusciol, C. A. C., Batista, T. B., Bossolani, J. W., Oliveira, G. R. F., Basso, D. P., Carneis Filho, A. C. A., Bravo, J. P., & Silva, E. A. A. (2022). Liming enhances longevity of wheat seeds produced in acid soils. *Scientific Reports*, 12(1), 18035. DOI: 10.1038/s41598-022-21176-6
- Silva, T. T. A., Pinho, É. V. R. V., Cardoso, D. L., Ferreira, C. A., Alvim, P. O., & Costa, A. A. F. (2008). Qualidade fisiológica de sementes de milho na presença de bioestimulantes. *Ciência e Agrotecnologia*, 32, 840-844. DOI: 10.1590/S1413-70542008000300021
- Smiderle, O. J., Chang, M. T., Ferreira, G. B., & Cordeiro, A. C. C. (2011). Quality of BRS jaçanã rice seeds in response to application of nitrogen. *Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais*, 9(1), 79-86.
- Souza, D. M. G., Miranda, L. N., & Oliveira, S. A. (2017). Acidez do solo e sua correção. In: Novais, R. F., Venegas, V. H. A., Barros, N. F., Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B., & Lima, J. C. (Orgs.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS.
- Taiz, L., Zeiger, E., Möller, I. A., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. (6.ed.). Porto Alegre: Artmed.
- Teixeira, I. R., Borém, A., Araújo, G. A. D. A., & Andrade, M. J. B. D. (2005). Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. *Bragantia*, 64, 83-88. DOI: 10.1590/S0006-87052005000100009
- TeKrony, D. M., & Egli, D. B. (1991). Relationship of seed vigor to crop yield: a review. *Crop Science*, 31(3), 816-822. DOI: 10.2135/cropsci1991.0011183X003100030054x
- Tien, T. M., Gaskins, M. H., & Hubbell, D. (1979). Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). *Applied and Environmental Microbiology*, 37(5), 1016-1024. DOI: 10.1128/aem.37.5.1016-1024.1979

- Todeschini, M. H., Milioli, A. S., Trevizan, D. M., Bornhofen, E., Finatto, T., Storck, L., & Benin, G. (2016). Eficiência de uso do nitrogênio em cultivares modernas de trigo. *Bragantia*, 75, 351-361. DOI: 10.1590/1678-4499.385
- Vasconcelos, A. C. F. (2006). Uso de bioestimulantes nas culturas de milho e soja. Tese (Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- Vieira, E. H. N., & Rava, C. A. (2000). Sementes de feijão: produção e tecnologia. Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão.

Componentes de produtividade de sementes de nabo-forrageiro em diferentes épocas de colheita

 10.46420/9786585756280cap3

Fabieli Weber Cervo 
Ubirajara Russi Nunes 
Janine Farias Menegaes 
Raquel Stefanello 

INTRODUÇÃO

A degradação e a mudança ambiental podem afetar negativamente a produtividade das culturas, provocando insegurança alimentar, desse modo se torna necessária a adoção de alternativas mais sustentáveis para os cultivos agrícolas (Madari, 2018). Para contornar os problemas causados pelo preparo convencional do solo, é necessária a adoção de práticas de manejo que incluam sistemas de rotação de culturas com espécies vegetais que apresentem sistema radicular agressivo e elevada produção de biomassa, contribuindo para diminuir os efeitos da compactação.

Algumas plantas com essas características podem ser utilizadas para a descompactação biológica do solo, como o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) (Figura 1), pertencente à família Brassicaceae tem sido bastante utilizada como adubação verde, devido suas raízes pivotantes que penetram o solo com maior facilidade, e caracterizado por ser uma planta recicladora e dispor nutrientes ao solo (Lopes, 2017). Contudo, uma das limitações para utilização da cultura do nabo-forrageiro é a baixa disponibilidade de lotes de sementes de qualidade no mercado, sendo essa característica imprescindível para o bom desempenho das culturas (Nery, 2008; Guimarães, Oliveira & Vieira, 2006).

A qualidade fisiológica das sementes é avaliada pelo teste de germinação, que fornece as condições ótimas de ambiente permitindo que a semente expresse seu potencial máximo de germinação (Brasil, 2009). Porém, devido a discrepância de resultados referentes a germinação a campo, é necessário complementar a análise da qualidade através de resultados obtidos em testes de vigor.

Caracteriza o vigor como a combinação das propriedades que expressam o nível potencial de desempenho de uma semente ou de um lote de sementes durante os processos de germinação. Sendo assim, o vigor é uma expressão de um conjunto de características determinantes do potencial para emergência rápida e uniforme de plântulas, visando obter informações mais consistentes sendo complementares ao teste de germinação (Marcos Filho, 2015).

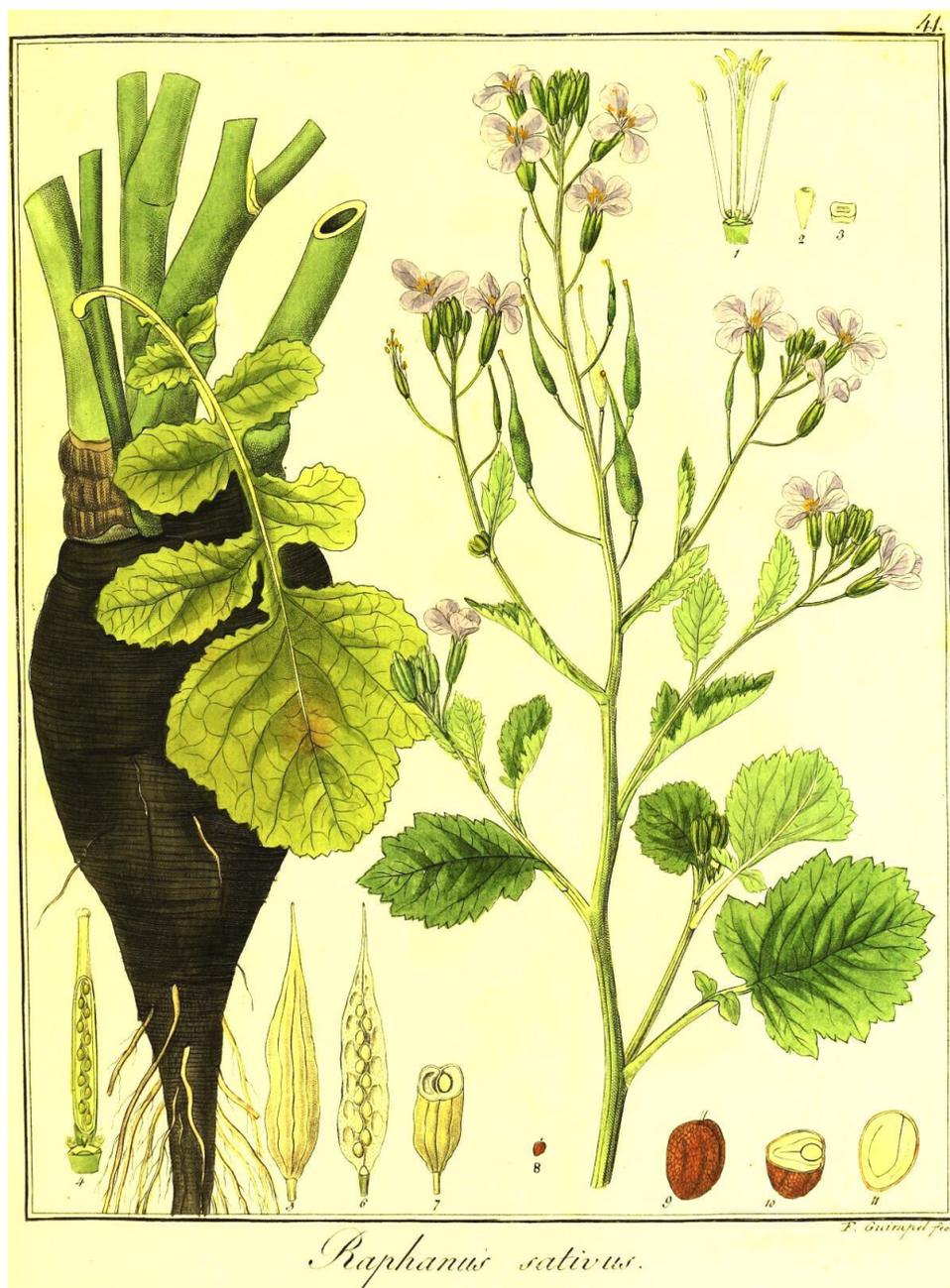


Figura 1. Nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) prancha botânica. Fonte: <https://antropocene.it/es/2022/12/01/raphanus-sativus-3/>

O estabelecimento do estande de plantas é assegurado pelo uso de sementes vigorosas, mesmo que a resposta obtida em relação à produção final de plantas não seja consistente (Marcos Filho & Kikuti, 2006). Tendo que a influência do vigor das sementes no rendimento leva em conta o estágio em que a cultura é colhida, colheitas durante o estágio de início do crescimento reprodutivo demonstram com frequência uma correlação positiva entre o vigor das sementes e o rendimento. No entanto, para colheitas na maturidade, normalmente não se observa uma relação significativa entre o vigor das sementes e o rendimento, em condições a campo (Tekrony & Egli, 1991).

Diante deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade física e fisiológica das sementes de nabo-forrageiro submetidas a diferentes épocas de colheita.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, localizada na região da depressão central do Rio Grande do Sul (RS) (latitude 29°43'22,31" S, longitude 53°43'15,14" O e altitude de 95 m). O solo presente é do tipo Argissolo Bruno-acinzentado alítico típico, característico da unidade de mapeamento Santa Maria (Santos et al., 2018), e o clima é classificado como Cfa, indicando um subtropical úmido, com verões quentes (Alvares et al., 2013).

As sementes de nabo-forageiro utilizadas foram da safra 2022/2023, cultivar IPR 116, sendo armazenadas em caixas de papel no Laboratório Didático e de Pesquisa em Sementes da Universidade Federal de Santa Maria (LDPS), onde permaneceram até o final da fase experimental. As amostras para realizar a bateria de testes foram retiradas por etapas, conforme a necessidade.

A semeadura do nabo-forageiro foi realizada no dia 10 de maio de 2023 em canteiro, utilizando-se 40 sementes por metro linear distribuídas no sulco de semeadura e espaçamento entre linhas de 0,2 m, com quatro linhas de 1 m, obtendo-se uma unidade experimental de 0,8 m². Não foi realizada adubação na implantação da cultura pois anteriormente à semeadura das sementes de nabo foi implantada a cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. Após 15 dias de semeadura (DAS), as plântulas de nabo-forageiro foram desbastadas obtendo-se o estande de 20 plântulas por metro.

O delineamento utilizado foi blocos ao acaso, com quatro repetições, com três tratamentos conforme a época de colheita: T1, colheita das sementes quando as plantas tiveram 50% das siliquis na coloração bege (141 DAS); T2, colheita das sementes quando as plantas tiveram 100% das siliquis na coloração bege (153 DAS); T3, colheita das sementes quando as plantas tiveram 50% das siliquis na coloração marrom (163 DAS) (Figura 2).

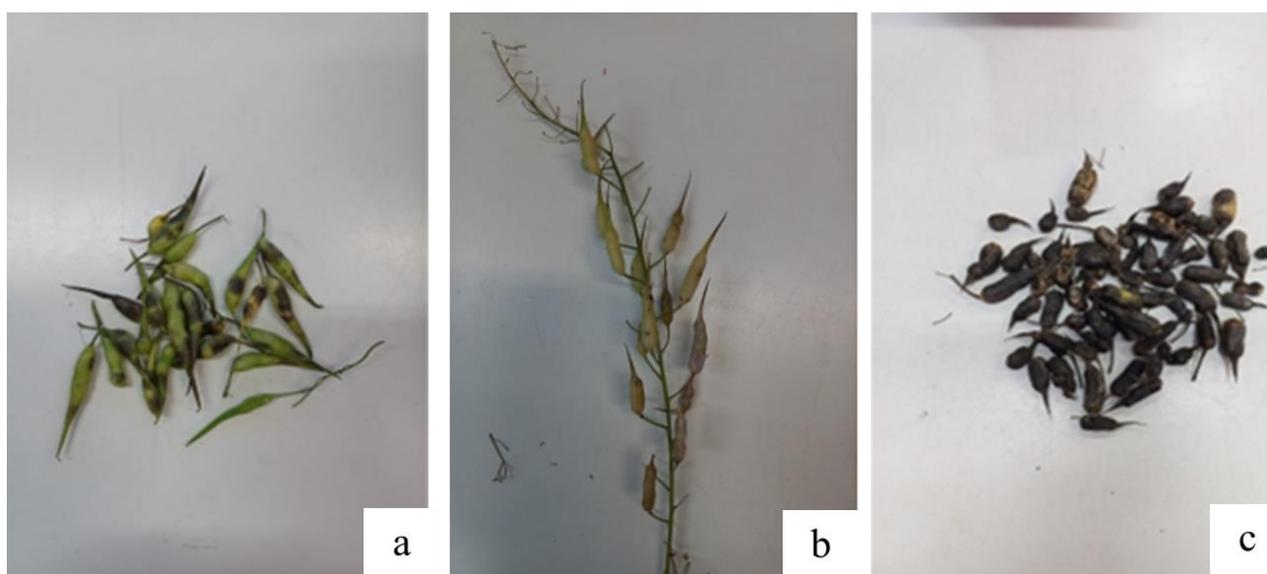


Figura 2. Nabo-forageiro (*Raphanus sativus* L.). Coloração das siliquis: verde (a), bege (b) e marrom (c). Fonte: os autores.

As sementes foram avaliadas pelos testes:

Teor de umidade: determinado pelo método de estufa 105 ± 3 °C por 24 h, utilizando-se duas subamostras de 0,5 g. os resultados foram expressos em porcentagem (base úmida) para cada tratamento (Brasil, 2009).

Teste padrão de germinação (TPG): realizado com quatro repetições com 50 sementes, distribuídas em três folhas de papel filtro umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa seca do papel. Após a semeadura, os rolos de papel foram acondicionados em sacos plásticos e levados ao germinador com temperatura alternada de 20 °C por 16 h e sem luz, e a 30 °C por 8 h com luz. As contagens foram realizadas aos 4 e 7 dias após a semeadura (DAS), e os resultados foram expressos em percentagem média de plântulas normais, conforme recomendação de Brasil (2009).

Primeira contagem (Vigor): realizada conjuntamente com o TPG, onde foi determinada a percentagem de plântulas normais no quarto dia após a instalação do teste.

Massa de mil sementes: foram usadas oito repetições contendo 100 sementes e aferidas em balança analítica, determinando-se a massa de 1000 sementes, de acordo com o indicado nas Regras para Análise de Sementes - RAS (Brasil, 2009).

Massa média de sementes de cinco plantas: foi realizada a aferição em balança analítica da massa de sementes de cinco plantas de cada tratamento e feito uma média dos valores.

Os testes de Bartlett e de Shapiro-wilk foram utilizados para analisar a homogeneidade da variância e a normalidade dos erros, respectivamente. Após, atendido os pressupostos, foi obtida uma análise de variância (Anova) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p\text{-valor} \leq 0,05$). Os dados foram digitados em planilhas do Microsoft Excel e as análises foram realizadas no software RBio, versão 190 (Bhering, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de umidade para as sementes foi de 8,0% em todos os lotes, sendo uma umidade de equilíbrio característica para sementes oleaginosas (Burrell et al., 1980). Para os testes de germinação e vigor houve diferença significativa entre as três épocas de colheita (Tabela 1).

Resultados semelhantes a este estudo foram encontrados por Kataoka (2011) onde classificou os lotes de acordo com sua porcentagem de germinação sendo inferior, intermediário e superior, obtendo médias de 44% de germinação em seu valor mais baixo e 75% em seu valor mais alto, com temperatura alternada de 20-30 °C, utilizando substrato de papel.

Para os testes de germinação e vigor, as épocas com 50% das síliquas na coloração bege (141 DAS) e 50% das síliquas na coloração marrom (163 DAS) apresentaram maiores porcentagens de germinação, respectivamente, (80%) e (81%) e vigor (69%) e (72%), não diferindo entre si (Tabela 2).

Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) para vigor e germinação de sementes nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) colhidas em diferentes épocas. Fonte: os autores.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		Vigor	Germinação
Épocas de Colheita	2	1054.30 *	786.30 *
Residuais	6	79.90	68.20
Média		61.17	72.67
CV (%)		14.61	11.37

* Significativo ($p\text{-valor} \leq 0,05$).

Tabela 2. Médias para vigor e germinação de sementes nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) colhidas em diferentes épocas. Fonte: os autores.

Épocas de colheita das sementes	Vigor (%)	Germinação (%)
50% das siliquas na coloração bege (141 DAS)	69 *a	80 *a
100% das siliquas na coloração bege (153 DAS)	42 b	56 b
50% das siliquas na coloração marrom (163 DAS)	72 a	81 a

* efeito significativo entre as épocas de colheita. Médias com mesma letra não apresentam diferença significativa no teste de Tukey ($p\text{-valor} \leq 0,05$). DAS: dias após a semeadura.

Os valores de germinação permaneceram acima de 65%, com exceção dos resultados na data 10/10. Sendo o valor mínimo para comercialização de sementes da espécie *Raphanus sativus* var. *oleiferus* categoria S1/S2, conforme Instrução Normativa n°. 44 de 22 de novembro de 2016 (Brasil, 2016). Os dados expressam que o momento de colheita interfere na germinação e vigor de sementes, uma vez que a colheita antecipada aumenta a probabilidade de sementes malformadas e incompletas (Sminderle & Pereira, 2008), e o retardamento torna as sementes suscetíveis a degradação no campo devido a fatores bióticos como temperatura, precipitação e umidade relativa do ar.

Durante a realização do experimento, observou-se a ocorrência de precipitação relativamente alta para o município de Santa Maria, RS, entre o período de colheita nas épocas 141 e 153 DAS. A precipitação acumulada foi de 90,9 mm e temperatura média de 22 °C (Figura 3), o que pode justificar o baixo vigor das sementes em 10/10. Segundo Braccini et al. (2003), a alta umidade relativa com temperaturas elevadas desfavorece a manutenção da qualidade fisiológica da semente. Em contrapartida, durante o período da colheita nas épocas 153 até 163 DAS a precipitação acumulada foi maior, 97,2 mm com médias de temperatura de 22,4 °C, porém a qualidade fisiológica não foi afetada indicando que o ambiente foi desfavorável apenas para a segunda época de colheita.

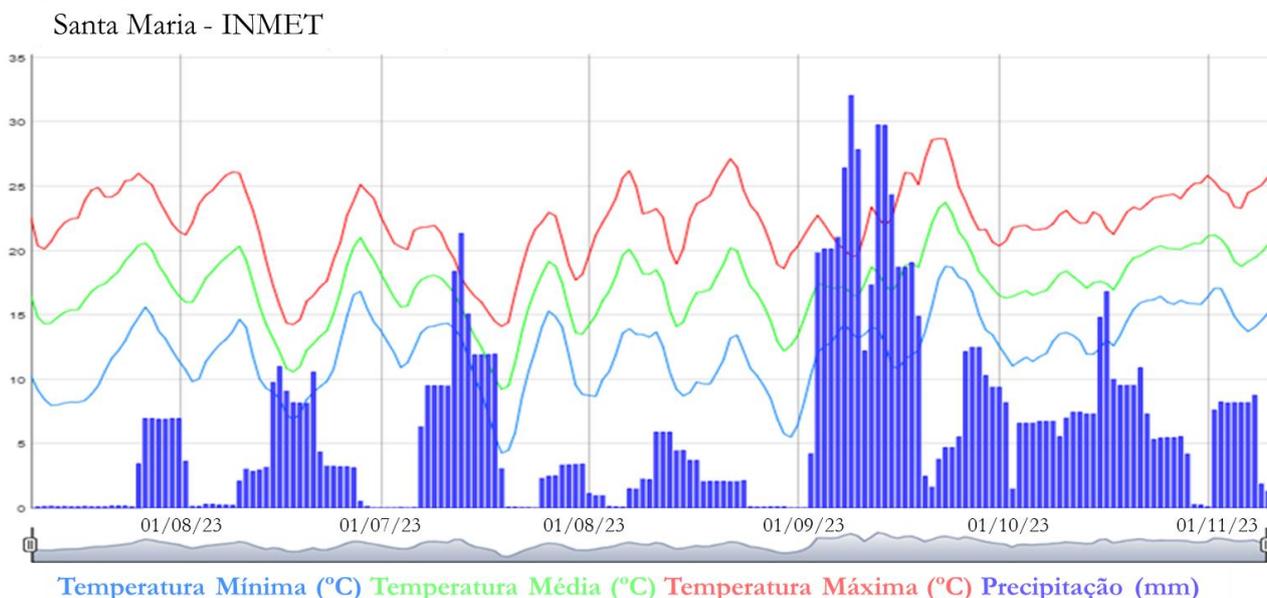


Figura 3. Temperatura máxima, média e mínima, e precipitação pluvial (mm) nos meses de maio a novembro de 2023 para o município de Santa Maria. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) Santa Maria, RS.

Pode-se deduzir que a precipitação durante o período de colheita na época de 141 DAS pode ter influenciado a qualidade fisiológica de sementes de nabo-forageiro em detrimento destas estarem no início de maturação das siliques, pois o excesso de umidade durante a maturação fisiológica faz com que a planta reduza sua absorção de nutrientes, levando a formação de plantas menos produtivas. Para os componentes síliqua por planta e sementes por planta houve diferença significativa entre as três épocas de colheitas. Para o componente semente por síliqua, peso da massa de 1000 sementes e massa média de sementes de cinco plantas o efeito foi não-significativo (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) para os caracteres: síliqua por planta (SILIQ/PL), sementes por planta (SEM/PL), sementes por síliqua (SEM/SILIQ), massa de 1000 sementes (M1000S) e massa média de sementes de cinco plantas (MMS.5PL) de nabo-forageiro (*Raphanus sativus* L.) colhidas em diferentes épocas. Fonte: os autores.

Quadrado médio						
	GL	SILIQ/PL	SEM/PL	SEM/SILIQ	M1000S	MMS.5PL
Bloco	3	564.30 ^{ns}	0.01 [*]	0.70 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.70 ^{ns}
Épocas de Colheita	2	847.70 [*]	0.69 [*]	0.68 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.60 ^{ns}
Residuais	6	126.60	0.18	0.25	0.05	0.24
Média		71.15	2.51	2.03	1.15	2.01
CV		15.81	16.78	24.39	20.03	24.21

* Significativo (p -valor \leq 0,05). ^{ns} Efeito não-significativo.

Todavia, não foi possível diferenciar as épocas de colheita para sementes por síliqua, massa de 1000 sementes e massa de sementes de cinco plantas. Outros autores obtiveram resultados semelhantes para gergelim (*Sesamum indicum* L.) (Oliveira, 2019) e cebola (*Allium cepa* L.) (Reghin et al., 2005) no qual a massa de 1000 sementes foi similar entre os lotes. Os dados da massa de 1000 sementes da Tabela 3 corroboram com estudos realizados por Derpsch & Calegari (1992), sendo relatadas médias de 1,1 gramas para sementes de nabo-forrageiro.

Para os componentes síliqua por planta e sementes por síliqua houve diferença significativa entre as três épocas de colheita. Para o componente de massa média de cinco plantas houve efeito significativo para a colheita com 100% das síliquas na coloração (Tabela 4).

Tabela 4. Síliqua por planta (SILIQ/PL), sementes por planta (SEM/PL), sementes por síliqua (SEM/SILIQ), massa de 1000 sementes (M1000S), massa média de sementes de cinco plantas (MMS.5PL) de nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) colhidas em diferentes épocas. Fonte: os autores.

Épocas de colheita das sementes	SILIQ.PL (unid.)	SEM.PL (unid.)	SEM.SILIQ (unid.)	M1000S (g)	MMS.5PL (g)
50% das síliquas na coloração bege (141 DAS)	87.95 * _a	212.5 * _a	2.30 ^{ns}	1.09 ^{ns}	1,15 ^{ns}
100% das síliquas na coloração bege (153 DAS)	62.25 b	137.6 b	2.24	1.33	1,60
50% das síliquas na coloração marrom (163 DAS)	63.25 b	188.4 ab	2.98	1.01	1,14

* efeito significativo e ^{ns} efeito não-significativo entre as épocas de colheita. Médias com mesma letra não apresentam diferença significativa no teste de Tukey (p-valor≤0,05). DAS: dias após a semeadura.

Para os componentes síliqua por planta e sementes por planta houve diferença significativa entre as três épocas de colheita. A época de colheita com 141 DAS (50% das síliquas na coloração bege) apresentou maior quantidade de síliqua por planta. A época de colheita com 153 DAS foi inferior à de 141 DAS, porém não foi possível diferenciá-la da época de 163 DAS. Segundo Ribeiro, Domingues & Zemolin (2014), os componentes de produtividade estão relacionados a fatores genéticos, porém, também podem ser afetados pelo ambiente.

Os componentes de produtividade síliqua por planta e sementes por planta foram afetados pelo ambiente, diferindo conforme as datas de colheita. De acordo com Rosseto, Nakagawa e Rosolem (1997), os mesmos podem ser afetados pelos fatores época de colheita e precipitação já que quando ocorrem períodos chuvosos, seguidos de insolação intensa e temperatura elevadas o processo de maturação das síliquas é acelerado, conseqüentemente, acelera a deiscência das mesmas.

Durante o desenvolvimento da cultura ocorreram variações climáticas, esses dados foram obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), entre as temperaturas dos meses de maio até

novembro de 2023, sendo possível observar a oscilação das temperaturas entre 4,4 °C de mínima e 28,7 °C de máxima, constando ainda que o mês de setembro foi o mais chuvoso (Figura 3), podendo ter afetado os componentes de produtividade para segunda época de colheita, como observado por Rosseto et al. (1997), em seus estudos a respeito de época de colheita para canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*), planta da família da Brassicaceae (crucíferas), onde colheitas mais tardias obtiveram menores rendimentos para população de plantas, produtividade e porcentagem de plantas com siliqua devido às chuvas e vento forte durante o período.

Como visto por Sousa, Froes & Silva (2012) em seus estudos, evidencia-se que o nabo-forrageiro aproveitou o residual de adubação da cultura antecessora, tendo uma produção de sementes de qualidade satisfatória e não necessitando de adubação complementar, podendo ser indicado como alternativa para suceder as culturas de verão.

CONCLUSÃO

A produção de sementes de nabo forrageio apresentou qualidade fisiológica satisfatória na colheita realizada nas épocas após 141 e 163 DAS, com valores de germinação acima de 80%. A qualidade física e fisiológica de sementes e componentes de produtividade de nabo-forrageiro foram alterados pelas diferentes épocas de colheita e pelo ambiente. A coloração da siliqua foi um parâmetro adequado para definição da época de colheita, visto que a colheita no T3 onde se encontravam 50% de síliquas com coloração bege e 50% de síliquas com coloração marrom obtiveram valores satisfatórios para a maioria dos caracteres avaliados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A., Alcarde, C., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2013). Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. *Meteorologia Zeitschrift*, 22(6), 711-728.
- Bhering, L. L. (2017). Rbio: a tool for biometric and statistical analysis using the R platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17, 187-190. DOI: 10.1590/1984-70332017v17n2s29
- Braccini, A. de L., Motta, I. S., Scapim, C. A., Braccini, M. C. L., Ávila, M. R., & Schuab, S. R. P. (2003). Semeadura da soja no período de safrinha: potencial fisiológico e sanidade das sementes. *Revista Brasileira de Sementes*, 25, 76-86. DOI: 10.1590/S0101-31222003000100013
- Brasil (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS. 399p.
- Brasil (2016). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 44, Brasília: MAPA.

- Burrel, N. J., Knight, G. P., Armitage, D. M., & Hill, S. T. (1980). Determination of the time available for drying rapeseed before the appearance of surface moulds. *Journal of Stored Products Research*, 16(3-4), 115-118. DOI: 10.1016/0022-474X(80)90007-7
- Derpsch, R., & Calegari, A. (1992). Plantas para adubação verde de inverno. Londrina: IAPAR. 80p. (Circular, 73).
- Guimarães, R. M., Oliveira, J. A., & Vieira, A. R. (2006). Aspectos fisiológicos de sementes. *Informe Agropecuário*, 27, 40-50.
- Kataoka, V. Y., Carvalho, M. L. M., Oliveira, M. S., & Caldeira, C. M. (2011). Validação de metodologia para o teste de germinação em sementes de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus*). *Revista Brasileira de Sementes*, 33(1), 69-79. DOI: 10.1590/S0101-31222011000100008
- Lopes, E. L. (2017). Efeito da compactação do solo no desenvolvimento de nabo-forrageiro e sua ação como descompactador biológico. 46 p. Trabalho de conclusão de curso (TCC). Bacharelado em Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão.
- Madari, B. E. (2018). Medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas: O papel do manejo e conservação do solo. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177400/1/CNPAF-2018-p44.pdf>>. Acesso em: 13 de setembro de 2023.
- Marcos Filho J., & Kikuti, A. L. P. (2006). Vigor de sementes de rabanete e desempenho de plantas em campo. *Revista Brasileira de Sementes*, 28(3), 44-51. DOI: 10.1590/S0101-31222006000300007
- Marcos Filho, J. (2015). Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: ABRATES, 660 p.
- Nery, M. C. (2008). Colheita, beneficiamento e controle de qualidade de sementes de nabo-forrageiro. Lavras: UFLA, 180p.
- Oliveira, T. M. de (2019). Potencial fisiológico de sementes de *Sesamum indicum* L. após o tratamento com o zinco. 31 f. Monografia (Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Reghin, M. Y., Otto, R. F., Olinik, J. R., Jacoby, C. S. F., & de Oliveira, R. P. (2005). Vernalização em bulbos e efeito no rendimento e potencial fisiológico de sementes de cebola. *Horticultura Brasileira*, 23(2), 294-298. DOI: 10.1590/S0102-05362005000200026
- Ribeiro, N. D., Domingues, L. S., & Zemolin, A. E. M. (2014). Avaliação dos componentes da produtividade de grãos em feijão de grãos especiais. *Científica, Jaboticabal*, 42(2), 178-186. DOI: 10.15361/1984-5529.2014v42n2p178-186
- Rosseto, C. A. V., Nakagawa, J., & Rosolem, C. A. (1997). Efeito da adubação potássica e da época de colheita na qualidade fisiológica de sementes de canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera* Metzg.). *Revista Brasileira de Sementes*, 19(2), 348-353. DOI: 10.17801/0101-3122/rbs.v19n2p348-353
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T, dos Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbrreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araújo Filho, J. C., Oliveira, J. B., & Cunha, T. J. F. (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília: Embrapa Solos, 356p.

- Sminderle, O. J. S., & Pereira, P. R. V. S. (2008). Épocas de colheita e qualidade fisiológica das sementes de arroz irrigado cultivar BRS 7 TAIM, em Roraima. *Revista Brasileira de Sementes*, 30(1), 74-80. DOI: 10.1590/S0101-31222008000100010
- Sousa, N. C. das D. da S., Froes, A. L., & Silva, C. J. da (2012). Produção de grãos, óleo e massa seca do nabo-forrageiro em sucessão à soja. *Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, Petrolina*.
- Tekrony, D. M., & Egli, D. B. (1991). Relationship of seed vigor to crop yield: A review. *Crop Science*, 31, 816-822. DOI: 10.2135/cropsci1991.0011183X003100030054x

Embebição e qualidade fisiológica de sementes de cultivares de soja

 10.46420/9786585756280cap4

Luís Henrique Prevedello 
Ubirajara Russi Nunes 
Janine Farias Menegaes 
Raquel Stefanello 

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) é a principal cultura agrícola, sendo o Brasil o maior produtor mundial. No Brasil, na safra 2022/2023, a área cultivada com soja foi de aproximadamente 44 milhões de hectares, resultando em uma produção de 155,7 bilhões de toneladas, com uma produtividade média de 3.537 kg ha⁻¹. O estado do Rio Grande do Sul foi responsável por aproximadamente 6,6 milhões de hectares da área cultivada, apresentando uma produtividade de 2.175 kg ha⁻¹, correspondendo a uma média de produção de 36,2 sc ha⁻¹.

No sistema produtivo de grãos a fase de germinação apresenta-se como um dos momentos mais importantes e críticos, definindo o potencial produtivo da lavoura através do estabelecimento de plantas. A germinação é um processo complexo durante o qual a semente deve se recuperar fisicamente da secagem durante sua maturação e reativar seu metabolismo. Por definição, a germinação da semente começa com a absorção de água durante o processo de embebição, seguida pelo alongamento do eixo embrionário, resultando na ruptura das camadas de cobertura circundantes com a emissão da radícula, findando a germinação (Marcos Filho, 2015).

A emergência da cultura da soja está relacionada a vários fatores inerentes à fisiologia da semente, porém o ambiente possui grande importância, principalmente a condição do solo e a correlação de suas diversas características físicas como textura, densidade, porosidade e estrutura, inclinação e ondulação, que comandam a capacidade de drenar ou reter a umidade no solo.

Sabe-se que a semente de soja necessita de 60% do seu peso em água para iniciar o processo de embebição, portanto, durante a semeadura se faz necessária a disponibilidade de água retida nas partículas do solo. Além disso, é importante conhecer os níveis adequados de umidade, considerando que tanto o excesso quanto o déficit hídrico podem causar danos irreparáveis no eixo embrionário e comprometer o crescimento da planta.

O teste de germinação é baseado nos procedimentos padronizados pelas Regras para Análise de Sementes (RAS), a fim de obter resultados comparáveis entre os laboratórios (Brasil, 2009). Porém, de acordo com a metodologia utilizada, a proporção de água para umedecer o papel de germinação pode

variando nos resultados desse teste (Oliveira et al., 2009). Conforme Brasil (2009), para garantir a germinação e o desenvolvimento das plântulas o substrato deve permanecer uniformemente úmido, mantendo a proporção adequada entre a disponibilidade de água e oxigênio.

O fornecimento deficiente de água retarda a germinação e o desenvolvimento das plântulas (Silva, Rodrigues & Vieira, 2006). O excesso de umidade reduz a disponibilidade de oxigênio para as sementes, dificultando a respiração, causando atraso ou paralisação do desenvolvimento embrionário e anormalidades nas plântulas (Andrade et al., 2006). Além disso, em condição de excesso de umidade, as sementes podem sofrer danos celulares devido a rápida embebição (Silva & Villela, 2011) e aumento da incidência de patógenos (Pacheco et al., 2006).

Outro importante fator é a genética das sementes a ser considerada na montagem do teste de germinação e que também vai influenciar na emergência e desenvolvimento inicial do estande de plantas, sendo estimulada pelos diferentes níveis de umidade do solo, além dos efeitos futuros relacionados ao manejo empregado na produção. De acordo com Brasil (2009) o papel de germinação deve ser umedecido com uma quantidade de água equivalente de 2,0 a 3,0 vezes a massa do papel seco, dado que a falta ou excesso de umidade resulta em efeito negativo sobre a germinação (Amaro et al., 2014). Entretanto a RAS não detalha essa proporção de água considerando as diferenças físicas, fisiológicas e genéticas entre cultivares de uma mesma espécie.

Nesse contexto, foi o objetivo do trabalho avaliar a influência da embebição e da proporção de água utilizada para umedecer o papel de germinação na qualidade fisiológica de sementes de cultivares de soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes do Departamento de Fitotecnia (LDPS), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria – RS, latitude 29°43'2.81”S, longitude 53°43'58.28”O e altitude de 118 m.

Para esse estudo foram usadas sementes da safra 2022/2023 de seis cultivares de soja (*Glycine max*) das obtentoras TMG, NEOGEN, BASF e GOLDEN HARVEST, adaptadas para o cultivo no estado do Rio Grande do Sul. Sendo a cultivar TMG 7362 IPRO de maturação relativa 6.1, TMG 7067 IPRO de maturação relativa 6.7, NEO 590 I2X de maturação relativa 5.9, NEO 610 IPRO de maturação relativa 6.1, GH 6433 I2X de maturação relativa 6.4 e BS 2606 IPRO de maturação relativa 6.0.

As sementes foram colocadas em caixas de papel e armazenadas no LDPS, onde permaneceram até o final da fase experimental. As amostras para realizar a bateria de testes foram retiradas por etapas, conforme a necessidade.

A caracterização física e fisiológica inicial das cultivares de soja foram identificadas pelos seguintes testes:

Massa de mil sementes: foi usado oito repetições contendo 100 sementes cada e pesadas em balança analítica, determinando-se a massa de 1000 sementes, de acordo com o indicado nas RAS (Brasil, 2009).

Teor de umidade: foi determinado pelo método de estufa 105 ± 3 °C por 24 h, utilizando-se duas subamostras de 5 g para cada cultivar. Os resultados foram expressos em porcentagem (base úmida) para cada tratamento (Brasil, 2009).

Teste padrão de germinação (TPG): foi realizado com duas repetições de 50 sementes, distribuídas em três folhas de papel *germiteste* umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco. Após a semeadura, os rolos de papel foram acondicionados em sacos plásticos e levados ao germinador com temperatura constante de 25 °C. As contagens foram realizadas aos 5 e 9 dias após a semeadura (DAS), e os resultados foram expressos em porcentagem média de plântulas normais, conforme recomendação de Brasil (2009).

Primeira contagem (vigor): foi realizada conjuntamente com o TPG, onde foi determinada a porcentagem de plântulas normais no quinto dia após a instalação do teste.

Após a caracterização inicial, foram realizados dois experimentos distintos com as sementes das seis cultivares de soja, conforme segue:

Experimento 1 - Quantidade de água adicionada no rolo de papel do teste de germinação

Teste de germinação: foi realizado com quatro repetições de 50 sementes, distribuídas em três folhas de papel *germiteste* umedecidas com água destilada na proporção de 1,5; 2,0; 2,5 e 3 vezes a massa do papel seco. Após a semeadura, os rolos de papel foram acondicionados em sacos plásticos e levados ao germinador com temperatura constante de 25 °C. As contagens foram realizadas aos 5 (vigor) e 9 dias (germinação) DAS, e os resultados foram expressos em porcentagem média de plântulas normais, conforme recomendação de Brasil (2009).

Comprimento das plântulas: foi avaliado o comprimento médio das plântulas normais no quinto dia do teste de germinação. O comprimento médio das plântulas foi obtido somando as medidas de cada repetição e dividindo pelo número de plântulas normais mensuradas, com resultados expressos em centímetros, conforme descrito por Nakagawa (2020).

Experimento 2 - Velocidade de hidratação das sementes

A hidratação das sementes de cada cultivar foi conduzida através do método de atmosfera úmida, sugerida por Vieira et al. (1982) e adaptada para as sementes de soja. As sementes foram colocadas sobre tela suspensa no interior de caixas plásticas de 11 x 11 x 3,5 cm (gerbox), contendo 40 mL de água no fundo. As caixas foram colocadas em germinador regulado a 25 °C, determinando-se as massas das sementes, em intervalos de 8, 16, 24 e 32 h de hidratação. Foi determinado o peso inicial (PI), antes do

início do teste, e o peso final (PF) logo após os períodos de embebição. A percentagem de embebição foi calculada pela Equação 1:

$$\% E = ((Pf-PI)/PI) \times 100 \quad (1)$$

Ao final da análise foi determinado o índice de velocidade de hidratação (IVH), baseando-se na fórmula do índice de velocidade de germinação (IVG), de Maguire (1962), com a substituição do dado de germinação pelo de quantidade de água absorvida da Equação 2:

$$IVH = H1/N1 + H2/N2 + \dots + Hn/Nn \quad (2)$$

em que: H1, H2, Hn = quantidade de água absorvida na primeira hidratação e última hidratação; N1, N2, Nn = n° de horas da primeira até a última hidratação.

O experimento 1 foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado em um bifatorial 6 x 4 (cultivares x proporção de água). O experimento 2 não foi submetido à análise estatística considerando-se para comparação seis cultivares e quatro tempos de hidratação. Verificou-se o atendimento aos pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias dos dados obtidos e então se realizou a análise de variância e teste F (p -valor $\leq 0,05$). Os dados do experimento 1 foram submetidos à análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas por meio do software SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se os resultados da caracterização inicial das sementes. A umidade das sementes nas diferentes cultivares, variou de 10% a 12%. Desse modo, há confiabilidade em realizar os demais testes, visto que Marcos Filho (2015) menciona que o limite de diferença entre os lotes deve ser de no máximo 3%, fator importante para determinação e confiabilidade dos demais testes. O peso de mil sementes permaneceu entre 156 g e 190 g, observando-se uniformidade entre os pesos quando comparados às sementes de cada cultivar separadamente, com exceção do cultivar TMG 7362 cujas sementes apresentaram o peso de 200 g. Observa-se que as cultivares obtiveram mais de 90% de germinação e, mais de 75% de vigor, exceto a cultivar TMG 7067 com 86% de germinação e 69% de vigor.

Constatou-se interação significativa entre as proporções de água utilizada para umedecer o papel de germinação e as cultivares para as variáveis germinação e primeira contagem (Figuras 1a e 1b). Na Figura 1 observa-se que as menores quantidades de água (1 x) fornecidas no substrato papel foram prejudiciais ao desempenho do vigor para todas as cultivares e as maiores quantidades de água (3 x) reduziram o vigor das cultivares NEO 610, BASF 2606 e TMG 7067. Essas duas últimas apresentaram vigor inicial (caraterização inicial) abaixo de 80% (Tabela 1).

Tabela 1. Massa de mil sementes, teor de umidade, vigor e germinação de sementes de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] das diferentes cultivares. Fonte: os autores.

Cultivar	MMS (g)	Teor de umidade (%)	Vigor (%)	Germinação (%)
TMG 7362	200	10,5	79	94
TMG 7067	190	10,6	69	86
NEO 590	160	11,3	92	97
NEO 610	156	10,6	85	97
BASF 2606	160	11,5	76	93
GH 6433	185	10,8	80	92

*Dados não submetidos à análise estatística.

Por outro lado, as proporções de água de 2 e 2,5 x proporcionaram as melhores condições para expressão do vigor para todas as cultivares. No entanto, na RAS não há recomendação específica da quantidade de água a ser utilizada no teste para cada cultivar de soja e, considerando esses resultados, é possível afirmar que há diferenças no desempenho das sementes de acordo com a qualidade fisiológica inicial e a origem genética formadora da cultivar.

A semente possui atributos de qualidades genética, física, fisiológica e sanitária, o que lhe confere a garantia de um elevado desempenho agrônomico, que é a base fundamental do sucesso para uma lavoura tecnicamente bem instalada. De acordo com França Neto, Krzyzanowski & Henning (2010), a semente de soja, para ser considerada de alta qualidade deve ter características fisiológicas e sanitárias, tais como altas taxas de vigor, de germinação e de sanidade, bem como garantia de purezas físicas e não conter sementes de ervas daninhas. Já no campo, um dos primeiros aspectos a se observar é o desempenho da semente durante o processo de germinação e emergência. Sementes de alta qualidade resultam em plântulas fortes, vigorosas, bem desenvolvidas e que se estabelecem nas diferentes condições edafoclimáticas, com maior velocidade de emergência e de desenvolvimento das plantas.

Então, é crucial para o estabelecimento de plantas no campo a associação da característica genética de cada cultivar à qualidade fisiológica inicial das sementes, e a determinação do desempenho de cultivares de soja em diferentes condições de umidade e, com isso, adequar a melhor cultivar às diferentes condições de umidade na semeadura a campo, optando-se por utilizar cultivares/genéticas, associado à qualidade fisiológica elevada.

Segundo França Neto et al. (2010), em condições de estresse, como em caso da ocorrência de seca, ou de baixa temperatura no solo durante a emergência, lavouras que foram originadas com semente de alta qualidade sofrerão menos as consequências desses tipos de estresse, resultando em maiores produtividades em relação a lavouras originárias de sementes de médios ou baixos vigores.

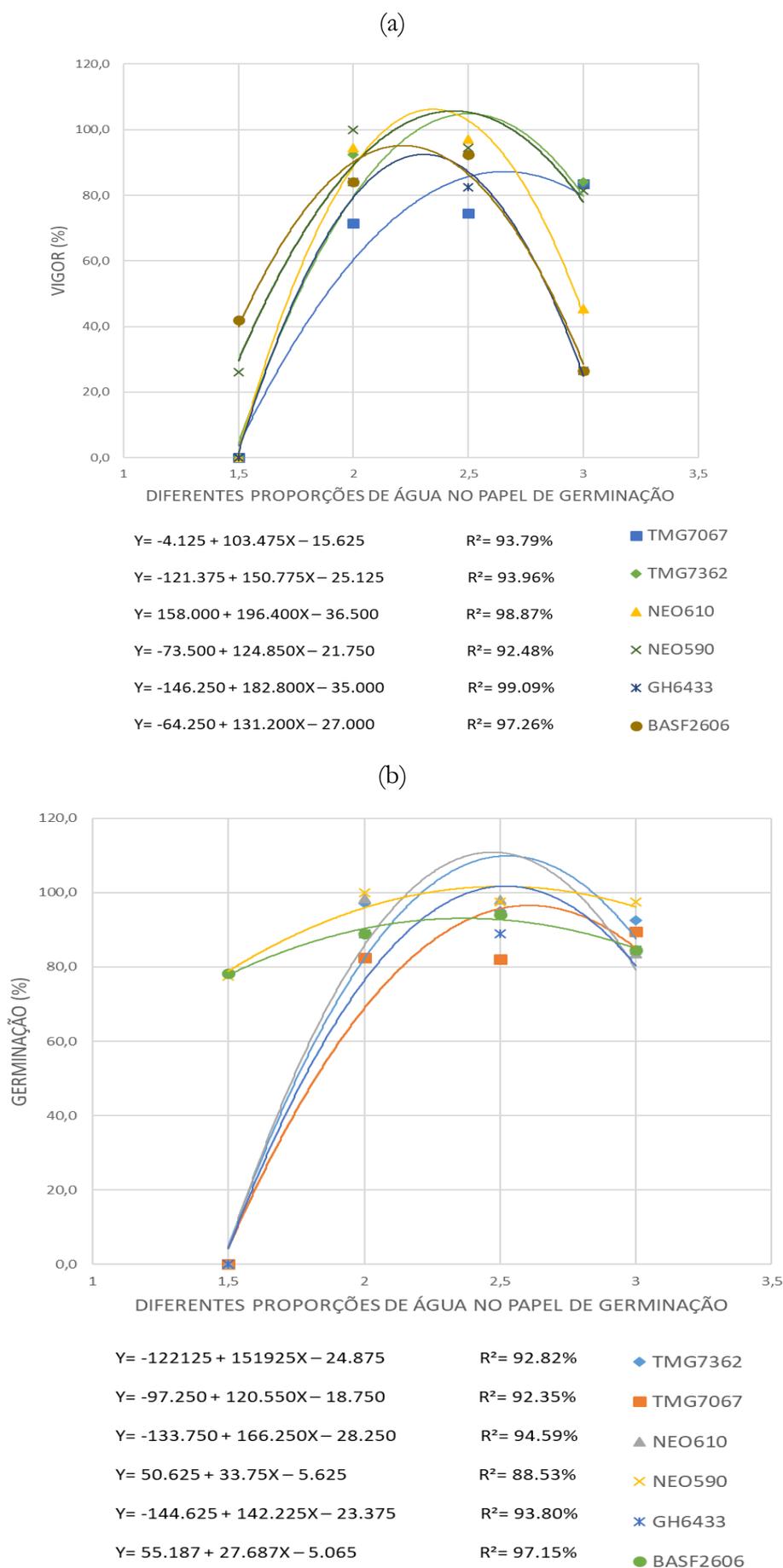


Figura 1. Vigor (primeira contagem) (a) e germinação (b) das cultivares de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) em diferentes proporções de água no papel de germinação. Fonte: os autores.

Para Pereira et al. (2013) e Ferrari, Paz & da Silva (2015), as lavouras submetidas a déficit hídrico apresentam redução na germinação e vigor das sementes e das plântulas recém-emergidas. Em plantas sob déficit hídrico severo ocorrem o fechamento estomático e a diminuição da assimilação líquida de CO₂, prejudicando o processo fotossintético, sendo que déficits hídricos considerados moderados, não prejudicam as reações fotossintéticas no cloroplasto.

A mesma tendência encontrada para vigor (primeira contagem) pode ser observada na Figura 1b, ou seja, a limitação de água no substrato foi drástica para a expressão da germinação para as cultivares TMG 7362, TMG 7067, NEO 610 e GH 6433. Entretanto, a germinação manteve-se acima de 80% quando foram utilizadas 2, 2,5 e 3x a quantidade de água no substrato.

O vigor das sementes é um dos principais atributos da qualidade fisiológica a ser considerado na implantação de uma lavoura. Conforme Scheeren et al. (2010), o uso de sementes de alto vigor é justificado em todas as culturas, para assegurar adequada população de plantas sobre uma ampla variação de condições ambientais de campo encontradas durante a emergência, e possibilitar aumento na produção quando a densidade de plantas é menor que a requerida.

Sementes com baixo vigor podem provocar reduções na velocidade de emergência, na uniformidade, na emergência total, no tamanho inicial e no estabelecimento de estandes adequados (Scheeren et al., 2010). Segundo Mattioni, Schuch & Villela (2011), a qualidade fisiológica de sementes de soja não é uniforme nos campos de produção, sendo que o vigor, demonstra-se mais sensível e, portanto, com maior variabilidade quando comparado com a germinação.

A irregularidade na disponibilidade hídrica durante a germinação das sementes é uma preocupação relevante dos produtores, pois pode limitar a expressão do potencial produtivo das cultivares utilizadas, uma vez que podem ocorrer períodos de seca ou chuvas excessivas durante o desenvolvimento da sementeira. Para Pereira et al. (2013), porém, deve-se ressaltar que, além das condições ambientais, a germinação e a emergência das plântulas também dependem do potencial fisiológico da semente.

Dessa forma, pode-se inferir que a maior qualidade fisiológica da semente associada a cultivar é fundamental para o desempenho germinativo das plântulas no campo. No momento da escolha da semente a ser definida para a sementeira deve-se observar os parâmetros físicos, sanitários e fisiológicos da qualidade das sementes, bem como, entre outras informações, o desempenho de cultivares em diferentes condições de umidade do solo.

Conforme Fernandes et al. (2018), a redução nas proporções de água menores que 2,0 x a massa do papel seco ocorre porque o papel não forneceu a umidade necessária para as sementes germinarem, com isso, os processos metabólicos que ocorrem durante a germinação foram afetados, pois a deficiência de umidade reduz a atividade enzimática das sementes. As sementes de espécies com reservas cotiledonares, como no caso da soja, devem atingir teores de água superiores a 45% em relação à sua massa seca para desencadear o processo germinativo. Segundo Andrade et al. (2006), em condição de

umidade elevada, onde a proporção de água é maior que 2,5 vezes a massa do papel seco, a respiração das sementes é limitada pela baixa disponibilidade de oxigênio, reduzindo a porcentagem de germinação.

O fornecimento deficiente de água retarda a germinação e o desenvolvimento das plântulas (Silva et al., 2006; Rossetto, Fernandez & Marcos Filho, 1995). O excesso de umidade reduz a disponibilidade de oxigênio para as sementes, dificultando a respiração, causando atraso ou paralisação do desenvolvimento embrionário e anormalidades nas plântulas (Andrade et al., 2006; Rossetto et al., 1995). Além disso, em condições de excesso de umidade, as sementes podem sofrer danos celulares devido a rápida embebição, aumentando da incidência de patógenos (Rossetto et al., 1995).

A Figura 2 demonstra o percentual de embebição para cada cultivar em diferentes intervalos de tempo (8, 16, 24 e 32 h). Em todos os intervalos, observa-se diferentes percentuais de água embebida de acordo com cada cultivar. As maiores diferenças foram constatadas entre a cultivar TMG 7362 e BASF 2606 nas primeiras 8 e 16 h de embebição.

Essa condição pode ser bem ilustrada quando é comparada à velocidade de hidratação das sementes (Figura 3), onde se observa a menor e a maior velocidade de entrada de água nas sementes nas cultivares TMG 7362 e BASF 2606, respectivamente. Cabe ressaltar que a cultivar TMG 7362 apresentou o maior peso (200 g) e a cultivar BASF 2606 (160 g) um dos menores pesos entre as cultivares. Entretanto, apesar do maior peso e, provavelmente maior demanda de água para iniciar o processo germinativo, as sementes do cultivar TMG 7362 demandaram menos água nas primeiras 16 h de embebição em relação as demais cultivares, o que pode estar relacionado às características genéticas formadoras das cultivares.

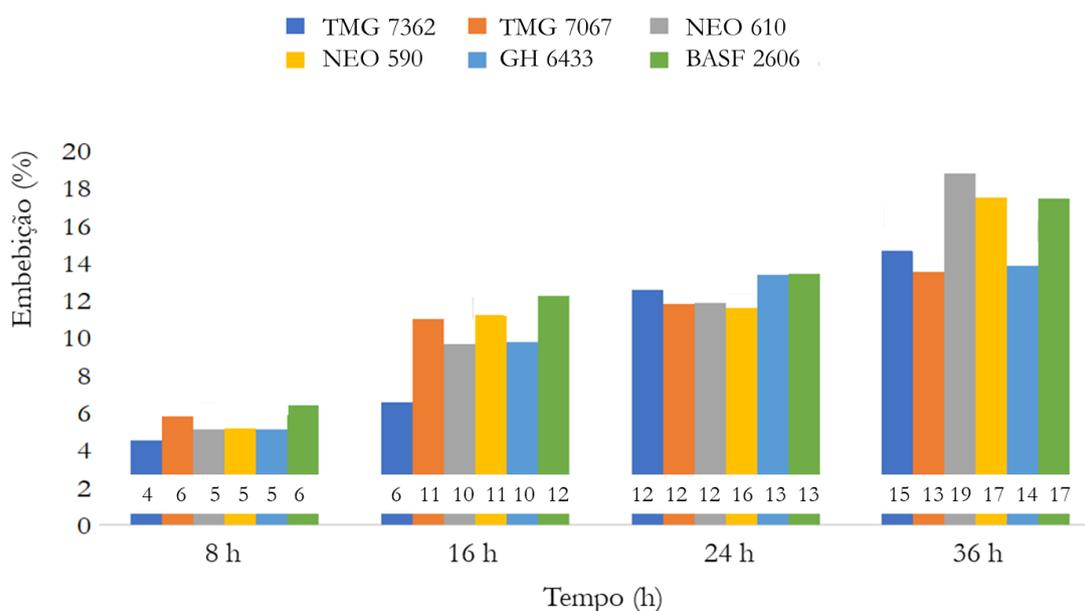


Figura 2. Percentual de embebição das sementes das cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) em diferentes intervalos de tempo (8, 16, 24 e 32 h). Fonte: os autores.

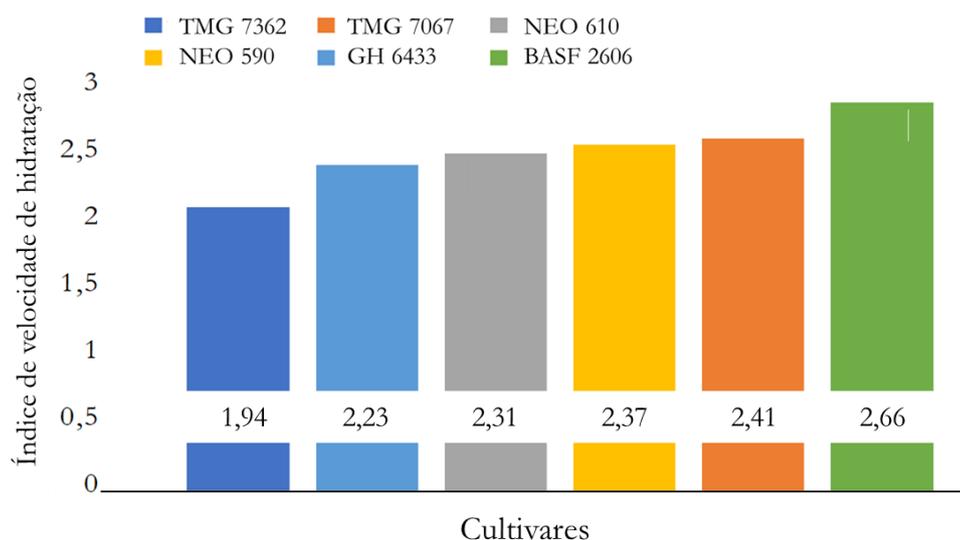


Figura 3. Índice de velocidade de hidratação das sementes das cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Fonte: os autores.

A absorção de água pelas sementes segue um padrão que compreende três fases distintas: na primeira fase (ou fase de embebição) a água é rapidamente absorvida, devido a diferenças no potencial da água para ser rapidamente absorvida. Para Pereira et al. (2013), a germinação é um processo biológico que depende de um fornecimento adequado de água para que o desenvolvimento embrionário seja retomado.

Se a falta de água retarda a germinação das sementes e o desenvolvimento das mudas, podendo até levá-las à morte (Silva et al., 2006; Pereira et al., 2013), e dependendo da intensidade e/ou extensão dessa restrição hídrica, a rápida embebição causada pelo excesso de umidade disponível no ambiente, pode resultar em danos às membranas das sementes, aumentando assim a taxa de danos causados pela super embebição (Silva & Villela, 2011; Pereira et al., 2013). Nesse sentido, a irregularidade na disponibilidade hídrica durante a geminação das sementes é uma preocupação relevante dos produtores, pois pode limitar a expressão do potencial produtivo das cultivares utilizadas, uma vez que podem ocorrer períodos de seca ou chuvas excessivas durante o desenvolvimento da semeadura. Porém, deve-se ressaltar que, além das condições ambientais, a germinação e a emergência das plântulas também dependem do potencial fisiológico da semente (Pereira et al., 2013).

Quando se refere aos fatores que influenciam a ocorrência de danos por embebição em sementes, ressaltam-se aqueles que afetam, principalmente, a velocidade e a intensidade de absorção de água. As diferenças acentuadas entre potenciais hídricos da semente e do meio fornecedor de água constituem na principal causa da absorção demasiadamente rápida de água e conseqüente ocorrência de anormalidades nas plântulas de soja, considerando que a velocidade de penetração de água é afetada pela disponibilidade hídrica. A espessura do tegumento também exerce importante papel na regulação do processo de absorção de água pelas sementes.

De acordo com Rossetto et al. (1995), a velocidade de embebição é controlada pelo teor de água da semente, temperatura ambiente e taxa de absorção de água, este fator não depende apenas do ambiente e inclui características intrínsecas da semente, provavelmente relacionadas à qualidade fisiológica delas. Por outro lado, grande parte das variações morfológicas do tegumento estão associadas ao processo de absorção de água pelas sementes. A permeabilidade do tegumento é determinada pela existência de fendas naturais, os poros, cuja forma, tamanho, frequência por unidade de superfície são variáveis de acordo com o genótipo e condicionam o grau de controle sobre o processo de absorção de água (Rossetto et al., 1995).

Da mesma forma, é muito importante a integridade física do tegumento; as sementes cujo tegumento é danificado, apresentando fendas, rachaduras e orifícios, tendem a se caracterizar pela menor viabilidade (Vieira et al., 1982). As sementes de pior qualidade fisiológica apresentam maior velocidade de embebição, de acordo com Rossetto et al. (1995).

CONCLUSÃO

A proporção de água no papel de duas a duas vezes e meio permite uma melhor expressão do vigor e germinação das sementes das diferentes cultivares de soja e a quantidade de água absorvida e a velocidade de embebição varia conforme a qualidade inicial e a genética formadora de cada cultivar avaliada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaro, H. T. R., David, A. M. S. de S., Congussú, L. V. de S., Rodrigues, B. R. A., Assis, M. de O., & Veloso, C. S. (2014). Umedecimento do substrato e temperatura na germinação e vigor de sementes de melão. *Semina: Ciências Agrárias*, 35, 1119-1130. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n3p1119
- Andrade, A. C. S., Pereira, T. S., Fernandes, M. de J., Cruz, A. P. M., & Carvalho, A. S. da R. (2006). Substrato, temperatura de germinação e desenvolvimento pós-seminal de sementes de *Dalbergia nigra*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41, 517-523. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000300020
- Brasil (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS. 399p.
- Fernandes, T. S., Nunes, U. R., Cargnelutti Filho, A., Fagundes, L. K., Dalcin, J. S., & Ludwig, E. J. (2018). Contribuição para a uniformização de metodologias de análise de germinação e vigor de sementes de soja. *Revista de Ciências Agrárias*. 41(1), 122-128. DOI: 10.19084/RCA17257
- Ferrari, E., Paz, A., & da Silva, A. C. (2015). Déficit hídrico e altas temperaturas no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas. *Nativa*, 3, 67-77. DOI: 10.14583/2318-7670.v03n01a12

- França Neto, J. de B., Krzyzanowski, F. C., & Henning, A. A. (2010). A importância do uso de semente de soja de alta qualidade. Londrina: Embrapa Soja.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, 176-77. DOI: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x
- Marcos Filho, J. (2015). Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: ABRATES. 659 p.
- Mattioni, N. M., Schuch, L. O. B., & Villela, F. A. (2011). Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das sementes de soja em um campo de produção. *Revista Brasileira de Sementes*, 33, 608-615. DOI: 10.1590/S0101-31222011000400002
- Nakagawa, J. (2020). Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. Testes de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: Krzyzanowski, F. C., Vieira, R. D., França-Neto, J. de B., & Marcos Filho, J. (Orgs.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: Abrates.
- Oliveira, A. C. S., Martins, G. N., Silva, R. F., & Vieira, H. (2009). Ensaio de vigor em sementes baseados no desempenho de plântulas. *Revista Científica Internacional*, 1, 1-21.
- Pacheco, M. V., Matos, V. P., Ferreira, R. L. C., Feliciano, A. L. P., & Pinto, K. M. S. (2006). Efeito de temperaturas e substratos na germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuwa* Fr. All. (Anacardiaceae). *Revista Árvore*, 30, 359-367. DOI: 10.1590/S0100-67622006000300006
- Pereira, W. A., Pereira, S. M. A., & Dias, D. C. F. dos S. (2013). Influence of seed size and water restriction on germination of soybean seeds on early development of seedlings. *Journal of Seed Science*, 35, 316-322. DOI: 10.1590/S2317-15372013000300007
- Rossetto, C. A., Fernandez, E. M., & Marcos Filho, J. (1995). Comportamento das sementes de soja no teste de germinação. *Revista Brasileira de Sementes*, 17, 171-178. DOI: 10.1590/S0103-90161997000100015
- Scheeren, B. R., Peske, S. T., Schuch, L. O. B., & Barros, A. C. A. (2010). Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, 32, 35-41. DOI: 10.1590/S0101-31222010000300004
- Silva, J. B., Rodrigues, T. J. D., & Vieira, R. D. (2006). Desempenho de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais osmóticos em polietilenoglicol. *Ciência Rural*, 36, 1634-1637. DOI: 10.1590/S0103-84782006000500047
- Silva, K. R. G., & Villela, F. A. (2011). Pré-hidratação e avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, 33, 331-345. DOI: 10.1590/S0101-31222011000200016
- Vieira, R. D., Sediyaama, T., Silva, R. F., Sediyaama, C. S., & Thiebaut, J. T. L. (1982). Efeito do retardamento da colheita sobre a qualidade de sementes de soja cv “UFV-2”. *Revista Brasileira de Sementes*, 4, 9-22.

Mancha-púrpura na qualidade fisiológica de sementes de cultivares de soja

 10.46420/9786585756280cap5

Yuri Rafael Rissi 

Ubirajara Russi Nunes 

Janine Farias Menegaes 

Raquel Stefanello 

INTRODUÇÃO

Segundo a Conab (2024), a soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] é a principal cultura no atual cenário agrícola do Brasil, ranqueando o país como o maior produtor à nível mundial e, na safra 2023/2024 a estimativa é de colher 312,3 milhões de toneladas de grãos. A cultura apresenta relevante papel socioeconômico, cuja composição química atribui grande valor nutritivo para aplicações na nutrição humana e animal.

O sucesso de uma lavoura de soja depende, entre outros fatores, de uma semente com alta qualidade. Esta por sua vez, possui atributos físicos, fisiológicos, genéticos e sanitários que culminarão na qualidade das plântulas durante seu estabelecimento e desenvolvimento. A qualidade sanitária da semente de soja é de fundamental importância, pois afeta negativamente a qualidade fisiológica da semente, bem como a sanidade da lavoura que ao infectarem a semente, contribuem para a redução do vigor e da germinação (Henning, 2005).

Diversos são os patógenos com potencial de contaminar as sementes da cultura da soja, cada um com suas especificidades e níveis de severidade. Entre estes a doença conhecida por mancha-púrpura acometida pelo patógeno *Cervospora kikuchii*, possui grande prevalência na infecção do tecido vegetal, uma vez que penetra no tegumento da semente pelo funículo (Galli et al., 2005).

Oliveira et al. (1993) e Pereira & Pereira (2017) consideram que as sementes de soja colonizadas pela *C. kikuchii* apresentam a sua qualidade comprometida, devido redução na germinação e geração de plântulas menos vigorosas, além do agravante de atuar como fonte de inóculo para área de produção indenes da doença (Figura 1). Pois, o patógeno infecta todas as partes da planta, causando também o crestamento foliar e a morte de plântulas, além de ser responsável por severas reduções no rendimento e na qualidade da semente (Almeida et al., 1997).

O desenvolvimento de novas cultivares visa atingir tetos produtivos maiores e tornar os organismos mais resistentes a fatores redutores de produtividades, entre eles as doenças. Dessa forma, existe grande importância em compreender quais genéticas presentes no mercado agrícola possuem maiores aptidões a enfrentar tais adversidades.

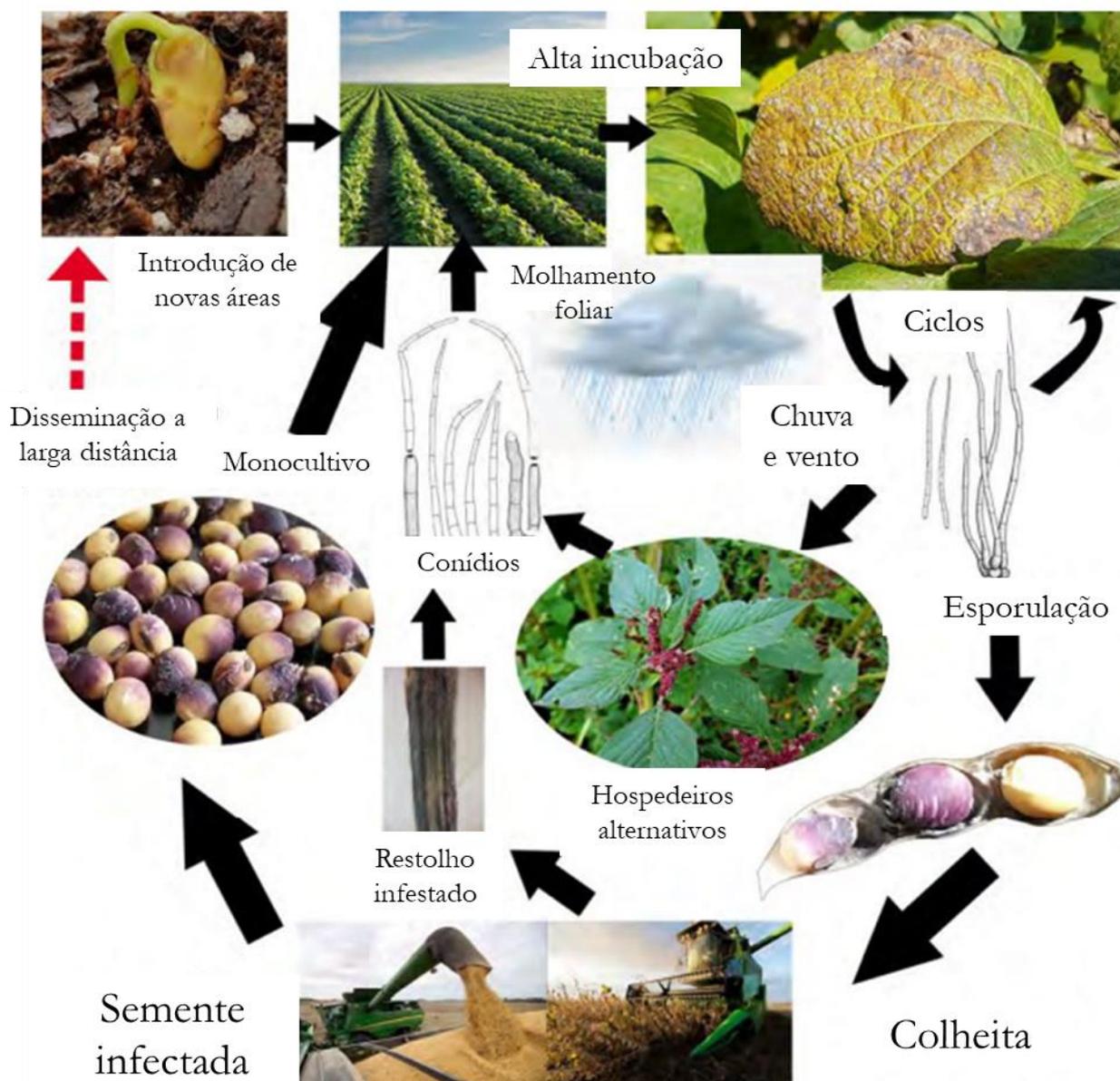


Figura 1. Ciclo da disseminação da mancha-púrpura na semente de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] causado por *Cercospora kikuchii*. Fonte: adaptada de Sautua (2021).

Deste modo, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar a qualidade fisiológica de sementes de diferentes cultivares de soja com a presença ou ausência de mancha-púrpura.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, RS (latitude 29°43'22,31" S, longitude 53°43'15,14" O e altitude de 95 m).

Os materiais utilizados nesse estudo constituem-se de amostras de seis lotes de diferentes cultivares de soja, amostrados após o beneficiamento, sendo Coliseu (63IX65RSF i2x), Torque

(57IX60RSF I2X) e Zeus (55I57RSF IPRO) pertencentes à obtentora Brasmax, 5958 IPRO e 66i68 IPRO pertencente à obtentora DonMario e 5947 IPRO da obtentora Monsoy.

Inicialmente, as sementes foram caracterizadas de acordo com seus atributos físicos, fisiológicos e sanitários com base no peso de mil sementes, grau de umidade e teste de peneira, teste padrão de germinação e análise visual (presença de mancha púrpura ou não), pelos seguintes testes:

Massa (peso) de mil sementes: utilizou-se oito repetições de 100 sementes, as quais foram pesadas em balança semi-analítica (0,001), determinando-se o peso de 1000 sementes, de acordo com o indicado nas RAS (Brasil, 2009).

Grau de umidade: determinado pelo método de estufa 105 ± 2 °C por 24 h, utilizando duas subamostras de 5 g para cada lote. Os resultados foram expressos em porcentagem (base úmida) de acordo com a diferença de massa após secagem para cada tratamento (Brasil, 2009).

Teste de peneira (retenção de peneira): foram pesadas duas repetições de 100 g de sementes puras. As peneiras foram dispostas da seguinte forma: o fundo foi colocado na posição inferior, sobre este a peneira indicada pelo requerente e no topo a peneira imediatamente superior a esta, de acordo com o que é utilizado na classificação de sementes da espécie em análise. As sementes de uma das repetições foram colocadas sobre a peneira superior o qual foi agitado o conjunto de peneiras por um minuto. As sementes retidas pela peneira indicada, que obrigatoriamente, passaram pela peneira imediatamente superior, foram separadas, pesadas e tiveram o seu percentual calculado. O procedimento foi repetido para a outra repetição de acordo com o indicado nas RAS (Brasil, 2009), obtendo-se o número da peneira (diâmetro da semente) pela média das duas repetições dos percentuais das massas das sementes retidas.

Teste padrão de germinação: a avaliação da germinação foi conduzida em rolos de papel germiteste, com quatro repetições de 50 sementes (cada repetição distribuída sobre duas folhas e cobertas por uma 3ª folha), em germinador regulado a 25 °C, embebido em água na quantidade de 2,5 vezes a massa do substrato seco, visando adequado umedecimento, com as contagens realizadas no 8º dia após a semeadura (DAS) (Brasil, 2009).

Após os testes de caracterização inicial, as sementes das seis cultivares avaliadas foram analisadas de forma visual, a olho nu, sob a condição de luz natural para observar as características de cor, que definiu presença de mancha-púrpura no tegumento (Figura 2). Dessa maneira foram formulados 12 tratamentos com as seis cultivares, o primeiro composto com sementes sem mancha púrpura visível a olho nu, o segundo somente com sementes que apresentavam mancha-púrpura visível a olho nu.



Figura 2. Sementes de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] utilizadas neste trabalho. Fonte: os autores.

A semeadura foi realizada sob o canteiro de análises do Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes do Departamento de Fitotecnia. As sementes foram depositadas em sulcos de 1 m de comprimento, com 12 plantas por metro linear cada, realizados em três repetições por tratamento. A profundidade de semeadura foi estabelecida a 3 cm para todos os tratamentos e a adubação utilizada foi a formulação 5-20-20, na dose de 300 kg ha⁻¹ em uma profundidade de 5 cm. Os tratamentos foram distribuídos nos canteiros de acordo com a cultivar e a presença da mancha-púrpura visível a olho nu, formulando um lado a lado entre a mesma cultivar confrontando as sementes sadias daquelas contaminadas por *Cercospora kikuchii*.

A semeadura ocorreu no dia 18 de outubro de 2022 e as sementes ficaram dispostas às condições presentes no campo no período de 13 dias ao qual se desenvolviam, avaliando as seguintes características:

Emergência de plântulas: considerou-se emergidas as plântulas normais com os cotilédones totalmente expostos acima do solo, sendo os resultados médios transformados em porcentagem de emergência de plântulas.

Comprimento do hipocótilo: coletou-se cinco plântulas normais de forma aleatória para a avaliação de comprimento do hipocótilo, considerando-se o comprimento em centímetros, medidos com régua graduada, do colo da plântula até a inserção do cotilédone. A média das 5 plântulas, com 4 repetições, constituiu os valores do comprimento do hipocótilo.

Comprimento de radícula: as plântulas consideradas para o comprimento do hipocótilo foram medidas a partir do colo da plântula até o final da raiz principal. A média das cinco plântulas, com quatro repetições, constituiu os valores do comprimento da radícula.

Os dados coletados foram submetidos ao teste de comparação de médias, ou Teste de Tukey (p -valor $\leq 0,05$), em um conjunto bifatorial: variáveis analisadas em duas diferentes condições de uma mesma cultivar devido à presença ou ausência de mancha-púrpura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se observar na Tabela 1 a caracterização inicial dos tratamentos avaliados, com os parâmetros de peneira, umidade, germinação e massa de mil sementes. O tamanho de peneiras variou de 6,0 mm à 6,5 mm e todas as sementes foram consideradas secas, com umidade abaixo de 12,50% com exceção de cv. 66i68 que apresentou grau de umidade 12,77% e cv. 5958 com 13,07%. Devido à variação de umidade entre os lotes ser de 11,78% a 13,07%, ou seja, 1,92 pontos de umidade há grande confiabilidade no teste, já que Marcos Filho (2015) considera um limite máximo de 3% para umidade, dessa forma não haverá interferências nos demais testes devido a danos por umidade entre os tratamentos.

O peso de mil variou de 177 g a 210 g, apresentando uma correlação com o tamanho da peneira como constatado por Vendrame (2012), peneiras menores apresentam MMS menor se comparadas a sementes de maior diâmetro. A germinação variou de 72% até 85%, com destaque para a cv. 5947 com o maior potencial germinativo dos tratamentos, porém observa-se uniformidade nos demais tratamentos, com valores de germinação abaixo de 80, o que confere baixa qualidade aos tratamentos (Brasil, 2009).

Tabela 1. Caracterização de cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) em peneira, umidade, germinação e massa de mil sementes. Fonte: os autores.

Cultivar	Peneira (mm)	Umidade (%)	Germinação (%)	MMS (g)
Torque	6,0	11,89	75	189
Coliseu	6,0	12,30	78	195
5947	6,0	11,90	85	177
66i68	6,5	12,77	75	201
ZEUS	6,5	11,78	72	210
5958	6,5	13,07	77	209

*Dados não submetidos à análise estatística. MMS = massa de mil sementes.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados obtidos na análise do potencial de emergência obtido através do desenvolvimento das plântulas em canteiros, comparando a cultivar com e sem a presença de mancha-púrpura. Através destes resultados, pode-se observar uma diferença estatística na emergência dos tratamentos com mancha-púrpura, variando de 55% a 94%, o que representa um potencial de diferentes perdas de qualidade devido à presença do patógeno, já que os valores para sementes sem mancha-púrpura não apresentaram variância significativa.

Comparando as cultivares, pode-se observar que as cultivares Coliseu, 5947, 66i68 e Zeus com a presença de mancha-púrpura apresentaram médias de emergência inferiores aos tratamentos livres do fungo *Cercospora kikuchii*, constatando a redução de qualidade fisiológica sinalizada.

Tabela 2. Dados médios da emergência, comprimento do hipocótilo de plântulas e comprimento de radícula de plântulas de cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) com e sem mancha-púrpura. Fonte: os autores.

Cultivar	Com mancha-púrpura	Sem mancha-púrpura	Média
	Emergência (%)		
Torque	91 Aa*	83 Aa	70
Coliseu	72 Bab	94 Aa	83
5947	78 Bab	91 Aa	84
66i88	61 Bab	83 Aa	72
Zeus	55 Bb	86 Aa	70
5958	94 Aa	80 Aa	87
Média	75	86	81
CV (%)	17,25		
	Comprimento do hipocótilo (cm)		
Torque	7,36* Aa	4,30 Bb	5,83
Coliseu	5,30 Ab	5,06 Aab	5,18
5947	5,06 Ab	4,80 Aab	4,93
66i88	5,26 Ab	5,13 Aab	5,20
Zeus	5,8 Aab	6,03 Aa	5,91
5958	5,03 Ab	5,93 Aa	5,48
Média	5,63	5,21	5,42
CV (%)	11,91		
	Comprimento da radícula (cm)		
Torque	7,03	7,53	7,28
Coliseu	6,46	6,46	6,46
5947	6,73	8,3	7,51
66i88	6,46	6,76	6,61
Zeus	6,66	6,56	6,61
5958	7,53	6,03	6,78
Média	6,81	6,94	6,88
CV (%)	16,13		

* Médias seguidas por letra minúscula na coluna e por letra maiúscula na linha não diferenciam entre si, pelo ou Teste de Tukey (p -valor \leq 0,05).

A cv. Coliseu, no teste comparativo de médias apresentou um percentual de emergência de 72% com a presença de mancha-púrpura, diferindo estatisticamente do mesmo tratamento com sanidade que resultou em 94% de emergência. Da mesma forma, cv. 5947 expressou uma queda no percentual de emergência de 91% para 78% em sementes contaminadas e 66i88 com decréscimo de 83% para 61% na mesma situação. A cultivar menos resistente à presença de mancha-púrpura foi cv. Zeus, que apresentou o menor percentual de emergência quando infectada pelo fungo (55%) quando comparado ao mesmo tratamento livre do patógeno (86%) mantendo-se no tercil superior de médias.

Os resultados desse experimento corroboram os encontrados por Toledo (2009), que constatou que a presença do patógeno quando em ambiente favorável afetou a germinação, emergência das sementes e o desenvolvimento das plântulas, reduzindo a qualidade em geral, com potencial do aumento de plântulas anormais e redução no vigor das plântulas.

De mesma maneira, Venturoso et al. (2008), obtiveram resultados onde, em todas as cultivares com ausência de mancha-púrpura, a emergência foi superior se comparada às infectadas, independentemente do grau de severidade do patógeno no tecido vegetal. Porém, os mesmos autores observaram que, o

percentual de emergência em relação à presença do patógeno possui um desempenho diferenciado nos tratamentos, atribuído ao efeito genético das cultivares, constatado no presente teste.

Na Tabela 2, é possível observar o comprimento do hipocótilo em plântulas submetidas aos tratamentos deste experimento. Percebe-se que as médias, em maioria, entre os tratamentos não diferem estatisticamente, a mesma situação se constata comparando as cultivares com a presença e com a ausência do patógeno. A única cultivar que apresentou diferença significativa entre suas médias foi cv. Torque, ao qual o comprimento do seu hipocótilo com a presença de mancha-púrpura foi de 7,36 cm quando comparado aos 4,30 cm relacionados a mesma cultivar sem a presença do patógeno.

Esse resultado em específico pode constituir a evidência de um mecanismo de defesa da plântula em relação ao patógeno, como observado por Câmara (2019), onde as sementes com maiores níveis de infestação apresentaram maiores níveis de crescimento. De acordo com o autor, a plântula estaria em uma tentativa de se desenvolver o mais rápido possível para resistir ao ataque do patógeno e se estabelecer com eficiência. Portanto, estabelecer um protocolo de níveis de severidade isolado por cultivares seria imprescindível para observar a atuação de tal mecanismo.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados do comprimento de radícula nos mesmos padrões analisados no teste anterior, porém, estes por sua vez sinalizam que não houve nenhuma diferença estatística entre os tratamentos com e sem mancha-púrpura e em suas interações na mesma cultivar. Esse fator pode estar relacionado há duas hipóteses, a primeira refere-se ao grau de severidade da infecção, como referenciado por Câmara (2019), ou ainda com o local de infecção que o fungo *Cercospora kikuchii* conseguiu colonizar na semente. Assim, o local de infecção pode ser fator decisivo para uma resposta mediata e eficaz, como foi observado no comprimento de hipocótilo do cv. Torque com mancha-púrpura e no mantimento de todas as médias de comprimento de radícula, independentemente da presença do fungo (Tabela 2).

CONCLUSÃO

Conclui-se que a mancha-púrpura possui potencial de reduzir a qualidade fisiológica de sementes de soja. Os danos ocasionados pela presença do fungo *Cercospora kikuchii* causador da doença pode variar de acordo com a cultivar e os atributos analisados. Ademais, se faz necessário analisar de forma mais criteriosa embasado em nível de severidade de local de infecção os mesmos testes para identificar a correlação entre tais fatores com a redução da qualidade fisiológica das sementes de soja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, A. M. R., Ferreira, L. P., Yorinori, J. T., Silva, J. F. V., & Henning, A. A. (1997). Doenças da Soja. In: Kimati, H., Amorim, L., Bergamin Filho, A., Camargo, L. E. A., & Rezende, J. A. M.

- (Orgs.). Manual de Fitopatologia v. 2: Doenças das plantas cultivadas. 3 ed. São Paulo: Agronômica Ceres.
- Brasil (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília, 395 p.
- Câmara, F. M. (2019). Emergência de sementes de soja com diferentes porcentagens de infestação de mancha púrpura. *Agropecuária Científica no Semiárido*, 15(1), 18-22.
- Conab. Companhia Nacional de Abastecimento (2024). Produção de grãos na safra 2023/24 deve atingir 312,3 milhões de toneladas influenciada por clima. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5313-producao-de-graos-na-safra-2023-24-deve-atingir-312-3-milhoes-de-toneladas-influenciada-por-clima#:~:text=O%20volume%20de%20produ%C3%A7%C3%A3o%20est%C3%A1,de%20100%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2024.
- Galli, J. A., Panizzi, R. C., Fessel, S. A., Simini, F., & Fumikotto, M. (2005). Efeito de *Colletotrichum dematium* VAR. *truncata* e *Cercospora kikuchii* na germinação de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, 27(2), 182-187. DOI: 10.1590/S0101-31222005000200026
- Henning, A. A. (2005). Patologia e tratamento de sementes: noções gerais. 2.ed. Londrina: Embrapa Soja, 52p. (Embrapa Soja. Documentos, 264).
- Marcos Filho, J. (2015). Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Scientia Agricola*, 72(4), 363-374. DOI: 10.1590/0103-9016-2015-0007
- Oliveira, J. A., Machado, J. C., Vieira, M. G. G. C., & Brandão Júnior, D. S. (1993). Transmissibilidade e danos causados por *Cercospora kikuchii* em sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, 15, 1, 97-100.
- Pereira, C. E., & Pereira, M. C. (2017). Sementes de soja infectadas por *Cercospora kikuchii*, sob déficit hídrico. *Científica*, 45(3), 295-299. DOI: 10.15361/1984-5529.2017v45n3p295-299
- Sautua, F. J. (2021). Sensibilidad y resistencia a fungicidas de *Cercospora kikuchii*, agente causal del tizón de la hoja y mancha púrpura de la semilla de la soja. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, 397f. Disponível em: <<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/127606>> Acesso em: 09 de fevereiro de 2024.
- Toledo, M. Z., Fonseca, N. R., César, M. L., Soratto, R. P., Cavariani, C., & Crusciol, C. A. C. (2009). Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, 39, 124-133. DOI: 10.5216/pat.v39i2.3486
- Vendrame, R. J. (2012). Qualidade fisiológica de semente de soja em função do tamanho da semente e da cultivar. Dissertação. Universidade Federal de Pelotas.

Venturoso, L. R., Rangel, M. A. S., Souza, F. R., Bergamin, A. C., Conus, L. A., & Coleta, Q. P. (2008).
Influência de diferentes classes de infestação por mancha púrpura sobre o vigor de sementes de
soja. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, 12(1), 41-48.

Qualidade fisiológica e sanitária e patogenicidade de sementes de sorgo-sacarino

 10.46420/9786585756280cap6

Juceli Müller 

Pâmela Oruoski 

Marlove Fatima Brião Muniz 

Ubirajara Russi Nunes 

Janine Farias Menegaes 

Raquel Stefanello 

Diego Nicolau Follmann 

INTRODUÇÃO

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma gramínea, originária do continente africano e pertencente à família Poaceae, sendo o quinto cereal mais produzido no mundo, ficando atrás apenas do trigo (*Triticum* spp.), do arroz (*Oryza sativa* L.), do milho (*Zea mays* L.) e da cevada (*Hordeum vulgare* L.). O sorgo-sacarino apresenta colmos ricos em açúcares fermentescíveis (sacarose, glicose e frutose), e dessa forma, possibilita também a produção de etanol na mesma instalação utilizada pela cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). Sendo a implantação da cultura a partir de sementes e com ciclo vegetativo variando de 120 a 130 dias (Durães, 2011; May et al., 2012).

Nesta espécie, as sementes estão dispostas em forma de panícula, e desenvolvem-se sucessivamente do topo para a base, com forma e tamanho compacta e aberta, contendo o florescimento desuniforme que pode variar de 6 a 15 dias, e, conseqüentemente, ocorre desuniformidade de maturação das sementes (Magalhães, Durães & Rodrigues, 2008). Em que, a colheita mecanizada das sementes pode causar danos às mesmas, os quais possibilitam a infestação e/ou infecção de diversos patógenos, reduzindo a qualidade sanitária e por conseguinte, a qualidade física e fisiológica dessas (Ullmann et al., 2015).

Por exemplo, a infestação por Fusariose, pode resultar em coloração avermelhada do caldo e do bagaço, após moagem, em razão da deposição de antocianina nos tecidos do colmo. A presença de *Puccinia purpurea* e *Macrophomina phaseolina* no colmo reduz o conteúdo de açúcares, prejudicando as atividades das leveduras e, conseqüentemente, a conversão dos açúcares em etanol (May et al., 2012; May et al., 2013). Diversas doenças são comuns nos canaviais, causando prejuízos, contudo, há informações limitadas sobre identificação e transmissão de patógenos associados às sementes de sorgo-sacarino, principalmente no Brasil, o que é de suma importância neste contexto de expansão da cultura.

Assim, a cultura do sorgo-sacarino está sujeita à incidência de muitas doenças, muitas das quais podem ser limitantes à sua produção, dependendo das condições ambientais e da suscetibilidade da cultivar (Cota, 2014), cujos patógenos são, na maioria das vezes, transmitidos via semente. Essa transmissão via semente deve-se principalmente pela forma das suas panículas, nas quais as sementes estão totalmente agrupadas e expostas, criando condições ideais para o desenvolvimento de fungos, especialmente na época da maturidade fisiológica das sementes, onde a umidade relativa é mais elevada. O mesmo autor cita como os mais frequentes fungos associados às sementes: *Cladosporium* sp., *Alternaria tenuis*, *Drechslera turcica*, *D. sorghicola*, *Fusarium moniliforme*, *F. semitectum*, *F. subglutinans*, *Penicillium* sp., *Phoma sorghina*, *Aspergillus flavus*, *A. niger*, entre outros. Estes são responsáveis por perdas na qualidade sanitária, física e nutricional dos grãos, e, no caso de causarem deterioração dos grãos, estes fungos podem descolori-los e degradar proteínas, açúcares e carboidratos.

Os organismos fitopatogênicos, de uma forma geral, transportados pelas sementes, podem estar localizados no interior dos tecidos, na superfície ou aderidos à semente (Muniz & Porto, 1999). Aqueles patógenos localizados, internamente, apresentam chances maiores de serem transmitidos às plântulas, porém, se a contaminação for superficial, os danos poderão ser maiores nas fases iniciais do processo de germinação. Além da localização do fungo na semente, a quantidade e o tipo de inóculo (micélio, esporos, entre outros), e fatores como umidade e temperatura também influenciam na capacidade de transmissão (Machado, Cassetari Neto & Guerra, 2005). Se a transmissão do patógeno pela semente for eficiente, a planta desenvolverá a doença, o que poderá acarretar problemas na plântula, inclusive sua morte.

A determinação de fungos associados às sementes e transmitidos para as plântulas é fundamental para a definição de algumas estratégias de controle, pois se define, por exemplo, se o inóculo causador da doença chegou até a área através da transmissão eficiente pela semente ou de outra forma (Casa, Reis & Moreira, 2005). Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo determinar a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de cultivares de sorgo-sacarino, bem como identificar os patógenos associados à semente, sua transmissão às plântulas e a posterior patogenicidade de isolados obtidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nos Laboratórios Didático e de Pesquisas em Sementes e de Fitopatologia Elocy Minussi, ambos da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS. Foram avaliadas quatro cultivares de sorgo-sacarino, sendo todas as sementes adquiridas sem qualquer tipo de tratamento fitossanitário, das cultivar BRS 506; cultivar BRS 509, cultivar BRS 511, ambas obtidas da Embrapa, e a cultivar Fepagro 19, advindas da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO).

As sementes utilizadas foram provenientes da safra 2013/2014 e produzidas na área experimental do Departamento de Fitotecnia (29°43'28" S, 53°43'18" W, altitude 95 m). O solo da área é uma transição

entre Argissolo Bruno-Acinzentado alítico úmbrico e Argissolo Vermelho distrófico arênico. O clima da região, segundo a classificação de KÖEPPEN, é do tipo Cfa, subtropical úmido, sem estação seca definida, com verões quentes (Heldwein, Buriol & Streck 2009). Os tratos culturais como preparo do solo, correção e adubação foram realizados conforme recomendação técnica para a cultura e de acordo com a interpretação da análise de solo.

As sementes das quatro cultivares (BRS 506, BRS 509, BRS 511 e Fepagro 19) foram na primeira quinzena dos meses de outubro, novembro e dezembro de 2013. Sendo as panículas colhidas manualmente e alocadas em estufa com circulação forçada regulada a 45 °C, até a obtenção de umidade de 12%. A seguir, as mesmas foram debulhadas e as sementes ventiladas para a retirada de impurezas e posteriormente homogeneizadas com peneiras e colocadas em sacos de papel Kraft, devidamente identificadas, e armazenadas no LDPS, em câmara fria, com temperatura de 12 °C±2 °C, até a realização das análises (aproximadamente três meses).

Logo após o armazenamento, as sementes foram submetidas à caracterização inicial, através das seguintes determinações e testes:

Teste de Germinação: foram utilizadas quatro repetições de 100 sementes, o teste foi realizado em rolo de papel umedecido com água destilada, equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco, sendo os rolos mantidos em germinador (25 °C), com fotoperíodo de 12 h (Brasil, 2009a). As contagens foram realizadas aos 4 e 10 dias após a semeadura (DAS), para primeira contagem e germinação, respectivamente. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, avaliando-se também a porcentagem de plântulas anormais e sementes mortas.

Comprimento e massa seca de plântulas: foram avaliadas dez plântulas normais, escolhidas aleatoriamente, e obtidas do teste de germinação (Brasil, 2009a). O comprimento foi com auxílio de uma régua graduada em milímetros, foram mensurados o comprimento da parte aérea (a partir da inserção do hipocótilo), o comprimento radicular e o comprimento total das plântulas. E, para a determinação da massa seca, as plântulas foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificados, e posteriormente colocados em estufa a 65 °C, por 48 h. A pesagem foi realizada em balança de precisão de 0,001 mg, sendo os resultados expressos em mg plântulas⁻¹ (Nakagawa, 2020).

Emergência de plântulas: foram semeadas em bandejas plásticas com substrato de areia previamente lavada, esterilizada e peneirada, 100 sementes em sulcos de 1 cm de profundidade, espaçados de 5 cm, divididas em quatro repetições, para cada cultivar. As irrigações ocorreram diariamente, e a avaliação ocorreu aos 15 dias após semeadura, quando a emergência das plântulas se tornou constante, computando-se a porcentagem de plântulas emergidas (Nakagawa, 2020).

Índice de velocidade de emergência (IVE): realizado conjuntamente com o teste de emergência, no qual foram realizadas contagens diárias das plântulas emergidas até a estabilização da emergência. Para cada repetição, foi utilizada a fórmula Maguire (1962).

Envelhecimento acelerado: o teste foi conduzido em caixas tipo gerbox, nas quais foram adicionados 40 mL de água destilada, no interior da caixa sobre a tela de alumínio as sementes foram distribuídas de maneira uniforme, impossibilitando o contato com a água. As caixas permaneceram em incubadora por um período de 48 h a 42 °C. Após este período, as sementes foram colocadas para germinar (conforme metodologia descrita anteriormente para o teste de germinação), com avaliação aos 4 DAS (Marcos Filho et al., 1987).

Teste de sanidade: realizado através do método do papel filtro ou “Blotter Test”, onde foram utilizadas 200 sementes, divididas em quatro repetições de 50 e colocadas em caixas plásticas do tipo gerbox e, a incubação foi a temperatura de 20 °C±2 °C, com fotoperíodo de 12 h, durante 24 h. Em seguida, submetidas ao congelamento por 24 h, para inibir a germinação das sementes. Após esse período, foram novamente incubadas, por sete dias, a 20 °C± 2 °C, com 12 h de regime de luz (Brasil, 2009b). As análises foram realizadas com o auxílio de lupa e microscópio óptico para observação das estruturas morfológicas dos fungos, os quais foram identificados em nível de gênero, com auxílio de bibliografia especializada de Barnett & Hunter (1999), e os valores expressos em porcentagem de sementes infestadas pelos gêneros fúngicos identificados.

Transmissão de patógenos sem inoculação: para este teste, a areia foi utilizada como substrato na condução do experimento, sendo peneirada e posteriormente esterilizada (120° C e 1 atm, durante 1 h) (Brasil, 2009b). Após este procedimento, para cada uma das cultivares foram semeadas 100 sementes, não desinfestadas, divididas em quatro repetições de 25, e distribuídas em bandejas com o substrato. Não houve incorporação de inóculo de patógeno, a fim de que se verificasse a transmissão de patógenos via semente.

As bandejas foram mantidas em câmara de incubação, a 25 °C e fotoperíodo de 12 h, com irrigação diária. As avaliações foram realizadas no final de 20 dias, nas quais foram observadas a emergência de plântulas saudáveis e de plântulas com sintomas de doença. Os sintomas observados e registrados foram tombamento, murcha, coloração escurecida do hipocótilo, apodrecimento de sementes e plântulas mortas. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais e plântulas com sintomas.

Patogenicidade: os principais fungos identificados na avaliação da qualidade sanitária, em porcentagem significativa, e aqueles transmitidos via semente, observados no teste de transmissão, foram isolados das sementes e das plântulas e mantidos em placa de Petri, contendo meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA) e antibiótico sulfato de estreptomicina, para prevenir a contaminação por bactérias. Neste caso, somente para o fungo *Fusarium* sp., foi realizada a patogenicidade, por ter ocorrido em todas as cultivares e ter sido transmitido às sementes.

A inoculação do fungo foi através do método de contato das sementes com as culturas fúngicas isoladas, adaptado de Sousa et al. (2008). O inóculo do fungo isolado foi repicado para placas de Petri através da utilização de 1 disco com 5 mm de diâmetro, disposto no centro da placa. Essa placa contendo

a colônia fúngica foi mantida a 25 °C e fotoperíodo de 12 h, em incubadora tipo BOD, até a completa colonização da placa. Foram semeadas quatro repetições de 25 sementes (totalizando 100 sementes) para cada isolado testado, nas quatro cultivares pesquisadas.

Três isolados de *Fusarium* sp. foram avaliados, sendo então realizados os testes de emergência, em câmara de incubação por 30 dias com contagens diárias. Foram realizadas avaliações de contagem de plântulas emergidas diariamente, até o 30º dia, nas quais foi determinado o número total de plântulas emergidas e número total de plântulas com sintomas (tombamento, murcha, coloração escurecida do hipocótilo, apodrecimento de sementes, plântulas mortas) devido à presença do fungo. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais e plântulas com sintomas.

O experimento foi desenvolvido com quatro cultivares e três épocas de semeadura, para as quais foi realizada a média dos resultados obtidos, resultando em 12 repetições. Assim sendo, utilizou-se o delineamento estatístico inteiramente casualizado, com quatro cultivares e 12 repetições. Para o teste de patogenicidade o esquema fatorial foi de 4 x 4, sendo representado pelas quatro cultivares e os três isolados obtidos de *Fusarium* sp. e a testemunha.

Os dados em porcentagem foram transformados em arco-seno $\sqrt{x/100}$, e submetidos à análise de variância (ANOVA) e nas médias que apresentaram significância foi aplicado o teste de Tukey (p -valor $\leq 0,05$) utilizando-se o software SISVAR (Ferreira, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da qualidade fisiológica das sementes pode ser observada na Tabela 1. Na determinação da primeira contagem de germinação observa-se que não houve diferenças estatísticas entre as diferentes cultivares. Já avaliando a porcentagem de germinação tem-se que não foram constatadas diferenças estatísticas entre as cultivares BRS 506, Fepagro 19 e BRS 511, sendo os percentuais de germinação de 78%, 86% e 76%, respectivamente, contudo, diferem estatisticamente da cultivar BRS 509, a qual apresentou 66% de plântulas normais.

A instalação de uma cultura geralmente é efetuada com base nos resultados do teste de germinação, e para a comercialização de sementes, o percentual de germinação exigido para o sorgo-sacarino é de 80% pela Instrução Normativa n. 45 (Brasil, 2013). Neste sentido, apenas a cultivar Fepagro 19 apresentou porcentagem de germinação que permitisse sua comercialização (86%).

Ullmann et al. (2015), trabalhando na região do Cerrado com a cultivar BRS 506 também observaram elevadas percentagens de germinação chegando a obter percentagens médias de 94%. Resultado não semelhante neste trabalho, pois apenas a cultivar Fepagro 19 atingiu o percentual de no mínimo 80% de plântulas normais.

O baixo percentual de germinação pode estar associado à dormência pós-colheita presente nas sementes desta cultivar. A inibição da germinação pode ser ativada pela presença de certas substâncias na

cobertura ou na parte interna das sementes. De acordo com Marcos Filho (2015), estas substâncias bloqueiam o metabolismo preparatório para a germinação ou impedem o acesso do oxigênio ao embrião ou a liberação de gás carbônico. São conhecidos vários tipos de inibidores da germinação, entre eles, os taninos, frequentemente encontrados em sementes de sorgo-sacarino.

Tabela 1. Primeira contagem da germinação (PCG), germinação de sementes (GER), plântulas anormais (PAN), sementes mortas (SM), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento radicular (CPR), comprimento total (CTO), massa seca de plântula (MSP), envelhecimento acelerado (EA), emergência (E), comprimento de parte aérea da emergência (CPAE), massa seca de plântula da emergência (MSPE) e índice de velocidade de emergência (IVE) de sementes de sorgo-sacarino. Fonte: os autores.

Parâmetros	Cultivares de sorgo-sacarino				
	BRS 506	Fepagro 19	BRS 511	BRS 509	CV (%)
PCG (%)	37 a	27 a	38 a	46 a	42,71
GER (%)	78 a*	86 a	76 a	66 b	11,52
PAN (%)	8 a	6 a	9 a	8 a	62,80
SM (%)	14 b*	8 b	15 b	26 a	42,82
CPA (cm)	3,5 ab*	4,1 a	3,4 b	3,8 ab	16,69
CPR (cm)	6,1 ab*	6,6 a	5,7 b	6,2 ab	12,60
CTO (cm)	9,6 ab*	10,7 a	9,1 b	10,0 ab	12,07
MSP (mg pl ⁻¹)	3,050 ab*	2,342 b	3,542 ab	4,025 a	42,10
EA (%)	85 ab*	85 ab	91 a	80 b	21,67
E (%)	88 ab*	91 a	89 a	80 b	9,60
CPAE (cm)	9,7 c*	12,7 b	11,8 b	16,2 a	13,00
MSPE (mg pl ⁻¹)	1,125 b*	1,442 ab	1,292b	1,825 a	28,32
IVE	4,503 a*	4,562 a	4,270 ab	3,936 b	10,10

*Médias não seguidas pela mesma letra diferem pelo teste de Tukey (p-valor \leq 0,05). CV: coeficiente de variação.

Na Tabela 1, observa-se ainda que não houve diferenças estatísticas para a variável plântulas anormais nas diferentes cultivares. Contudo, avaliando-se a porcentagem de sementes mortas, nota-se que a cultivar BRS 509 apresentou porcentagem superior (26% de sementes mortas) quando comparada as demais cultivares. A porcentagem inferior de germinação desta cultivar pode estar relacionada a elevada porcentagem de sementes mortas encontradas no teste. Já o número de sementes mortas pode estar associado a presença de fungos causadores de apodrecimento nas sementes, como os fungos da espécie *Fusarium*, com alta incidência nestas cultivares.

Avaliando-se o comprimento da parte aérea e radicular, comprimento total e massa seca (Tabela 1) de plântulas normais obtidas do teste de germinação, observa-se que a cultivar Fepagro 19 obteve desenvolvimento superior quando comparada as demais cultivares (10,7 cm de comprimento total), mas que não diferiu estatisticamente das cultivares BRS 506 (com 9,6 cm) e BRS 509 (com 10 cm). Para Guedes et al. (2009), o comprimento de plântulas, ou de parte delas, é um teste sensível que permite classificar, ou confirmar, lotes com pequenas diferenças de qualidade fisiológica.

Os resultados do teste de envelhecimento acelerado (Tabela 1), indicam que as cultivares apresentaram porcentagem de plântulas normais superiores às obtidas no teste de germinação, variando, conforme a cultivar, de 80% a 91% de plântulas normais (BRS 509 e BRS 511, respectivamente. Segundo Milosevic, Milka & Dura (2010), pode-se estimar a longevidade e a viabilidade das sementes no armazenamento, dependendo das espécies e das condições em que os lotes foram armazenados.

Na Tabela 1 também estão expressas as porcentagens de plântulas normais obtidas no teste de emergência (E) realizado nas bandejas, bem como o índice de velocidade de emergência (IVE), comprimento de parte aérea (CPAE) e massa seca (MSPE) destas plântulas. É possível observar que não houve diferenças significativas no percentual de plântulas normais da emergência entre as cultivares Fepagro 19 e BRS 511, 91% e 89%, respectivamente. Contudo, houve diferenças entre estas e a cultivar BRS 509, que apresentou 80% de plântulas normais na avaliação. O IVE observado também informa que não há diferenças entre as cultivares BRS 506, Fepagro 19 e BRS 511, contudo, há diferenças destas com a cultivar BRS 509. Gustafson, Gibson & Nickrent (2004) afirmam que plantas com elevada velocidade de emergência e de crescimento inicial se sobressaem em relação a plantas com menor desenvolvimento pois há maior utilização dos recursos do meio.

O IVE é importante na avaliação da qualidade das sementes, pois de acordo com Marcos Filho (2015), este teste mede a velocidade com que as plântulas emergem do solo, portanto quanto maior for o índice, maior será o vigor das sementes. A uniformidade e velocidade de emergência das plântulas são componentes importantes do desempenho das sementes e afetam diretamente o estabelecimento do estande.

A cultivar BRS 509 apresentou o maior comprimento de parte aérea da plântula, apresentando resultado significativamente superior (16,2 cm) a cultivar BRS 506 (9,7 cm). Dentre os fatores que podem ter contribuído para o maior crescimento da parte aérea destas plântulas pode ser a maior eficiência na competição por luz e rapidez na expansão foliar. Para May et al. (2012), a competição por luz interfere no crescimento das plantas, pois ela é fonte de energia e é fundamental nos processos metabólicos essenciais ao crescimento vegetal.

Na caracterização fisiológica das sementes de sorgo-sacarina utilizadas neste trabalho observou-se que a cultivar BRS 506 não diferiu estatisticamente da cultivares Fepagro 19 e BRS 511 no teste de germinação, na porcentagem de plântulas anormais e de sementes mortas, bem como nos comprimentos totais de plântulas, massa seca, envelhecimento acelerado, emergência e IVE. Contudo, a cultivar BRS 509 apresentou menor porcentagem de germinação sendo significativamente inferior as demais cultivares, bem como maior porcentagem de sementes mortas. Além disso, nos testes de vigor, foi verificada menor porcentagem de plântulas normais no envelhecimento acelerado e no teste de emergência, bem como menor IVE.

Para Munizzi et al. (2010), é importante determinar a qualidade fisiológica das sementes, pois estas avaliações influenciam no desempenho, na emergência, no índice de velocidade de emergência, na

viabilidade e na manutenção do vigor, propiciando uma aceleração no processo de germinação das sementes, e assim, produzindo plântulas com maior tamanho inicial e com possibilidade de maior produtividade.

Em relação aos principais gêneros fúngicos associados as sementes de sorgo-sacarino (Tabela 2), observou-se que há uma elevada incidência de espécies fúngicas associadas às sementes, não havendo diferenças significativas entre as cultivares observadas. Ou seja, não são observadas predisposição de alguma cultivar ou não a presença de patógenos. Foram observados, com maior incidência os seguintes gêneros: *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp., *Dreschelera* spp., *Penicillium* spp. e *Epicoccum* spp.

Tabela 2. Sementes totais infestadas por microrganismos fúngicos e os principais gêneros associados às sementes de sorgo-sacarino na avaliação da qualidade sanitária. Fonte: os autores.

Parâmetros	Cultivares de sorgo-sacarino				
	BRS 506	Fepagro 19	BRS 511	BRS 509	CV (%)
Sementes totais infestadas (%)	69,3 a*	86,0 a	79,5 ab	83,5 ab	21,66
<i>Fusarium</i> spp. (%)	65,5 a	57,7 a	63,5 a	62,5 a	16,71
<i>Alternaria</i> spp. (%)	10,4 b*	37,1 a	24,0 ab	15,6 b	38,42
<i>Aspergillus</i> spp. (%)	0,6 b	0,3 b	4,0 a	4,9 a	85,39
<i>Dreschelera</i> spp. (%)	11,1 a*	2,3 b	3,3 b	7,2 ab	52,85
<i>Penicillium</i> spp. (%)	1,3 a	0,3 a	1,8 a	2,6 a	81,69
<i>Epicoccum</i> spp. (%)	11,1 a*	2,3 b	3,3 b	7,2 a	52,85

*Médias não seguidas pela mesma letra diferem pelo teste de Tukey (p -valor $\leq 0,05$). As cultivares BRS 506 e BRS 509 não apresentaram diferenças estatísticas para a presença de *Alternaria* spp. nas sementes de 10,4% e 15,6%, respectivamente, contudo, ambas apresentaram menor incidência quando comparada a cultivar Fepagro 19, com 37,1% de presença em suas sementes. *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. são considerados fungos de armazenamento e podem estar associados as sementes causando apodrecimentos das mesmas, assim como originar plântulas anormais e inviáveis.

Flávio et al. (2014), avaliando a qualidade sanitária e fisiológica de sementes de sorgo-sacarino, cultivar BR 310, identificaram no teste de sanidade os gêneros *Penicillium* spp. (12,8%), *Curvularia* spp. (43%), *Fusarium* spp. (29,2%) e *Aspergillus* spp. (14,3%) como os mais frequentes, além de *Drechslera* spp., *Alternaria* spp. e *Chaetomium* spp. Bem como, Pinto (2004), avaliando a qualidade sanitária de sementes de sorgo, cultivar BR 506, identificou as espécies *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Alternaria* spp., *Phoma* spp., *Curvularia* spp., e *Drechslera*.

Contudo, dentre estes gêneros identificados no trabalho, a incidência maior observada foi de *Fusarium* spp., variando de 57,7% (cultivar Fepagro 19) a 65,5% (cultivar BRS 506), mesmo sem diferenças estatísticas com as demais cultivares. Brancão et al. (2002), avaliando a incidência de fungos em sementes de sorgo também encontraram *Fusarium* spp. associado às mesmas.

Os fungos que causam a podridão de sementes e “damping-off”, incluindo *Fusarium*, são patógenos parasitas que estabelecem relações nas fases iniciais do desenvolvimento da planta, deste modo podem interferir negativamente na densidade de plantio no campo de produção. Em trabalho realizado

por Garud, Ismail & Shinde (2000), sementes de 13 genótipos de *Sorghum bicolor* foram inoculadas com *Fusarium* spp. e *Curvularia lunata*, identificando correlação positiva entre a infecção com espécies de *Fusarium* spp. e a germinação das sementes.

Segundo Flávio et al. (2014), inóculos presente nas sementes podem resultar em aumento progressivo da doença, reduzindo assim o valor comercial da cultura. Para Souza, Araujo & Nascimento (2007), espécies do gênero *Fusarium* podem produzir micotoxinas, além disso podem causar redução da capacidade germinativa, descoloração ou formação de manchas, apodrecimentos, mofo e transformações bioquímicas nas sementes.

Os resultados do teste de transmissão (Tabela 3), complementam o teste de sanidade, pois irão comprovar se os fungos presentes nas sementes serão transmitidos para as plântulas. Observou-se que a cultivar BRS 509 apresentou a menor porcentagem de plântulas normais (69%) e a maior porcentagem de plântulas com sintomas (32%), seguida das cultivares BRS 511 (19%) e BRS 506 (17%). A cultivar Fepagro 19 apresentou a menor porcentagem de plântulas com sintomas (8%), bem como o maior índice de plântulas normais (90%). Os principais sintomas causados por *Fusarium* spp. e observados foram tombamento, murcha, coloração escurecida do hipocótilo e plântulas mortas.

Tabela 3. Média de plântulas normais (%) e plântulas com sintomas de *Fusarium* spp. (%) observadas no teste de transmissão de quatro cultivares de sorgo-sacarino, safra 2013/2014, Santa Maria, RS. Fonte: os autores.

Parâmetros	Cultivares de sorgo-sacarino				
	BRS 506	Fepagro 19	BRS 511	BRS 509	CV (%)
Plântulas normais	83 b**	90 a	81 b	69 c	5,51
Plântulas com sintomas	17 b	10 c	19 b	32 a	13,82

*Médias não seguidas pela mesma letra diferem pelo teste de Tukey (p-valor ≤ 0,05). CV: coeficiente de variação.

A podridão vermelha do colmo (*Fusarium verticillioides*) é comum em todas as regiões onde se cultiva o sorgo. Para Cota et al. (2010), o fungo pode causar podridão de sementes e morte das plântulas, reduzindo o “stand” de plantas na lavoura. A redução na produção e na qualidade de grãos e de forragem é atribuída a ela por afetar também o enchimento dos grãos e provocar o enfraquecimento do colmo, causando, geralmente, tombamento e/ou podridão do mesmo. Este patógeno pode infectar as sementes, as raízes, o colmo e o pedúnculo da planta, comprometendo a firmeza do tecido interno.

Segundo May et al. (2013), quando há transporte de sementes infectadas para novas áreas, principalmente com alta quantidade de inóculo e plantios contínuos com a mesma cultivar, a durabilidade da resistência das cultivares é afetada, por causa da possibilidade de superação da resistência, devido à variabilidade dos patógenos.

A realização do teste de patogenicidade pode confirmar ou excluir a hipótese de que os fungos encontrados associados às sementes e transmitidos por elas, são mesmos patogênicos à espécie em

estudo. Na Tabela 4, encontram-se os resultados do teste de patogenicidade de três isolados de *Fusarium* sp. em plântulas de sorgo-sacarino, inoculados via semente.

Tabela 4. Emergência e plântulas sintomáticas do teste de patogenicidade com inoculação de *Fusarium* sp. em sementes de quatro cultivares de sorgo-sacarino, safra 2013/2014, Santa Maria, RS. Fonte: os autores.

Parâmetros	Testemunha + isolados	Cultivares de sorgo-sacarino				CV (%)
		BRS 506	Fepagro 19	BRS 511	BRS 509	
Plântulas normais	Testemunha	83 Ab*	74 Bbc	80 Aa	80 Aa	6,33
	Isolado 01	90 Aa	80 Abc	78 Ba	79 Ba	
	Isolado 02	81 Ab	83 Aa	81 Aa	65 Bb	
	Isolado 03	74 ABc	73 ABc	78 Aa	69 Bb	
Plântulas com sintomas	Testemunha	1 Bab*	7 Aa	4 Aba	2 Ba	96,72
	Isolado 01	0 Bb	5 Aa	4Aa	4 Aa	
	Isolado 02	0 Bb	0 Bb	2 ABab	4 Aa	
	Isolado 03	3 Aa	2 ABa	0 Bb	4 Aa	
Plântulas mortas	Testemunha	0 Bb*	3 Aa	2 Aa	3 Aab	86,0
	Isolado 01	0 Bb	3 Aa	3 Aa	3 Aab	
	Isolado 02	0 Bb	1 Bb	3 Aa	6 Aa	
	Isolado 03	5 Aa	3 ABa	3 ABa	4 Aa	
Sementes mortas	Testemunha	16 Aa*	16 Aab	15 Aa	15 Ab	15,0
	Isolado 01	10 Ab	12 Ab	15 Aa	15 Ab	
	Isolado 02	19 Aa	16 Bab	15 Ba	25 Aa	
	Isolado 03	17 ABa	22 Aa	19 ABa	23 Aa	

*Médias não seguidas pela mesma letra diferem pelo teste de Tukey (p-valor \leq 0,05). CV: coeficiente de variação.

Para a cultivar BRS 511 não houve diferenças significativas entre os isolados, já nas demais cultivares o isolado 3 apresentou porcentagens inferiores de plântulas normais. Com relação a plântulas sintomáticas, na cultivar BRS 506, o isolado 3 novamente apresentou as maiores porcentagens. Na cultivar BRS 509 não houve diferenças entre a testemunha e os isolados testados no trabalho.

O percentual de plântulas mortas também foi significativamente superior no isolado 3 quando avaliada a cultivar BRS 506, não ocorrendo diferenças significativas entre os demais. Já a cultivar Fepagro 19 apresentou menor porcentagem na presença do isolado 2, quando comparada as demais. Para as demais cultivares não foram observadas diferenças significativas entre os isolados e a testemunha.

O percentual de sementes mortas não diferiu estatisticamente dentro da cultivar BRS 511. Contudo, na cultivar BRS 506, na Fepagro 19 e na BRS 509 não houve diferenças estatísticas entre os isolados 2 e 3. Dessa forma, de forma geral, tem-se que o isolado 3 pode ser considerado o mais agressivo, tanto pela redução significativa de plântulas normais e pela maior porcentagem de plântulas com sintomas ou que chegaram a morrer após alguns dias de realização do teste.

Assim, é possível constatar que os três isolados de *Fusarium* sp. foram considerados patogênicos à cultura do sorgo-sacarino, sendo transmitidos via semente e ocasionando sintomas característicos do patógeno, tais como tombamento, morte de plântulas e podridão de sementes.

A infecção também foi comprovada pela presença de sementes totalmente colonizadas pelo patógeno e plântulas com presença de micélio; sintomas como estrangulamento da região do colo, evoluindo para a morte da plântula também foram observados.

Castrillon et al. (2016), avaliaram a patogenicidade de *Ramulispora sorghi* em nove genótipos de sorgo-sacarino, entre estes, cinco foram considerados suscetíveis ao patógeno. Para Walker et al. (2016), os resultados da avaliação da emergência de plântulas, após a inoculação de isolados de *Fusarium* spp. também demonstraram que o fungo foi patogênico causando tombamento de pré e pós-emergência em plântulas de *Cordia americana*, sendo observado apodrecimento das raízes, necrose do hipocótilo seguida de ruptura.

Yago et al. (2011), identificaram 18 gêneros fúngicos com 34 espécies em sementes de sorgo-sacarino, sendo as principais a *Alternaria alternata*, *Aspergillus flavus*, *Curvularia lunata*, *Fusarium moniliforme* e *Phoma* sp. Além disso, observaram que as taxas de germinação *in vitro* e *in vivo* foram maiores com sementes desinfetadas e solos esterilizados, indicando que havia uma fonte de inóculo nas sementes e que inibiu a germinação das mesmas. Os autores também isolaram os patógenos do endosperma e do embrião das sementes, identificando uma mortalidade considerável de mudas (pois estes patógenos geralmente atacam na fase de plântula), sendo que as espécies de *Alternaria* e *Fusarium* apresentaram maior colonização no embrião. Os autores concluíram que todos os fungos transmitidos por sementes podem ser fonte primária de infecção de culturas de sorgo.

Yago et al. (2011), sugerem que a transmissão de fungos através de sementes de sorgo-sacarino, pode estar relacionada ao amido presente nestas sementes, sendo que o teor médio do sorgo é de 69,5%, maior por exemplo, que do milho (56,3%). Outro fator segundo os autores, é a dureza do grão, grãos mais duros tem menor infecção em comparação a grãos mais tenros. Muitos destes fatores contribuem também para as diferenças de resistência à infecção pelos patógenos. Prom et al. (2003), inoculando espécies de *Fusarium thapsinum* e *Curvularia lunata* em cultivares de sorgo, verificaram que houve redução na germinação em todas as cultivares.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho, pode se inferir que a cultivar BRS 509 apresenta qualidade fisiológica inferior às demais cultivares. Além disso, constatou-se que patógenos como *Fusarium* spp., *Aspergillus*, *Penicillium* spp., *Drechslera* spp. e *Alternaria* spp. são encontrados associados a sementes de sorgo-sacarino, entre estes, *Fusarium* spp. é transmitido às sementes, sendo considerado patogênico à cultura e causando apodrecimento de sementes, tombamento e morte de plântulas em quatro cultivares de sorgo-sacarino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1999). *Illustrated genera of imperfect fungi*. St Paul, Minnesota: APS Press. 218p.
- Brancão, N., Nunes, C. D. M., Gastal, M. F. C., Raupp, A. A. A., Porto, M. P., & Wendt, W. (2002). Ocorrência de fungos em sementes de sorgo, milho, soja e trigo. Pelotas: Embrapa Clima Temperado (Comunicado Técnico, 76). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31577/1/comunicado76.pdf>> Acesso em: 20 de janeiro de 2024.
- Brasil (2009a). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS. 399p.
- Brasil (2009b). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de Análise Sanitária de Sementes. Brasília: MAPA. 200p.
- Brasil (2013). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 45, de 17 de setembro de 2013. Diário Oficial da União, 1(181), 6-36.
- Casa, R. T., Reis, E. M., & Moreira, E. N. (2005). Transmissão de fungos em sementes de cereais de inverno e milho: implicações epidemiológicas. In: Zambolim, L. (Org.). Sementes: qualidade fitossanitária. Viçosa: UFV.
- Castrillon, M. A. S., Ribeiro, J. L. B., Duarte, A. V. M., Corrêa, C. L., Barelli, M. A. A., & Cota, L. V. (2016). Resistência de genótipos de sorgo-sacarino à mancha de ramulispora foliar causada pelo fungo *Ramulispora sorghi*, no Estado de Mato Grosso (Cáceres). In: XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2016, Bento Gonçalves/RS. Anais... Sete Lagoas: ABMS.
- Cota, L. V. (2014). Manejo integrado de doenças na cultura do sorgo. In: Karam, D., & Magalhães, P. C. (Orgs.). Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo. p. 348-357.
- Cota, L. V., Costa, R. V. da, & Casela, C. R. (2010). Doenças. In: Rodrigues, J. A. S. (Org.). Cultivo do sorgo. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/82182/1/doencas.pdf>> Acesso em: 24 de outubro de 2023.
- Durães, F. O. M. (2011). Sorgo-sacarino: desenvolvimento de tecnologia agrônômica. Agroenergia em Revista. Brasília: Embrapa Agroenergia. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/903302/1/RevistaAgroenergia31420.pdf>> Acesso em: 20 de outubro de 2023.
- Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: A guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(2), 109-112. DOI: 10.1590/S1413-70542014000200001

- Flávio, N. S. D. S., Sales, N. L. P., Aquino, C. F., Soares, E. P. S., Aquino, L. F. S., & Catão, H. C. R. M. (2014). Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de sorgo tratadas com extratos aquosos e óleos essenciais. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(1), 7-20. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n1p7
- Garud, T. B., Ismail, S., & Shinde, B. M. (2000). Effect of two mold-causing fungi on germination of sorghum seed. *International Sorghum and Millets Newsletter*.
- Guedes, R. S., Alves, E. U. A., Gonçalves, E. P., Viana, J. S., Bruno, R. L. A., & Colares, P. N. Q. (2009). Resposta fisiológica de sementes de *Erythrina velutina* Willd. ao envelhecimento acelerado. *Semina. Ciências Agrárias*, 32(2), 323-330. DOI: 10.5433/1679-0359.2009v30n2p323
- Gustafson, D. J., Gibson, D. J., & Nickrent, D. L. (2004). Competitive relationships of *Andropogon gerardii* (Big Bluestem) from remnant and restored native populations and select cultivated varieties. *Functional Ecology*, 18(3), 451-457. DOI: 10.1111/j.0269-8463.2004.00850.x
- Heldwein, A. B., Buriol, G. A., & Streck, N. A. O. (2009). Clima de Santa Maria, RS. *Ciência & Ambiente*, 38, 43-58. Disponível em: <<https://cienciaambiente.com.br/shared-files/2037/?043-058.pdf>> Acesso em: 20 de outubro de 2023.
- Machado, A. Q., Cassetari Neto, D., & Guerra, W. D. (2005). Distribuição, transmissibilidade e controle de *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* em algodoeiro no estado do Mato Grosso. Relatório técnico do projeto de pesquisa. Várzea Grande: Centro Universitário UNIVAG.
- Magalhães, P. C.; Durães, F. O. M.; & Rodrigues, J. A. S. (2008). Sistemas de produção. Cultivo de sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*, 2(1), 176-177. DOI: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x
- Marcos Filho, J. (2015). Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Scientia Agrícola*, 72(4), 363-374. DOI: 10.1590/0103-9016-2015-0007
- Marcos Filho, J., Cicero, S. M., & Silva, W. R. (1987). Avaliação da qualidade de sementes. Piracicaba: FEALQ, 230p.
- May, A., Mendes, S. M., Silva, D. D. da, Parrella, R. A. da C., Miranda, R. A. de, Silva, A. F. da, Pacheco, T. F., Aquino, L. A. de, Cota, L. V., Costa, R. V. da, Karam, D., Parrella, N. N. L. D., & Schaffert, R. E. (2013). Cultivo de sorgo-sacarino em áreas de reforma de canaviais. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. (Circular Técnica, 186). Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/89991/1/circ-186.pdf>> Acesso em: 20 de janeiro de 2024.
- May, A., Campanha, M. M., Silva, A. F., Coelho, M. A. O., Parrella, R. A. C., Schaffert, R. E., & Perreira Filho, I. A. (2012). Variedades de sorgo-sacarino em diferentes espaçamentos e população de plantas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 11(3), 278-290. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v11n3p278-290

- Milosevic, M., Milka, V., & Dura, K. (2010). Vigour tests as indicators of seed viability. *Genetika*, 42(1), 103-118. DOI: 10.2298/GENSR1001103M
- Muniz, M. F. B., & Porto, M. D. M. (1999). Presença de *Alternaria* spp. em diferentes partes da semente de cenoura e em resíduos culturais e efeito do tratamento de sementes na sua transmissão. *Revista Brasileira de Sementes*, 21(1), 187-193.
- Munizzi, A., Braccini, A. L., Rangel, M. A. S., Scapim, C. A., Barbosa, M. C., & Alberchat, L. P. (2010). Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no estado de Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Sementes*, 32(1), 176-185. DOI: 10.1590/S0101-31222010000100020
- Nakagawa, J. (2020). Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: Krzyzanowski, F. C., Vieira, R. D., França-Neto, J. de B., & Marcos Filho, J. (Orgs.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: Abrates.
- Pinto, N. F. J. (2004). Comunicação avaliação da eficiência dos fungicidas fludioxonil + metalaxyl-M no tratamento de sementes de sorgo. *Ciência e Agrotecnologia*, 28(2), 453-456. DOI: 10.1590/S1413-70542004000200028
- Prom, L. K., Waniska, R. D., Koll, A. I., & Roone, W. L. (2003). Response of eight sorghum cultivars inoculated with *Fusarium thapsinum*, *Curvularia lunata*, and a mixture of the two fungi. *Crop Protection*, 22(4), 623-628. DOI: 10.1016/S0261-2194(02)00246-6
- Sousa, M. V., Machado, J. C., Pfenning, L. H., Kawasaki, V. H., Araújo, D. V., Silva, A. A., & Martini Neto, A. (2008). Métodos de inoculação e efeitos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* em sementes de algodoeiro. *Tropical Plant Pathology*, 33(1), 041-048. DOI: 10.1590/S1982-56762008000100007
- Souza, A. E. F., Araujo, E., & Nascimento, L. C. (2007). Atividade antifúngica de extratos de alho e capim-santo sobre o desenvolvimento de *Fusarium proliferatum* isolado de grãos de milho. *Fitopatologia Brasileira*, 32(6), 465-471. DOI: 10.1590/S0100-41582007000600003
- Ullmann, R., Resende, O., Chaves, T. H., Oliveira, D. E. C., & Costa, L. M. (2015). Qualidade fisiológica das sementes de sorgo-sacarino submetidas à secagem em diferentes condições de ar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(1), 64-69. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p64-69
- Walker, C., Maciel, C. G., Milanesi, P. M., Muniz, M. F. B., Mezzomo, R., & Pollet, C. S. (2016). Caracterização morfológica, molecular e patogenicidade de *Fusarium acuminatum* e *Fusarium verticillioides* a *Cordia americana*. *Ciência Florestal*, 26(2), 463-473. DOI: 10.5902/1980509822747
- Yago, J. I., Roh, J. Bae, S., Yoon, Y., Kim, H., & Nam, M. (2011). The effect of seed-borne mycoflora from sorghum and foxtail millet seeds on germination and disease transmission. *Mycobiology*, 39(3), 206-218. DOI: 10.5941/MYCO.2011.39.3.206

Ácido salicílico na germinação de sementes de trevo-persa

 10.46420/9786585756280cap7

Raquel Stefanello 

Raissa Tainá Puntel 

Daiane Balconi Bevilaqua 

Lucio Strazzabosco Dorneles 

Ubirajara Russi Nunes 

INTRODUÇÃO

O ácido salicílico (AS) é conhecido como um dos fitohormônios multifuncionais amplamente encontrado nas plantas. É, também um importante bioestimulador envolvido na regulação do crescimento e nas fases de desenvolvimento das culturas hortícolas (Chen et al., 2023), sendo produzido dentro da planta no citoplasma e nos cloroplastos (Hassoon & Abduljabbar, 2019). Foi sugerido que uma pequena quantidade de AS tenha uma excelente capacidade de superar as adversidades que ocorrem devido ao estresse abiótico, e esta é uma boa forma de assegurar a produção sustentável de culturas agrícolas a nível mundial (Chen et al., 2023).

Várias espécies de plantas contêm ácido salicílico com proporção variando em grandes faixas de 0,1 a 10 $\mu\text{g g}^{-1}$ de massa fresca, dependendo da espécie e uma quantidade significativa é armazenada em formas metiladas e/ou glicosiladas (Liu et al., 2022). Além disso, pode ser utilizado de forma exógena, consistindo em uma alternativa, para melhorar a qualidade e o vigor das sementes, para alterar propriedades morfológicas, fisiológicas e bioquímicas prejudiciais ao desenvolvimento normal das mesmas, além de melhorar a germinação (Lima Rocha et al., 2021).

O ácido salicílico pode estar envolvido na regulação do crescimento e desenvolvimento normal das plantas (Aminifard et al., 2020); pode promover a diferenciação dos botões florais, aumentando a floração (Guo et al., 2023); exerce efeitos moduladores regulando a dormência e o crescimento das plântulas, tornando-as mais vigorosas ou menos suscetíveis a condições adversas (Sedláková et al., 2023) e desempenha vários papéis no aumento da resistência das plantas ao estresse como tolerância ao sal (Fu et al., 2023). Adicionalmente, o AS pode aumentar a tolerância das plantas à seca, regulando o crescimento das raízes, melhorando a eficiência do uso da água pelas folhas, estabilizando as membranas celulares e modulando o sistema de enzimas antioxidantes (Lefevre, Bauters & Gheysen, 2020; Ullah et al., 2023).

Entre os fitohormônios, o ácido salicílico tem sido considerado um regulador químico alternativo e ecologicamente correto, adequado para aliviar problemas de tolerância ao estresse abiótico em muitas culturas hortícolas. Tem uma excelente capacidade de regular a absorção de minerais, a abertura e o

fechamento dos estômatos, ativando os eliminadores de enzimas reativas de oxigênio (ROS) em resposta ao estresse abiótico (Li et al., 2021).

A esse respeito, vários autores relataram o efeito da aplicação exógena de ácido salicílico na germinação das sementes, como observado, por exemplo, em centeio (*Secale cereale* L.) (Yanik et al., 2018), cevada (Torun et al., 2020), soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] (Dalcin et al., 2019), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) (Fernandes et al., 2019), trevo-branco (*Trifolium repens* L.) e trevo-vesiculoso (*T. vesiculosum* Savi) (Bortolin et al., 2020), capim-lança (*Austrostipa scabra* Lindl.), grama-stopodes (*Microlaena stipoides* (Labill.) R.Br.) e palha-voadora (*Rytidosperma geniculatum* Mattos) (Pedrini, Stevens & Dixon, 2021), lentilha (*Lens esculenta* Moench) (Chen et al., 2021), eucalipto (*Eucalyptus* spp.) (Lima Rocha et al., 2021), arroz (*Oryza sativa* L.) (Yang et al., 2021), ervilha (*Pisum sativum* L.) (Ahmad et al., 2022), pimentão (*Capsicum annuum* L.) (Agoncillo, 2018; Poór et al., 2019; Neumann Silva et al., 2023) e alfafa (*Medicago sativa* L.) (Xu et al., 2023). No entanto, apesar dos extensos dados experimentais, nenhum estudo básico e aplicado sobre as respostas fisiológicas das plantas ao AS foi encontrado para a espécie trevo-persa (*Trifolium resupinatum* L.). Esta espécie pertencente à família Fabaceae, é uma leguminosa anual originária do clima mediterrâneo, adaptada às condições edafoclimáticas das áreas cultivadas com arroz e utilizada principalmente como forragem, fornecendo pastagens e feno altamente nutritivos (Heuzé et al., 2015; Sganzerla et al., 2015). Semelhante a outras culturas forrageiras, quando cultivada em ambientes de alta salinidade, as taxas de germinação são baixas, resultando na redução do crescimento e da biomassa das plântulas (Ghassemabadi, Eisvand & Akbarpour, 2018).

Conforme verificado na literatura, muitos estudos estão sendo realizados com o objetivo de elucidar o efeito da aplicação exógena de ácido salicílico nos parâmetros de germinação e desempenho de plântulas de diversas espécies agrícolas, mas ainda existem dúvidas quanto às concentrações utilizadas e à forma de aplicação nas sementes. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do ácido salicílico na germinação de sementes de trevo-persa.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Genética Vegetal & Evolução Vegetal, do Departamento de Biologia (Centro de Ciências Naturais e Exatas) da Universidade Federal de Santa Maria (RS), Brasil, com sementes peletizadas de trevo-persa cultivar Lightning, adquiridas de uma empresa tradicional na comercialização de sementes (PGG Wrightson Seeds Brasil).

O preparo dos tratamentos consistiu em diluir o ácido salicílico ($C_7H_6O_3$) em água destilada, nas concentrações de $0,0900 \text{ g L}^{-1}$ ($500 \text{ } \mu\text{M}$), $0,1801 \text{ g L}^{-1}$ ($1000 \text{ } \mu\text{M}$), $0,2704 \text{ g L}^{-1}$ ($1500 \text{ } \mu\text{M}$) e $0,3603 \text{ g L}^{-1}$ ($2000 \text{ } \mu\text{M}$), de acordo com metodologia adaptada de Apon et al. (2023). No tratamento controle ($0 \text{ } \mu\text{M}$) foi utilizada apenas água destilada. Considerando a baixa solubilidade em água do AS, a solução foi aquecida em micro-ondas por 5 minutos para completa dissolução.

O potencial fisiológico das sementes foi avaliado em câmara de germinação, com regime de 24 h de luz, através do teste de germinação realizado em caixas plásticas transparentes com quatro repetições de 50 sementes. As sementes foram acondicionadas sobre três folhas de papel *germitest* umedecidas com água destilada ou com as respectivas soluções de AS na proporção de 2,5 vezes a massa seca do papel. Após a semeadura, as caixas plásticas foram mantidas na temperatura de 20 °C, sendo a primeira contagem de germinação realizada após 4 dias e a última aos 7 dias (quando foi finalizado o teste). Os resultados foram expressos em percentagem de plântulas normais (Brasil, 2009).

Para avaliação do comprimento, dez plântulas normais de cada repetição obtidas do teste de germinação foram avaliadas, aleatoriamente, com o auxílio de uma régua milimetrada. O comprimento médio das plântulas foi obtido somando-se as medidas de cada repetição e dividindo-se pelo número de plântulas normais mensuradas, com resultados expressos em centímetros (cm). Em seguida, as dez plântulas normais de cada repetição resultantes do teste de comprimento foram mantidas em sacos de papel, em estufa com temperatura aproximada de 60 °C, até a obtenção de massa constante (48 h). Posteriormente, as plântulas foram novamente pesadas em balança de precisão, com resolução de 0,001 g, sendo os resultados expressos em miligramas (mg).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, onde os tratamentos constituíram-se das diferentes concentrações de ácido salicílico. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e Scott-Knott (p -valor \leq 0,05), quando constatado efeito significativo, foi realizada a análise de regressão pelo *software* SISVAR. A apresentação em gráficos de colunas foi escolhida para melhor visualização dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou que não houve diferença significativa na percentagem de plântulas normais de trevo-persa avaliadas pelos testes de primeira contagem aos 4 dias (94, 91 e 95%) e germinação aos 7 dias (95, 94 e 96%) até 1000 μ M de AS (Figuras 1A e 1B).

No entanto, decréscimo no crescimento das plântulas foi observado a partir de 500 μ M (3,64 cm) de AS em relação ao controle (4,17 cm) (Figura 2A). Para a biomassa seca das plântulas não houve diferença entre a aplicação de ácido salicílico e o tratamento controle (Figura 2B), resultados estes semelhantes aos observados por Lima Rocha et al. (2021) em sementes de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e *E. grandis* W. Mill ex Maiden até 1000 μ mol L⁻¹.

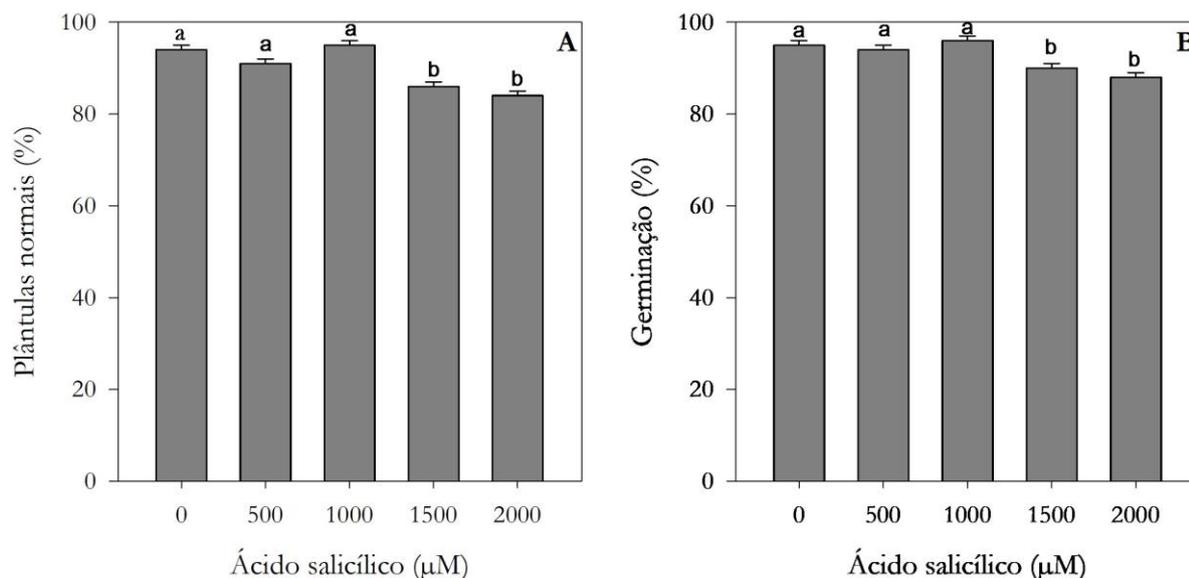


Figura 1. Primeira contagem (A) e germinação (B) de sementes de trevo-persa (*Trifolium resupinatum* L.) submetidas a diferentes concentrações de ácido salicílico. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p -valor \leq 0,05). Fonte: os autores.

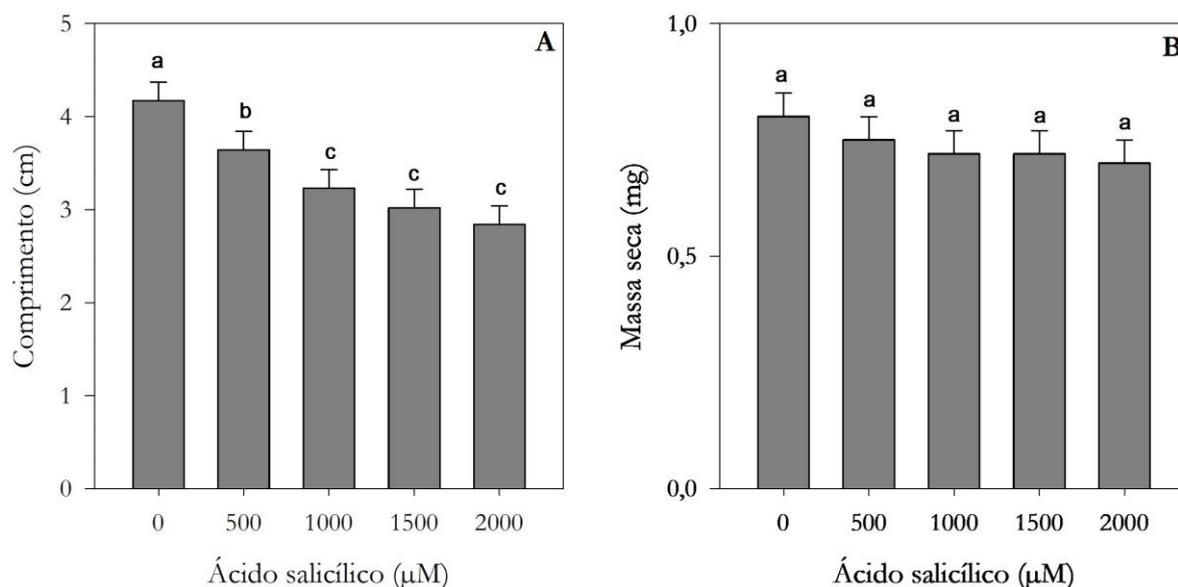


Figura 2. Comprimento total (A) e massa seca (B) de plântulas de trevo-persa (*Trifolium resupinatum* L.) submetidas a diferentes concentrações de ácido salicílico. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p -valor \leq 0,05). Fonte: os autores.

A aplicação de ácido salicílico tem papel controverso no crescimento e desenvolvimento das plantas, dependendo da concentração, da espécie, da frequência de aplicação e da etapa de desenvolvimento da planta (Silva et al., 2020; Koo, Heo & Choi, 2020). O papel do AS na fisiologia e produção vegetal é limitado a baixas concentrações, pois em altas concentrações pode causar danos oxidativos, reduzindo a tolerância contra estresses abióticos como, por exemplo, o sal (Kumar et al., 2022). Por outro lado, em sementes de ervilha, o AS aliviou o efeito adverso da salinidade, mesmo em

níveis mais altos, induzindo sistemas antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos, açúcares solúveis, acúmulo de prolina e regulando a homeostase iônica juntamente com a regulação positiva de antiportadores Na^+/H^+ (Ahmad et al., 2022).

Nossas observações mostram que o comprimento das plântulas de trevo-persa foi reduzido a partir de 500 μM (Figura 3). Resultados semelhantes ao deste estudo foram observados em sementes de soja onde concentrações de AS entre 250 e 750 μM apresentaram resultados favoráveis, porém, acima de 1000 μM prejudicaram os parâmetros de crescimento (Dalcin et al., 2019), enquanto o AS em concentrações de até 1000 μM não afetou negativamente a germinação das sementes de feijão (Fernandes et al., 2019). Em sementes de centeio, baixa concentração de AS resultou em aumento da taxa de germinação e alongamento das raízes, e concentrações mais altas ocasionaram acúmulo de H_2O_2 devido ao aumento de superóxido dismutase e menor atividade da enzima catalase, consequentemente, ocorrendo diminuição da taxa de germinação e do crescimento radicular (Yanik et al., 2018).

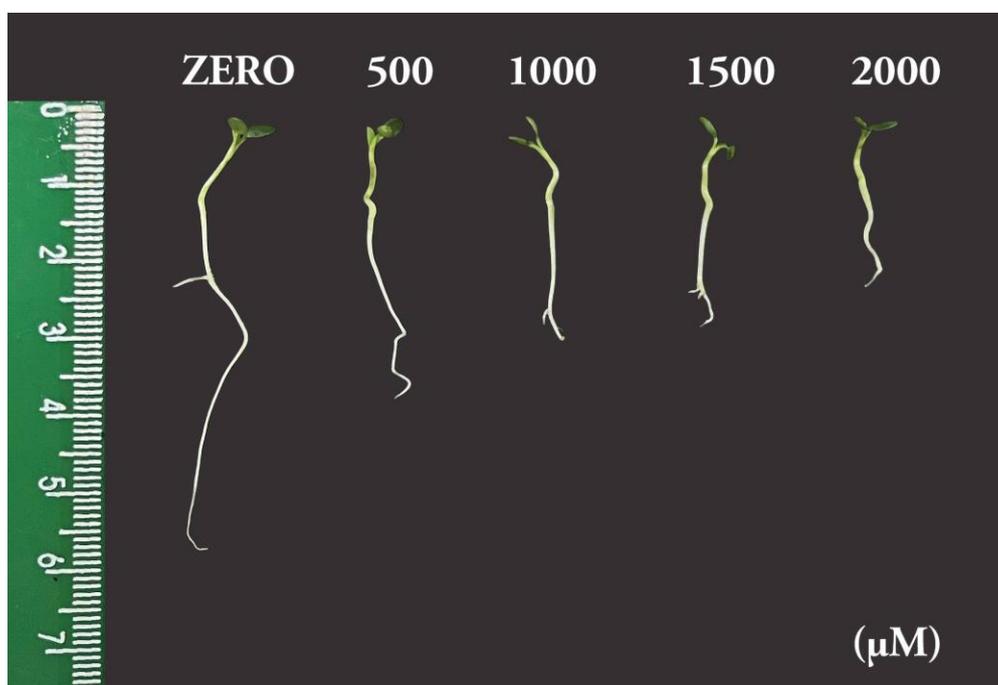


Figura 3. Plântulas de trevo-persa (*Trifolium resupinatum* L.) submetidas a diferentes concentrações de ácido salicílico (μM). Fonte: os autores.

Pesquisas realizadas anteriormente indicaram que os efeitos dos tratamentos com ácido salicílico podem ser diferentes em cada espécie ou cultivar (Neumann Silva et al., 2023). Em sementes de arroz, concentrações mais baixas como 10 μM de AS, fornecido através da solução nutritiva, melhorou consideravelmente os parâmetros de crescimento das plantas e a produção de biomassa, reduzindo a absorção de cromo (Yang et al., 2021) e 770 μM de AS incrementou a germinação das sementes de alfafa (*Medicago sativa* L.), reduzindo a peroxidação lipídica, promovendo a regulação osmótica e aumentando os níveis de antioxidantes (Xu et al., 2023).

Outros estudos mostram que o condicionamento com ácido salicílico não influenciou a taxa de germinação final das sementes de trevo-branco e de trevo-vesiculososo, mas mitigou os efeitos do alumínio (Al) na parte aérea desses (Bortolin et al., 2020). Adicionalmente, não foram verificados efeitos de incremento no potencial fisiológico de sementes de pimentão em função do tratamento de sementes com doses entre 0 a 400 μM de AS; assim como não se observaram efeitos positivos de estímulo do crescimento das plântulas (Neumann Silva et al., 2023).

Complementarmente, o efeito positivo ou negativo da aplicação de AS depende de vários fatores, incluindo dose, estágio de desenvolvimento da planta, espécie utilizada e modo de aplicação (Poór et al., 2019). Em sementes de eucaliptos (*Eucalyptus urophylla* S.T.Blake e *E. grandis* Hill ex-Maiden) tratadas com 250 a 1000 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de ácido salicílico, o comprimento do hipocótilo não foi afetado pelo aumento das doses enquanto para o comprimento radicular houve um crescimento conforme as concentrações aplicadas (Lima Rocha et al., 2021). Ainda, o envolvimento das sementes com ácido salicílico (100 μM) melhorou a sobrevivência de três espécies (capim-lança, grama-stopodes e palha-voadora) de gramíneas nativas utilizadas em programas de restauração (Pedrini et al., 2021) e, além disso, foi observado efeito positivo na germinação de sementes de pimentão com doses entre 100 e 500 μM (Agoncillo, 2018).

É interessante destacar que as doses utilizadas influenciam diretamente nas respostas das sementes, visto que para algumas espécies as doses recomendadas são menores do que para outras (Lima Rocha et al., 2021). Em sementes de cevada os efeitos do tratamento exógeno com AS dependeram tanto do momento do tratamento quanto da cultivar à qual foi aplicado (Torun et al., 2020). Em sementes de lentilha concentrações de 100 a 500 μM estimularam o crescimento de raízes, contudo, em concentração de 1000 μM ocorreu efeito inibitório (Chen et al., 2021). Assim, é possível inferir que diferentes concentrações de AS em diferentes espécies de plantas têm efeitos estimulantes ou inibidores no crescimento (Koo et al., 2020; Bagautdinova et al., 2022).

O ácido salicílico é um derivado fenólico comumente encontrado em plantas. Muitos estudos demonstraram que, ao atuar como fito-hormônio, desempenha papéis cruciais nas respostas de tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos, mantendo assim o crescimento normal das plantas e melhorando os rendimentos sob estresse (Song et al., 2023). Além disso, faz a mediação na regulação do crescimento afetando a divisão e expansão celular; onde genes ou outras proteínas se ligam ao AS para modular a transcrição de genes-chave (como os associados com o ciclo celular e relaxamento da parede celular) ou no *cross-talk* com outros hormônios (giberelina, auxina e etileno) de maneira positiva ou negativa e, em seguida, regulam a divisão ou expansão celular, finalmente modificando o crescimento da planta (Li et al., 2022). Em concentrações adequadas, pode induzir as plantas a produzirem compostos antioxidantes, como enzimas e proteínas, que atuam na remoção de espécies reativas de oxigênio e favorecem a atividade fotossintética (Safeer et al., 2019).

Por fim, os resultados deste estudo indicam uma redução significativa para a porcentagem de germinação, conforme foram adicionadas dosagens mais elevadas de ácido salicílico, onde nos

tratamentos com 1500 μM (90%) e 2000 μM (88%) foram observados os menores valores de germinação, em relação ao controle (95%), demonstrando que a partir destas dosagens a embebição das sementes de trevo-persa em ácido salicílico não proporcionou maior porcentagem de germinação (Figura 1B). Estes resultados são importantes para compreender o papel do ácido salicílico na germinação destas sementes e podem contribuir para o desenvolvimento de estratégias eficazes para o manejo da cultura.

CONCLUSÃO

O ácido salicílico apresentou efeito positivo na germinação das sementes de trevo-persa até 1000 μM , reduzindo o comprimento das plântulas a partir de 500 μM .

AGRADECIMENTO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio através da bolsa CNPq 308277/2021-0.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agoncillo, E. M. (2018). Enhancement of germination and emergence of hot pepper seeds by priming with acetyl salicylic acid. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 8, 9-13.
- Ahmad, F., Kamal, A., Singh, A., Ashfaque, F., Alamri, S., & Siddiqui, M. H. (2022). Salicylic acid modulates antioxidant system, defense metabolites, and expression of salt transporter genes in *Pisum sativum* under salinity stress. *Journal Plant Growth Regulation*, 41, 1905-1918. DOI: 10.1007/s00344-020-10271-5
- Aminifard, M. H., Jorkesh, A., Fallahi, H-R., & Moslemi, F. S. (2020). Influences of benzyl adenine and salicylic acid and on growth, yield, and biochemical characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Souh African Journal of Botanic*, 132, 299-303. DOI: 10.1016/j.sajb.2020.05.019
- Apon, T. A., Ahmed, S. F., Bony, Z. F., Chowdhury, M. R., Asha, J. F., & Biswas, A. (2023). Sett priming with salicylic acid improves salinity tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) during early stages of crop development. *Heliyon*, 9, e16030. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16030
- Bagautdinova, Z., Omelyanchuk, N., Tyapkin, A., Kovrizhnykh, V. V., Lavrekha, V. V., & Zemlyanskaya, E. V. (2022). Salicylic acid in root growth and development. *International Journal of Molecular Science*, 23, e2228. DOI: 10.3390/ijms23042228
- Bortolin, G. S., Teixeira, S. B., Pinheiro, R. M., Ávila, G. E., Carlos, F. S., Pedroso, C. E. S., & Deuner, S. (2020). Seed Priming with salicylic acid minimizes oxidative effects of aluminum on *Trifolium* seedlings. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 2502-251. DOI: 10.1007/s42729-020-00316-9
- Brasil (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS. 399p.

- Chen, J., Zhang, J., Kong, M., Freeman, A., Chen, H., & Liu, F. (2021). More stories to tell: nonexpressor of pathogenesis-related genes1, a salicylic acid receptor. *Plant Cell and Environment*, 44, 1716–1727. DOI: 10.1111/pce.14003
- Chen, S., Zhao, C-B., Ren, R-M., & Jiang, J-H. (2023). Salicylic acid had the potential to enhance tolerance in horticultural crops against abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1141918. DOI: 10.3389/fpls.2023.1141918
- Dalcin, J. S., Nunes, U. R., Roso, R., Müller, C. A., Backes, F. A. A. L., Backes, R. L., Mattioni, N. M., Filho, A. C., Santos, C. V. dos., Mendonça, M. B. F. da., Bastiani, G. G. de., Barbieri, G. F., & Stefanello, R. (2019). Salicylic acid concentrations and its effects on the physiological quality of soybean seeds. *Journal of Agricultural Science*, 11, 271-279. DOI: 10.5539/jas.v11n17p271
- Fernandes, T. S., Nunes, U. R., Roso, R., Ludwig, E. J., Zini, P. B., Menegaes, J. F., Barbieri, G. F., & Santos, C. V. dos. (2019). Physiological quality of common bean seeds subjected to different concentrations of salicylic acid. *Journal of Agricultural Science*, 11, 448. DOI: 10.5539/jas.v11n1p448
- Fu, C., Khan, M. N., Yan, J., Hong, X., Zhao, F., Chen, L., Ma, H., Li, Y., Li, J., & Wu, H. (2023). Mechanisms of nanomaterials for improving plant salt tolerance. *Crop and Environment*, 2, 92-99. DOI: 10.1016/j.crope.2023.03.002
- Ghassemabadi, H. F., Eisvand, H. R., & Akbarpour, O. A. (2018). Evaluation of salinity tolerance of different clover species at germination and seedling stages. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 8, 2469-2477. DOI: 10.22034/ijpp.2018.540991
- Guo, P. R., Wu, L. L., Wang, Y., Liu, D., & Li, J. A. (2023). Effects of drought stress on the morphological structure and flower organ physiological characteristics of *Camellia oleifera* flower Buds. *Plants*, 12, 2585. DOI: 10.3390/plants12132585
- Hassoon, A. S., & Abduljabbar, I. A. (2019). Review on the role of salicylic acid in plants. In: Hasanuzzaman, M., Filho, M. C. M. T., Fujita, M., Nogueira, T. A. R. (Orgs.). *Sustainable Crop Production*. London: IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.89107
- Heuzé, V., Tran, G., Giger-Reverdin, S., & Lebas, F. (2015). Persian clover (*Trifolium resupinatum*). *Feedipedia, a Programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO*, 30, 16.
- Koo, Y. M., Heo, A. Y., & Choi, H. W. (2020). Salicylic acid as a safe plant protector and growth regulator. *Plant Pathology Journal*, 36, 1-10. DOI: 10.5423/PPJ.RW.12.2019.0295
- Kumar, S., Ahanger, M. A., Alshaya, H., Jan, B. L., & Yerramilli, V. (2022). Salicylic acid mitigates salt induced toxicity through the modifications of biochemical attributes and some key antioxidants in *Capsicum annum*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29, 1337-1347. DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.01.028
- Lefevere, H., Bauters, L., & Gheysen, G. (2020). Salicylic acid biosynthesis in plants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 338. DOI: 10.3389/fpls.2020.00338

- Li, Z. G., Xiang, R. H., & Wang, J. Q. (2021). Hydrogen sulfide-phytohormone interaction in plants under physiological and stress conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 2476-2484. DOI: 10.1007/s00344-021-10350-1
- Li, Z., Sheerin, D. J., Roepenack-Lahaye, E. V., Stahl, M., & Hiltbrunner, A. (2022). The phytochrome interacting proteins ERF55 and ERF58 repress light-induced seed germination in *Arabidopsis thaliana*. *Nature Communications*, 13, e1656. DOI: 10.1038/s41467-022-29315-3
- Lima Rocha, M. E. L., Barbosa, J. A., Abade, M. T. R., Cardoso, K. P. S., & Guimarães, V. F. (2022). Ácido Salicílico na germinação de sementes de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*. *Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 25, 709-713. DOI: 10.17921/1415-6938.2021v25n5-esp.p709-713
- Liu, J., Qiu, G., Liu, C., Li, H., Chen, X., Fu, Q., Lin, Y., & Guo, B. (2022). Salicylic acid, a multifaceted hormone, combats abiotic stresses in plants. *Life*, 12, 886. DOI: 10.3390/life12060886
- Neumann Silva, V. N., Bedin, F., Rheinnheimer, K. B., Janstch, F. T., Mello, E. S., & Mottin, F. M. (2023). Tratamento de sementes de pimenta com ácido salicílico - efeitos no potencial fisiológico das sementes e na produção de mudas. *Investigación Agrária*, 25, 1-10. DOI: 10.18004/investig.agrar.2023.junio.2501739
- Pedrini, S., Stevens, J. C., & Dixon, K. W. (2021). Seed encrusting with salicylic acid: A novel approach to improve establishment of grass species in ecological restoration. *PLoS One*. 16, e0242035. DOI: 10.1371/journal.pone.0242035
- Poór, P., Borbély, P., Bódi, N., Bagyánszki, M., & Tari, I. (2019). Effects of salicylic acid on photosynthetic activity and chloroplast morphology under light and prolonged darkness. *Photosynthetica*, 57, 367-376. DOI: 10.32615/ps.2019.040
- Safeer, M., Qamar, R., Altaf, M. M., Sarwar, N., Farooq, O., Iqbal, M. M., & Ahmad-Anjum, S. (2019). Exogenous application of salicylic acid ameliorates growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in saline soil. *Agrociência*, 53, 207-217.
- Sedláková, V., Zeljković, S. C., Štefelová, N., Smýkal, P., & Hanáček, P. (2023). Phenylpropanoid content of chickpea seed coats in relation to seed dormancy. *Plants*, 12, 2687. DOI: 10.3390/plants12142687
- Sganzerla, D. C., Bilharva, M. G., Priebe, C., Jiménez, R. M., Figas, M. F., Lemos, G. S., Ferreira, O. G. L., & Monks, P. L. (2015). Características produtivas da consorciação de trevo-persa e azevém submetidos a pastejo. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 67, 173-180. DOI: 10.1590/1678-6669
- Silva, A. A. R. da., Lima, G. S. de, Azevedo, C. A. V. de, Veloso, L. L. de S., & Gheyi, H. R. (2020). Salicylic acid as an attenuator of salt stress in soursop. *Revista Caatinga*, 33, 1092-1101. DOI: 10.1590/1983-21252020v33n424rc

- Song, W., Shao, H., Zheng, A., Zhao, L., & Xu, Y. (2023). Advances in roles of salicylic acid in plant tolerance responses to biotic and abiotic stresses. *Plants*, 12, 3475. DOI: 10.3390/plants12193475
- Torun, H., Novak, O., Mikulik, J., Pencik, A., Strnad, M., & Ayaz, F. A. (2020). Timing-dependent effects of salicylic acid treatment on phytohormonal changes, ROS regulation, and antioxidant defense in salinized barley (*Hordeum vulgare* L.). *Scientific Reports*, 10, e-13886. DOI: 10.1038/s41598-020-70807-3
- Ullah, C., Chen, Y.-H., Ortega, M. A., & Tsai, C. J. (2023). The diversity of salicylic acid biosynthesis and defense signaling in plants: Knowledge gaps and future opportunities. *Current Opinion in Plant Biology*, 72, 102349. DOI: 10.1016/j.pbi.2023.102349
- Xu, N., Sui, X., Chen, Z., Niu, J. P., Guo, Z. P., & Wang, Q. Z. (2023). Seed soaking with salicylic acid improves alfalfa (*Medicago sativa* L.) germination by involving the antioxidation system. *Acta Physiologiae Plantarum*, 45, 128. DOI: 10.1007/s11738-023-03600-0
- Yang, S., Ulhassan, Z., Shah, A. M., Khan, A. R., Azhar, W., Hamid, Y., Hussain, S., Sheteiwy, M. S., Salam, A., & Zhou, W. (2021). Salicylic acid underpins silicon in ameliorating chromium toxicity in rice by modulating antioxidant defense, ion homeostasis and cellular ultrastructure. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 1001-1013. DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.07.013
- Yanik, F., Ayturk, O., Cetinbas-Genc, A., & Vardar, F. (2018). Salicylic acid-induced germination biochemical and developmental alterations in rye (*Secale cereale* L.). *Acta Botanica Croatica*, 77, 45-50. DOI:10.2478/botcro-2018-0003

Efeitos do estresse salino na germinação de sementes de aveia-branca

 10.46420/9786585756280cap8

Raissa Tainá Puntel 

Raquel Stefanello 

Daiane Balconi Bevilaqua 

Lucio Strazzabosco Dorneles 

Ubirajara Russi Nunes 

INTRODUÇÃO

A aveia-branca (*Avena sativa* L.) é a espécie hexaplóide mais cultivada e popular no mundo atualmente, tanto para alimentação humana como animal. É destinada à produção de grãos de qualidade industrial, forragem, feno e cobertura do solo no sistema plantio direto. Consiste em um cereal de ótima qualidade nutricional para consumo humano, diferenciando-se significativamente de outros cereais, pois possui em sua composição química o composto beta-glucano, que promove a redução dos níveis de colesterol, aumentando sua valorização pela sociedade (Vetvicka et al., 2019; Erbaş Köse, Mut & Akay, 2021; Kumar, Sehrawat & Kong, 2021).

A cultura da aveia-branca é considerada moderadamente tolerante ao estresse salino, porém seu sucesso depende muito da irrigação nessas condições, havendo necessidade de utilização de sementes mais resistentes para não ocorrer quebra significativa na produtividade (Devi et al., 2018).

O excesso de sal é classificado como um estresse abiótico que afeta negativamente o desenvolvimento inicial das plantas, principalmente no que diz respeito à germinação e ao desenvolvimento, seja pela criação de uma pressão osmótica que impede a absorção de água, seja pelo efeito tóxico de íons salinos (Sarkar & Sathukhan, 2022).

O estresse salino compreende o componente osmótico e o componente iônico. No primeiro, a alta concentração de sal no solo acarreta a menor disponibilidade de água para as plantas; já o segundo tem relação com a toxicidade dos íons liberados pelo sal (Taiz et al., 2017). E como consequência de ambos os estresses, se tem a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), o que causa danos às células vivas (Pirasteh-Anosheh et al., 2016). A presença de sal no substrato pode implicar em atraso da germinação, inibição completa do processo e/ou perda de sementes (Khan & Gul, 2006).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo principal verificar a interferência da presença de sal no desenvolvimento de plântulas de aveia-branca.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Genética Vegetal & Evolução Vegetal, do Departamento de Biologia (Centro de Ciências Naturais e Exatas) da Universidade Federal de Santa Maria, RS, com sementes de aveia-branca não tratadas, adquiridas de uma empresa tradicional em comercialização de sementes. As mesmas foram expostas a diferentes concentrações de cloreto de sódio (NaCl) - (0, 25, 50, 75 e 100 mM). A concentração zero foi considerada o controle onde apenas foi utilizada água destilada.

O efeito dos sais no processo germinativo das sementes foi avaliado através dos seguintes testes:

Teste de germinação: realizado com quatro repetições de 50 sementes, distribuídas sobre três folhas de papel *germitest* umedecidas com água destilada ou solução salina na proporção de 2,5 vezes a massa do papel. Após a semeadura, foram confeccionados rolos que foram mantidos em câmara de germinação, na temperatura constante de 20 °C, em presença de 12 h de luz, sendo as contagens realizadas aos 5 e 10 dias (quando foi finalizado o teste) e os resultados expressos em percentagem (Brasil, 2009).

Primeira contagem: efetuada no 5º dia conjuntamente com o teste de germinação computando-se a percentagem de plântulas normais (Brasil, 2009).

Comprimento de plântula: o parâmetro foi avaliado em centímetros (cm) no 5º dia após a semeadura (DAS), onde com auxílio de uma régua milimetrada, mediu-se o comprimento total de 10 plântulas aleatoriamente por repetição, e através dos dados gerados obteve-se a média (Krzyzanowski et al., 2020).

Massa seca de plântula: dez plântulas normais de cada repetição resultantes do teste de comprimento foram mantidas em sacos de papel, em estufa com temperatura de ± 60 °C, até a obtenção de massa constante (48 h). Posteriormente, a massa das plântulas foi novamente obtida em balança de precisão, com resolução de 0,001 g, sendo os resultados expressos em miligramas (mg). (Krzyzanowski et al., 2020).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), onde os tratamentos constituíram-se das diferentes concentrações de sais. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Scott-Knott (p -valor $\leq 0,05$), quando constatado efeito significativo, foi realizada a análise de regressão pelo software SISVAR. A apresentação em gráficos de colunas foi escolhida para melhor visualização dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que com o aumento da concentração de sal, parâmetros como percentagem de germinação, comprimento de plântula e massa seca diminuíram, havendo diferenças significativas quando comparados ao tratamento controle (sem presença de NaCl) (Figuras 1, 2 e 3). Na primeira contagem de germinação (Figura 1A), realizada no 5 DAS se obteve números distintos considerando a concentração onde as mesmas foram expostas. Na medida que se aumentou a concentração de sal, a percentagem de

plântulas normais decaiu (de 83% para 3%), havendo efeito significativo da exposição das sementes ao estresse salino.

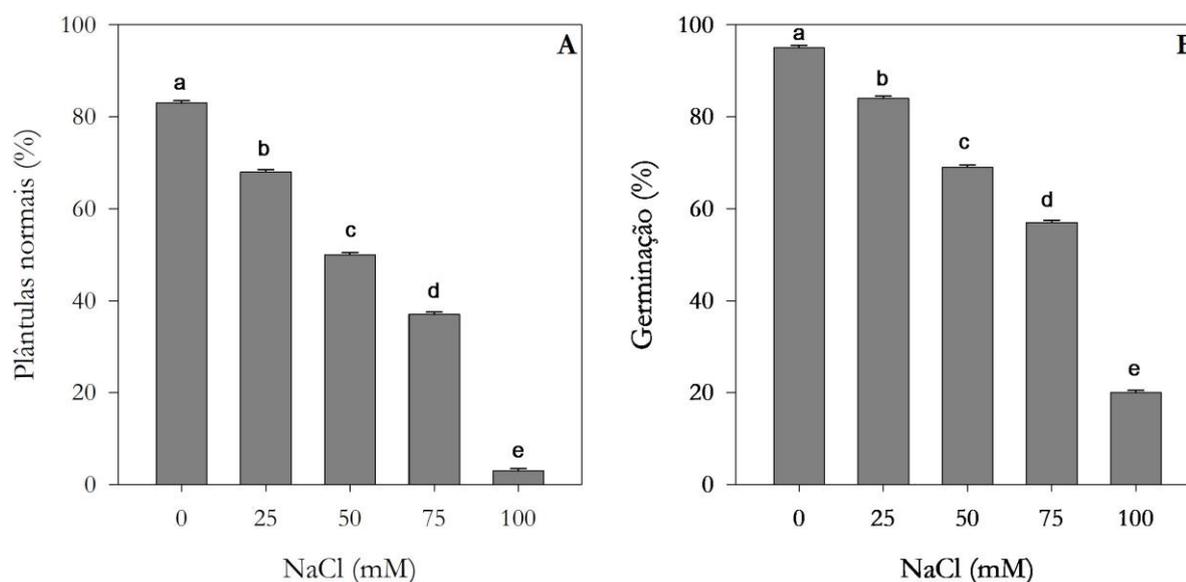


Figura 1. Primeira contagem (A) e germinação (B) de sementes de aveia-branca (*Avena sativa* L.) em diferentes concentrações salinas. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p -valor \leq 0,05). Fonte: os autores.

Quanto à germinação (Figura 1B), os números mantiveram-se distintos devido ao efeito do NaCl. Uma vez que a presença de sal aumentou, a germinação, por sua vez, diminuiu de 95% para 20%, mostrando-se parâmetros melhores quando as mesmas não foram condicionadas nessa situação de estresse.

No que diz respeito ao comprimento de plântula (Figura 2A), houve diferença entre os tratamentos, demonstrando grande interferência da presença do sal nesse parâmetro, adquirindo melhores valores nas sementes que se mantiveram livres de estresse, e decrescendo conforme a concentração de sal era elevada (de 10,26 na ausência de sal para 0 cm em 100 mM). Além disso, a massa seca (Figura 2B), não diferindo dos demais critérios avaliados, obteve melhores resultados quando as plântulas não foram expostas ao sal, e decaiu conforme a concentração se elevou (7,5 para 0 mg).

Nossas observações sugerem que a alta concentração de sal reduziu a germinação e o crescimento inicial das plântulas de aveia-branca (Figuras 1, 2 e 3). Estes resultados são semelhantes a descobertas anteriores em sementes de quinoa (Barbieri et al., 2019), arroz (Chauhan et al., 2023), chia (Stefanello et al., 2020), trigo (Feghhenabi et al., 2020) e feijão caupi (Oliveira et al., 2015), onde a condição de estresse salino resultou em menor emergência e desenvolvimento das plântulas.

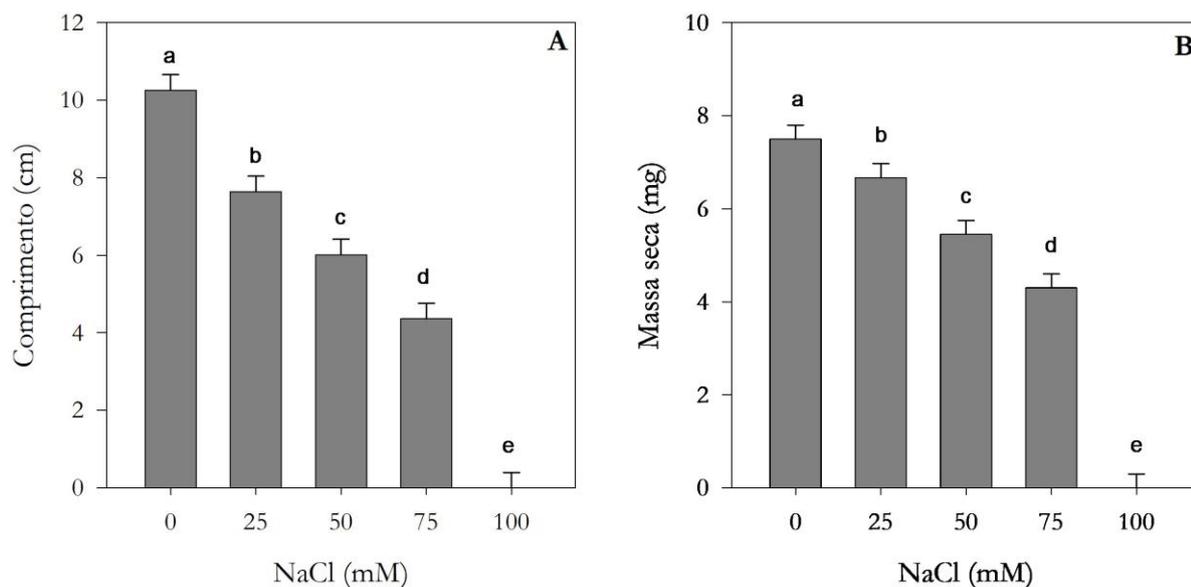


Figura 2. Comprimento (A) e massa seca (B) de plântulas de aveia-branca (*Avena sativa* L.) em diferentes concentrações salinas. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p -valor \leq 0,05). Fonte: os autores.



Figura 3. Plântulas de aveia-branca (*Avena sativa* L.) em diferentes concentrações salinas (NaCl). Fonte: os autores.

O estresse salino tem efeito negativo crucial na fisiologia e desenvolvimento de plantas cultivadas, tendo como reflexo a diminuição do crescimento e danos metabólicos, os quais em casos extremos podem levar à morte das mesmas (Hasanuzzaman, Nahar & Fujita, 2013), como observado neste

trabalho. A maioria dos estudos apresenta como finalidade averiguar o efeito da salinidade nos estádios iniciais das plantas, porque é nesse período que a cultura se mostra mais suscetível às condições adversas (Park, Kim & Yun, 2016), podendo dessa forma analisar a tolerância em relação à presença de sal.

Entre os sais solúveis em água responsáveis pela salinidade, os que se destacam são o Na^+ e o Cl^- (Kumar et al., 2020; Foronda, 2022). Os solos são considerados salinos quando excedem o valor de 4 dS m^{-1} , podendo afetar o desenvolvimento das plantas (Munns & Tester, 2008). Outros fatores apontados como relevantes para a presença de salinidade no solo é o uso de fertilizantes com altas concentrações de sais e desenvolvimento de técnicas de irrigação inadequadas (Cruz et al., 2017).

A salinização nos ecossistemas advém da elevada evaporação da água do solo e das chuvas irregulares e insuficientes (Youssef et al., 2012). Os principais fatores que implicam no aumento da presença de sais no solo são as mudanças climáticas, levando à degradação da terra e desertificação (Rubio et al., 2009). Altas concentrações de sal acabam afetando propriedades físico-químicas e biológicas do solo, interferindo na atividade de micróbios do solo e das raízes das plantas (Meena et al., 2019).

A presença de altas concentrações de íons de NaCl na solução do solo resulta em menor absorção de água pelas plantas, que conseqüentemente provoca redução no potencial de pressão e no volume celular. Tal acontecimento gera efeitos subsequentes, como deposição de íons no citosol, tornando-se citotóxicos por causarem desnaturação de proteínas e desestabilização das membranas (Taiz et al., 2017). Em geral, nas sementes os principais efeitos causados pelo excesso de sal são: redução da percentagem de germinação, diminuição do tamanho da raiz primária e do hipocótilo e aumento do tempo médio de germinação (Freire et al., 2018).

A maioria das espécies agrícolas são incapazes de se desenvolver em ambientes com estresse salino. Primeiramente ocorre o estresse osmótico a curto prazo, e a longo prazo se tem o acúmulo de íons fitotóxicos (Ullah, Bano & Khan, 2021). O estresse osmótico acontece no estágio inicial e acarreta redução do acúmulo de água ao redor da zona radicular, o que acaba reduzindo o transporte da mesma dentro as células vegetais, levando ao crescimento prejudicado das plantas (Abbasi et al., 2016). No entanto, a longo prazo, há acúmulo de íons tóxicos que induzem toxicidade iônica e dificultam a absorção de nutrientes, causando danos às células e tecidos vegetais (Isayenkov & Maathuis, 2019).

As conseqüências do estresse salino nas plantas podem ser observadas tanto na morfologia (redução do crescimento, clorose, diminuição da germinação das sementes), como na fisiologia (inibição da fotossíntese e deficiência de nutrientes), e em propriedades bioquímicas (estresse oxidativo, vazamento de eletrólitos e desorganização da membrana (Hannachi et al., 2022).

O estresse salino reduz o crescimento das plantas, e essa diminuição do crescimento depende de alguns fatores, como espécie, estágio de desenvolvimento e concentração de sal (Yadav et al., 2019). O excesso de sal tende a causar uma diminuição na condutância estomática e na evaporação, gerando redução da eficácia da assimilação de carbono por conseqüência da absorção de íons tóxicos pela raiz e pela superfície da planta (Munns, James & Läuchli, 2006).

Durante o crescimento da cultura, com a presença de NaCl pode-se averiguar maior fechamento estomático, redução das atividades metabólicas e celulares e inibição fotossintética (Taiz et al., 2017), reduzindo o conteúdo de fotoassimilados, afetando negativamente a produtividade devido à limitação de trocas gasosas e danificação da integridade celular e a estrutura da clorofila (Silva et al., 2022). Além disso, os efeitos tóxicos causados pelo excesso de sal na germinação levam a um declínio do uso das reservas armazenadas em açúcares, desencadeando menor germinação, emergência incompleta das plântulas e conseqüentemente no mau estabelecimento da cultura (Khan & Gulzar, 2003).

Por fim, os resultados deste estudo indicaram que o efeito da presença de NaCl se deu primeiramente na germinação, porém foi no desenvolvimento das plântulas onde se obteve maiores discrepâncias, devido ao atrofiamento de parte aérea e radicular causado pelo estresse salino.

CONCLUSÃO

Conclui-se, através deste trabalho, que há influência negativa do excesso de sal na germinação e emergência de plântulas de *Avena sativa* L., ressaltando a importância de se buscar novas ferramentas para diminuir o impacto desse fator sobre a produção.

AGRADECIMENTO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio através da bolsa CNPq 308277/2021-0.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbasi, H., Jamil, M., Haq, A., Ali, S., Ahmad, R., & Malik, Z. (2016). Salt stress manifestation on plants, mechanism of salt tolerance and potassium role in alleviating it: a review. *Zemdirbyste-Agriculture*, 103(2), 229-238. DOI: 10.13080/z-a.2016.103.030
- Barbieri, G. F., Stefanello, R., Menegaes, J. F., Munareto, J. D., Nunes, U. R. (2019). Seed germination and initial growth of quinoa seedlings under water and salt stress. *Journal of Agricultural Science*, 11, 153-161. DOI 10.5539/jas.v11n15p153
- Brasil (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS. 399p.
- Chauhan, N., Chauhan, S., Garg, V., Mallick, I., Sharma, S., & Sisodia, R. (2023). Efficacy of priming agents on seed germination and plant growth under salt stress in *Vigna radiata*. *Legume Research*, 46(9), 1225-1232. DOI: 10.18805/LR-5042
- Cruz, J. L., Coelho Filho, M. A., Coelho, E. F., & Santos, A.A. (2017). Salinity reduces carbon assimilation and the harvest index of cassava plants (*Manihot esculenta* Crantz), *Acta Scientiarum Agronomy*, 39(4), 545-555. DOI: 10.4025/actasciagron.v39i4.32952

- Devi, S., Nandwal, A. S., Arora, R. N., Kumar, N., Sharma, S. K., Bisht, S. S., Roy, A. K., & Solanki, Y. P. S. (2018). Water relations, quantum yield of PS-II, antioxidative enzymes, membrane integrity and ionic contents are indices of salinity stress tolerance in *Avena sativa* L. *International Journal of Natural Science Research*, 1(1), 1-17.
- Erbaş Köse, O. D., Mut, Z., & Akay, H. (2021). Assessment of grain yield and quality traits of diverse oat (*Avena sativa* L.) genotypes. *Annali Di Botanica*, 11, 55-66. DOI: 10.13133/2239-3129/16777
- Feghhenabi, F., Hadi, H., Khodaverdiloo, H., & van Genuchten, M. Th. (2020). Seed priming alleviated salinity stress during germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Water Management*, 231, 106022. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106022
- Foronda, D. A. (2022). Reclamation of a saline-sodic soil with organic amendments and leaching. *Environmental Sciences Proceedings*, 16(1), 56. DOI: 10.3390/envirosci2022016056
- Freire, M. H. C., Sousa, G. G., Souza, M. V. P., Ceita, E. D. R., Fiusa, J. N., & Leite, K. N. (2018). Emergence and biomass accumulation in seedlings of rice cultivars irrigated with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(7), 471-475. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v22n7p471-475
- Hannachi, S., Steppe, K., Eloudi, M., Mechi, L., Bahrini, I., & Van Labeke, M-C. (2022). Salt stress induced changes in photosynthesis and metabolic profiles of one tolerant (“bonica”) and one sensitive (“black beauty”) eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). *Plants*, 11(5), 590. DOI: 10.3390/plants11050590
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2013). Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. In: Ahmad, P., Azooz, M., & Prasad, M. (Orgs.). *Ecophysiology and responses of plants under salt stress*. New York: Springer. DOI: 10.1007/978-1-4614-4747-4_2
- Isayenkov, S. V., & Maathuis, F. J. M. (2019). Plant salinity stress: many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*, 10. DOI: 10.3389/fpls.2019.00080
- Khan, M., & Gul, B. (2006). Halophyte seed germination. In: Khan, M., & Weber, D. (Orgs.) *Ecophysiology of high salinity tolerant plants. Tasks for Vegetation Science*, 40. Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/1-4020-4018-0_2
- Khan, M. A., & Gulzar, S. (2003). Germination responses of *Sporobolus ioclados*: a saline desert grass. *Journal of Arid Environments*, 53(3), 387-394. DOI: 10.1006/jare.2002.1045
- Krzyzanowski, F. C., França-Neto, J. de B., Gomes-Junior, F. G., & Nakagawa, J. (2020). Testes de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: Krzyzanowski, F. C., Vieira, R. D., França-Neto, J. de B., & Marcos Filho, J. (Orgs.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: Abrates.
- Kumar, A., Singh, S., Gaurav, A. K., Srivastava, S., & Verma, J. P. (2020). Plant growth-promoting bacteria: biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1216. DOI: 10.3389/fmicb.2020.01216

- Kumar, L., Sehrawat, R., & Kong, Y. (2021). Oat proteins: A perspective on functional properties. *LWT*, 152, 112307. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112307
- Meena, M. D., Yadav, R. K., Narjary, B., Yadav, G., Jat, H. S., Sheoran, P., Meena, M. K., Antil, R. S., Meena, B. L., Singh, H. V., Meena, V. S., Rai, P. K., Ghosh, A., & Moharana, P. C. (2019). Municipal solid waste (MSW): Strategies to improve salt affected soil sustainability: A review. *Waste Management*, 84, 38-53. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.11.020
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 651-681. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
- Munns, R., James, R. A., & Läuchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1025-1043. DOI: 10.1093/jxb/erj100
- Oliveira, F. de A. de, Medeiros, J. F. de, Alves, R. de C., Lima, L. A., Santos, S. T. dos, & Régis, L. R. de L. (2015). Produção de feijão caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(11), 1049-1056. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n11p1049-1056
- Park, H. J., Kim, W.-Y., & Yun, D.-J. (2016). A new insight of salt stress signaling in plant. *Molecules and Cells*, 39(6), 447-459. DOI: 10.14348/molcells.2016.0083
- Pirasteh-Anosheh, H., Ranjbar, G., Pakniyat, H., & Emam, Y. (2016). Physiological mechanisms of salt stress tolerance in plants. *Plant-Environment Interaction*, 141-160. DOI: 10.1002/9781119081005.ch8
- Rubio, J. S., García-Sánchez, F., Rubio, F., & Martínez, V. (2009). Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K⁺ and Ca²⁺ fertilization. *Scientia Horticulturae*, 119(2), 79-87. DOI: 10.1016/j.scienta.2008.07.009
- Sarkar, A. K., & Sadhukhan, S. (2022). Bioremediation of salt-affected soil through plant-based strategies. *Springer EBooks*, 81-100. DOI: 10.1007/978-3-030-89984-4_5
- Silva, A. A., Lima, G. S., Azevedo, C. A. V., Gheyi, H. R., Soares, L. A. A., & Veloso, L. L. S. A. (2022). Salicylic acid improves physiological indicators of soursop irrigated with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26(6), 412-419. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v26n6p412-419
- Stefanello, R., Viana, B. B., Goergen, P. C. H., Neves, L. A. S., & Nunes, U. R. (2020). Germination of chia seeds submitted to saline stress. *Brazilian Journal of Biology*, 80(2), 285-289. DOI: 10.1590/1519-6984.192140
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 888p.
- Ullah, A., Bano, A., & Khan, N. (2021). Climate change and salinity effects on crops and chemical communication between plants and plant growth-promoting microorganisms under stress. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. DOI: 10.3389/fsufs.2021.618092

- Vetvicka, V., Vannucci, L., Sima, P., & Richter, J. (2019). Beta glucan: supplement or drug? From laboratory to clinical trials. *Molecules*, 24(7). DOI: 10.3390/molecules24071251
- Yadav, S. P., Bhardwaj, R., Nayak, H., Mahto, R., Singh, R. K., & Prasad, S. K. (2019). Impact of salt stress on growth, productivity and physicochemical properties of plants: A Review. *International Journal of Chemical Studies*, v. 7, p. 1793-1798, 2019.
- Youssef, A. M., Pradhan, B., Sabtan, A. A., & El-Harbi, H. M. (2012). Coupling of remote sensing data aided with field investigations for geological hazards assessment in Jazan area, Kingdom of Saudi Arabia. *Environmental Earth Sciences*, 65(1), 119-130. DOI: 10.1007/s12665-011-1071-3

Radiação ultravioleta (UV-B) na germinação de sementes de aveia-branca

 10.46420/9786585756280cap9

Raissa Tainá Puntel 

Raquel Stefanello 

Antonio Carlos Ferreira da Silva 

Wagner Jesus da Silva Garcia 

Lucio Strazzabosco Dorneles 

INTRODUÇÃO

Nas plantas superiores, a luz não é apenas uma fonte de energia, mas também atua como um sinal chave que regula o crescimento, o desenvolvimento e o metabolismo (Raffo et al., 2020). A vida na Terra está exposta a uma variedade de espectros de luz, desde ultravioleta-B até comprimentos de onda chamados de radiação natural. O espectro eletromagnético ultravioleta (UV) é composto por UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) e UV-C (200-280 nm), com apenas UV-A e UV-B atingindo a superfície da Terra. A radiação UV afeta plantas e microrganismos alterando a relação entre eles (Loconsole & Santamaria, 2021; Meyer, Van de Poel & Coninck, 2021).

A quantidade de radiação que atinge a Terra mudou notavelmente ao longo dos tempos e, assim, a radiação solar ultravioleta tem recebido maior atenção nos últimos anos, principalmente devido à preocupação com o consumo de ozônio estratosférico e o incremento da radiação UV-B que pode ter impactos negativos no desenvolvimento das plantas (Pournavab et al., 2019).

A radiação ultravioleta é muitas vezes utilizada para destruir microrganismos prejudiciais às plantas. A UV-A é principalmente neutra ou mesmo benéfica para os microrganismos, incluindo a colonização de plantas por fitopatógenos, para reparo de DNA e processos associados a infecções. Em contraste, a exposição à UV-B e UV-C leva a efeitos prejudiciais, muitas vezes resultando na morte do microrganismo e, portanto, interessante para aplicação na agricultura, desde que a planta ou os organismos benéficos sejam menos danificados por UV do que seu patógeno (Vanhaelewyn et al., 2020).

A radiação solar UV-A e UV-B são estressores naturais que geram compostos bioativos nas plantas, como os carotenoides, que protegem as moléculas de clorofila do excesso de energia produzido pela fotossíntese (Mariz-Ponte et al., 2018). Embora a UV em altas doses seja conhecida por prejudicar a qualidade e os parâmetros de produção, alguns estudos mostram que em baixas doses pode estimular o acúmulo de biomassa e a síntese de compostos saudáveis que absorvem principalmente a UV (Loconsole & Santamaria, 2021).

A radiação ultravioleta-B, percebida pelo fotorreceptor da planta UVR8, é um sinal ambiental chave que influencia o crescimento e desenvolvimento das plantas e pode reduzir a incidência de doenças e pragas. O efeito positivo da UV-B na resistência e incidência de doenças em várias espécies de plantas apoia a implementação da radiação UV-B suplementar na produção agrícola sustentável (Meyer et al., 2021). A UV-B pode aumentar o conteúdo de metabólitos secundários úteis para a saúde humana. Por exemplo, o estresse abiótico induzido pela exposição de brotos de feijão-mungo a UV-B leva a um acúmulo significativo de vitamina C, fenóis e flavonoides, melhorando o valor nutricional (Wang et al., 2017).

A luz UV-B pode ser aplicada em diferentes intensidades, durações (de segundos a horas), doses (intensidade \times duração), tempo (manhã, meio-dia, tarde ou noite) e estágios de infecção. Além disso, a variação surge devido a diferentes culturas utilizadas, condições ambientais (sala de crescimento, estufa ou campo aberto) e fontes de luz UV-B (Meyer et al., 2021).

A radiação ultravioleta em níveis baixos para tratamento de sementes é um método ecologicamente seguro e uma alternativa ambientalmente correta para melhorar a produtividade das plantas, a qualidade do rendimento, bem como induzir a tolerância das plantas a diversos estresses bióticos e abióticos (Thomas Dhanya & Puthur, 2017; Forges et al., 2018). Pode ser considerada uma nova forma não química sustentável de retardar o esgotamento da qualidade no armazenamento pós-colheita (Loconsole & Santamaria, 2021). Estas informações promissoras remetem a ações a fim de investigar a viabilidade do uso de UV-B em várias tecnologias de sementes, para impulsionar a germinação e/ou o desenvolvimento de plântulas (Calone et al., 2020; Raj & Raj, 2019). Além disso, a UV-B pode estimular uma resposta específica, mas também pode reprimir essa resposta, dependendo da dose (Meyer et al., 2021).

O efeito da radiação UV na biologia das sementes e sua germinação não é bem compreendido (Rupiasih & Vidyasagar, 2016). Sabe-se que as sementes reagem à radiação UV, tanto no comprimento de onda presente na luz solar (UV-A e UV-B), quanto no comprimento de onda abaixo de 280 nm (UV-C) (Semenov et al., 2020). No entanto, ainda não há informações suficientes sobre a possível aplicação da radiação UV-B como tratamento estimulante de sementes de aveia. Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da radiação ultravioleta (UV-B) na germinação de sementes de aveia-branca (*Avena sativa* L.).

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Genética Vegetal & Evolução Vegetal, do Departamento de Biologia (Centro de Ciências Naturais e Exatas) da Universidade Federal de Santa Maria (RS), com sementes de aveia-branca não tratadas adquiridas de uma empresa tradicional em comercialização de sementes.

Antes de cada procedimento, as lâmpadas foram acesas por cinco minutos. Em seguida, as sementes foram colocadas em placas de Petri e inseridas em uma câmara de irradiação com lâmpada emissora de radiação UV-B (Ushio G15T8E) a uma distância de 25,5 cm da lâmpada, em diferentes intervalos de exposição à luz (0, 1, 2, 3 e 4 horas), conforme Tabela 1 e Figura 1. Além disso, sementes de aveia não irradiadas foram usadas como controle.

Tabela 1. Doses UV-B e tempo de exposição de sementes de aveia-branca (*Avena sativa* L.) em câmara de irradiação.

Tempo de exposição (h)	Dose (J m^{-2})	Dose (mJ cm^{-2})	Dose (KJ m^{-2})
0	0	0	0
1	9000	900	9
2	18000	1800	18
3	27000	2700	27
4	36000	3600	36

*Fonte: os autores.

A intensidade da radiação UV-B foi medida em diferentes regiões da câmara de irradiação utilizando um radiômetro (UV MS-211-1 da EKO Instruments Co. Ltd). O valor constante e de maior intensidade foi observado na região central ($2,5 \text{ W m}^{-2}$). As sementes foram colocadas dentro de uma placa de Petri o mais espalhadas possível para evitar a sobreposição entre si. A placa foi posicionada na parte central da câmara durante os tempos de exposição (doses), garantindo que as sementes recebessem a mesma intensidade de luz UV (Figura 1).



Figura 1. Esquema representativo da câmara de irradiação indicando sementes de aveia-branca (*Avena sativa* L.) na parte inferior e uma lâmpada UV-B na parte superior. O indicador UV-B (25,5 cm) designa a posição onde as sementes foram deixadas durante a exposição à lâmpada. A intensidade diminui gradualmente longe do centro nas quatro áreas (I, II, III e IV), onde I = $2,5 \text{ W m}^{-2}$, II = $2,1 \text{ W m}^{-2}$, III = $1,8 \text{ W m}^{-2}$ e IV = $0,7 \text{ W m}^{-2}$. Fonte: adaptado de Stefanello et al. (2023a).

Após o condicionamento em cada dose UV-B, as sementes de aveia-branca foram distribuídas em rolos de papel *germitest* e umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa seca do papel. Posterior à semeadura, os rolos de papel (quatro repetições de 50 sementes) foram armazenados em câmara de germinação, à temperatura de 20 °C, por 12 h de luz, e as contagens realizadas no 5º e no 10º dia, conforme metodologia adaptada de Brasil (2009).

Para avaliação do comprimento das plântulas (cm) foram semeadas quatro repetições de 20 sementes para cada tratamento, em duas fileiras, no terço superior do papel *germitest* e mantidas nas condições do teste de germinação. No 5º dia após a semeadura (DAS) foram medidos os comprimentos (parte aérea e raiz) de 10 plântulas normais de cada repetição. Seguindo o procedimento, foram escolhidas dez plântulas normais de cada repetição do teste de comprimento de plântulas para determinação da massa seca total das plântulas (mg). A massa seca das plântulas foi obtida em balança de precisão (0,001 g) após secagem do material em estufa de ventilação forçada a 60 ± 5 °C por 48 horas (Krzyzanowski et al., 2020).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Os tratamentos consistiram na exposição das sementes à luz (UV-B) em cinco tempos diferentes (doses) e quatro repetições por tratamento. Os dados foram submetidos à análise de variância por meio do teste F ($p \leq 0,05$) e, quando significativos, foi realizada análise de regressão por meio do programa SISVAR. Para melhor visualização dos resultados foi escolhida a apresentação em gráficos de colunas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou que quando sementes de aveia-branca foram submetidas a diferentes tratamentos (tempos de exposição à luz UV-B) não foi observada diferença significativa ($p > 0,05$) nas variáveis germinação, primeira contagem, comprimento e massa seca das plântulas (Figuras 2A-D). Foi observada a porcentagem média de germinação de 93% tanto no controle como após 4 horas de exposição à luz e comprimento de plântula de 14,25 a 15,16 cm, respectivamente (Figuras 2B e 2C).

Os efeitos induzidos por UV geralmente dependem da intensidade da radiação e dos estágios de desenvolvimento (Moreira-Rodriguez et al., 2017), sendo o efeito prejudicial da radiação UV-B considerado raro (Semenov et al., 2020). Algumas espécies não são afetadas quando continuamente irradiadas com luz UV-B provavelmente pela composição de suas sementes sendo responsável pela preservação do embrião (Debeaujon et al., 2018), como observado neste estudo.

Entre os efeitos positivos da radiação UV-B estão a promoção do acúmulo de moléculas antioxidantes e protetoras de UV em algumas plantas utilizadas como alimento (He et al., 2019). Afirmase também que a UV-B pode ter efeitos positivos no acúmulo total de isoflavonas (Ma et al., 2019) e que os raios UV-A e UV-B induzem a um acúmulo significativo de vários compostos secundários, como vitamina C, fenóis e flavonoides com propriedades de proteção UV, bem como clorofila, carotenoides e antocianinas (Loconsole & Santamaria, 2021).

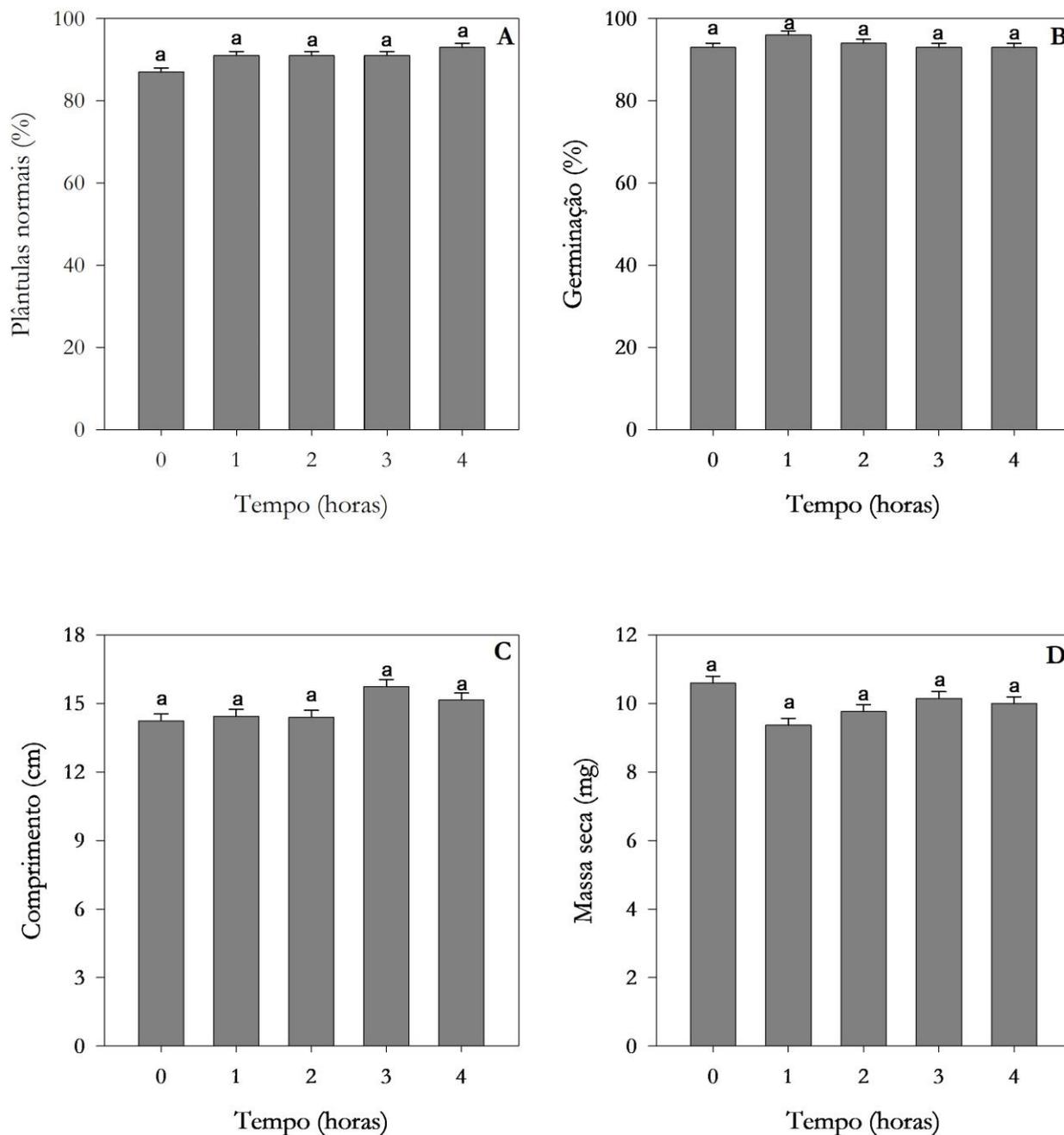


Figura 2. Primeira contagem (A), germinação (B), comprimento total (C) e massa seca (D) de plântulas de aveia-branca (*Avena sativa* L.) submetidas a diferentes doses de radiação UV-B. Fonte: os autores.

Resultados semelhantes ao deste estudo foram observados em trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench), onde a exposição das sementes à radiação UV-B não afetou a germinação e o comprimento da raiz das plântulas em até 8 horas de exposição à luz (Stefanello, Bevilacqua & Garcia, 2023b). Adicionalmente, em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) não foram verificadas diferenças significativas nas variáveis germinação, peso seco e comprimento de plântulas, para tempos de exposição até 15 min -700 $\mu\text{w. cm}^{-2}$ (Hernandez-Aguilar et al., 2021).

Em outros estudos, o tratamento com radiação UV-B por 45 min melhorou significativamente a porcentagem de germinação das sementes de canguçu-preto (*Scrophularia striata* Boiss.) (Mousavi et al., 2022), enquanto em trevo-persa (*Trifolium resupinatum* L.) não foi observada diferença significativa na germinação, primeira contagem, índice de velocidade de germinação, comprimento e massa seca das plântulas quando as sementes foram submetidas até 8 horas de exposição à luz UV-B (Stefanello et al., 2024).

Semelhante aos resultados do presente estudo, os pesquisadores relataram um aumento na germinação das sementes de feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek] quando expostas por 30 min aos raios UV-B, onde os mesmos prolongaram a vida útil dos brotos, retardando a diminuição de metabólitos secundários, inibindo o aumento de micróbios e postergando a degradação da qualidade (Gui et al., 2018). Em outro estudo a exposição de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) a 0,45 min em UV-B resultou em maior taxa de germinação (Sen & Puthur, 2021).

Por outro lado, o maior comprimento e biomassa, foliar e de raiz foram encontrados quando sementes de feijão-mungo foram tratadas com UV-B por 15 min, enquanto comprimento máximo de folhas e biomassa de folhas de álamo-trémulo (*Populus tremula* L.) foram alcançados quando sementes foram tratadas com UV-B (60 min) (Gui et al., 2018; Sobuj et al., 2021). Complementarmente, em trigo mourisco foi observada diminuição no comprimento da parte aérea com doses mais elevadas de radiação UV (Stefanello et al., 2023b). E, a radiação UV-B em diferentes intervalos de exposição integrados com diferentes ecótipos resultou em uma diferença significativa nos parâmetros de germinação de sementes de canguçu-preto em comparação com os tratamentos controle (Mousavi et al., 2022). Ainda, a exposição das sementes de soja às radiações UV-B a partir de 8 horas influenciou a porcentagem de germinação e o crescimento inicial das plântulas (Stefanello et al., 2023a). Também, a radiação ultravioleta reduziu a porcentagem de germinação, os comprimentos de radícula e plúmula em nabo (*Brassica rapa* L.) e rúcula (*Eruca sativa* Lam.) enquanto aumentou seu teor de clorofila (Begum et al., 2021).

As plantas podem modular suas respostas à luz para otimizar seu crescimento. O mecanismo é realizado por meio da percepção dos raios UV-B, transdução de sinal e expressão gênica e, finalmente, resulta no desenvolvimento fotomorfogênico e leva à adaptação ao estresse (Qian et al., 2020). As plantas têm muitas estratégias para lidar com o estresse UV-B que lhes permite compensar os efeitos negativos dessa radiação. Como estratégia de prevenção, quando são expostas à radiação UV-B, a produção de metabólitos secundários é uma das soluções mais conhecidas para proteger a planta contra esses raios (Azarafshan et al., 2020).

Por fim, dependendo da dose a luz UV-B opera em dois mecanismos: baixas doses de luz UV-B podem ser benéficas para aumentar a defesa da planta, enquanto doses mais altas podem se tornar desvantajosas, pois a radiação do estresse foto-oxidativo pode causar retardo no crescimento e alterações morfológicas (Meyer et al., 2021).

Nas condições deste estudo, as sementes de aveia-branca apresentaram relativa tolerância em até 4 h de exposição à UV-B. Os dados preliminares deste estudo são promissores. No entanto, são necessárias mais pesquisas para compreender os mecanismos de respostas das plantas à radiação UV e outros fatores que interagem e induzem as respostas das plantas às mudanças nas condições ambientais.

CONCLUSÃO

Nas condições deste estudo, concluiu-se que as sementes de aveia-branca apresentam relativa tolerância à radiação UV-B, não sendo observada diferença significativa nas variáveis germinação, primeira contagem, comprimento e massa seca das plântulas.

AGRADECIMENTO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio através da bolsa CNPq 308277/2021-0.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azarafshan, M., Peyvandi, M., Abbaspour, H., Noormohammadi, Z., & Majd, A. (2020). The effects of UV-B radiation on genetic and biochemical changes of *Pelargonium graveolens* L'Her. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26, 605-616. DOI: 10.1007/s12298-020-00758-6
- Begum, H. A., Hamayun, M., Shad, N., Khan, W., Ahmad, J., Khan, M. E. H., Jones, D. A., & Ali. K. (2021). Effects of UV radiation on germination, growth, chlorophyll content, and fresh and dry weights of *Brassica rapa* L. and *Eruca sativa* L. *Sarhad Journal of Agriculture*, 37, 1016-1024. DOI: 10.17582/journal.sja/2021/37.3.1016.1024
- Brasil (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS. 399p.
- Calone, R., Sanoubar, R., Noli, E., & Barbanti, L. (2020). Assessing *Salicornia europaea* tolerance to salinity at seed germination stage. *Agriculture*, 10, 29. DOI: 10.3390/agriculture10020029
- Debeaujon, I., Lepiniec, L., Pourcel, L., & Routaboul, J. M. (2018). Seed coat development and dormancy. *Annual Plant Reviews online*, 27, 25-49. DOI: 10.1002/9781119312994.apr0276
- Forges, M., Vasquez, H., Charles, F., Sari, D. C., Urban, L., Lizzi, Y., & Aarouf, J. (2018). Impact of UV-C radiation on the sensitivity of three strawberry plant cultivars (*Fragaria × ananassa*) against *Botrytis cinerea*. *Scientia Horticulturae*, 240, 603-613. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.06.063
- Gui, M., He, H., Li, Y., Chen, X., Wang, H., Wang, T., & Li, J. (2018). Effect of UV-B treatment during the growth process on the postharvest quality of mung bean sprouts (*Vigna radiata*). *International Journal of Food Science & Technology*, 53, 2166-2172. DOI: 10.1111/ijfs.13804

- He, W., Wang, Y., Dai, Z., Liu, C., Xiao, Y., Wei, Q., Song, J., & Li, D. (2019). Effect of UV-B radiation and a supplement of CaCl₂ on carotenoid biosynthesis in germinated corn kernels. *Food Chemistry*, 278, 509-514, 2019. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.11.089
- Hernandez-Aguilar, C., Dominguez-Pacheco, A., Tenango, M. P., Valderrama-Bravo, C., Hernández, M. S., Cruz-Orea, A., & Ordonez-Miranda, J. (2021). Characterization of bean seeds, germination, and phenolic compounds of seedlings by UV-C radiation. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 642-655. DOI: 10.1007/s00344-020-10125-0
- Krzyzanowski, F. C., França-Neto, J. de B., Gomes-Junior, F. G., & Nakagawa, J. (2020). Testes de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: Krzyzanowski, F. C., Vieira, R. D., França-Neto, J. de B., & Marcos Filho, J. (Orgs.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: Abrates.
- Loconsole, D., & Santamaria, P. (2021). UV Lighting in horticulture: A sustainable tool for improving production quality and food safety. *Horticulturae*, 7, 1-13. DOI: 10.3390/horticulturae7010009
- Ma, M., Wang, P., Yang, R., & Gu, Z. (2018). Effects of UV-B radiation on the isoflavone accumulation and physiological-biochemical changes of soybean during germination: Physiological-biochemical change of germinated soybean induced by UV-B. *Food Chemistry*, 250, 259-267. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.01.051
- Mariz-Ponte, N., Mendes, R. J., Sario, S., de Oliveira, J. M. P. F., Melo, P., & Santos, C. (2018). Tomato plants use non-enzymatic antioxidant pathways to cope with moderate UV-A/B Irradiation: A Contribution to the Use of UV-A/B in Horticulture. *Journal of Plant Physiology*, 221, 32-42. DOI: 10.1016/j.jplph.2017.11.013
- Meyer, P., Van de Poel, B., & Coninck, B. (2021). UV-B Light and its application potential to reduce disease and pest incidence in crops. *Horticulture Research*, 8, 194. DOI: 10.1038/s41438-021-00629-5
- Moreira-Rodriguez, M., Nair, V., Benavides, J., Cisneros-Zevallos, L., & Jacobo-Elazquez, D. A. (2017). UVA, UVB light, and methyl jasmonate, alone or combined, redirect the biosynthesis of glucosinolates, phenolics, carotenoids, and chlorophylls in *Broccoli sprouts*. *International Journal of Molecular Sciences*, 18, 2330. DOI: 10.3390/ijms18112330
- Mousavi, S. S., Karami, A., Haghghi, T. M., & Maggi, F. (2022). Two iranian *Scrophularia striata* Boiss. Ecotypes under UV-B radiation: Germination and initial growth perspective. *South African Journal of Botany*, 148, 460-468. DOI: 10.1016/j.sajb.2022.05.013
- Pournavab, R. F., Mejía, E. B., Mendoza, A. B., Cruz, L. R. S., & Heya, M. N. (2019). Ultraviolet radiation effect on seed germination and seedling growth of common species from Northeastern Mexico. *Agronomy*, 9, 269. DOI: 10.3390/agronomy9060269
- Qian, C., Chen, Z., Liu, Q., Mao, W., Chen, Y., Tian, W., Liu, Y., Han, J., Ouyang, X., & Huang, X. (2020). Coordinated transcriptional regulation by the UV-B photoreceptor and multiple

- transcription factors for plant UV-B responses. *Molecular Plant*, 13, 777-792. DOI: 10.1016/j.molp.2020.02.015
- Raffo, A., Mozzanini, E., Nicoli, S. F., Lupotto, E., & Cervelli, C. (2020). Efeito da intensidade de luz e disponibilidade de água no crescimento das plantas, produção e composição de óleo essencial em *Rosmarinus officinalis* L. *European Food Research and Technology*, 246, 167-77. DOI: 10.1007/s00217-019-03396-9.
- Raj, A. B., & Raj, S. K. (2019). Seed priming: an approach towards agricultural sustainability. *Journal of Applied and Natural Science*, 11, 227-234. DOI: 10.31018/jans.v11i1.2010
- Rupiasih, N. N., & Vidyasagar, P. B. (2016). Effect of UV-C radiation and hypergravity on germination, growth and content chlorophyll of wheat seedlings. *AIP Conference Proceedings*, 1719, 030035. DOI: 10.1063/1.4943730
- Semenov, A., Korotkova, I., Sakhno, T., Marenych, M., Hanhur, V., Liashenko, V., & Kaminsky, V. (2020). Effect of UV-C radiation on basic indices of growth process of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds in pre-sowing treatment. *Acta agriculturae Slovenica*, 116, 49-58. DOI: 10.14720/aas.2020.116.1.1563
- Sen, A., & Puthur, J. T. (2021). Halo and UV-B priming influences various physiological and importantly yield parameters of *Oryza sativa* var. Vyttila 6. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 49, 1-16. DOI: 10.1080/01140671.2020.1844765
- Sobuj, N., Nissinen, K., Virjamo, V., Salonen, A., Sivadasan, U., Randriamanana, T., & Peltola, H. (2021). Accumulation of phenolics and growth of dioecious *Populus tremula* (L.) seedlings over three growing seasons under elevated temperature and UVB radiation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 165, 114-122. DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.05.012
- Stefanello, R., Bevilacqua, D. B., & Garcia, W. J. S. (2023b). Does the ultraviolet radiation affect the germination of *Fagopyrum esculentum* Moench seeds? *Disciplinarum Scientia. Série: Naturais e Tecnológicas*, 24, 59-69. DOI: 10.37779/nt.v24i2.4649
- Stefanello, R., Menna Barreto, R. A., Müller, G. L., Rodrigues, A. H. S., Garcia, W. J. S., & Dorneles, L. S. (2023a). UV-B and UV-C radiation on the germination of soybean seeds. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 18, e2964. DOI: 10.5039/agraria.v18i2a2964
- Stefanello, R., Menna Barreto, R. Garcia, W. J. S., & Dorneles, L. S. (2024). Does the ultraviolet radiation affect the germination of Persian clover seeds? *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação E Tecnologia Ambiental*, 28.
- Thomas Dhanya, T. T., & Puthur, J. T. (2017). UV radiation priming: a means of amplifying the inherent potential for abiotic stress tolerance in crop plants. *Environmental and Experimental Botany*, 138, 57-66. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2017.03.003

- Vanhaelewyn, L., Straeten, D. V. D., Coninck, B., & Vandebussche, F. (2020). Ultraviolet radiation from a plant perspective: The plant-microorganism context. *Frontiers in Plant Science*, 15, 597642. DOI: 10.3389/fpls.2020.597642
- Wang, H., Gui, M., Tian, X., Xin, X., Wang, T., & Li, J. (2017). Effects of UV-B on vitamin C, phenolics, flavonoids and their related enzyme activities in mung bean sprouts (*Vigna radiata*). *International Journal of Food Science & Technology*, 52, 827-833. DOI: 10.1111/ijfs.13345

Óxido de grafeno na germinação de sementes de aveia-branca

 10.46420/9786585756280cap10

Raquel Stefanello 

Daiane Balconi Bevilaqua 

Wagner Jesus da Silva Garcia 

Theodoro da Rosa Salles 

Cristiano Rodrigo Bohn Rhoden 

INTRODUÇÃO

Os nanomateriais à base de grafeno têm recebido atenção especial devido às suas aplicações em diversos campos como dispositivos de armazenamento de energia; na biomedicina (revestimento de dispositivos médicos); nanoeletrônica; em materiais de adsorção; composição de embalagens; como componentes de fertilizantes; em sistemas de nanoencapsulação e liberação inteligente; no tratamento de água e ultrafiltração; na remoção de contaminantes; na quantificação de pesticidas e inseticidas e em sistemas de detecção e agricultura de precisão (Ahamed & Loganathan, 2023; Nasiri, Ahmadzadeh & Amiri, 2021; Nunes et al., 2023; Diraki et al., 2019; Kaymak, Sevim & Metin, 2022; Abu-Nada, Abdala & McKay, 2021; Karamipour, Fathi & Safari, 2021; Salles et al., 2023; Sun et al., 2021; Priyadharshini et al., 2022).

O óxido de grafeno (*graphene oxide* - GO) como material primário possui várias vantagens, como ser atóxico, produzido em larga escala a partir de grafite e de baixo custo em relação aos materiais existentes (Kaymak et al., 2022). Apresenta inúmeras características importantes e únicas, como hidrofiliabilidade, alta dispersão em meio aquoso, fácil síntese, tamanho robusto, alta biocompatibilidade e capacidade de funcionalização de superfície, devido à presença de grupos funcionais o que permite aplicações promissoras em vários campos, incluindo áreas biomédicas, biológicas e agrícolas (Ghulam et al., 2022).

Diversos estudos utilizando o óxido de grafeno e sugerindo melhora significativa no crescimento das plantas, despertaram interesse em suas possíveis aplicações na agricultura, influenciando positivamente nos estágios de desenvolvimento como germinação de sementes, respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas e crescimento de raízes e parte aérea (Zhang et al., 2015; González-García et al., 2019; Park et al., 2020; Samadi et al., 2021; Guo et al., 2021; Yang et al., 2022; Zhao et al., 2023; Kazlauskas et al., 2023).

Por outro lado, alguns estudos apontam possíveis efeitos negativos como observado em alfafa (*Medicago sativa* L.) onde o óxido de grafeno em níveis elevados teve um impacto negativo no crescimento

e desenvolvimento radicular, induzindo estresse oxidativo e desequilíbrio nutricional (Zhao et al., 2023); em arroz onde foram observados menor comprimento de raiz e peso fresco e seco (Shen et al., 2019) e em trigo onde foi verificada inibição da germinação das sementes de 1000-2000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (Vochita et al., 2019). Adicionalmente, na espécie *Larix olgensis* Ostenf. & Syrach as altas concentrações de grafeno ($>100 \text{ mg L}^{-1}$) diminuíram o comprimento, volume, diâmetro e massa seca da raiz das plântulas (Song et al., 2020).

Além disso, o óxido de grafeno têm sido utilizado como mitigador de efeito de toxicidade por cádmio em arroz (Yin et al., 2018) e alface (Gao et al., 2020), por cobre em lentilha d'água (*Lemna minor* L.) (Hu et al., 2018), por níquel (Ni), zinco (Zn), cromo (Cr) e cobre (Cu) em agrião - (*Lepidium sativum* L.) (Kazlauskas et al., 2023), estresse hídrico em abobrinha (*Cucurbita pepo* L.) e estresse salino em melão (*Cucumis melo* L.) (Kaymak et al., 2022) e trevo-persa (*Trifolium resupinatum* L.) (Stefanello et al., 2024), protegendo assim as plantas dos efeitos nocivos de altas concentrações.

A ampla aplicação e as propriedades únicas do óxido de grafeno fazem com que ele interaja com outros poluentes e, posteriormente, altere seu comportamento e toxicidade (Hu et al., 2018). Tem atraído muita atenção por possuir uma excelente propriedade de adsorção para eliminar com eficiência metais pesados como Cd, Pb, Cr, Ni, Zn e Cu que se originam de efluentes farmacêuticos, eliminando assim íons de metais pesados e impurezas orgânicas de águas residuais (Wang et al., 2019).

No entanto, o aumento da produção, usos extensivos e a liberação de nanomateriais à base de grafeno no ambiente levantou preocupações sobre os seus potenciais riscos biológicos e ambientais (Zhao et al., 2022; Yang et al., 2022), sendo essencial entender e investigar se o uso desta nanopartícula de carbono é seguro bem como os efeitos diretos e indiretos nos organismos em vários campos (Yin et al., 2018; Stefanello et al., 2024). Em resposta a essas preocupações, inicialmente em estudos preliminares foi explorado se o grafeno poderia induzir fitotoxicidade em concentrações consideradas altas (0-1000 mg L^{-1} GO). Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de nanomateriais como o óxido de grafeno, na germinação de sementes de uma espécie forrageira de relevante importância econômica, como a aveia-branca (*Avena sativa* L.).

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de aveia não tratadas adquiridas de uma empresa tradicional em comercialização de sementes foram utilizadas para o trabalho desenvolvido no Laboratório de Genética Vegetal & Evolução Vegetal, do Departamento de Biologia (Centro de Ciências Naturais e Exatas) da Universidade Federal de Santa Maria (RS).

A síntese do GO seguiu a metodologia de Salles et al. (2020) onde 1,0 g de grafite em flocos (Sigma-Aldrich®) foi adicionado a 60 mL de H_2SO_4 98% (Synth®) sob agitação magnética por 10 min em temperatura ambiente. Sucessivamente foram adicionados 6 g de KMnO_4 (Synth®) (durante 20 min). A solução resultante foi aquecida a 40 °C e mantida sob agitação durante 5 h. Sequencialmente, à

temperatura ambiente, adicionou-se água destilada (180 mL) lentamente e sob agitação durante 12 h. Em seguida, a reação foi aquecida a 40 °C por 2 h e foram adicionados 300 mL de água destilada e 10 mL de peróxido de hidrogênio (Synth®). A solução amarela foi lavada até pH 7,0 e seca em estufa (DeLeo) a 50 °C por 7 dias. Por fim, 1,5 g do produto final foi disperso em 1000 mL de água destilada, resultando na concentração de 1,5 g L⁻¹.

Para avaliar o efeito dos nanomateriais na germinação foram utilizadas concentrações de 0 (somente água destilada), 125, 250, 500 e 1000 mg L⁻¹ de GO. As sementes de aveia foram embebidas por 24 horas no escuro, em temperatura ambiente, em diferentes concentrações de GO, conforme metodologia adaptada de Kaymak et al. (2022). Após condicionamento com GO, as sementes foram secas em temperatura ambiente e os seguintes testes foram implementados:

Teste de germinação (%): realizado com quatro repetições de 50 sementes distribuídas em papel *germitest* umedecido com água destilada ou respectiva solução de GO (2,5 vezes a massa do papel seco). Após a semeadura, foram confeccionados rolos que foram mantidos em câmara de germinação (BOD - *Biochemical Oxygen Demand*), na temperatura constante de 20 °C, em presença de 12 h de luz, sendo as contagens realizadas aos cinco e 10 dias (quando foi finalizado o teste) e os resultados expressos em percentagem (Brasil, 2009).

Primeira contagem (%): realizada juntamente com o teste de germinação, onde foi determinada a percentagem de plântulas normais no quinto dia após a instalação do teste (Brasil, 2009).

Comprimento de plântula (cm): no quinto dia após a semeadura foram coletadas aleatoriamente dez plântulas do teste de germinação, em que foi medido o comprimento médio total com o auxílio de uma régua milimetrada (Krzyzanowski et al., 2020).

Massa seca de plântulas (mg): foram selecionadas dez plântulas normais de cada repetição do teste de germinação. As plântulas foram pesadas em balança de precisão (0,001 g), após secagem do material em estufa de ventilação forçada a 60±5 °C por 48 h, obtendo-se a massa seca total (Krzyzanowski et al., 2020).

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com tratamentos constituídos por diferentes concentrações de óxido de grafeno e os dados analisados no software SISVAR pelo teste de Scott-Knott (p-valor≤0,05). A apresentação em gráficos de colunas foi definida para melhor visualização dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados indicou que os tratamentos com óxido de grafeno não tiveram efeito significativo na percentagem de plântulas normais de aveia avaliada através dos testes de primeira contagem (Figura 1A) e germinação de sementes (Figura 1B). A primeira contagem, avaliada aos cinco dias após a semeadura, apresentou percentagem média de plântulas normais de 82% tanto no controle (sem GO) como na maior concentração utilizada (1000 mg L⁻¹). Seguindo a mesma tendência, a

germinação não diminuiu com o aumento das concentrações de GO apresentando valores médios de 90 a 88% (Figura 1 B).

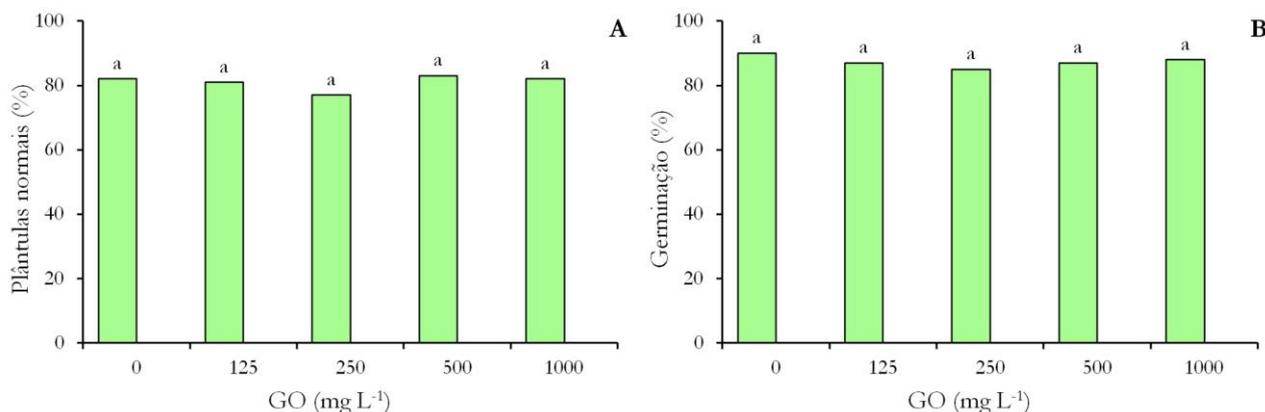


Figura 1. Primeira contagem (A) e germinação (B) de sementes de aveia-branca (*Avena sativa* L.) submetidas a diferentes concentrações de óxido de grafeno (GO). *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p -valor \leq 0,05). Fonte: os autores.

Observou-se maior comprimento das plântulas com o aumento das concentrações de GO de 15,53 cm no controle para 19,60 cm em 500 mg L⁻¹ e 20,45 cm em 1000 mg L⁻¹ (Figura 2A). Conseqüentemente, a massa seca também foi influenciada significativamente pelas diferentes concentrações de GO (Figura 2B).

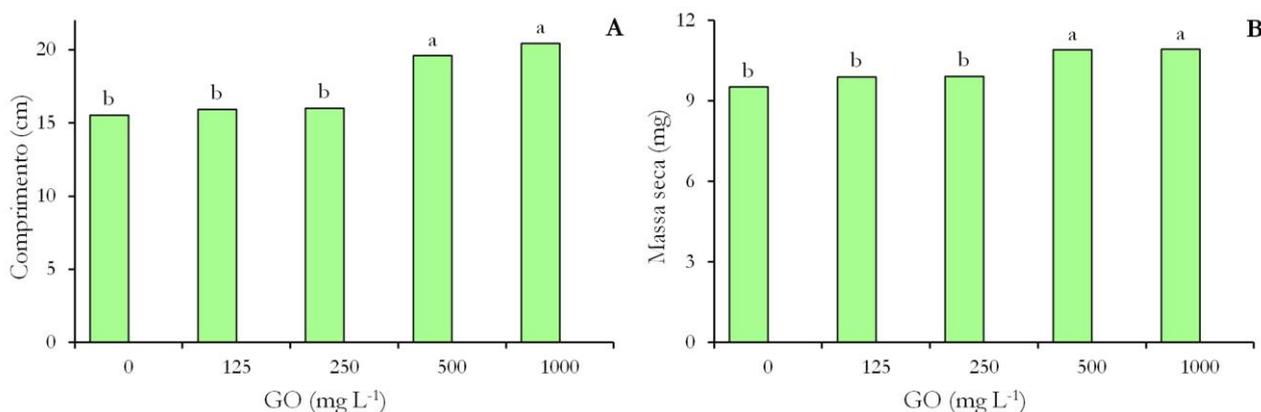


Figura 2. Comprimento (A) e massa seca (B) de plântulas de aveia-branca (*Avena sativa* L.) submetidas a diferentes concentrações de óxido de grafeno (GO). *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p -valor \leq 0,05). Fonte: os autores.

Alguns estudos indicam que o óxido de grafeno pode atuar como transportador de água para promover a germinação das sementes devido à sua natureza hidrofílica (He et al., 2018). Sugere-se que o GO seja capaz de penetrar nas cascas das sementes, rompendo-as para facilitar a absorção de água, resultando em uma rápida germinação e aumento do crescimento (Samadi et al., 2021). Os grupos

funcionais de GO contendo oxigênio coletam água e os domínios sp^2 hidrofóbicos transportam água para as sementes para acelerar a germinação (Zhang et al., 2015; He et al., 2018; Zhao et al., 2020).

As nossas observações mostraram aumento do comprimento das plântulas de aveia-branca à medida que aumentou a concentração de GO (Figura 3).

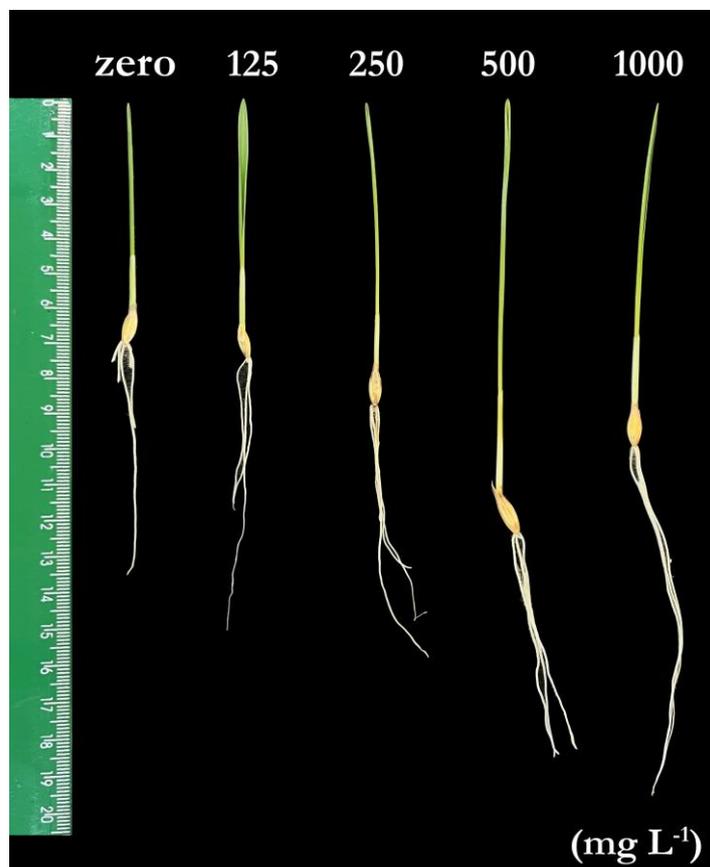


Figura 3. Plântulas de aveia-branca (*Avena sativa* L.) submetidas a diferentes concentrações de óxido de grafeno (mg L^{-1}). Fonte: os autores.

Resultados de outros estudos indicam que 50 a 150 mg L^{-1} de óxido de grafeno promoveram significativamente a germinação de sementes de falso-indigo (*Amorpha fruticosa* L.) (Liu, Lü & Luo, 2022), enquanto os tratamentos com 50 e 100 mg L^{-1} de GO resultaram no acúmulo de biomassa radicular e favorecimento do desenvolvimento morfológico de plântulas de tomate, regulando positivamente a expressão gênica relacionada ao desenvolvimento radicular e aumentando o conteúdo de ácido indol acético (Guo et al., 2021). Em alfafa (*Medicago sativa* L.) uma pequena quantidade de GO (0,4 a 0,6%) promoveu aumento na altura da planta e na biomassa do caule e das folhas (Zhu et al., 2020).

Além disso, 50 mg L^{-1} de GO melhorou o rendimento e os caracteres morfológicos das raízes de babosa (*Aloe vera* (L.) Burm. f.) (Zhang et al., 2021) e, em melão, a porcentagem de germinação e o comprimento da raiz foram maiores nas sementes condicionadas com GO em relação à testemunha (Kaymak et al., 2022). Adicionalmente, os tratamentos com óxido de grafeno até 150 mg dm^{-3} melhoraram significativamente a germinação das sementes e o crescimento das raízes e inibiram o

crescimento da parte aérea de arroz (He et al., 2021). Ainda, em *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., concentrações de 100 a 10000 $\mu\text{g L}^{-1}$ de GO não influenciaram a absorção de água e nutrientes e, portanto, não afetaram a biomassa de raízes e parte aérea, mas, ao contrário, estimularam seu crescimento indicado pelo aumento no comprimento das raízes, área e número de folhas e formação de botões florais (Park et al., 2020).

A exposição ao óxido de grafeno na concentração de 1 mg L^{-1} não apresentou efeitos aparentes, ao mesmo tempo que a exposição ao GO isoladamente na concentração de 10 mg L^{-1} acelerou a germinação das sementes de arroz e o crescimento das raízes devido a melhor absorção de água (Li et al. 2020); enquanto 50 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de GO favoreceu o aumento do comprimento da raiz principal e do número de raízes laterais em *A. thaliana* (Gao et al., 2022).

Complementarmente, o óxido de grafeno até 500 mg L^{-1} não exerceu efeitos adversos na germinação de sementes de trevo-persa (*Trifolium resupinatum* L.) e trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench). Também, a exposição simultânea de GO/sal indicou um efeito positivo do óxido de grafeno no número de sementes germinadas e no crescimento inicial, enfatizando assim a importância do nanomaterial como um agente atenuante contra o efeito tóxico dos sais na agricultura (Stefanello et al., 2024a; Stefanello et al., 2024b).

Outros estudos apontam que o GO pode desempenhar o papel de um escudo protetor influenciando os grupos hidrofílicos de proteínas e carboidratos do revestimento da semente, mitigando assim a inibição da germinação induzida pela exposição a metais (Kazlauskas et al., 2023). Além disso, o GO pode induzir o aparecimento de novos poros ou o alargamento dos poros do tegumento, aumentando assim a absorção de água e melhorando o crescimento radicular (Li et al., 2020).

Por outro lado, pesquisas anteriores indicam que as propriedades físico-químicas, tempo de exposição, tamanho, número de camadas, modo de aplicação e genótipo desempenham um papel importante na determinação da toxicidade do óxido de grafeno em plantas (Yang et al., 2022). Diferentes concentrações do nanomaterial têm diferentes efeitos nas plantas em diferentes condições (Malekzadeh, Roosta & Kalaji, 2023). Propõe-se que uma concentração adequada de GO pode ser propícia aos seus efeitos positivos e o tamanho da partícula deve ser considerado quando empregado em aplicações agrícolas (Yang et al., 2022).

Por fim, os resultados deste estudo confirmaram que o óxido de grafeno não apresentou efeitos tóxicos na germinação de sementes de aveia-branca favorecendo o crescimento inicial nas maiores concentrações utilizadas.

CONCLUSÃO

O óxido de grafeno não apresentou efeitos tóxicos na germinação de sementes de aveia-branca favorecendo o crescimento inicial das plântulas até 1000 mg L⁻¹.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Nada, A., Abdala, A., & McKay, G. (2021). Removal of phenols and dyes from aqueous solutions using graphene and graphene composite adsorption: a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9, 1-15. DOI: 10.1016/j.jece.2021.105858
- Ahamed, A. J., & Loganathan, K. (2021). Reduced graphene oxide as effective adsorbent for removal of heavy metals in groundwater of Amaravathi River basin, Tamil Nadu. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 7, 59-68. DOI: 10.1080/24749508.2021.1923273
- Brasil (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS. 399p.
- Diraki, A., Mackey, H. R., McKay, G., & Abdala, A. (2019). Removal of emulsified and dissolved diesel oil from high salinity wastewater by adsorption onto graphene oxide. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7, 103106. DOI: 10.1016/j.jece.2019.103106
- Gao, C., Xiao, C. J., Lu, S., Wang, S. R., Yuan, H. H., & Cao, Y. Y. (2022). Promoting effect of graphene oxide on the root growth of *Arabidopsis thaliana*. *Biotechnology Bull*, 38, 120-128. DOI: 10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2021-1188
- Gao, M., Xu, Y., Chang, X., Dong, Y., & Song, Z. (2020). Effects of foliar application of graphene oxide on cadmium uptake by lettuce. *Journal of Hazardous Materials*, 398, 122859. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122859
- Ghulam, A. N., dos Santos O. A. L., Hazeem L., Backx, B. P., Bououdina, M., & Bellucci, S. (2022). Graphene oxide (GO) materials-applications and toxicity on living organisms and environment. *Journal of Functional Biomaterials*, 13, 77. DOI: 10.3390/jfb13020077
- González-García, Y., López-Vargas, E. R., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., González-Morales, S., Robledo-Olivo, A., Alpuche-Solís, Á. G., & Juárez-Maldonado, A. (2019). Impact of carbon nanomaterials on the antioxidant system of tomato seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*, 20, 5858. DOI: 10.3390/ijms20235858
- Guo, X., Zhao, J., Wang, R., Zhang, H., Xing, B., Naeem, M., Yao, T., Li, R., Xu, R., Zhang, Z., & Wu, J. (2021). Effects of graphene oxide on tomato growth in different stages. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 447-455. DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.03.013
- He, Y., Hu, R., Zhong, Y., Zhao, X., Chen, Q., & Zhu, H. (2018). Graphene oxide as a water transporter promoting germination of plants in soil. *Nano Research*, 11, 1928-1937. DOI: 10.1007/s12274-017-1810-1

- He, Y., Wei, H. M., Liu, S. J., Xu, Y. C., Zhu, Z. Y., Yan, H., Li, J. X., & Tian, Z. H. (2021). Growth response of *Oryza sativa* seedlings to graphene oxide and its variability among genotypes. *Biologia Plantarum*, 65, 39-46. DOI: 10.32615/bp.2020.124
- Karamipour, M., Fathi, S., & Safari, M. (2021). Removal of phenol from aqueous solution using MOF/GO: synthesis, characteristic, adsorption performance and mechanism. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 103, 3853-3864. DOI: 10.1080/03067319.2021.1915299
- Kaymak, H. Ç., Sevim, M., & Metin, Ö. (2022). Graphene oxide: a promising material for the germination of melon seeds under salinity stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46, 863-874. DOI: 10.55730/1300-011X.3048
- Kazlauskas, M., Jurgelėnė, Ž., Šemčuk, S., Jokšas, K., Kazlauskienė, N., & Montvydienė, D. (2023). Effect of graphene oxide on the uptake, translocation and toxicity of metal mixture to *Lepidium sativum* L. plants: Mitigation of metal phytotoxicity due to nanosorption. *Chemosphere*, 312, 137221. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.137221
- Krzyzanowski, F. C., França-Neto, J. de B., Gomes-Junior, F. G., & Nakagawa, J. (2020). Testes de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: Krzyzanowski, F. C., Vieira, R. D., França-Neto, J. de B., & Marcos Filho, J. (Orgs.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: Abrates.
- Li, J., Wu, F., Fang, Q., Wu, Z., Duan, Q., Li, X., & Ye, W. (2020). The mutual effects of graphene oxide nanosheets and cadmium on the growth, cadmium uptake and accumulation in rice. *Plant Physiology & Biochemistry: PPB / Societe Francaise de Physiologie Vegetale*, 147, 289-294. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.12.034
- Liu, D., Lü, Y., & Luo, H. (2022). Effects of oxidized graphene on seed germination and seedling growth of *Amorpha fruticosa*. *Seed*, 41, 14-18. DOI: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2022.01.014
- Malekzadeh, M. R., Roosta, H. R., & Kalaji, H. M. (2023). GO nanoparticles mitigate the negative effects of salt and alkalinity stress by enhancing gas exchange and photosynthetic efficiency of strawberry plants. *Scientific Reports*, 13, 8457. DOI: 10.1038/s41598-023-35725-0
- Nasiri, M., Ahmadzadeh, H., & Amiri, A. (2021). Organophosphorus pesticides extraction with polyvinyl alcohol coated magnetic graphene oxide particles and analysis by gas chromatography-mass spectrometry: application to apple juice and environmental water. *Talanta*, 227, 122078. DOI: 10.1016/j.talanta.2020.122078
- Nunes, F. B., Bruckmann, F. S da., Salles, T. R da., & Rhoden, C. R. B. (2023). Study of phenobarbital removal from the aqueous solutions employing magnetite-functionalized chitosan. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 12658-12671. DOI: 10.1007/s11356-022-23075-9
- Park, S., Choi, K. S., Kim, S., Gwon, Y., & Kim, J. (2020). Graphene oxide-assisted promotion of plant growth and stability. *Nanomaterials*, 10, 758. DOI: 10.3390/nano10040758

- Priyadharshini, S. D., Manikandan, S., Kiruthiga, R., Rednam, U., Babu, P. S., Subbaiya, R., Karmegam, N., Kim, W., & Govarthanam, M. (2022). Graphene oxide-based nanomaterials for the treatment of pollutants in the aquatic environment: Recent trends and perspectives – a review. *Environmental Pollution*, 306, 119377. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119377
- Salles, T. R., Rodrigues, H. B., Bruckmann, F. S. da., Alves, L. C. S., Mortari, S. R., & Rhoden, C. R. B. (2020). Graphene oxide optimization synthesis for application on laboratory of Universidade Franciscana, *Disciplinarum Scientia: Série Ciências Naturais e Tecnológicas*, 21, 15-26. DOI: 10.37779/nt.v21i3.3632
- Salles, T. R., Schnorr, C., Bruckmann, F. S. da., Vicensi, E. C., Viana, A. R., Schuch, A. P., Garcia, W. J. S. da., Silva, L. F. O., Oliveira, A. H., Mortari, S. R., & Rhoden, C. R. B. (2023). Effective diuretic drug uptake employing magnetic carbon nanotubes derivatives: Adsorption study and in vitro geno-cytotoxic assessment. *Separation and Purification Technology*, 315, 123713. DOI: 10.1016/j.seppur.2023.123713
- Samadi, S., Lajayer, B. A., Moghiseh, E., & Rodríguez-Couto, S. (2021). Effect of carbon nanomaterials on cell toxicity, biomass production, nutritional and active compound accumulation in plants. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101323. DOI: 10.1016/j.eti.2020.101323
- Shen, S., Liu, Y., Wang, F., Yao, G., Xie, L., & Xu, B. (2019). Graphene oxide regulates root development and influences IAA concentration in rice. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 241-248. DOI: 10.1007/s00344-018-9836-5
- Song, J., Cao, K., Duan, C., Luo, N., & Cui, X. (2020). Effects of graphene on *Larix olgensis* seedlings and soil properties of haplic cambisols in Northeast China. *Forests*, 11, 258. DOI: 10.3390/f11030258
- Stefanello, R., Garcia, W. J. S. da., Viana, A. R., Salles, T. R., & Rhoden, C. R. B. (2024a). Graphene oxide assessment on the germination of persian clover and buckwheat seeds. *Ciência e Natura*. 46, e84226. DOI: 10.5902/2179460X84226
- Stefanello, R., Garcia, W. J. S. da., Viana, A. R., Salles, T. R., & Rhoden, C. R. B. (2024b). Graphene oxide decreases the effects of salt stress on Persian clover seed germination. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 87, 47-56. DOI: 10.1080/15287394.2023.2274338
- Sun, C., Wang, Z., Zheng, H., Chen, L., & Li, F. (2021). Biodegradable and re-usable sponge materials made from chitin for efficient removal of microplastics. *Journal of Hazardous Materials*, 420, 126599. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126599
- Vochita, G., Oprica, L., Gherghel, D., Mihai, C. T., Boukherroub, R., & Lobiuc, A. (2019). Graphene oxide effects in early ontogenetic stages of *Triticum aestivum* L. seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 181, 345-352. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.06.026
- Wang, Y., Pan, C., Chu, W., Vipin, A. K., & Sun, L. (2019). Environmental remediation applications of carbon nanotubes and graphene oxide: adsorption and catalysis. *Nanomaterials*, 9, 439. DOI: 10.3390/nano9030439

- Yang, Y., Zhang, R., Zhang, X., Chen, Z., Wang, H., & Li, P. C. H. (2022). Effects of graphene oxide on plant growth: A Review. *Plants*, 11, 2826. DOI: 10.3390/plants11212826
- Yin, L., Wang, Z., Wang, S., Xu, W., & Bao, H. (2018). Effects of graphene oxide and/or Cd²⁺ on seed germination, seedling growth, and uptake to Cd²⁺ in solution culture. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229, 151. DOI: 10.1007/s11270-018-3809-y
- Zhang, M., Gao, B., Chen, J., & Li, Y. (2015). Effects of graphene on seed germination and seedling growth. *Journal of Nanoparticle Research*, 17, 1-8. DOI: 10.1007/s11051-015-2885-9
- Zhang, P., Gao, B., Chen, J., & Li, Y. (2020). Graphene oxide-induced pH alteration, iron overload, and subsequent oxidative damage in rice (*Oryza sativa* L.): A new mechanism of nanomaterial phytotoxicity. *Environmental Science & Technology*, 54, 3181-3190. DOI: 10.1021/acs.est.9b05794
- Zhao, D., Fang, Z., Tang, Y., & Tao, J. (2020). Graphene oxide as an effective soil water retention agent can confer drought stress tolerance to *Paeonia ostii* without toxicity. *Environmental Science & Technology*, 54, 8269-8279. DOI: 10.1021/acs.est.0c02040
- Zhao, S., Wang, W., Chen, X., Gao, Y., Wu, X., Ding, M., & Duo, L. (2023). Graphene oxide affected root growth, anatomy, and nutrient uptake in alfalfa. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 250, 114483. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2022.114483
- Zhao, S., Zhu, X., Mou, M., Wang, Z., & Duo, L. (2022). Assessment of graphene oxide toxicity on the growth and nutrient levels of white clover (*Trifolium repens* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 234, 113399. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2022.113399
- Zhu, X. G., Zhao, S. L., & Duo, L. A. (2020). Effects of graphene oxide on the physiological and ecological characteristics of *Medicago sativa*. *Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition)*, 40, 33-37.

Germinação de sementes de *Solanum sessiliflorum* Dunal sob efeito da embebição com ácido giberélico

 10.46420/9786585756280cap11

Natália Gabriella Silva 
Patricia da Costa Zonetti 
Suzana Stefanello 

INTRODUÇÃO

O cubiu ou maná-cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) é uma planta arbustiva com 1,0 a 2,0 m de altura, pertencente à Família Solanaceae, nativa da Amazônia e domesticada por populações indígenas (Silva Filho, 1998). Os frutos são carnosos, possuem tamanho e formato variável (Silva Filho et al., 2003), de amadurecimento não-climatérico (Stefanello et al., 2010) possuindo numerosas sementes com 3,2 a 4,0 mm de comprimento (Silva Filho et al., 2012).

O cubiu é uma hortaliça-fruto utilizada comumente na região amazônica, seus frutos são ácidos, ricos em nutrientes (Serenó et al., 2018), fibras, vitaminas, principalmente a vitamina C, aminoácidos, dentre outros compostos benéficos a saúde humana (Andrade Júnior et al., 2017). Os frutos podem ser consumidos *in natura* ou utilizados de múltiplas formas como em sucos, doces, geleias, pães, ensopados, caldeiradas com peixe dentre vários outros (Ribeiro & Durigan, 2018; Sereno et al., 2022).

Dalenogare et al. (2022) confirmaram a ação antioxidante e anti-inflamatória do cubiu na cicatrização de feridas cutâneas. Estudos recentes realizados por Vargas-Arana et al. (2024) com uma bebida elaborada a partir da polpa dos frutos de cubiu evidenciaram elevada atividade antioxidante e alto teor de carotenos totais, além de efeito hipolipemiante podendo ser uma alternativa para o tratamento de aterosclerose e prevenção de doenças cardiovasculares.

Após a difusão do conhecimento sobre a espécie pelos pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas (INPA), a planta tornou-se conhecida e vem sendo cultivada em todas as regiões brasileiras onde as condições ambientais favorecem o seu cultivo (Silva Filho et al., 2012). Na região Sul há relatos do seu cultivo nos estados de Santa Catarina e no litoral do Paraná (Brancher & Tagliari, 2004; Sereno et al., 2017).

Pelo fato do cubiu ser uma planta rústica e de boa produtividade, constitui uma boa oportunidade de renda principalmente para a agricultura familiar, podendo inclusive ser utilizada em sistemas agroflorestais (Silva Filho et al., 2012). A propagação de *Solanum sessiliflorum* ocorre via sementes, porém pode apresentar germinação desuniforme. Quando em condições favoráveis de temperatura e umidade, a germinação do cubiu ocorre a partir do sétimo dia após a semeadura e se estende até 40 dias (Silva Filho

et al., 2012). Devido a esta heterogeneidade do período germinativo, estudos que visem o melhor entendimento da fisiologia e qualidade da semente são de fundamental importância para a espécie.

A utilização de reguladores de crescimento na fase de germinação pode acelerar e uniformizar a germinação e melhorar o desempenho das plântulas mesmo em condições adversas. A pré-embebição das sementes com água ou ácido giberélico (AG) tem sido uma alternativa promissora para aumentar a velocidade e a porcentagem de germinação (Aragão et al., 2003; Marinho et al., 2021). A giberelina estimula o processo de germinação ativando o crescimento do embrião, atuando também na liberação de reservas e assim proporcionando melhoria no desempenho das plântulas (Taiz et al., 2017).

O conhecimento das condições que interferem na germinação uniforme das sementes é de fundamental importância para fins de semeadura, pois o desenvolvimento homogêneo de plântulas promove um crescimento mais uniforme das mudas no campo. A realização de estudos de germinação das sementes após o tratamento com diferentes concentrações de ácido giberélico e em ambiente controlado pode auxiliar na elucidação das exigências do processo germinativo. Desta forma, o presente trabalho avaliou o efeito da embebição com diferentes concentrações de ácido giberélico na germinação de sementes e no crescimento das plântulas de *Solanum sessiliflorum*.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Fisiologia e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Palotina, PR. As sementes de cubiu foram coletadas de frutos maduros da variedade “Thais” obtidos de plantas cultivadas no município de Toledo, PR. Após a coleta das sementes no mês de maio de 2021, as mesmas foram armazenadas em refrigerador (± 4 °C) em sacos de papel Kraft por 12 meses.

Foi testado o efeito da imersão das sementes por 1 hora em quatro concentrações de ácido giberélico (AG): 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 g L⁻¹ e também a imersão em água destilada por igual período, além do controle sem nenhum tratamento. As sementes foram postas para germinar em caixas gerbox contendo duas folhas de papel para germinação, umedecidas 2,5 vezes a massa com água destilada. O delineamento foi inteiramente casualizado e cada tratamento contou com 4 repetições contendo 12 sementes cada, permanecendo em câmara de germinação (B.O.D), com fotoperíodo de 12 h de luz e temperatura de 25 ± 3 °C.

A germinação foi acompanhada diariamente e o papel de germinação foi umedecido com água destilada a cada verificação, sendo considerada germinada a semente que apresentou a protrusão da raiz primária com cerca de 2,0 mm.

As sementes foram avaliadas quanto à porcentagem de germinação (%G); o índice de velocidade de germinação (IVG); comprimento da raiz primária (CR); comprimento da parte aérea (PA); biomassa fresca (BF) e biomassa seca (BS).

A porcentagem de germinação foi obtida pela fórmula proposta nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009), calculada pela Equação 1:

$$G = (N/100) \times 100 \quad (1)$$

onde N = número de sementes germinadas ao final do teste.

O índice de velocidade de germinação (IVG) foi calculado utilizando os dados diários do número de plântulas com a protrusão da radícula, empregando-se a Equação 2, a postulada por Maguire (1962) em que:

$$IVG = N1/D1 + N2/D2 + \dots + Nn/Dn \quad (2)$$

onde: N1, N2 e Nn = número de plântulas germinadas aos 1, 2 e n dias após a implantação do teste; D1, D2 e Dn = número de dias após a montagem do teste.

Para as medidas do comprimento da parte aérea e da raiz das plântulas foi utilizada régua milimetrada. A avaliação de biomassa foi realizada após o término do experimento onde as plântulas frescas foram pesadas e colocadas em pacotes de papel Kraft, secas em estufa a 40 °C durante três dias. Após a secagem o material foi aferido para avaliar a diferença entre a massa fresca e a massa seca.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e os tratamentos comparados pelo teste Scott-Knott (p -valor $\leq 0,05$), sendo utilizado o software Sisvar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A germinação iniciou no 5º dia após a instalação do experimento nas sementes embebidas com 1,5 g L⁻¹ de AG e no 6º dia nas tratadas com 1,0 g L⁻¹ e 2,0 g L⁻¹ de AG. As sementes do grupo controle e embebidas em água demoraram mais para iniciar a germinação. O pico de germinação ocorreu no 8º dia e a estabilização (Figura 1).

A embebição das sementes com ácido giberélico, independente da concentração, influenciou a porcentagem de germinação, sendo significativamente superior ao controle e a embebição apenas com água, de modo que o percentual de germinação foi 34% maior na presença do ácido giberélico (Figura 2A). De modo similar Sandoval Paixão et al. (2021) relataram efeito positivo do tratamento de sementes de mamoeiro com ácido giberélico na germinação e crescimento inicial das plântulas, recomendando a utilização de 2 g L⁻¹ para a cultura. Marinho et al. (2021) também evidenciaram que a pré-embebição de sementes de milho com baixo vigor com 0,4 g L⁻¹ de ácido giberélico favoreceu o desempenho fisiológico das sementes avaliadas, aumentando o percentual de germinação.

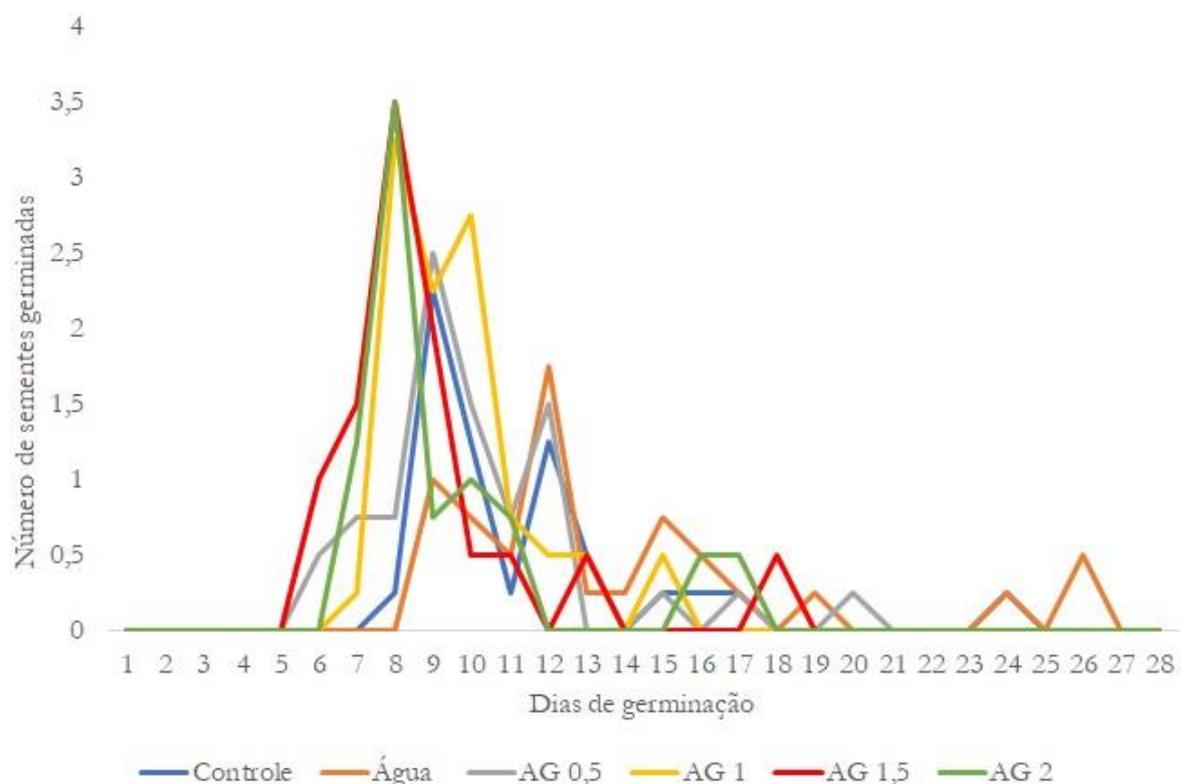


Figura 1. Número de sementes de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) germinadas por dia. Tratamentos com concentrações de ácido giberélico (AG): 0,5 g L⁻¹ (AG 0,5), 1,0 g L⁻¹ (AG 1), 1,5 g L⁻¹ (AG 1,5) e 2,0 g L⁻¹ (AG 2), imersão em água destilada (água), sem tratamento (controle). Fonte: os autores.

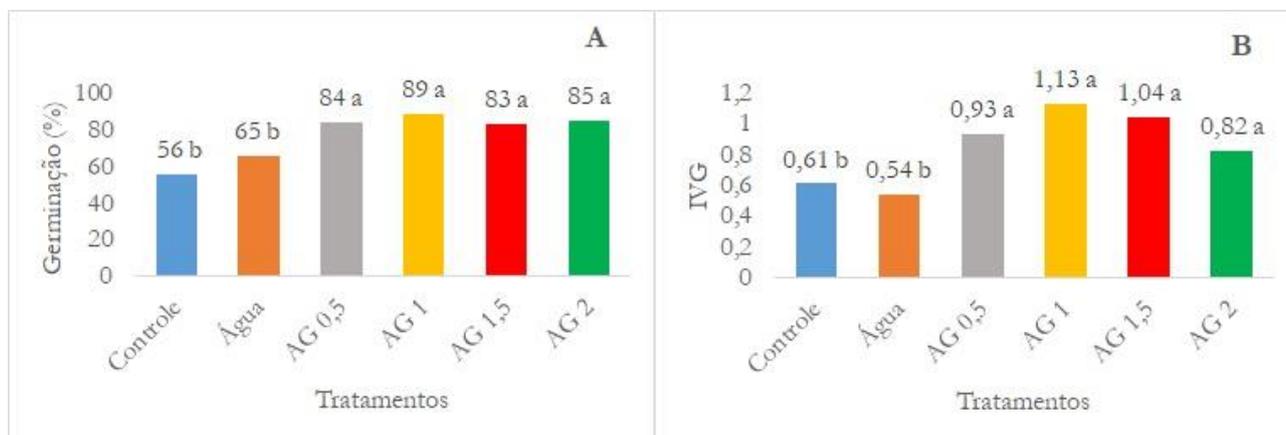


Figura 2. Percentual de germinação (A) e Índice de Velocidade de Germinação - IVG (B) do cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) nos diferentes tratamentos. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p -valor \leq 0,05). Fonte: os autores.

De modo similar, houve diferença significativa entre os tratamentos também para o índice de velocidade de germinação das sementes de cubiu (Figura 2B), onde a germinação foi mais rápida com a imersão das sementes no ácido giberélico em comparação ao controle e a imersão em água. Da mesma forma Ferreira, Erig & Moro (2002), também observaram incremento significativo do IVG quando as

sementes de fruta-do-conde foram embebidas por 5 horas em solução contendo $0,2 \text{ g L}^{-1}$ de ácido giberélico.

Para outras espécies da mesma família botânica do cubiu como tomate-arbóreo (*Solanum betaceum* Cav.) o ácido giberélico também foi benéfico para a germinação, tendo promovido a quebra da dormência fisiológica ocasionada pela ausência de promotores da germinação (Kosera Neto et al., 2015). Os autores relataram que o tratamento das sementes por 20 minutos com ácido giberélico ($0,3 \text{ g L}^{-1}$) juntamente com o tratamento com luz acelerou o processo germinativo proporcionando maiores valores de IVG. Cutti & Kulckzynski (2016) também observaram incremento no IVG após o tratamento com ácido giberélico de sementes de jurubeba (*Solanum torvum* Sw.), espécie usada como porta-enxerto de outras solanáceas como berinjela e tomate. O IVG representa a germinação por unidade de tempo, sendo que quanto maior o valor do índice, mais uniforme é a germinação.

A embebição das sementes com ácido giberélico proporcionou maiores incrementos na parte aérea das plântulas de cubiu, a qual aumentou conforme o aumento da concentração de ácido giberélico sendo significativamente superior na concentração de $2,0 \text{ g L}^{-1}$ diferindo dos demais tratamentos (Figura 3A). Com relação ao comprimento da raiz primária, apesar de pequenos incrementos com a embebição com o ácido giberélico, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos (Figura 3B).

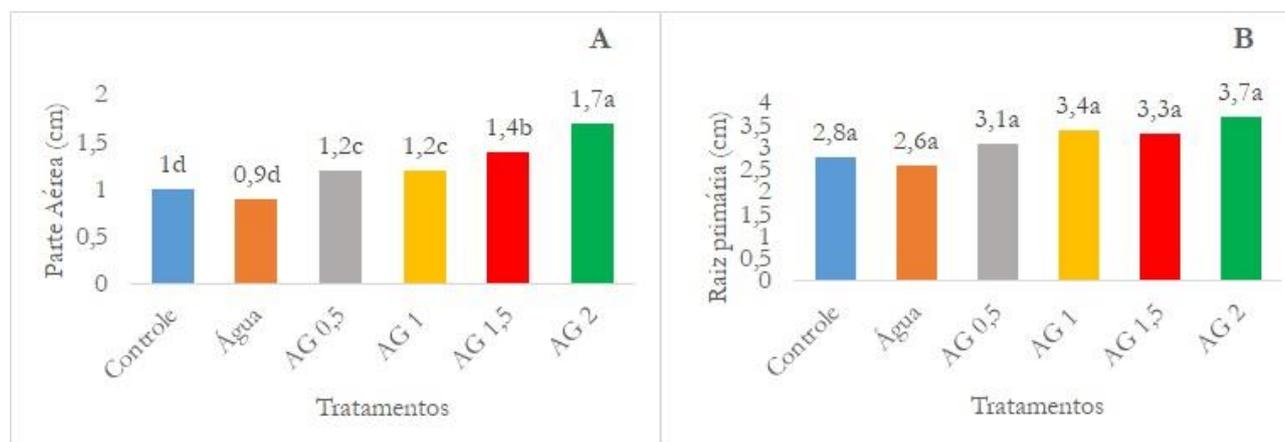


Figura 3. Comprimento da parte aérea (A) e da raiz primária (B) de plântulas de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) nos diferentes tratamentos. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p\text{-valor} \leq 0,05$). Fonte: os autores.

De acordo com os resultados obtidos não houve diferença significativa entre os tratamentos para a biomassa fresca e tão pouco para a biomassa seca das plântulas. Observa-se no presente trabalho que ocorreu alongamento do caule, ou seja, incremento da parte aérea com a imersão das sementes em ácido giberélico, contudo sem influência na biomassa seca. Vale ressaltar que com a estabilização da germinação as plântulas formadas continham apenas as folhas cotiledonares sem formação de novas folhas. Quando os estudos são realizados por períodos mais prolongados, observando-se o efeito do ácido giberélico sobre a emergência de plantas como os realizados recentemente por Ortelan et al. (2023) com sementes

de caramboleira (*Averrhoa carambola* L.), além do efeito positivo na emergência e desenvolvimento de plântulas obtidas a partir de sementes tratadas com ácido giberélico (1,0 g L⁻¹), observa-se também incremento na produção de massa de folhas e raízes.

Conforme observado no presente trabalho, a embebição das sementes com ácido giberélico acelerou a germinação e em dosagens mais elevadas promoveu o alongamento da parte aérea. Isto porque o ácido giberélico tem atividades biológicas intrínsecas nas plantas, agindo sobre o alongamento celular que acontece devido a indução do alongamento do entrenó em plântulas (Taiz et al., 2017).

Estudos como este, com a embebição das sementes em ácido giberélico, permitem melhorar a qualidade fisiológica das plântulas e a uniformidade das plantas em condições no campo. O ácido giberélico estimula a síntese de enzimas como a alfa-amilase, que permite assim a quebra do amido e consequente liberação de energia no processo respiratório seguido da retomada do crescimento do embrião, estimulando o alongamento celular, gerando a protusão da radícula e acelerando a germinação (Taiz et al., 2017).

CONCLUSÃO

O tratamento das sementes de cubiu com ácido giberélico mostrou-se eficiente para melhorar a porcentagem e a velocidade de germinação atuando de forma positiva na aceleração e uniformidade da germinação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade Júnior, M. A., Andrade, J. S., Costa, S. S., & Leite, E. A. S. (2017). Nutrients of cubiu fruits (*Solanum sessiliflorum* Dunal, Solanaceae) as a function of tissues and ripening stages. *Journal of Food and Nutrition Research*, 5(9), 674-683. DOI: 10.12691/jfnr-5-9-7
- Aragão, C. A., Dantas, B. F., Alves, E., Cataneo, A. C., Cavariani, C., & Nakagawa, J. (2003). Atividade amilolítica e qualidade fisiológica de sementes armazenadas de milho super doce tratadas com ácido giberélico. *Revista Brasileira de Sementes*, 25(1), 43-48. DOI: 10.1590/S0101-31222003000100008
- Brancher, A., & Tagliari, P. S. (2004). Cubiu: uma fruta amazônica no litoral catarinense. *Agropecuária Catarinense*, 17(1), 43-45.
- Brasil (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS. 399p.
- Cutti, L., & Kulckzynski, S. M. (2016). Treatment of *Solanum torvum* seeds improves germination in a batch-dependent manner. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46(4), 464-469. DOI: 10.1590/1983-40632016v4643134
- Dalenogare, J. F., Vencato, M. S., Montagner, G. F. F. S., Duarte, T., Duarte, M. M. M. F., Campanogara, C., Oliveira, S. M., Veiga, M. L., Rocha, M. I. U. M., Pavanato, M. A., & Bauermann, L. F. (2022). Toxicity, anti-inflammatory, and antioxidant activities of cubiu (*Solanum sessiliflorum*) and its

- interaction with magnetic field in the skin wound healing. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 1-12. DOI: 10.1155/2022/7562569
- Ferreira, G., Erig, P. R., & Moro, E. (2002). Uso de ácido giberélico em sementes de fruta-do-conde (*Annona squamosa* L.) visando à produção de mudas em diferentes embalagens. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24(1), 178-182. DOI: 10.1590/S0100-29452002000100039
- Kosera Neto, C., Fabiane, K. C., Radaelli, J. C., Wagner Júnior, A., & Moura, G. C. (2015). Métodos para superação de dormência em sementes de tomateiro arbóreo (*Solanum betaceum*). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 45(4), 420-425. DOI: 10.1590/1983-40632015v45i37332
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination and in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, 176-177. DOI: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x
- Marinho, J. de L., Sartori, A. V. de S., Rodrigues, E. J., Bazzo, J. H. B., Ferreira, A. S., & Zucareli, C. (2021). Pre-soaking with gibberellin in sweet corn seed lots with different levels of vigor. *Semina: Ciências Agrárias*, 42(2), 539–552. DOI: 10.5433/1679-0359.2021v42n2p539
- Ortelan, A. P., Loriato, A. C., Paixão, M. V. S., Donadia, G. F., Zanotti, K. D., & Fernandes, A. R. (2023). Gibberellic acid in the emergence and early development of star fruit seedlings. *Diversitas Journal*, 8(2), 656-663. DOI: 10.48017/dj.v8i2.2460
- Ribeiro, T. P. S., & Durigan, M. F. B. (2018). Produtos alimentícios a base de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) como oportunidade a agroindústria. *Revista Ambiente: Gestão e Desenvolvimento*, 11(1), 241-250. DOI: 10.24979/162
- Sandoval Paixão, M. V., Grobério, R. B. C., Hoffay, A. C. N., Correa, A. C., & Cremonini, G. M. (2021). Ácido giberélico na germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de mamoeiro. *Agrotrópica*, 33(2), 143-148. DOI: 10.21757/0103-3816.2021v33n2p143-148
- Sereno, A. B. (2017). Caracterização físico-química e potencial antioxidante do maná-cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) cultivado na Mata Atlântica do estado do Paraná. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Alimentação e Nutrição, Setor de Ciências da Saúde. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 102 p.
- Sereno, A. B., Bampi, M., Santos, I. E., Ferreira, S. M. R., Bertin, R. L., & Krüger, C. C. H. (2018). Mineral profile, carotenoids and composition of cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal), a wild Brazilian fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*, 72, 32-38. DOI: 10.1016/j.jfca.2018.06.001
- Sereno, A. B., Santos, I. E. dos., Hauser, A. B., Gibbert, L., Bampi, M., Pinto, C. D., Bertin, R. L., & Kruger, C. C. H. (2022). Development and acceptability of breads added with cocona flour (*Solanum sessiliflorum* Dunal): impact on the glycemic index. *Research, Society and Development*, 11(3), e28111326294. DOI: 10.33448/rsd-v11i3.26294
- Silva Filho, D. F. (1998). Cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal): cultivo y utilizacion. Caracas: Secretaria Pro-Tempore - Tratado de Cooperación Amazónica, 114p.

- Silva Filho, D. F., Noda, H., Yuyama, K., Yuyama, L. K. O., Aguiar, J. P. L., & Machado, F. M. (2003). Cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal): uma planta medicinal nativa da Amazônia em processo de seleção para o cultivo em Manaus, Amazonas, Brasil. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 5(2), 65-70.
- Silva Filho, D. F., Machado, F. M., Noda, H., Yuyama, L. K. O., Aguiar, J. P. L., & Souza, V. G. (2012). Cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal): aspectos agronômicos e nutricionais. INPA, Manaus, 39p.
- Stefanello, S., Schuelter, A. R., Scapim, C. A., Finger, F. L., Pereira, G. M., Bonato, C. M., Rocha, A. C. S., & Silva, J. M. (2010). Amadurecimento de frutos de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) tratados com Etefon. *Acta Amazonica*, 40(3), 425-434. DOI: 10.1590/S0044-59672010000300003
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 888p.
- Vargas-Arana, G., Merino-Zegarra, C., Alva-Arévalo, A., Panduro-Bendezú, P., Orbe-Peixoto, R., & Simirgiotis, M. J. (2024). Physicochemical properties, metabolomic analysis, antioxidante and lipid-lowering activity of a functional beverage based on cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 23(2), 304-325. DOI: 10.37360/blacpma.24.23.2.21

Morfologia das sementes e sua relação com a presença de *Fusarium* spp.

 10.46420/9786585756280cap12

Priscila Barbieri Zini 
Janine Farias Menegaes 
Raquel Stefanello 
Ubirajara Russi Nunes 

INTRODUÇÃO

A semente é um ser vivo que assegura a continuação das mais diversas espécies vegetais. Além disso, é considerada um insumo básico na produção agrícola, correspondendo a 90% dos alimentos (Menten, 2017). No entanto, pode ser considerada como uma importante via de disseminação dos mais diversos patógenos, responsáveis por doenças de importância econômica acentuada.

No Brasil, diversos patógenos foram introduzidos e estabelecidos via transmissão de sementes. Pode-se citar a *Phomopsis phaseoli* f. sp. *Meridionalis*, causadora do cancro da haste em soja [*Glycine max* (L.) Merrill]; *Bipolaris maydis* Raça T, responsável pela helmintosporiose em milho (*Zea mays* L.) e *Plasmopara halstedii* causadora do míldio em girassol (*Helianthus annuus* L.) (Menten, 2017).

Os fitopatógenos quando associados as sementes têm um período de longevidade muito grande em condições normais de armazenamento. O período em que vírus, bactérias, nematoides e fungos podem ficar associados as sementes foram relatados por Neergaard (1977), indicando que para *Fusarium verticillioides*, que é parasita do milho, esse período pode chegar a oito anos.

Diversas são as formas que os patógenos podem se associar as sementes. Entre elas pode-se destacar a contaminação externa por materiais infectados (principalmente se forem patógenos de solo), transmissão interna, quando o patógeno se encontra no embrião, tegumento ou endosperma das sementes. E pode ocorrer quando a semente apresenta algum dano mecânico, seja ele por fatores abióticos, ou mecânicos, como danos no momento da colheita, por exemplo.

Quando há a disseminação do patógeno por meio do endosperma, a semente ao entrar em contato com o solo encontra condições ideais para o início do desenvolvimento da doença. As espécies vegetais de importância agrícola apresentam diferenças quanto ao tipo de endosperma, e isso reflete a predisposição à infecção dos mais diferentes microrganismos patogênicos.

Como muitas espécies de patógenos são agressivas, principalmente as do gênero *Fusarium*, que acarretam perdas no estande de plântulas inicial da lavoura, o entendimento das formas de transmissão é

um fator importante quando se busca alternativas de controle e produção de sementes com elevada qualidade fisiológica.

Compreender as relações de transmissão de patógenos através das sementes é importante quando se visa a produção de sementes de qualidade e redução do inóculo de doenças. Assim, a presente revisão busca discutir os aspectos envolvidos na transmissão de fungos em sementes, com ênfase para fungos do gênero *Fusarium*, e sua relação com o tipo de endosperma.

***Fusarium* spp.: características principais**

As espécies do gênero *Fusarium*, de acordo com Index Fungorum (2020) fazem parte do reino Fungi, divisão Ascomycota, subdivisão Pezizomycotina, classe Sordariomycetes, subclasse Hypocreomycetidae, ordem Hypocreales, família Nectriaceae. As espécies dessa divisão fúngica constituem cerca de mais de 60 mil espécies descritas, que exercem funções de saprofitismo ou parasitismo, causando diversos tipos de doenças em plantas. Os ascomicetos da ordem Hypocreales geralmente apresentam seu esporodóquio de coloração viva, alaranjada ou avermelhada, podendo ser identificados visualmente (Massola Jr. & Krugner, 2011).

As espécies de *Fusarium* (Figura 1) estão normalmente associadas a murchas vasculares e a deterioração das sementes (Massola Jr. & Krugner, 2011).

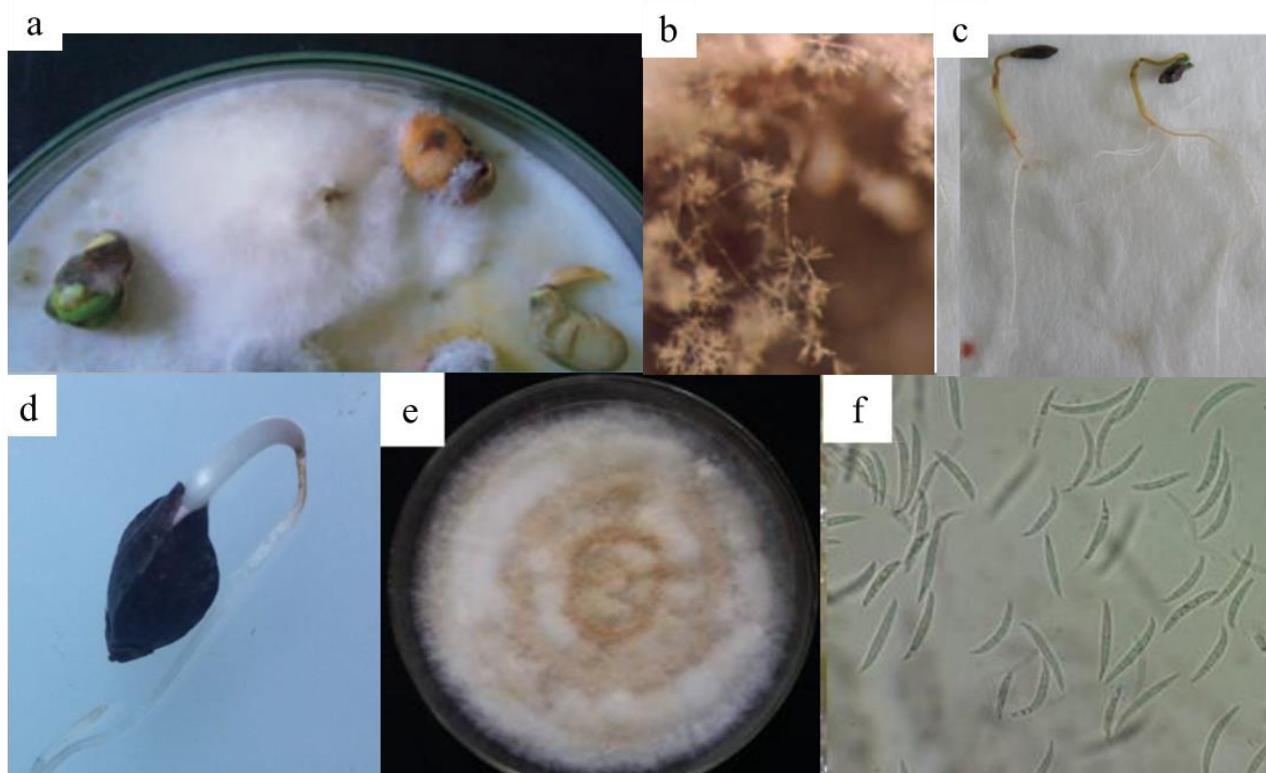


Figura 1. *Fusarium semitectum* em sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) (a e b) Foto: adaptado de Brasil (2009b). *Fusarium* spp. em trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) plântulas infectadas em rolo de papel (c), visão em lupa do colo da plântula infectado (d), cultura em meio BDA (e) e esporodóquio em meio FCA (f). Foto: Zini et al. (2022).

As ocorrências foram relatadas em erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. ST. Hil) causando podridão radicular (*F. solani* e *F. oxysporum*) (Poletto et al., 2012), em soja como o causador da podridão vermelha das raízes (*F. tucumaniae*) (Arruda et al., 2005), e em trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench), causando podridão radicular (*Fusarium* spp) (Morral & Mckenzie, 1975) e murcha em plântulas (*F. oxysporum*) (Nyvall et al., 1989). Pode-se verificar que há uma alta variabilidade de espécies de *Fusarium* e uma especificidade em relação ao hospedeiro, e por isso a agressividade do patógeno é variável de acordo com a espécie e a planta hospedeira.

Algumas espécies de *Fusarium* também são responsáveis por produzir metabólitos secundários (micotoxinas), que causam danos em humanos e animais quando ingeridas sementes infectadas (Vesonder & Golinski, 1989). Em uma revisão elaborada por Wei e Wu (2020) foram encontrados 162 novos metabólitos secundários do gênero *Fusarium*, que incluíam alcaloides, terpenos, peptídeos e esteróides. Através desse bioensaio, verificou-se que a maioria dos metabólitos exibiram atividades biológicas significativas, como ação antibacteriana, atividade antifúngica, anti-inflamatória e antioxidante. Além disso, muitas espécies desse gênero exercem função entomopatogênica no controle de pragas de importância agrícola. De acordo com Santos et al. (2020), avaliando a atividade entomopatogênica de espécies de *Fusarium*, concluíram que a maioria dos patógenos de insetos encontram-se nos complexos *Fusarium incarnatum-equiseti*, *F. Fujikuroi*, *F. solani* e *F. oxysporum*. Espécies desses complexos exercem ação contra insetos das ordens Blattodea, Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Orthoptera e Thysanoptera.

Por exercer uma ampla habilidade saprofítica e serem parasitas de diversas culturas, as espécies desse gênero se adaptam as mais diferentes regiões, possuindo uma ampla variedade geográfica. Um estudo realizado por Alotaibi et al. (2020), investigando as populações microbianas do solo da Arábia Saudita, verificaram por meio da análise molecular, que espécies fúngicas tinham maior diversidade do que as bacterianas, indicando que os fungos tinham a capacidade de resistir a condições extremas de temperatura. Entre as espécies encontradas estavam algumas do gênero *Fusarium*.

Em virtude disso, quando se pensa em controle de doenças causadas por patógenos de solo, uma das alternativas que se tem é a rotação das áreas de cultivo, uma vez que essas espécies possuem mecanismos de resistência e sobrevivem no solo até encontrarem um novo hospedeiro para se reproduzir. A outra forma é garantir a sanidade das sementes utilizadas, pois quando em contato com esse tipo de patógeno, as sementes funcionam como via de disseminação dos esporos em cultivos subsequentes. Assim, pode-se dizer que a qualidade sanitária das sementes utilizadas é o ponto chave do manejo de doenças causadas por fungos de solo. A compreensão da morfologia das sementes e suas particularidades de acordo com a espécie é um método para prever o comportamento da ação de patógenos do gênero *Fusarium*, através das formas de contaminação e infecção das sementes.

Endosperma das sementes e relação com a infecção por Fusarium spp.

O endosperma das sementes é um tecido de reserva, cuja principal função é suprir os nutrientes essenciais do embrião, e em alguns casos suprir a plântula (Costa et al., 2011). Isso pode ser observado em espécies agrônômicas da família Fabaceae [soja, feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)], onde o endosperma é parcialmente ou totalmente absorvido durante o desenvolvimento da semente em favor dos cotilédones. Além de sua função principal, o endosperma também mantém um gradiente de pressão osmótica, que previne a germinação precoce da semente em desenvolvimento (Aquila, 2004).

As angiospermas, que representam o maior número de espécies cultivadas com potencial agrícola, sofrem um processo chamado de dupla fecundação, onde o resultado é uma semente cujo embrião é diploide (2n), e o endosperma triploide (3n) (Nunes, 2016). Nas espécies leguminosas por exemplo, o embrião se desenvolve bastante e acumula todo o endosperma, utilizando os tecidos cotiledonares para o acúmulo de substâncias. Por não apresentarem endosperma são denominadas exalbuminosas (Barroso et al., 1999). Para as Poaceae, as reservas da semente encontram-se fora dos cotilédones, indicando a presença de endosperma. Essas espécies podem ser denominadas de albuminosas (Brasil, 2009a).

Quanto a sua textura, o tecido endospermático pode ser classificado como farinhoso, carnosos, gelatinoso, córneo ou crasso. Isso implica diretamente no grau de dificuldade que a semente impõe às ações externas, como danos mecânicos no momento da colheita ou por fatores abióticos.

Em virtude disso, o processo de formação de uma semente está sujeito a ação de vários efeitos ambientais, que podem acarretar a perda do vigor e da germinação. Entre os fatores que causam alterações no processo de formação das sementes estão fatores abióticos como precipitação, temperatura do ar e umidade do solo. Em situações de estresse hídrico no momento de enchimento das sementes ocorre má deposição de amido nas células do endosperma, enquanto em situações de altas temperaturas observa-se uma redução no tempo em que a semente deveria estar em processo de enchimento (Marcos Filho, 2015). Esses estresses causam danos aos tegumentos das sementes, deixando-as predispostas ao ataque de fungos.

Por outro lado, os danos também podem ser manifestados no momento de colheita e armazenamento. Períodos de umedecimento com posterior secagem das sementes provocam a deterioração dos tecidos, assim como um armazenamento inadequado, sem o controle de temperatura e umidade. Isso permite que as sementes mantenham os processos respiratórios sem acumulação de fotoassimilados, degradando as membranas e facilitando a entrada de microrganismos que podem desencadear doenças nas sementes (Marcos Filho, 2015; Nunes, 2016).

Em trabalho mostrando os fatores bióticos e abióticos que estão envolvidos na perda da qualidade fisiológica das sementes, Alzugaray et al. (2007) destacaram que a alteração de períodos secos e chuvosos, combinados com variações térmicas podem causar danos aos tegumentos seminais e isso favorece a entrada de patógenos para os tecidos do endosperma. Esse fator mostrou-se positivamente

correlacionado com infecções por *Alternaria* e *Fusarium*, sendo que para o último ocorreu a diminuição do poder germinativo.

Essas relações podem ser ilustradas na Figura 2, que mostra a alteração das membranas de uma semente quando submetida a estresses abióticos e a associação de patógenos oportunistas que aproveitam para causar infecções, dentre eles *Fusarium* spp. Nesse contexto, o tipo de endosperma encontra-se diretamente relacionado com a facilidade que o fungo vai ter em colonizar ou não os tecidos das sementes.

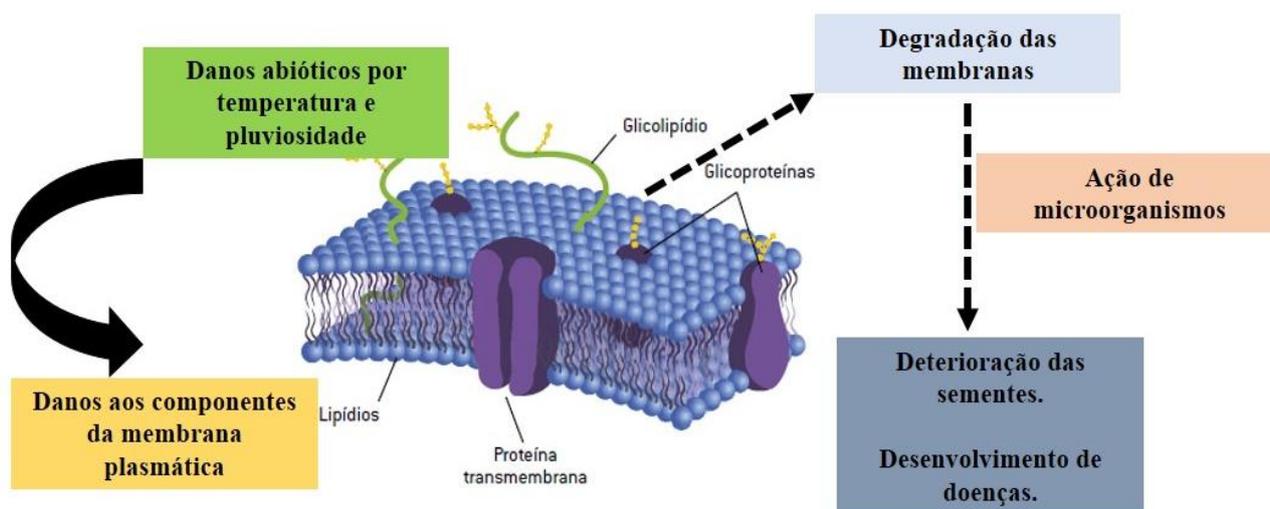


Figura 2. Efeito das causas abióticas no tegumento das sementes e sua relação com a presença de fungos. Fonte: Zini (2021).

A qualidade física das sementes, determinada pelo nível de dano mecânico também está associada a suscetibilidade da semente quando atacada por patógenos. Isso é muito comum em sementes de soja, pois durante a colheita ou trilha das sementes, podem ocorrer rupturas no tegumento, pelo fato de ser um tegumento mais fino e sensível à ação mecânica. Muitos agentes patogênicos aproveitam desse fator para se desenvolver, o que pode refletir na perda da viabilidade das sementes (França-Neto & Krzyzanowski, 2018). A Figura 3 ilustra como tais ações podem acontecer. Uma vez que a semente se encontra danificada isso se torna um meio de infecção para fungos, visto que eles se aproveitam das reservas da semente para sua reprodução e multiplicação.

A sensibilidade ao dano mecânico é variável de acordo com o tipo de endosperma das sementes, e isso está associado a predisposição ao ataque de patógenos. Entende-se que endospermas mais densos e vítreos dificultam a colonização de determinados patógenos. Para sementes de milho crioulo, Oliveira et al. (2009) verificaram que quanto mais denso e vítreo era o endosperma, maior deveria ser a força empregada na ruptura da semente, indicando que as variedades de milho crioulo com endosperma macio deveriam apresentar maior contaminação por *Fusarium* spp. As considerações a respeito desse trabalho podem ser extrapoladas para outros cultivos agrícolas. Assim, a suscetibilidade a dano mecânico de

endospermas macios é maior quando comparada a endospermas vítreos e duros, e esse fator se torna muito importante quando se visa reduzir a contaminação de fungos em sementes, como *Fusarium*.

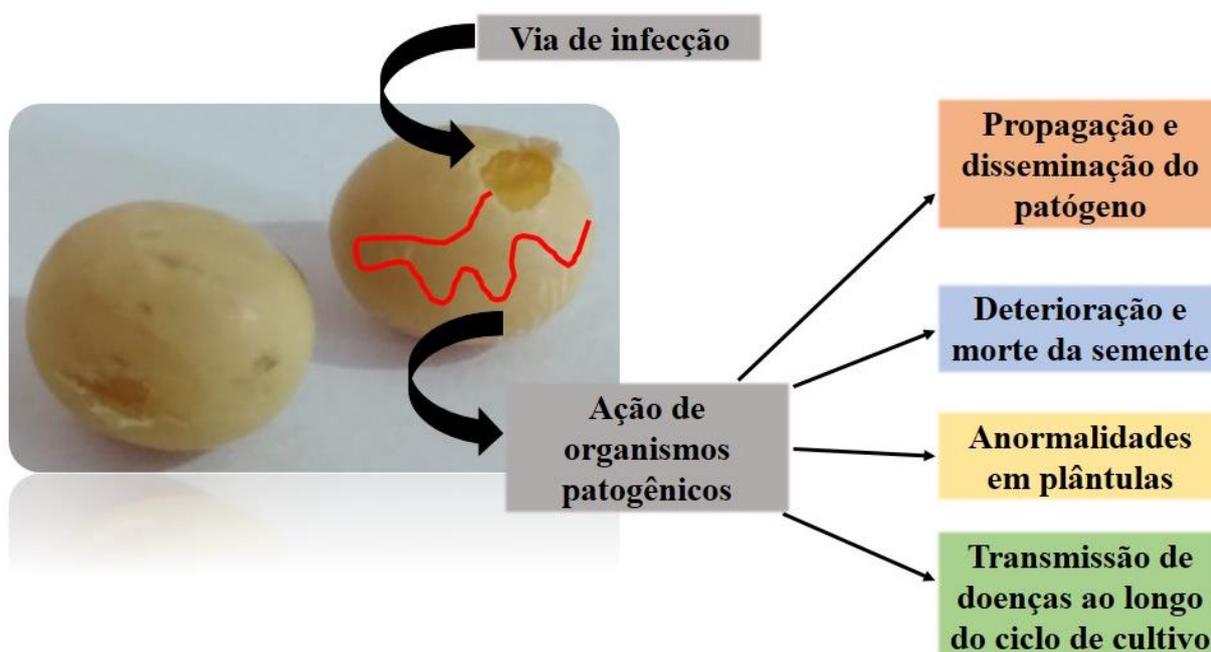


Figura 3. Danos mecânicos em sementes como via de entrada para fungos. Fonte: Zini (2021).

No entanto, nem sempre uma alta incidência de fungos vai refletir na redução de vigor e germinação. Segundo Carvalho (1997), a presença de patógenos nas sementes precisa ser observada sob duas perspectivas. A primeira é de que o dano causado pela presença de patógenos é restrito apenas a redução de rendimento, sem haver perda na viabilidade das sementes. Enquanto a segunda refere-se aos efeitos danosos da colonização do patógeno no embrião das sementes, implicando diretamente em redução do vigor e da germinação. Assim, além de verificar a presença de patógenos é necessário verificar a magnitude dos danos e compreender as relações de causa e infecção dos patógenos.

Visando explorar as relações entre os danos mecânicos nas sementes e o grau de infecção dos patógenos, Zapotoczny et al. (2020), testaram luz polarizada para detectar infecções fúngicas em grãos de cevada (*Hordeum vulgare* L.). O princípio do teste é de quando em contato com a luz, a imagem de uma semente sem infecção é muito mais clara e brilhante quando comparada a uma semente infectada. Assim, concluíram que a microscopia de luz polarizada é um método eficiente na discriminação de sementes infectadas das não infectadas, podendo ser usada para desenvolver um sistema barato para determinar a gravidade das infecções de grãos causadas por vários patógenos.

A morfologia das sementes de espécies de importância agrícola é um ponto muito importante quando se busca a compreensão dos fatores envolvidos na disseminação de patógenos. Esse estudo

permite desenvolver técnicas de manejo para o controle de doenças das mais diversas disseminadas por fungos via sementes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As espécies vegetais exibem particularidades quanto ao seu processo de formação e composição de suas sementes. Entretanto, as que exibem o tecido endospermático macio apresentam maior predisposição ao ataque de patógenos, como *Fusarium* spp. O entendimento da morfologia das sementes e sua relação como via de transmissão de patógenos agressivos é um fator importante na busca por medidas de controle de doenças e propagação de patógenos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alotaibi, M., Sonbol, H. S., Alwakeel, S. S., Suliman, R. S., Fodah, R. A., Abu Jaffal, A. S., AlOthman, N. I., & Mohammed, A. E. (2020). Microbial diversity of some sabkha and desert sites in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(10), 2778-2789. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.06.038
- Alzugaray, C., Névida, J., Carnevale, N. J., Salinas, A. R., & Pioli, R. (2007). Factores bióticos y abióticos que afectan la calidad de las semillas de *Schinopsis balansae* Engl. y *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlttdl. *Revista Iberoamericana de Micología*, 24, 142-147. DOI: 10.1016/S1130-1406(07)70030-X
- Aquila, M. E. A. (2004). Tipos de diásporos e suas origens. In: Ferreira, A. G., & Borghetti, F. (Orgs.). *Germinação: do básico ao aplicado*. Porto Alegre, Ed. Artmed. p. 69-92.
- Arruda, G. M. T., Miller, R. N. G., Ferreira, M. A. S. V., & Café-Filho, A. C. (2005). Morphological and molecular characterization of the sudden death syndrome pathogen of soybean in Brazil. *Plant Pathology*, 54, 53-65. DOI: 10.1111/j.1365-3059.2005.01116.x
- Barroso, G. M., Morim, M. P., Peixoto, A. L., & Ichaso, C. L. F. (1999). **Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas**. Viçosa: UFV. 443p.
- Brasil (2009a). Glossário ilustrado de morfologia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2009a. 406 p.
- Brasil (2009b). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de Análise Sanitária de Sementes. Brasília: MAPA. 200p.
- Carvalho, M. V. (1997). Ocorrência, contágio e associação em sementes de milho (*Zea mays* L.). 65 f. Dissertação (Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- Costa, C. J., Zimmer, P. D., & Villela, F. A. (2011). Base celular da origem e desenvolvimento do endosperma. *Revista Científica Rural*, 13(1), 226-246.

- França-Neto, J. B., & Krzyzanowski, F. C. (2018). Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja. EMPRAPA Soja, 109p.
- Index Fungorum. (2020). Disponível em <<http://www.indexfungorum.org>>. Acesso em: 24 de julho de 2020.
- Marcos Filho, J. (2015). Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: ABRATES, 660 p.
- Massola Jr., N. S., & Krugner, T. L. (2011). Fungos fitopatogênicos. Manual de fitopatologia: princípios e conceitos. Agronômica Ceres: São Paulo. 704p.
- Menten, J. O. M. (2017). Prejuízos causados por patógenos associados às sementes. Piracicaba: ESALQ, 38p.
- Morrall, R. A. A., & Mckenzie, D. L. (1975). Diseases of specialty crops in Saskatchewan: 1. Notes on buckwheat and sunflower 1972-73. Canadian Plant Disease Survey, 55, 69-72.
- Neergaard, P. (1977). Seed Pathology. Macmillan: Universidade Cornell. 1191p.
- Nunes, J. L. S. (2016). Tecnologia de sementes – Patologia. Disponível em <https://www.agrolink.com.br/sementes/tecnologia-sementes/patologia_361341.html>. Acesso em: 24 de julho de 2020.
- Nyvall, R. F. (1989). Diseases of buckwheat. In: Nyvall, R. F. (Org.). Field Crop Diseases Handbook. Springer: US, p. 87–89.
- Oliveira, T. R., Jaccoud-Filho, D. S., Henneberg, L. Michel, M. D., Demiate, I. M., Pinto, A. T. B., Machinski Junior, M., & Barana, A. C. (2009). Maize (*Zea mays* L) landraces from the southern region of Brazil: contamination by *Fusarium* sp, zearalenone, physical and mechanical characteristics of the kernels. Brazilian Archives of Biology and Technology, 52, 11-16. DOI: 10.1590/S1516-89132009000700002
- Poletto, I., Lupatini, Muniz, M. F. B., & Antonioli, Z. I. (2012). Caracterização e patogenicidade de isolados de *Fusarium* spp. causadores de podridão-de-raízes em erva-mate. Floresta, 42(1), 95-104. DOI: 10.5380/rf.v42i1.26305
- Santos, A. C. A., Diniz, A. G., Tiago, P. V., & Oliveira, N. T. (2020). Entomopathogenic *Fusarium* species: a review of their potential for the biological control of insects, implications and prospects. British Mycological Society, 34(1), 41-57.
- Vesonder, R. F., & Golinski, P. (1989). Metabolite of *Fusarium*. Chelkowski, J. (Org.). *Fusarium*, mycotoxins, taxonomy and pathogenicity. Elsevier Scientific Publishers: Amsterdam. 39p.
- Wei, J., & Wu, B. (2020). Chemistry and bioactivities of secondary metabolites from the genus *Fusarium*. Fitoterapia, 146, 104638. DOI: 10.1016/j.fitote.2020.104638
- Zapotoczny, P., Reiner, J., Mrzyglód, M., & Lampa, P. (2020). The use of polarized light and image analysis in evaluations of the severity of fungal infection in barley grain. Computers and Electronics in Agriculture, 169. DOI: 10.1016/j.compag.2019.105154

- Zini, P. B. (2021). Testes rápidos na avaliação do vigor e qualidade sanitária de sementes de trigo mourisco. 77f. Tese (Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Zini, P. B. (2022). Buckwheat seed quality and pathogenicity of *Fusarium* spp. in plants. *Journal of Seed Science*, 44, 1-13. DOI: 10.1590/2317-1545v44256994

Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de cártamo armazenadas por diferentes períodos

 10.46420/9786585756280cap13

Janine Farias Menegaes 

Fernanda Alice Antonello Londero Backes 

Rogério Antônio Bellé 

Ubirajara Russi Nunes 

INTRODUÇÃO

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), popularmente conhecido como açafão-bastardo, alazor, kusum, honghua, saflor e safflower, entre outros (Figura 1). O nome cártamo origina da palavra “Carthamus” deriva do hebraico “Kartami”, que significa tingir. Referência ao corante vermelho, laranja e amarelo extraído de suas flores secas, que é basicamente constituído por cartamina e seus derivados, sendo empregados, como, corante natural (Coronado, 2010; Oelke et al., 1992).

Pertence à família Asteraceae, originário da Ásia, é considerada uma das mais antigas culturas agrícolas, sendo cultivada para diversos fins, desde corante alimentício, artesanal, cosmético e têxtil, extração de óleo alimentar, medicinal e biodiesel, arraçamento animal, a hastes florais para ornamentação (Emongor & Oagile, 2017; Kinupp & Lorenzi, 2014; Menegaes et al., 2019a; 2019b).

No oriente, as hastes florais são ofertadas em ritos religiosos a Deusa da longevidade, riqueza e prosperidade, devido à utilização do chá da planta de cártamo, em virtude de suas propriedades medicinais tratarem os sistemas cardíaco, nervoso e estomacal, respectivamente. A espécie de cártamo possui grande importância econômica, especialmente, nos países asiáticos com 51,5% da produção mundial, sendo sua produção é destinada para a extração de óleo (medicinal e biodiesel), sendo a Índia o principal centro de pesquisa desta espécie, com institutos e banco nacional de germoplasma (Dajue & Mundel, 1996; FAOSTAT, 2017; Singh & Nimbkar; 2006).

As sementes de cártamo estão entre as maiores culturas oleaginosas em nível mundial destinada à produção de biodiesel, dados médios das safras de 2007 a 2012, o cártamo está classificado em oitava posição, com cultivo em mais de 60 países, em virtude da boa adaptabilidade as diferentes condições climáticas, com área de aproximadamente um milhão de hectares e produtividade média de 882 kg ha⁻¹ (FAOSTAT, 2017; Rai et al., 2016).

Contudo, apesar, do destaque e do investimento internacional, o cultivo de cártamo no Brasil ainda é incipiente. Pesquisas iniciais de melhoramento em cártamo indicam a espécie como alternativa de cultivo na entressafra, especialmente para a produção de sementes. Introduzido no sul do país, na década de 1990, como planta ornamental, atualmente, a produção de hastes florais de cártamo tem sido reduzida

gradualmente, em virtude da grande incidência de fitopatógenos em todo ciclo produtivo (Santos et al., 2015; Menegaes et al., 2019a; 2021).

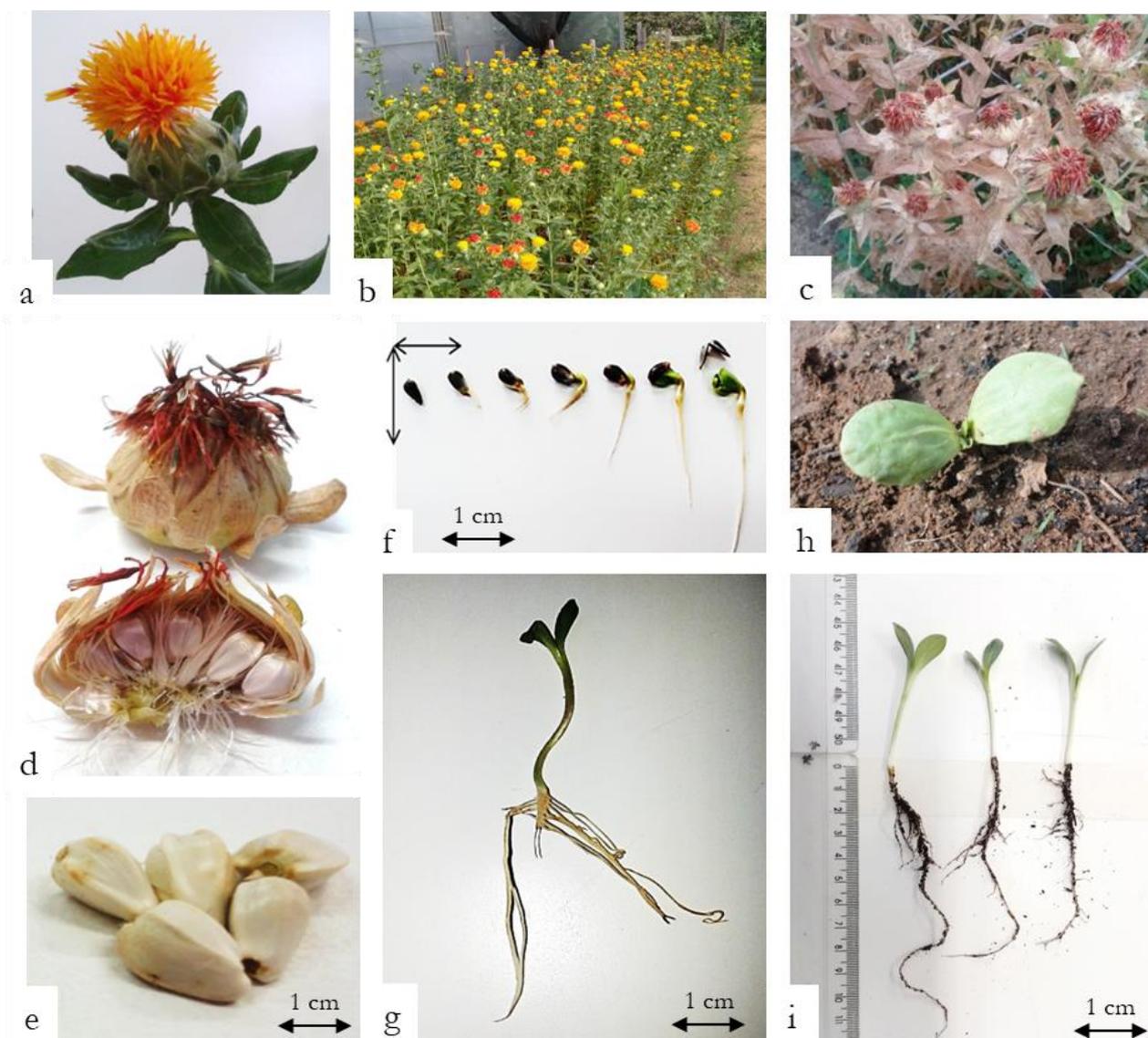


Figura 1. Cártamo (*Carthamus tinctorius* L.). Inflorescência em capítulo fechado (a), pleno florescimento (b), final do florescimento (c), capítulo seco (d), sementes (d), processo de germinação aos 3 dias após a semeadura (DAS; f), plântula aos 7 DAS (g), emergência no campo (h) e plântulas emergidas no campo 10 DAS (i). Fonte: os autores.

Os atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários determinam a qualidade da semente em originar plantas de alta produtividade e, ao longo do tempo esses atributos vão se modificando. Sendo o período de armazenamento das sementes fundamental para que essa qualidade seja mantida sem comprometer o teor de água (umidade de secagem), ou mesmo possibilitar a presença e ação de fitopatógenos e insetos, entre outros (Carvalho & Nakagawa, 2012; Marcos-Filho, 2015).

Todavia, o período de armazenamento deve ser adequado a cada espécie para que não haja deterioração das sementes ocorre em virtude das condições de estocagem, em que esse processo afete negativamente a qualidade fisiológica evidenciados durante a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas (José et al., 2010). Deste modo, o objetivo foi avaliar a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de cártamo armazenadas por diferentes períodos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Didático e de Pesquisa em Sementes e no Setor de Floricultura, ambos do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizado em Santa Maria, RS (29°43' S; 53°43' W e altitude de 95m). O clima na região é subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen-Geiger, com precipitação média anual acumulada de 1.769 mm, temperatura média anual próxima de 19,2 °C e umidade do ar em torno de 78,4% (Alvares et al., 2013).

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com seis lotes de sementes de cártamo da cultivar Lasting Orange armazenadas por diferentes períodos de 0, 2, 4, 6, 8 e 10 anos a partir da colheita, nos respectivos anos: 2018, 2016, 2014, 2012, 2010 e 2008. As colheitas ocorreram nos meses de fevereiro de cada ano antes citado, onde cada lote de sementes, em seus respectivos anos, foi armazenado com grau médio de umidade de 8,0% e germinação média de 75%, em embalagens Kraft papel (tipo pardo de 1,0 kg), em câmara fria (15 °C e 40% UR), com quatro repetições, sendo cada unidade experimental composta de 50 sementes. Os lotes de sementes foram cultivados na área experimental do Setor de Floricultura, nos anos supracitados.

As sementes foram avaliadas pelos testes:

Teste padrão de germinação (TPG): as sementes foram distribuídas em rolo de papel de germinação, umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos foram mantidos em germinador tipo B.O.D. (Box Organism Development), com fotoperíodo de 24 h e temperatura de 25±2 °C (Brasil, 2009a). As avaliações de germinação foram aos quatro e aos 14 DAS, e os resultados expressos em percentagem de plântulas normais. Para o índice de velocidade de germinação (IVG) (Maguire, 1962) e para o tempo médio de germinação (TMG; dias) (Furbeck et al., 1993) foram realizadas avaliações diárias germinação até aos quatro DAS. Utilizou-se como critério a germinação de plântulas normais, as que apresentaram alongamento da raiz primária e emergência dos cotilédones (Brasil, 2009a; Abud et al., 2010).

Comprimento e massa seca de plântula: as sementes foram mantidas na mesma condição do TPG, aos quatro DAS foram medidos o comprimento total da plântula incluindo a parte aérea e a radícula de dez plântulas normais de cada repetição, utilizando régua milimetrada. Na sequência determinou-se massa seca total por secagem do material em estufa de ventilação forçada a 65±5 °C por 48 h e na sequência aferida a massa em balança digital (precisão de 0,001 g) (Nakagawa, 2020).

Emergência no campo: as sementes foram distribuídas em linhas de 1 m, espaçadas a 0,2 m e com profundidade de 0,03 m, avaliação final aos 14 DAS, com resultados expressos em percentagem de emergência de plântulas. Para o índice de velocidade de emergência (IVE) foi realizado com avaliações diárias conforme a metodologia de Maguire (1962) utilizou-se como critério o desenvolvimento completo dos cotilédones e epicótilo (Abud et al., 2010).

Para as variáveis de germinação e emergência as plântulas no campo, utilizou-se como referência a Instrução Normativa n.º. 45/2013 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para a cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.), por pertencer à mesma família botânica do cártamo (Asteraceae), sendo exigidos valores de 65-70% de germinação para a comercialização de sementes (Brasil, 2013).

Teste de sanidade: as sementes foram distribuídas em caixas plásticas transparentes para germinação em substrato de papel (Blotter Test) umedecido com água destilada correspondente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Inibiu-se a germinação das sementes por congelamento de 24 h à temperatura de 06 ± 1 °C, na sequência as caixas foram mantidas em B.O.D., por cinco dias com fotoperíodo de 12 h de luz e 12 h de escuro à temperatura de 20 ± 2 ° C (Brasil, 2009b). Foram avaliadas em lupa (microscópio estereoscópio) com a identificação dos fitopatógenos em nível de gênero, e os resultados expressos em percentagem de sementes infestadas totais (SIT).

Frequência relativa de germinação (Fr): foi determinada pela metodologia de Labouriau e Valadares (1976), expressa na Equação 1:

$$Fr = \frac{\sum ni}{\sum ni} = 1 \quad (1)$$

em que Fr é a frequência relativa de germinação; ni o número de sementes germinadas por dia; $\sum ni$ é o número total de sementes germinadas.

Entropia (índice de sincronização de germinação): foi determinada pela metodologia adaptada de Labouriau e Valadares (1976), expressa na Equação 2:

$$E = \sum fi \cdot \log_2 \cdot frki = 1 \quad (2)$$

em que: E é a entropia informacional (bits); fr é a frequência relativa de germinação; e log₂ o logaritmo na base 2.

Os dados expressos em percentagem foram transformados em $\arcsen \sqrt{x}/100$ (arco-seno). Análises de variância (ANOVA) dos dados e a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), foram realizadas com o auxílio do programa SISVAR (Ferreira, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, observa-se que a massa de mil sementes (MMS) de cártamo obteve uma variação ao longo do período de armazenamento, com média geral de 38,9 g e o grau de umidade (GRU) foi em média de 8,0% para todos os períodos de armazenamento. De acordo com Fortes et al. (2008), apontam

que a massa de mil sementes e o grau de umidade são variáveis conforme o lote e o tempo de armazenamento em câmaras frias.

O período de armazenamento proporcionou a redução da germinação primeira contagem (PCG) chegando a 0% e a germinação (GER) aos 14 DAS de 5% aos 10 anos de armazenamento. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), na legislação e padrões estabelecidos pela IN n.º 45/2013, caracteriza para um lote de sementes ser comercial ter no mínimo 65% de germinação (Brasil, 2013). Em nosso, experimento verificamos que a espécie de cártamo mantém esse percentual até quatro anos de armazenamento, depois há a aceleração da deterioração das sementes. Isso pode ser explicado pela oxidação do óleo presente nas sementes, no caso do cártamo pode chegar até 38%.

Observou-se que houve um aumento percentual das plântulas anormais danificadas (PAD), plântulas anormais infestadas (PAI), sementes duras (SD) e sementes mortas (SM), em destaque aos 10 anos de armazenamento com 81% de SM, isso é explicado pela alta oxidação das sementes, confirmando pelo baixo valor do índice de velocidade de germinação (IVG). Já em relação do tempo médio de germinação (TMG) não houve diferença estatística com média geral de 2,9 dias.

Segundo Menegaes et al. (2021), estudando diferentes condições de conservação e períodos de armazenamento de sementes de cártamo, verificaram redução das percentagens de germinação e de emergência de plântulas (ECP), além do IVE e culminando com o aumento do TME. Corroborando com Marcos-Filho (2015), o qual exemplifica que o desenvolvimento inicial das plântulas, especialmente, é expresso pela taxa de emergência (potencial fisiológico) que pode ser relacionado com a adaptação e a interação das sementes com as condições climáticas as quais foram expostas.

O potencial fisiológico das plântulas verificado pelas médias gerais dos comprimentos radiculares (CPR) e parte área de plântula (CPA) de 6,4 e 1,9 cm, nesta ordem. Bem como, as massas secas radiculares (MSR) e de parte área (MSPA) foram de 0,020 e 0,149 g pl⁻¹, respectivamente, em ambos houve pouca diferença ao longo dos períodos de armazenamento.

Em relação a emergências das plântulas no campo (EMG), observou-se que houve uma maior expressão percentual no período de zero ano de armazenamento, tendo uma pequena variação entre o segundo ao sexto ano de armazenamento, com média acima de 60%. Contudo, o índice de velocidade de emergência (IVE) assim como o IVG foi reduzindo ao longo dos períodos confirmando a deterioração das sementes, tendo 11,3 dias de tempo médio de emergência (TME).

Tabela 1. Massa de mil sementes (MMS; g), grau de umidade (GRU; %), primeira contagem (PCG; %), germinação (GER; %), plântulas anormais danificadas (PAD; %), plântulas anormais infestadas (PAI; %), sementes duras (SD; %), sementes mortas (SM; %), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG; dias), comprimento radicular de plântula (CPR; cm), comprimento de parte área de plântula (CPA; cm), massa seca radicular (MSR; g pl⁻¹), massa seca de parte área (MSPA; g pl⁻¹) e emergência de plântulas (EMG; %), índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME; dias), entropia (bits) de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) armazenadas em diferentes períodos. Fonte: os autores.

Período de armazenamento (anos)	MMS (g)	GRU (%)	PCG (%)	GER (%)	PAD (%)	PAI (%)
0	39,9 ab*	8,82 a*	51 a*	76 a*	11 b*	5 d*
2	36,1 c	6,76 c	50 a	77 a	9 bc	9 c
4	38,8 b	7,63 b	38 b	68 b	12 b	4 d
6	41,8 a	8,30 a	47 a	50 c	18 a	12 b
8	38,4 b	8,75 a	21 c	32 d	5 c	18 a
10	38,7 b	7,76 b	0 d	5 e	0 d	0 e
MD	38,9	8,0	34	51	9	8
CV (%)	5,59	6,64	9,93	9,32	11,11	13,31
	SD (%)	SM (%)	IVG	TMG (dias)	CPR (cm)	CPA (cm)
0	6 c*	2 d*	42,354 b*	2,8 ^{ns}	7,1 a*	2,2 a*
2	2 d	5 d	50,875 a	2,8	6,8 a	2,1 a
4	10 b	6 d	34,113 c	2,9	6,4 b	1,9 a
6	5 c	15 c	29,250 d	3,2	6,9 a	2,0 a
8	7 c	39 b	14,375 e	2,8	5,7 b	1,6 b
10	14 a	81 a	4,458 f	2,6	5,5 b	1,6 b
MD	7	25	29,238	2,9	6,4	1,9
CV (%)	9,63	20,58	9,68	4,00	7,23	8,88
	MSR (g pl ⁻¹)	MSPA (g pl ⁻¹)	EMG (%)	IVE	TME (dias)	Entropia (bits)
0	0,019 ^{ns}	0,160 ^{ns}	80 a*	26,820 a*	11,5 b*	0,667 d*
2	0,023	0,170	68 b	27,189 a	10,5 c	4,612 c
4	0,022	0,170	64 b	20,551 b	11,7 b	8,979 b
6	0,021	0,150	66 b	28,625 a	10,4 c	9,177 b
8	0,017	0,124	36 c	15,779 c	10,4 c	9,341 b
10	0,017	0,119	2 d	0,645 d	13,4 a	11,262 a
MD	0,020	0,149	53	19,935	11,3	7,340
CV (%)	9,33	10,47	36,49	33,60	6,55	36,59

* efeito significativo e ^{ns} efeito não significativo. Teste de médias não seguidas pela letra diferem pelo teste de Tukey (p≤0,05). MD: média. CV: coeficiente de variação.

Verificou-se que a sincronização da germinação pela entropia foi muito diversa entre os períodos de armazenamento o que com o aumento do seu valor indica prejuízos a germinabilidade das sementes de cártamo (Tabela 1). Em que percebemos aos 10 anos de armazenamento a média foi 11,262 bits para 5% de germinação. Onde a deterioração das sementes de cártamo são confirmadas pelas frequências relativas de plântulas emergidas (Figura 2), em não há similaridade dos picos de emergência, mesmo com

11,3 dias de TME. De acordo com Menegaes et al. (2018; 2019c) que atribuíram as coincidências dos picos de germinação de duas espécies de celosias (*Celosia argentea* L. e *C. cristata* L.) tanto as submetidas a diferentes condições de temperatura e luz, quando as submetidas a diferentes períodos de armazenamento, ao potencial fisiológico das sementes.

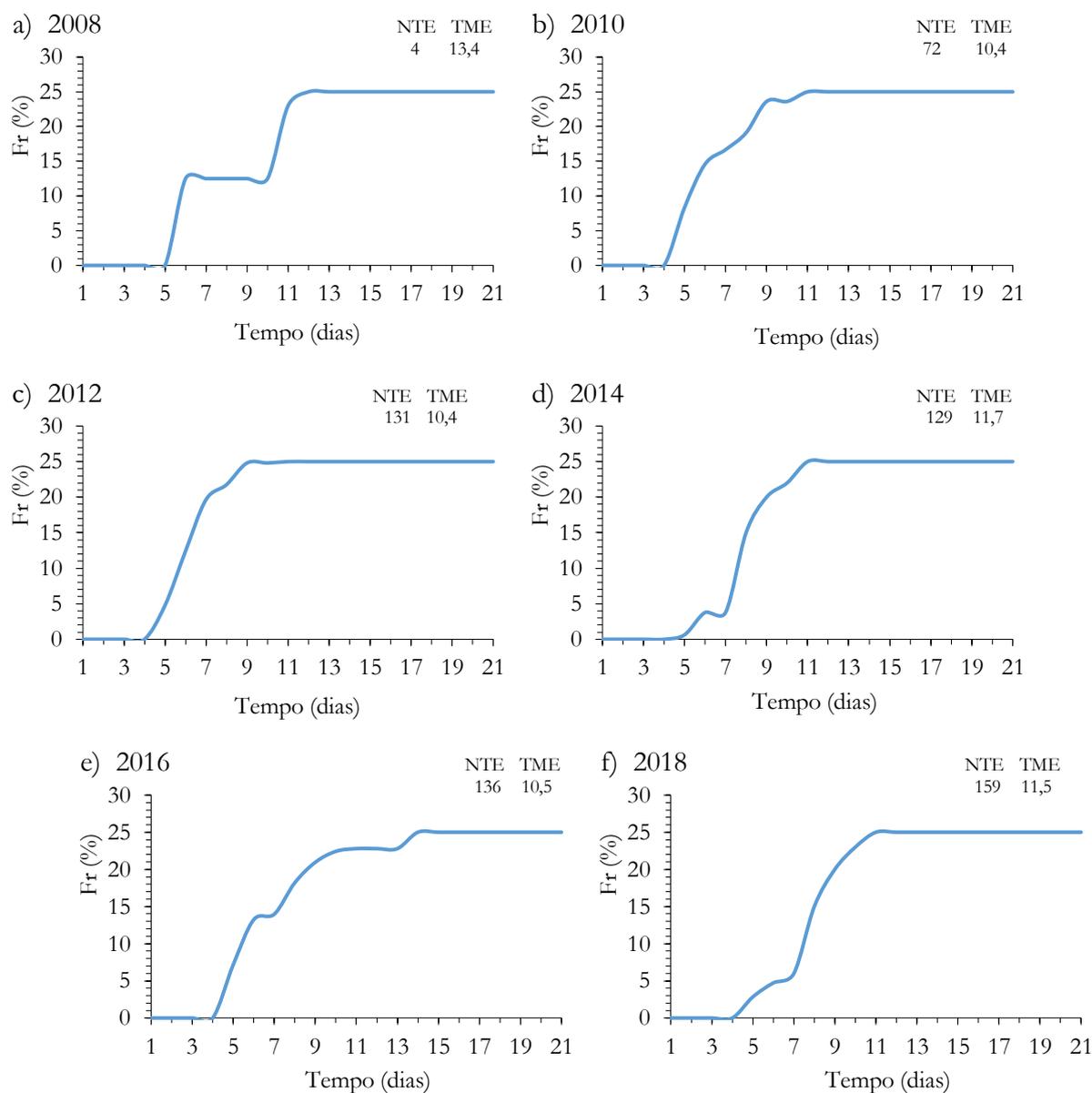


Figura 2. Frequências relativas (Fr; %) de plântulas emergidas de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) armazenadas em diferentes períodos. NTE: número total de plântulas emergidas (unidades) e TME: tempo médio de emergência (dias). Fonte: os autores.

Na Tabela 2, expõe a incidência, em porcentagem, os fitopatógenos sobre as sementes de cártamo ao longo dos diferentes períodos de armazenamento. Observou-se que as sementes infestadas totais (SIT) foram aumentando percentual ao longo desses períodos, chegando a 84% de infestação.

Tabela 2. Sementes infestadas totais (SIT; %), *Alternaria* spp. (%), *Aspergillus* spp. (%), *Botrytis* spp. (%), *Cladosporium* spp. (%), *Colletotrichum* spp. (%), *Fusarium* spp. (%), *Penicillium* sp. (%) e *Sclerotinia* spp. (%) de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) armazenadas em diferentes períodos. Fonte: os autores.

Período de armazenamento	SIT (%)	<i>Alternaria</i> spp. (%)	<i>Aspergillus</i> spp. (%)
0	46 c*	0 ^{ns}	30 b*
2	74 b	3	9 b
4	77 b	0	55 a
6	73 b	4	4 d
8	82 a	1	7 c
10	84 a	0	11 b
MD	73	1	19
CV (%)	10,48	88,86	67,56
	<i>Botrytis</i> spp. (%)	<i>Cladosporium</i> spp. (%)	<i>Colletotrichum</i> spp. (%)
0	5 c*	19 a*	13 a*
2	30 a	1 b	4 b
4	13 b	0 c	7 b
6	17 b	2 b	2 b
8	20 b	6 b	0 c
10	29 a	2 b	3 b
MD	19	5	5
CV (%)	32,49	82,94	60,46
	<i>Fusarium</i> spp. (%)	<i>Penicillium</i> spp. (%)	<i>Sclerotinia</i> spp. (%)
0	10 e*	14 c*	9 ^{ns}
2	24 c	22 b	7
4	18 d	0 d	7
6	44 a	25 b	1
8	37 b	26 b	4
10	17 d	37 a	1
MD	25	21	5
CV (%)	34,98	37,45	50,40

* efeito significativo e ^{ns} efeito não significativo. Teste de médias não seguidas pela letra diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). MD: média. CV: coeficiente de variação.

Onde os fitopatógenos de maior incidência identificados foram os dos gêneros: *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp., *Botrytis* spp., *Cladosporium* spp., *Colletotrichum* spp., *Fusarium* spp., *Penicillium* spp. e *Sclerotinia* spp., observou-se que houve uma grande variação das ocorrências de infestação por gênero, sendo comum nos testes de sanidade.

De acordo com Girardi et al. (2013), os autores verificaram alta incidência dos fitopatógenos em sementes de cártamo colhidos em diferentes períodos de maturação, sendo os de maior incidência foram dos gêneros *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp. e *Penicillium* spp. Já Coronado (2010) atribui *Botrytis* como os fitopatógenos que mais contribuem para a deterioração das sementes depreciando seu potencial fisiológico, sendo a maior ocorrência durante a fase de florescimento. A Figura 3, demonstra capulhos (inflorescência) e as sementes de cártamo com e sem qualidade a presença de fitopatógenos do gênero *Botrytis* spp. indicando sementes sem qualidade sanitária e fisiológica.



Figura 2. Inflorescências (capulhos) e sementes de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) com (a) e sem (b) a presença de fitopatógenos do gênero *Botrytis* spp. Fonte: os autores.

CONCLUSÃO

A qualidade fisiológica e sanitária de sementes de cártamo armazenadas foi afetada negativamente pelos diferentes períodos de armazenamento, sendo recomendado até quatro anos de armazenamento nas nossas condições experimentais. Após esse período há oxidação extrema dos teores de óleos presentes nas sementes acelerando sua deterioração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abud, H. F. et al. (2010). Morfologia de sementes e plântulas de cártamos. *Revista Ciência Agronômica*, 41(2), 259-265.
- Alvares, C. A. et al. (2013). Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (1), 711–728.

- Brasil (2009a). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA. 399p.
- Brasil (2009b). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de Análise Sanitária de Sementes. Brasília: MAPA. 200p.
- Brasil (2013). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 45. Brasília. MAPA. 38p.
- Carvalho, N. M., & Nakagawa, J. (2000). Sementes: ciência, tecnologia e produção. Jaboticabal: FUNEP. 429p.
- Coronado L (2010). M. El cultivo del cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en México. Obregon: SGI. 96p.
- Dajue, L. & Mundel, H. H. (1996). Safflower - *Carthamus tinctorius* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 7. Rome: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute. 83p.
- Emorgon, V. & Oagile, O. (2017). Safflower production. Botswana: The Regional Universities Forum for Capacity Building in Agriculture - RUFORUM. 67p.
- FAOSTAT. Food And Agriculture Organization. (2017). Crops: Safflower. 2017. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 02/03/2019.
- Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: A guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. Ciência e Agrotecnologia, 38(2), 109-112. DOI: 10.1590/S1413-70542014000200001
- Furbeck, S. M. et al. (1993). Relationship of seed and germination measurements with resistance to seed weathering cotton. Seed Science and Technology, 21(3), 505-512.
- Galant, N. B. et al. (2015). Melhoramento de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.). Acta Iguazu, 4(1), 14-25. DOI: 10.48075/actaiguaz.v4i1.12418
- Girardi, L. B. et al. (2013). Qualidade de sementes de cártamo colhidas em diferentes períodos de maturação. Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambiental, 11(1), 67-73.
- José, S. C. B. R. et al; (2010). Armazenamento de sementes de girassol em temperaturas subzero: aspectos fisiológicos e bioquímicos. Revista Brasileira de Sementes, 32(4), 029-038. DOI: 10.1590/S0101-31222010000400004
- Kinupp, V. F. & Lorenzi, H. (2014). Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil – guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 768p.
- Labouriau, L. G., & Valadares, M. E. B. (1976). On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 48(2), 263-284.
- Machado, J. C. (2000). Tratamento de sementes no controle de doenças. Lavras: UFLA. 138 p.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science, 2(2), 176-177.
- Marcos-Filho, J. (2015). Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: ABRATES, 660 p.

- Menegaes, J. F. et al. (2018). Photoblastic and temperatures in the germination of cockscomb seeds. *Ornamental Horticulture*, 24(4), 408-414. DOI: 10.14295/oh.v24i4.1233
- Menegaes, J. F. et al. (2019a). Thermotherapy via humid heat for the treatment of safflower seeds. *Journal of Agricultural Science*, 11(11), 30-40. DOI:10.5539/jas.v11n11p30
- Menegaes, J. F. et al. (2019b). Physiological and sanitary quality of safflower seeds under different seed treatments. *Journal of Agricultural Studies*, 17(4), 282-296. DOI: 10.5296/jas.v7i4.15563
- Menegaes, J. F. et al. (2019c). Physiological and sanitary quality of cockscomb seeds stored for different periods. *Ornamental Horticulture*, 25(1), 34-41. DOI: 10.14295/oh.v25i1.1228
- Menegaes, J. F. et al. (2021). Potencial fitossanitário de sementes de cártamo armazenadas em diferentes condições de conservação e períodos. *Acta Ambiental Catarinense*, 18(1), 169-180. DOI: 10.24021/raac.v18i1.5378
- Nakagawa, J. (2020). Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: Krzyzanowski, F. C., Vieira, R. D., & França Neto, J. B. (Orgs.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES.
- Oelke, E. A. et al. (1992). Safflower. *Alternative Field Crops Manual*. 8p.
- Rai, S. K., Charak, D., & Bharat, R. (2016). Scenario of oilseed crops across the globe. *Plant Archives*, 16(1), 125:132.
- Santos, R. F., & Silva MA (2015). *Carthamus tinctorius* L.: Uma alternativa de cultivo para o Brasil. *Acta Iguazu*, 4(1), 26-35. DOI: 10.48075/actaiguaz.v4i1.12430
- Singh, V., & Nimbkar, N. (2006). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). p.165-194. In: SMITH, J. R. *Safflowerbook*. Champaign: AOCS Publishing. 606p.

Sobre os organizadores



Janine Farias Menegaes

Engenheira Agrônoma e Licenciatura em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Mestre em Engenharia Agrícola pela UFSM. Doutora em Agronomia pela UFSM. Especialista em Educação Ambiental e Pós-doutora em Agronomia pela UFSM. Professora do Departamento de Produção Vegetal - Horticultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) Câmpus Botucatu, SP.



Raquel Stefanello

Graduada em Ciências Biológicas pela UFSM. Mestre em Agronomia pela UFSM. Doutora em Agronomia pela UFSM. Pós-doutora em Agronomia pela UFSM. Bióloga do Departamento de Biologia, UFSM, em Santa Maria, RS.



Ubirajara Russi Nunes

Engenheiro Agrônomo pela UFSM. Mestre em Agronomia pela UFSM. Doutor em Fitotecnia (Produção Vegetal) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor do Departamento de Fitotecnia da UFSM, em Santa Maria, RS. Professor Bolsista CNPq de Produtividade em Pesquisa.

Índice Remissivo

- A**
- Ácido salicílico, 90
Avena sativa, 100, 102, 103, 105, 110, 111, 113, 120, 122, 123
- C**
- Colheita, 17, 50, 51, 55
Cultivares, 81, 83, 84, 85
- D**
- Danos mecânicos, 142
- E**
- Embebição, 56
Espécie forrageira, 128
- F**
- Físico, 14
Fisiologia, 30, 130
Fusarium, 77, 79, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 137, 138, 139, 140, 141, 143, 153, 154
- G**
- Germinação, 18, 50, 60, 71, 78, 129, 132
- M**
- Mancha, 67
- N**
- Nabo, 47, 48
- P**
- Plântulas, 84, 85, 94, 103, 123
- Q**
- Qualidade sanitária, 156
- S**
- Salinidade, 108
Sementes, 6, 9, 13, 21, 29, 30, 48, 49, 56, 57, 60, 62, 68, 70, 77, 83, 85, 120, 131, 136, 148, 153
Solanaceae, 129
Sorgo-sacarino, 89
- T**
- Trifolium resupinatum*, 91, 93, 94, 114, 120, 124
- V**
- Vigor, 17, 49, 50, 60, 61

Oe-book **Sementes: foco em pesquisa sobre qualidade fisiológica e sanitária – volume 2** de publicação da Pantanal Editora, apresenta, em seus treze capítulos, os resultados de pesquisas desenvolvidas ao longo dos últimos anos de várias instituições de ensino como a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) Campus Botucatu, todas com participação direta dos acadêmicos de graduação e de pós-graduação.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br