



**AMANDA CARVALHO PENIDO NARDELLI**

**QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA ARMAZENADAS E  
TRATADAS COM PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS**

**LAVRAS - MG  
2023**

**AMANDA CARVALHO PENIDO NARDELLI**

**QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA ARMAZENADAS E TRATADAS COM  
PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Everson Reis Carvalho  
Orientador

**LAVRAS-MG  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Nardelli, Amanda Carvalho Penido.

Qualidade de sementes de soja armazenadas e tratadas com  
produtos fitossanitários / Amanda Carvalho Penido Nardelli. -  
2023.

115 p. : il.

Orientador(a): Everson Reis Carvalho.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2023.  
Bibliografia.

1. Armazenamento. 2. *Glycine max*. 3. Tratamento de  
sementes. I. Carvalho, Everson Reis. II. Título.

**AMANDA CARVALHO PENIDO NARDELLI**

**QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA ARMAZENADAS E TRATADAS COM  
PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS**

**QUALITY OF SOYBEAN SEEDS STORED AND TREATED WITH  
PHYTOSANITARY PRODUCTS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 16 de fevereiro de 2023.

Dra. Édila Vilela Von Pinho	UFLA
Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires	UFLA
Dra. Thaís de Andrade	PROVIVI BRASIL
Dr. Hugo César Rodrigues Moreira Catão	UFU

Dr. Everson Reis Carvalho  
Orientador

**LAVRAS-MG  
2023**

*A Deus.*

*À minha mãe, Maria José, por ser  
minha maior inspiração para buscar todos os meus sonhos.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ser minha força e proteção, e por estar sempre à frente me guiando na busca por meus sonhos e realizações.

À Universidade Federal de Lavras e à Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL), pela oportunidade e apoio durante toda a minha formação.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia.

Ao meu orientador, prof. Dr. Everson Reis Carvalho, por todos os ensinamentos compartilhados, pelo apoio e confiança em meu trabalho.

Aos demais professores e pesquisadores do Setor de Sementes, Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires, Dra. Édila Vilela de Resende Von Pinho, Dra. Heloisa Oliveira dos Santos e Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa, que muito contribuíram para a minha formação. Obrigada pelo acolhimento, ensinamentos e colaboração diária.

Aos bolsistas de iniciação científica, em especial à Ariela, Elias e Pedro, pela presença constante, sempre proativos e dispostos a ajudar. Agradeço o auxílio na realização do trabalho.

Aos meus amigos e parceiros de equipe, Debora e Venícius, pelo convívio diário e auxílio em todos os experimentos. Obrigada pelo apoio e amizade, a trajetória ao lado de vocês foi mais leve e rica em conhecimentos compartilhados!

Aos colegas e servidores do Setor de Sementes, pela amizade.

À minha mãe, Maria José, por todo o amor, carinho, amizade, e principalmente por ser meu exemplo de fé, esperança, força e garra para enfrentar os desafios e seguir em frente. À minha irmã Carol, pelos momentos compartilhados, amizade e carinho.

Aos meus avós, Gilda, Sebastião, Silvia e Amaury, por todo o amor, carinho e orações. Em especial ao meu avô Amaury, por ser a base de apoio aos meus estudos. Sem seu auxílio, nada seria possível.

Ao meu esposo Pedro, pelo incentivo em todos os momentos, pelo companheirismo, paciência e amor incondicional. Seu carinho e apoio foram fundamentais nessa caminhada!

Às queridas amigas Laís, Debora, Camila, Carol, Angélica, Vivi e Bruna, pela presença constante, amizade, conversas e orações. A caminhada foi mais leve com vocês sempre por perto.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Muito obrigada!

## RESUMO

O armazenamento é fundamental para a garantia da qualidade fisiológica das sementes de soja. Dessa forma, pesquisas nesta área são essenciais para fornecer informações para o setor produtivo, desde o processo de tratamento fitossanitário, condições do ambiente de armazenamento e características inerentes aos genótipos, garantindo a recomendação adequada para o armazenamento destas sementes. O teor de água é fundamental para a manutenção da qualidade das sementes, apesar disso, são escassas as informações deste fator em relação ao processo de tratamento químico de sementes de soja. Outro fator observado nos últimos anos, é a ocorrência de cultivares de soja com maior incidência de rasgo no tegumento das sementes, sendo ainda pouco explorado no controle de qualidade. Outro aspecto importante diz respeito às diferenças entre as cultivares de sementes de soja em relação a tolerância ao armazenamento. Sendo assim, foram realizados três estudos com os objetivos de avaliar como o teor de água das sementes de soja no momento do tratamento químico influencia na qualidade das sementes armazenadas em diferentes temperaturas; avaliar a influência do rasgo no tegumento sobre a qualidade de sementes de soja, em função do tratamento de sementes e armazenamento e; analisar e relacionar teor de lignina no tegumento, expressões de proteínas e análises morfoanatómicas das sementes de cultivares de soja na qualidade fisiológica e tolerância ao armazenamento. O teor de água inicial influencia na qualidade das sementes de soja tratadas durante o período de armazenamento, sendo que em sementes armazenadas com teor de água inicial acima de 13%, há maior perda de qualidade ao longo do armazenamento. O tratamento de sementes com teores de água abaixo de 9% favorece a incidência de danos mecânicos e otimiza os danos de embebição quando da imediata avaliação pelo teste de germinação. Recomenda-se o tratamento químico das sementes com teor de água próximo de 11%, em função da redução de danos mecânicos e preservação da qualidade após tratamento e armazenamento. O armazenamento na temperatura de 10 °C proporciona melhor conservação da qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas em até 135 dias. Nas condições de temperatura de 20-30 e 30 °C a deterioração das sementes é mais acentuada, principalmente à 30 °C. Existem diferenças entre os genótipos estudados em relação à tolerância ao armazenamento em função dos diferentes níveis de rasgo no tegumento. A qualidade fisiológica de sementes de soja é afetada em condições de armazenamento na temperatura de 20-30 °C, aos 60 dias, principalmente em sementes tratadas em que a deterioração é mais acentuada. O nível de rasgo no tegumento influencia na qualidade de sementes, em lotes com porcentagens acima de 20% ocorre maior redução da qualidade após o armazenamento e, quando tratadas, esse efeito é potencializado. Existe efeito do genótipo sobre a tolerância de sementes de soja ao armazenamento por longos períodos. Em sementes com alta qualidade fisiológica e tolerantes ao armazenamento há menor acúmulo de peróxido de hidrogênio e menor peroxidação lipídica. Análises morfoanatómicas podem contribuir para a avaliação de genótipos para alta qualidade fisiológica e tolerância ao armazenamento.

**Palavras-chave:** Armazenabilidade. *Glycine max*. Teor de água. Tratamento químico. Ruptura fisiológica.

## ABSTRACT

The storage is essential to guarantee the physiological quality of soybean seeds. Thus, research in this scope is essential to provide information for the productive sector, from the phytosanitary treatment process, conditions of the storage environment and even characteristics inherent to the genotypes, guaranteeing the adequate recommendation for the storage of these seeds. The water content is essential for maintaining seed quality and despite this, there are few recommendations for this factor in relation to the process of chemical treatment of soybean seeds. Another factor that has been observed in recent years is the occurrence of soybean cultivars with a greater amount of tegument tears, which are still little explored in quality control, mainly in relation to their influence on the quality of treated and stored seeds. Another important aspect concerns the differences between soybean seed cultivars in relation to storage tolerance, which despite being highly productive, present different responses in relation to quality during storage. Thus, three studies were carried out with the objectives of evaluating how the water content of soybean seeds at the time of chemical treatment affects the quality of seeds stored at different temperatures and establishing ideal values for this operation; to evaluate the influence of tegument tearing on soybean seed quality, as a function of seed treatment and storage; analyze and relate lignin content in the tegument, enzymatic expressions and morphoanatomical analyzes of soybean cultivar seeds with the maintenance of physiological quality and storage tolerance. The initial water content influences the quality of soybean seeds treated during the storage period, and in seeds stored with an initial water content above 13%, there is a greater loss of quality during storage. Seed treatment with water content below 9% favors the incidence of mechanical damage and optimize imbibition damage when immediately evaluated by the germination test. Chemical treatment of seeds with water content close to 11% is recommended, due to the reduction of mechanical damage and preservation of quality after treatment and storage. Storage at a temperature of 10°C provides better conservation of the physiological quality of soybean seeds treated for up to 135 days. Under temperature conditions of 20-30 and 30°C, seed deterioration is more pronounced, especially at 30°C. There are differences between the genotypes studied in relation to storage tolerance due to the different levels of tegument tearing. The physiological quality of soybean seeds is affected under storage conditions at a temperature of 20-30°C, at 60 days, mainly in treated seeds where deterioration is more pronounced. The level of tearing in the tegument influences the quality of seeds, in lots with percentages above 20%, there is a greater reduction in quality after storage and when treated, this effect is enhanced. There is an effect of genotype on the tolerance of soybean seeds to long periods storage. In seeds with high physiological quality and tolerant to storage, there is less accumulation of hydrogen peroxide and less lipid peroxidation. Morphoanatomical analyzes can contribute to the evaluation of genotypes for high physiological quality and storage tolerance.

**Keywords:** *Glycine max.* Storage. Water content. Physiological rupture. Chemical treatment.

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>A cultura da soja.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Qualidade de sementes de soja .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Fatores envolvidos no tratamento químico de sementes .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4</b>	<b>Genótipos e a tolerância ao armazenamento de sementes .....</b>	<b>17</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>21</b>
	<b>CAPÍTULO 2 TEOR DE ÁGUA DAS SEMENTES DE SOJA E O TRATAMENTO QUÍMICO: EFEITOS NA QUALIDADE FISIOLÓGICA EM DISTINTAS TEMPERATURAS DE ARMAZENAMENTO .....</b>	<b>24</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>48</b>
	<b>CAPÍTULO 3 RUPTURA FISIOLÓGICA (RASGO) DE SEMENTES DE SOJA INFLUENCIA NA QUALIDADE PÓS TRATAMENTO E ARMAZENAMENTO?.....</b>	<b>51</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>55</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>58</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>79</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>
	<b>CAPÍTULO 4 - CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE SEMENTES DE GENÓTIPOS DE SOJA E A TOLERÂNCIA AO ARMAZENAMENTO.....</b>	<b>83</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>85</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>88</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>94</b>

<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>110</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>111</b>

## CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

### 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado uma potência agrícola, destacando-se na produção de grãos, carnes e biocombustíveis, dentre outros. A soja (*Glycine max.* (L.) Merrill) hoje é um dos principais produtos da cadeia do agronegócio e representa a principal oleaginosa de cultivo anual produzida e consumida no mundo, sendo também o principal produto do agronegócio brasileiro (SEIXAS *et al.*, 2020).

Os avanços tecnológicos em nível mundial da soja no país são de grande destaque, no entanto, ainda são necessárias melhorias no sistema de produção. Dentre os desafios, pode-se destacar a utilização e produção de sementes com alta qualidade, seleção de cultivares nos programas de melhoramento visando a qualidade de sementes e também a conservação e manutenção da qualidade das sementes durante o armazenamento (ABATI, 2018).

A semente constitui-se como um dos fatores que mais influenciam no potencial de produção da cultura. É na semente que está todo o pacote tecnológico desenvolvido ao longo de anos de pesquisas para levar aos agricultores cultivares mais adaptadas a cada região e mais produtivas. A utilização de sementes de elevada qualidade é essencial para a obtenção de uma lavoura com estande de plantas adequado e plântulas vigorosas, garantindo elevados índices de produtividade. Scheeren *et al.* (2010) mostraram que a produtividade de lotes de alto vigor pode ser 9% superior aos de baixo vigor. Da mesma forma, Bagateli *et al.* (2019) relataram aumento na produtividade em função do nível de vigor de lotes de sementes de soja, mostrando incremento no rendimento de grãos com o uso de sementes com alto vigor.

Na entressafra, as sementes precisam ser armazenadas por um período que antecede o plantio do próximo ciclo da cultura. O fator armazenamento é fundamental para a manutenção da qualidade fisiológica e garantia da entrega de uma semente de elevado potencial germinativo para o agricultor. Dessa forma, pesquisas com este objetivo são essenciais para fornecer informações para o setor produtivo, desde as condições do ambiente de armazenamento até as características inerentes aos genótipos, e assim, permitir o monitoramento de lotes comerciais de sementes, além de oferecer subsídios para o controle interno de qualidade das empresas.

São diversos os fatores envolvidos na relação armazenamento e qualidade das sementes de soja, como as condições do ambiente, as características dos genótipos e o tratamento com

produtos fitossanitários. Atualmente, grande parte dos tratamentos químicos de sementes por questões técnicas e logísticas, estão sendo realizados antes do armazenamento, principalmente com o uso do tratamento industrial de sementes (SANTOS *et al.*, 2018; MORAES *et al.*, 2022). Nesse sentido, tem crescido o uso do Tratamento Industrial de Sementes (TSI) como uma ferramenta para a proteção de sementes e plântulas no sistema produtivo.

Nesse processo, as sementes são tratadas na própria linha de beneficiamento, ensacadas e armazenadas até o momento da semeadura. Porém, o tratamento industrial de sementes (TSI) pode apresentar alguns fatores limitantes, como a possibilidade dos ingredientes ativos afetarem de forma negativa a qualidade das sementes durante o armazenamento e, posteriormente, seu desempenho no campo (BRZEZINSKI *et al.*, 2015; CARVALHO *et al.*, 2020), principalmente com o uso de inseticidas (FERREIRA *et al.* 2016). O tratamento industrial de sementes na linha de beneficiamento já é uma técnica usual para facilitar a comercialização de sementes tratadas, sendo necessário o correto monitoramento da qualidade fisiológica de sementes durante seu armazenamento, garantindo que as mesmas sejam preservadas durante esse período, monitoramento este conhecido na indústria sementeira como *Seed safety*. Nesse sentido, são necessários esclarecimentos em relação aos diversos fatores, como por exemplo: qualidade inicial, teor de água das sementes, danos no tegumento, características morfoanatômicas e bioquímicas dos genótipos, além das condições ambientais.

A longevidade e a viabilidade das sementes está diretamente ligada ao teor de água, que depende da temperatura e umidade relativa do ambiente de armazenamento (MBOFUNG *et al.*, 2013). Apesar da demanda, informações sobre esse atributo físico, teor de água, são escassas em relação ao processo de tratamento químico de sementes e a manutenção da qualidade de sementes armazenadas.

Também tem sido observado nos últimos anos, com a crescente liberação de cultivares de soja no mercado, a ocorrência de genótipos com maior quantidade de rasgo (ruptura fisiológica) no tegumento. Este fator ainda é pouco explorado no controle de qualidade de sementes e existem dúvidas com relação a sua influência sobre a qualidade de sementes (ZORATO, 2018; TEIXEIRA, 2021), principalmente em sementes tratadas.

Outro aspecto importante diz respeito às diferenças entre os genótipos de sementes de soja em relação à tolerância ao armazenamento. Algumas cultivares de soja, apesar de altamente produtivas, apresentam respostas diferentes em relação à qualidade durante o período de armazenamento. Conhecer os aspectos fisiológicos e moleculares dos genótipos de sementes de

soja que conferem maior longevidade no armazenamento é importante, para realizar o manejo adequado durante o período que antecede a semeadura, bem como a inclusão das características desses genótipos de maior tolerância ao armazenamento durante a seleção, em programas de melhoramento genético, visando obter cultivares com alto potencial de armazenamento e com bom desempenho em campo.

Frente às demandas atuais por informações na obtenção de sementes de soja de elevada qualidade foram realizados três estudos com os objetivos principais de: avaliar como o teor de água das sementes de soja, no momento do tratamento químico, afeta a qualidade fisiológica das sementes armazenadas em diferentes temperaturas e estabelecer valores ideais para esta operação; avaliar a influência da incidência do rasgo no tegumento na qualidade de sementes de soja, em função do tratamento de sementes e armazenamento e; analisar e correlacionar características fisiológicas e de composição das sementes de soja em relação à tolerância ao armazenamento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das principais culturas do Brasil, representando grande parte das áreas de cultivo, além do crescente aumento na produtividade de grãos. O Brasil tem uma participação importante no mercado internacional, sendo considerado um dos maiores produtores e exportadores do grão. De acordo com o levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), para a safra 22/23 está prevista a produção de 152,7 milhões de toneladas de soja, 22,2% superior à última safra (CONAB, 2023).

A cultura também possui grande importância na alimentação humana e animal. A expansão da cultura em todo o mundo se deve ao fato da demanda pelo produto e subprodutos originados da soja. A utilização da soja além do grão, está na obtenção de óleo vegetal, que é a base para a produção de diversos produtos nas indústrias de diferentes setores que utilizam soja como matéria-prima em seus processos de produção, como indústrias alimentícias, de cosméticos, farmacêuticas, veterinárias, de vernizes, tintas e de plásticos. O farelo de soja também é subproduto importante na produção de rações animais e farinhas. Devido a todas essas possíveis utilizações no mercado, a soja é uma das culturas de maior importância econômica e social no mundo.

Sua importância no cenário mundial tem motivado pesquisas em diversas áreas, sobretudo as que são voltadas ao aumento de produtividade e redução dos custos de produção. Na busca por melhores resultados, o investimento tem sido grande por parte dos produtores que, para alavancarem a produção, investem em manejo de pragas e doenças, correção do solo e principalmente, na aquisição de sementes de qualidade. Esse fato cria a necessidade de investimentos em pesquisas, principalmente para aumentar a disponibilidade de cultivares com alto potencial produtivo e de sementes de qualidade (KRZYZANOWSKI *et al.*, 2018).

Para sustentar o crescimento da produção é necessário adotar inovações ao sistema produtivo e inserir novas tecnologias para impulsionar o aumento da produtividade, muitas dessas veiculadas às sementes.

## 2.2 Qualidade de sementes de soja

A qualidade de sementes envolve a interação de características que determinam o potencial de um lote após a semeadura ou durante o armazenamento, por meio de quatro atributos, que são: genéticos, físicos, sanitários e fisiológicos. A qualidade genética diz respeito às características intrínsecas da cultivar, como resistência ou tolerância a doenças e pragas, potencial produtivo, arquitetura da planta, dentre outras características particulares da cultivar; a física, refere-se a ausência de material inerte e sementes de outras espécies, teor de água, uniformidade quanto ao tamanho e integridade física; a qualidade fisiológica está relacionada à longevidade, germinação e vigor e; a qualidade sanitária refere-se à ausência de pragas e doenças nas sementes. Estes atributos podem ser afetados durante todo o processo produtivo, desde o campo até o armazenamento (MARCOS-FILHO, 2015).

Dessa forma, qualidade de sementes é um fator determinante no processo produtivo e garante padrões uniformes, aumentando as chances de sucesso da cultura. Além disso, a semente carrega consigo um pacote de tecnologia e inovação que foi obtido por meio de processos seletivos em programas de melhoramento genético (FERREIRA *et al.*, 2016).

O crescente aumento da produção de soja no Brasil é possível devido aos avanços científicos e tecnológicos obtidos na área. O manejo de produção, controle de qualidade, armazenamento e tratamento de sementes são fatores importantes que contribuíram para esse aumento no setor produtivo (KRZYZANOWSKI *et al.*, 2018). Como consequência, o mercado de sementes tem sido cada vez mais exigente no que diz respeito a obtenção de sementes de alta qualidade, visando principalmente a obtenção de plantas adultas com alto vigor e rendimento (PESKE, 2017), pois sementes de elevada qualidade constituem um dos fatores para a obtenção de lavouras de alto rendimento. Bagateli *et al.* (2019) relataram incremento no rendimento de grãos com o aumento no nível de vigor dos lotes de sementes de soja. Da mesma forma, Caverzan *et al.* (2018) relatam que sementes de baixo vigor resultam em maior variabilidade de produção entre as plantas, enquanto sementes de alto vigor resultam em maiores rendimentos.

Contudo, existem outros fatores que podem influenciar no vigor das sementes e na produtividade de grãos, como por exemplo, o tratamento químico de sementes.

### 2.3 Fatores envolvidos no tratamento químico de sementes

Durante todo o processo de produção de sementes existem diversos fatores que são determinantes para obtenção de sementes de elevada qualidade, e estes devem ser realizados de maneira correta. Na pós-colheita, uma ferramenta importante para o processo produtivo é o tratamento de sementes com produtos fitossanitários, este que auxilia no manejo de controle de fitopatógenos, principalmente de fungos associados às sementes e/ou aqueles presentes no solo, além de atuar contra a infestação inicial de pragas específicas do solo.

O tratamento de sementes é uma prática amplamente difundida na agricultura brasileira, com adoção de aproximadamente 98% das sementes de soja e milho tratadas com fungicidas e/ou inseticidas, a fim de garantir a emergência das plântulas e estande da cultura (NUNES, 2016), um dos fatores básicos para altas produtividades.

No entanto, é importante que o tratamento químico garanta a sanidade do lote e assegure a expressão de todo o potencial genético, de modo que a escolha do produto evite danos às sementes (NUNES, 2016). Esses produtos não devem ocasionar prejuízos à qualidade fisiológica das sementes, seja imediatamente depois do tratamento ou após o armazenamento (CASTELLANOS *et al.*, 2017). Assim, o processo de tratamento de sementes deve manter a qualidade das sementes, principalmente quando existe a necessidade de tratar e armazenar, como é o caso do tratamento industrial de sementes (TSI), que por questões técnicas e logísticas precisam ser antecipados.

Cuidados durante o tratamento químico de sementes são necessários para garantir a manutenção da qualidade das mesmas, dentre eles, a qualidade inicial, teor de água e a incidência de danos no lote, porém, informações científicas são escassas frente a rápida evolução do processo e demandas atuais do mercado.

O teor de água pode influenciar nos processos metabólicos da semente e aumentar sua suscetibilidade aos danos mecânicos na colheita e no beneficiamento (CARBONELL *et al.*, 1993). Além disso, a viabilidade das sementes está diretamente ligada ao teor de água, que depende da temperatura e umidade relativa do ambiente de armazenamento (MBOFUNG *et al.*, 2013).

No Brasil, onde a maior concentração de produção e armazenamento de sementes de soja ocorre em regiões tropicais, o controle da temperatura e do teor de água está se tornando cada vez mais comum (ZUCHI *et al.*, 2013; VIRGOLINO *et al.*, 2016). As condições do

ambiente de armazenamento podem influenciar a deterioração de sementes tratadas (MORAES *et al.*, 2022).

Apesar da demanda, informações sobre o teor de água são pouco exploradas em relação ao processo de tratamento químico de sementes e a manutenção da qualidade de sementes armazenadas. É desconhecido na literatura quais seriam os limites máximos e o teor de água ideal para a execução do processo, e suas consequências durante o armazenamento, sob diferentes condições de temperatura.

Outro fator importante que pode afetar o processo de tratamento químico das sementes de soja, e que ainda não foi elucidado, é a presença de rasgo (ruptura fisiológica) no tegumento. O tegumento tem papel importante tanto no processo de germinação atuando como regulador de absorção de água, quanto na proteção da semente contra danos mecânicos e microrganismos (ZORATO, 2018). No entanto, com o recente aumento no aparecimento de rasgo nos tegumentos em sementes de cultivares de soja, é necessário o estudo da influência desse fator sobre a qualidade das sementes, principalmente quando tratadas.

O rasgo no tegumento em sementes de soja é considerado um defeito fisiológico, em que a ruptura pode ser explicada pela rachadura no revestimento dorsal, provocada pela rápida turgidez das células em função do excesso de água (SENDA *et al.*, 2018, TEIXEIRA, 2021).

A presença do rasgo em sementes de soja contribui para a maior intensidade dos danos por umidade, pelo fato de que são mais suscetíveis por apresentar o rasgo como ‘porta de entrada’ facilitadora de danos (MACHADO, 2017). Segundo o autor, esses danos também foram relacionados à redução do vigor e da viabilidade das sementes. Teixeira (2021) relataram que o rasgo no tegumento influencia negativamente no potencial de armazenamento de sementes de soja, principalmente se as sementes já apresentam início de deterioração no local do rasgo.

No entanto, ainda é pouco explorada a relação entre a presença de rasgo no tegumento em sementes tratadas e o efeito destes fatores ao longo do armazenamento, além de quais seriam os limites máximos destes índices sem prejudicar a qualidade das sementes após o tratamento e armazenamento.

## 2.4 Genótipos e a tolerância ao armazenamento de sementes

O armazenamento de sementes constitui-se uma etapa importante na pós-colheita de sementes, visto que se trata, muitas vezes, de um período extenso ao qual as sementes ficam acondicionadas. A armazenagem visa a conservação das sementes, garantindo a manutenção da qualidade das mesmas durante o tempo em que antecede a semeadura. As técnicas adotadas neste processo, quando corretamente conduzidas, ajudam a retardar a deterioração, mantendo a qualidade até a semeadura.

Apesar das diversas tecnologias disponíveis no mercado, existem muitas perdas no processo de pós-colheita durante o armazenamento, visto que as sementes estão sujeitas a fatores externos como temperatura e umidade relativa, fatores estes, importantes para a manutenção da qualidade (REGINATO *et al.*, 2014).

O conhecimento do comportamento das sementes durante o armazenamento em função de vários fatores é essencial para a tomada de decisões na gestão de perdas de qualidade (SMANIOTTO *et al.*, 2014). Para Cardoso *et al.* (2012) a deterioração é inevitável, no entanto, pode ser retardado dependendo das condições de armazenamento e das características da semente.

Sabe-se que existe variabilidade genética entre genótipos de soja quanto à qualidade fisiológica de sementes, a qual pode ser explorada em programas de melhoramento (MERTZ *et al.*, 2009). No entanto, essa variabilidade dos materiais genéticos pode estar atrelada às diferenças no potencial de armazenamento das sementes de soja.

Tem-se observado que algumas cultivares de soja, apesar de altamente produtivas, apresentam respostas diferentes em relação a qualidade durante o período de armazenamento. Autores como Carvalho *et al.* (2014), Rosa *et al.* (2017) e Mathias *et al.* (2019) relataram que cultivares de soja apresentam diferentes níveis de tolerância ao armazenamento em função do genótipo. Schons *et al.* (2018) relataram também, que as cultivares de soja respondem de forma diferenciada em função do local de armazenamento e do tratamento de sementes. Os autores evidenciaram que o fator genótipo é o mais preponderante no que diz respeito aos caracteres tecnológicos de sementes.

Algumas características dos genótipos podem ser determinantes para conferir maior tolerância ao armazenamento. Uma característica importante é a diferença de genótipos de soja quanto à resistência ao dano mecânico e a existência de métodos capazes de provocar e avaliar

estes danos. Maior teor de lignina no tegumento tem sido relacionado com a tolerância dos genótipos aos danos mecânicos ocasionados na colheita e durante o beneficiamento (MERTZ *et al.*, 2009). Carvalho *et al.* (2019) afirmaram que as sementes de cultivares de soja com maiores teores de lignina na vagem apresentam maior tolerância à deterioração por umidade em pré-colheita e proporcionam sementes de melhor qualidade fisiológica.

Outra característica importante são as enzimas que compõem o sistema antioxidante das sementes, estas que as ativam para sua proteção contra as espécies reativas ao oxigênio (EROs) formadas devido a estresses durante a maturação, secagem, germinação e armazenamento, funcionando como mecanismo de desintoxicação que inibe as EROS, retardando assim, a deterioração das sementes (SAISANTHOSH *et al.*, 2018). Dessa forma, o estudo da expressão de isoenzimas ao longo do armazenamento pode ser uma ferramenta útil para identificar quais delas são mais importantes para a manutenção da qualidade das sementes durante o armazenamento e se existe relação com os diferentes genótipos de soja.

Dentre os agentes antioxidantes enzimáticos pode-se destacar as enzimas catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD). A catalase (CAT) é uma enzima relacionada à qualidade de sementes, com capacidade de transformar formas reativas de oxigênio em formas inofensivas, bem como a decomposição do peróxido de hidrogênio (LEHNINGER, 2006). A superóxido dismutase (SOD) atua na primeira linha de defesa das sementes também contra formas reativas de oxigênio (EROs), anulando a ação de superóxidos e protegendo as células contra processos oxidativos (MARCOS-FILHO, 2015).

Carvalho *et al.* (2014) observaram incremento na atividade da SOD em sementes de soja armazenadas aos dois e quatro meses em câmara fria (10 °C e 50% UR) e em ambiente não controlado. No entanto, após seis meses de armazenamento, os autores observaram redução na expressão da enzima e também da qualidade fisiológica das sementes de soja em condições de ambiente não controlado, enquanto que nas sementes armazenadas em câmara fria este comportamento não foi observado. Marcos-Filho (2015) afirma que a redução na atividade das enzimas catalase e superóxido dismutase durante o armazenamento está relacionado à redução da viabilidade em sementes de soja.

O peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) é considerado uma espécie reativa de oxigênio (EROs), que atua como centro de sinalização da superação da dormência e germinação, imprescindível para a sobrevivência das sementes e necessita do equilíbrio entre a sinalização

oxidativa que promove a germinação e o dano oxidativo que prejudica a germinação (WOJTYLA *et al.*, 2016).

O estresse ocasionado pelas EROs acarreta a degradação oxidativa de lipídios, a chamada peroxidação lipídica, que é uma das principais formas de deterioração das sementes (SAISANTHOSH *et al.*, 2018). O processo de peroxidação lipídica resulta no acúmulo de malonaldeído (MDA), produto secundário durante a oxidação de ácidos graxos poli-insaturados, cuja determinação em amostras biológicas é indicativa do grau de estresse oxidativo (ATAÍDE *et al.*, 2012).

Segundo Min *et al.* (2017) os acúmulos de MDA e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em conjunto, são os principais fatores que resultam na perda de viabilidade de sementes de soja submetidas à deterioração, dessa forma, sua determinação possibilita distinguir a qualidade das sementes.

Outro aspecto importante nas sementes de soja está no tegumento das mesmas, este que é um constituinte importante, que atua de diferentes maneiras com o objetivo de proteger as partes internas da semente, regular as trocas gasosas e de água com o ambiente, além de regular a germinação das mesmas (MARCOS-FILHO, 2015). Sendo assim, é fundamental para a manutenção da qualidade das sementes durante o armazenamento.

A estrutura do tegumento pode diferir entre espécies e cultivares. Em sementes de soja, a camada mais externa é a cutícula, que atua como primeira barreira à embebição. A outra camada é chamada de epiderme, que envolve toda a semente, com exceção da região do hilo, é constituída por células paliçádicas alongadas, denominadas de macrosclereídes, que permite regular as trocas de água com o meio externo e facilitar ou dificultar a invasão por microrganismos (MARCOS-FILHO, 2015).

A hipoderme está localizada logo abaixo da epiderme, sendo uma camada unicelular formada por células denominadas de osteosclereídes. A quarta camada do tegumento da soja é composta por células parenquimatosas alongadas, distribuídas ao longo de toda superfície do tegumento, com exceção do hilo (MARCOS-FILHO, 2015).

Cunha (2018) observaram fissuras no tegumento de sementes de lentilha, com perda de macrosclereídes e osteosclereídes. A autora afirmou que essas rupturas facilitaram o aporte de água para a germinação, ou o desenvolvimento de microrganismos oportunistas, que contribuem para a redução da qualidade das sementes.

Marcos-Filho (2015) relatou que a ruptura da epiderme (células macrosclereídes) pode ocorrer durante a maturação em ciclos de hidratação/secagem e está atrelado às características

genéticas da cultivar. Sendo assim, o estudo das características morfoanatômicas das sementes de soja se faz relevante, atrelando também à manutenção da qualidade fisiológica no armazenamento.

Diante do exposto, ainda são pouco estudados os aspectos fisiológicos e moleculares dos genótipos de sementes de soja associados à longevidade no armazenamento. O estudo dessas características é de extrema importância no manejo de cultivares durante o período que antecede a semeadura, bem como na seleção de genótipos em programas de melhoramento, visando obter cultivares com alto potencial de armazenamento e com adequado desempenho em campo.

## REFERÊNCIAS

- ABATI, J. **Armazenamento de sementes de genótipos de soja: aspectos bioquímicos e fisiológicos**. 2018. 147 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2018.
- ATAÍDE, G. D. M.; FLORES, A. V.; LIMA e BORGES, E. E. D. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de *Pterogyne nitens* Tull. durante o envelhecimento artificial. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, p.71-76, 2012.
- BAGATELI, J. R. *et al.* Productive performance of soybean plants originated from seed lots with increasing vigor levels. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 41, n. 2, p. 151-159, 2019.
- BRZEZINSKI, C. R. *et al.* Seeds treatment times in the establishment and yield performance of soybean crops. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 37, p. 147-153, 2015.
- CARBONELL, S. A. M. *et al.* Teor de umidade das sementes de soja e métodos de avaliação do dano mecânico provocado no teste do pêndulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 28, n. 11, p. 1277-1285, 1993.
- CARDOSO, R.B.; BINOTTI, F.F. da S.; CARDOSO, E.D. Potencial fisiológico de sementes de crambe em função de embalagens e armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.l.], v. 42, p. 272-278, 2012.
- CARVALHO, B. L. *et al.* Conteúdo de lignina e tolerância à deterioração em pré-colheita e efeito na qualidade de sementes de soja. *In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA*, 14., 2019, Londrina. **Resumos expandidos[...]**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 163 p. (Embrapa Soja. Documentos, 415).
- CARVALHO, E. R. *et al.* Phytotoxicity in soybean seeds treated with phytosanitary products at different application times. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 42, p. e202042036, 2020.
- CARVALHO, E.R. *et al.* Alterações isoenzimáticas em sementes de cultivares de soja em diferentes condições de armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 49, n. 12, p. 967-976, 2014.
- CASTELLANOS, C.I.S. *et al.* Thiamethoxam treated bean seeds performance during storage. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 12, p. 1-5, 2017.
- CAVERZAN, A. *et al.* How Does Seed Vigor Affect Soybean Yield Components?. **Agronomy Journal**, [S.l.], v. 110, p. 1318-1327, 2018.
- CONAB. Companhia Nacional De Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, 4º levantamento, janeiro 2023. Brasília: Conab, 2023. v. 10, n. 4, p. 1-83.

- CUNHA, P.T. **Alterações fisiológicas, bioquímicas e anatômicas em sementes de lentilha em diferentes estádios de maturação e submetidas ao armazenamento.** 2018. 44 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2018.
- FERREIRA, T. F. *et al.* Quality of soybean seeds treated with fungicides and insecticides before and after storage. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 38, n. 4, p. 278-286, 2016.
- KRZYŻANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; HENNING, A.A. **A alta qualidade de sementes de soja: fator importante para a produção da cultura.** 1. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 24 p. (Circular Técnica 136).
- LEHNINGER, A. L. **Princípios de bioquímica.** 4. ed. São Paulo: Sarvier, 2006. 1130 p.
- MACHADO, B.R. **Análise do efeito do rasgo no tegumento sobre a patologia e qualidade fisiológica de sementes de soja.** 2017. 28 p. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Instituto Federal Goiano, Urutaí, GO, 2017.
- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas.** 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015. 600 p.
- MATHIAS, V.; COELHO, C. M. M.; GARCIA, J. Soluble protein as indicative of physiological quality of soybean seeds. **Revista Caatinga**, [S.l.], v. 32, n. 3, p. 730-740, 2019.
- MBOFUNG, G. C. Y. *et al.* Effects of storage temperature and relative humidity on viability and vigor of treated soybean seeds. **Crop Science**, [S.l.], v. 53, p. 1086-1095, 2013.
- MERTZ, L. M. *et al.* Diferenças estruturais entre tegumentos de sementes de soja com permeabilidade contrastante. **Revista Brasileira de Sementes**, [S.l.], v. 31, n. 1, p. 23-29, 2009.
- MIN, C. W. *et al.* In-depth proteomic analysis of Glycine max seeds during controlled deterioration treatment reveals a shift in seed metabolism. **Journal of Proteomics**, [S.l.], v. 169, n. 2017, p. 125-135, 2017.
- MORAES, L. F. S. *et al.* Physiological quality of corn seeds treated with insecticides and stored at different temperatures. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 57, p. e02665, 2022.
- NUNES, J. C. S. Tratamento de sementes de soja como um processo industrial no Brasil. **Revista SEED News**, [S.l.], v. 20, p. 26-32, 2016.
- PESKE, S.T. Dinâmica do mercado de sementes no Brasil. **Seed News**, [S.l.], n. 5, p. 12-15, 2017. (Ed. especial XX CBS).
- REGINATO, M.P. *et al.* Boas Práticas de armazenamento de grãos. *In: ENEPE UFGD*, 8., 2014. *In: EPEX UEMS em ENEPEX*, 5., 2014. *In: ENCONTRO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO. Anais [...]* 2014.

ROSA, D.P. *et al.* Genetic diversity in soybean seed quality under different storage conditions. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 57-72, 2017.

SAISANTHOSH, K. *et al.* Role of Enzymatic Antioxidants Defense System in Seeds. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, [S.l.], v. 7, n. 1, p. 584-594, 2018.

SANTOS, S. F. *et al.* Composition and volumes of slurry in soybean seeds treatment in the industry and physiological quality during storage. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 40, n. 1, p. 67-74, 2018.

SCHEEREN, B. R. *et al.* Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, [S.l.], v. 32, n. 3, p. 35-41, 2010.

SCHONS, A. *et al.* Respostas do genótipo, tratamento de sementes e condições de armazenamento no potencial fisiológico de sementes de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 41, n. 1, p. 111-120, 2018.

SEIXAS, C. D. S. *et al.* Tecnologias de produção de soja. 1. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p.

SENDA, M. *et al.* Occurrence and tolerance mechanisms of seed cracking under low temperatures in soybean (*Glycine max*). **Planta**, [S.l.], v. 248, n. 2, p. 369-379, 2018.

SMANIOTTO, T.A.S. *et al.* Physiological quality of soybean seeds stored in different conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 446-53, 2014.

TEIXEIRA, S.B. **Rasgo no tegumento em sementes de soja suas causas e consequências**. 2021. 103 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão, RS, 2021.

VIRGOLINO, Z. Z. *et al.* Physiological quality of soybean seeds artificially cooled and stored in different packages. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 20, n. 5, p. 473-480, 2016.

WOJTYLA, L. *et al.* Different modes of hydrogen peroxide action during seed germination. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 7, n. 66, p. 1-16, 2016.

ZORATO, M.F. **O tegumento de sementes de soja e o seu impacto na qualidade**. Revista Seednews, [S.l.], v. 22, n.3, 2018.

ZUCHI, J. *et al.* Physiological quality of dynamically cooled and stored soybean seeds. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 35, n. 3, p. 353-360, 2013.

## **CAPÍTULO 2 TEOR DE ÁGUA DAS SEMENTES DE SOJA E O TRATAMENTO QUÍMICO: EFEITOS NA QUALIDADE FISIOLÓGICA EM DISTINTAS TEMPERATURAS DE ARMAZENAMENTO**

### **RESUMO**

O tratamento químico de sementes de soja é essencial para assegurar a emergência das plântulas e estande recomendado da cultura, desde que realizado de forma correta. Dentre os fatores que podem afetar o processo, está o teor de água das sementes de soja no momento da execução do tratamento, que além disso, está relacionado à conservação das mesmas. Dessa forma, o objetivo foi avaliar como o teor de água das sementes no momento do tratamento químico, afeta a qualidade fisiológica das sementes armazenadas em diferentes temperaturas. A partir de um mesmo lote de sementes, foram realizados procedimentos artificiais de ajuste de teor de água para a obtenção de amostras com 7%, 9%, 11%, 13% e 15% as quais foram posteriormente tratadas com Tiametoxam + Ciantraniliprole + Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil. Após o tratamento, as sementes foram armazenadas em ambientes com temperaturas de 10 °C, 20 °C, 30 °C e alternada 20-30 °C, e a avaliação da qualidade foi realizada aos 0, 45, 90 e 135 dias de armazenamento. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5 x 4 x 4, sendo cinco teores de água das sementes, quatro temperaturas de armazenamento e quatro períodos de armazenamento. O teor de água inicial influencia na qualidade das sementes de soja tratadas durante o período de armazenamento, sendo que, em sementes armazenadas com teor de água inicial acima de 13%, há maior perda de qualidade ao longo do armazenamento. O tratamento de sementes com teores de água abaixo de 9% favorece a incidência de danos mecânicos e otimiza os danos de embebição quando da imediata avaliação pelo teste de germinação. Recomenda-se o tratamento químico das sementes com teor de água próximo de 11%, em função da redução de danos mecânicos e preservação da qualidade após tratamento e armazenamento. O armazenamento na temperatura de 10 °C proporciona melhor conservação da qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas em até 135 dias. Nas condições de temperatura de 20-30 e 30 °C a deterioração das sementes é mais acentuada, principalmente à 30 °C.

**Palavras-chave:** *Glycine max.* Umidade. TSI. Seed safety.

## ABSTRACT

The chemical treatment of soybean seeds is essential to ensure the emergence of seedlings and the recommended stand of the crop, as long as it is executed correctly. Among the factors that can affect the process is the water content of the soybean seeds at the time of the treatment, which is also related to their conservation. Thus, the objective was to evaluate how the water content of seeds, at the time of chemical treatment, affects the physiological quality of seeds stored at different temperatures. From the same seed lot, artificial procedures were performed to adjust the water content to obtain samples with 7%, 9%, 11%, 13% and 15% which were later treated with Thiamethoxam + Ciantraniliprole + Metalaxil -M + Thiabendazole + Fludioxonil. After treatment, the seeds were stored in environments with temperatures of 10 °C, 20 °C, 30 °C and alternating 20-30 °C, and the quality evaluation was carried out at 0, 45, 90 and 135 days of storage. The experimental design was completely randomized (DIC), in a 5 x 4 x 4 factorial scheme, with five seed water contents, four storage temperatures and four storage periods. The initial water content influences the quality of soybean seeds treated during the storage period, and in seeds stored with an initial water content above 13%, there is a greater loss of quality during storage. Seed treatment with water content below 9% favors the incidence of mechanical damage and optimizes imbibition damage when immediately evaluated by the germination test. Chemical treatment of seeds with water content close to 11% is recommended, due to the reduction of mechanical damage and preservation of quality after treatment and storage. Storage at a temperature of 10 °C provides better conservation of the physiological quality of soybean seeds treated for up to 135 days. Under temperature conditions of 20-30 and 30 °C, seed deterioration is more pronounced, especially at 30 °C.

**Keywords:** *Glycine max.* TSI. Seed safety. Water content.

## 1 INTRODUÇÃO

Durante todo o processo de produção de sementes existem diversos fatores que são determinantes para a obtenção de sementes de elevada qualidade. Na pós colheita, variações no teor de água das sementes e condições do ambiente de armazenamento podem influenciar a atividade metabólica e a qualidade fisiológica das sementes (CARVALHO *et al.*, 2022; MORAES *et al.*, 2022), podendo, portanto, impactar no estabelecimento inicial da lavoura (SMANIOTTO *et al.*, 2014).

No Brasil, onde a maior concentração de produção e armazenamento de sementes de soja ocorre em regiões tropicais, o interesse em reduzir a temperatura e o manejo do teor de água está se tornando cada vez mais comum (ZUCHI *et al.*, 2013; VIRGOLINO *et al.*, 2016; CARVALHO *et al.*, 2016; CARVALHO *et al.*, 2021).

Além disso, no período que antecede a semeadura, o tratamento de sementes com produtos fitossanitários é uma ferramenta importante para o processo produtivo, auxiliando no manejo de controle de fitopatógenos, principalmente de fungos associados às sementes ou aqueles presentes no solo, além de atuar contra a infestação inicial de pragas específicas do solo.

Os tratamentos químicos de sementes atualmente, por questões técnicas e logísticas, estão sendo realizados de forma antecipada, principalmente com a utilização do tratamento industrial de sementes (MORAES *et al.*, 2022; CARVALHO *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

No entanto, é importante que o tratamento químico favoreça a qualidade sanitária do lote e assegure a expressão de todo o potencial genético, de modo que a escolha do produto evite riscos de danos às sementes (NUNES, 2016). Esses produtos não devem ocasionar prejuízos à qualidade fisiológica das sementes, seja imediatamente depois do revestimento ou após o armazenamento (CASTELLANOS *et al.*, 2017). Sendo assim, o tratamento de sementes deve manter sua qualidade, principalmente quando existe a necessidade de tratar e armazenar.

Durante o processo de tratamento de sementes são necessários alguns cuidados para garantir a manutenção da qualidade das mesmas. Um lote de sementes com alta qualidade precisa atender aos atributos físicos, fisiológicos, genéticos e sanitários (RUPPIN *et al.*, 2019). Ligado aos atributos físicos, o teor de água pode influenciar nos processos metabólicos da semente e aumentar sua suscetibilidade a danos mecânicos seja na colheita e beneficiamento

(CARBONELL *et al.*, 1993) e também durante o processo de tratamento de sementes. Por isso, o estudo desse fator no momento do tratamento de sementes é de extrema relevância, e, no entanto, ainda é pouco explorado na literatura.

As condições do ambiente de armazenamento podem potencializar ou amenizar a deterioração de sementes tratadas (*Seed safety*) (MORAES *et al.*, 2022). Apesar da demanda, informações sobre o teor de água das sementes no processo de tratamento químico e a manutenção da qualidade das mesmas durante o armazenamento são escassas. Devido a elevada utilização de sementes de soja tratadas com produtos fitossanitários, se fazem necessárias pesquisas que auxiliem no entendimento, ajustes e recomendações para a garantia da qualidade das mesmas em todos estes processos que antecedem a semeadura.

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar como o teor de água das sementes de soja no momento do tratamento químico afeta a qualidade fisiológica das sementes armazenadas em diferentes temperaturas e assim, estabelecer valores ideais para essa operação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Central de Análise de Sementes, Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras- UFLA, onde as sementes foram armazenadas. A cidade está localizada na região Sul de Minas Gerais, latitude 21° 14' S, longitude 45° 00' W Gr. e 918 m de altitude. O clima de Lavras, pela classificação climática de Köppen, é Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico), com inverno seco e verão chuvoso, subtropical (BRASIL, 1992; DANTAS *et al.*, 2007).

As sementes da cultivar Foco com teor de água inicial de 11%, para a obtenção de diferentes teores de água foram submetidas ao umedecimento ou à secagem, em função do teor de água final desejado, com protocolos específicos para cada situação. A secagem foi realizada em secador experimental estacionário longitudinal regulado à temperatura de 35 °C ( $\pm 2$  °C) e fluxo de ar de 23 m<sup>3</sup>, sendo monitorado o teor de água das sementes até atingir o valor requerido. O umedecimento foi realizado em germinador tipo Mangelsdorf regulado a 25 °C ( $\pm 2$  °C), com as sementes em camada única, dispostas em embalagens telada de polietileno trançado, também com o monitoramento do teor de água até atingir o valor desejado.

Após os protocolos de umedecimento ou secagem, as sementes permaneceram em embalagem de sacos kraft e recobertas por um saco plástico, por um período de 12 horas, para estabilização do teor de água na massa de sementes. Após estes processos, foram obtidos os tratamentos com as porções de sementes com valores específicos de 7%, 9%, 11%, 13% e 15% de teor de água. A confirmação das diferentes umidades foi realizada por meio do teste de teor de água, pelo método de estufa a 105 °C, conforme descrito em Brasil (2009).

As sementes foram pesadas e separadas em porções de 2,0 quilogramas para posterior tratamento. O processo de tratamento foi efetuado em máquina Momesso Arktos Laboratório L5K, para simulação do tratamento industrial em bateladas. Todas as sementes foram tratadas com Fortenza® Duo, envolvendo fungicidas e inseticidas, conforme os produtos descritos na Tabela 1, além da adição de polímero (Biocroma vermelho Biogrow 100 ml/100 kg sementes) e Pó secante (Biogloss biogrow 200 g/100 kg sementes).

Tabela 1 – Ingredientes ativos e produtos comerciais utilizados no tratamento químico de sementes de soja.

Princípio ativo	Concentração i.a.	Produto comercial	Tipo <sup>1</sup>	Dose do produto comercial <sup>2</sup>
Tiametoxam	350g/L	Cruiser 350 FS	I	200 mL
Ciantraniliprole	600g/L	Fortenza 600 FS	I	60 mL
Metalaxil-M	20g/L			
Tiabendazol	150g/L	Maxim advanced	F	100 mL
Fludioxonil	25g/L			

<sup>1</sup> Tipo: I: inseticida; F: fungicida

<sup>2</sup> Dose: mL 100 kg<sup>-1</sup> de sementes

Fonte: Da autora (2022).

Após o tratamento, as sementes foram dispostas em sacos de papel kraft e armazenadas em câmaras, tipo BOD, com o controle da temperatura durante o armazenamento, sendo elas: 10 °C, 20 °C, 30 °C e 20-30 °C. Nas câmaras não houve controle de umidade, ficando diretamente dependente do ambiente. O início do armazenamento ocorreu no mês de maio, final do outono.

Ao longo do armazenamento a qualidade das sementes foi avaliada aos 0, 45, 90 e 135 dias, por meio dos seguintes testes:

- a) Teor de água: mensurado por meio do método da estufa (24 horas a 105 °C), sendo os valores expressos em porcentagens (BRASIL, 2009).
- a) Germinação entre papel (GP): com quatro repetições de 50 sementes por tratamento, com semeadura em substrato papel (2 folhas), em rolos, umedecido com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco, e foram mantidas em germinador tipo mangelsdorf a 25 °C. As contagens de plântulas normais foram realizadas aos 8 dias após a semeadura (BRASIL, 2009).
- b) Germinação entre vermiculita e papel (GV): foi conduzida com os mesmos procedimentos descritos para a Germinação entre papel (GP), porém, com o uso da vermiculita entre os papéis e a sementes, conforme metodologia modificada de Rocha *et al.* (2020) com alterações e adequações em função de novos testes. Após a semeadura sobre o papel umedecido, 3 vezes o peso do papel seco, foi adicionado uma fina camada de vermiculita úmida distribuída uniformemente sobre as sementes e o papel, e então cobertas com folha de papel e confeccionados os rolos. Foi utilizado o volume de 100

ml de vermiculita comercial fina umedecida por rolo (proporção de vermiculita/ água de 1:1, isto é, a cada quilo de vermiculita foi utilizado 1 litro de água destilada ou filtrada em osmose reversa ou potável.

- c) Emergência de plântulas: o substrato utilizado foi composto pela mistura de areia + solo (proporção 2:1) colocado em bandejas plásticas, irrigado a 60% da capacidade de retenção de água na semeadura e posteriormente quando necessário, de forma uniforme. Foram utilizadas 4 repetições de 50 sementes. As bandejas foram mantidas em casa de vegetação à temperatura de 25 °C, em regime alternado de luz e escuro (12 horas). A contagem de emergência de plântulas normais foi realizada aos 8 dias após a semeadura.
- d) Envelhecimento acelerado modificado em substrato (EAS): foram utilizadas caixas plásticas tipo gerbox, adaptadas com tela de alumínio suspensa. Em cada gerbox foram adicionados 40 mL de água e uma camada única de sementes sobre toda a tela. Em seguida, foram mantidas em câmara tipo BOD a 41 °C por 48 horas (MARCOS-FILHO, 2020). Após este período, a semeadura foi realizada em substrato acondicionado em bandeja plástica, contendo areia + solo na proporção 2:1, umedecido a 60% da capacidade de retenção de água. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em câmara de crescimento vegetal à temperatura de 25 °C, em regime alternado de luz e escuro (12 horas). A avaliação das plântulas normais emergidas foi realizada aos 5 dias.
- e) Teste de tetrazólio: foi realizado para determinar o vigor das sementes e a porcentagem de danos mecânicos. Foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes para cada tratamento. Foi realizado o pré-condicionamento das sementes de todos os lotes, utilizando caixas gerbox com tela e 40 mL de água por um período de 24 horas, para evitar o dano por embebição devido aos baixos teores de água das sementes de alguns tratamentos. Após o pré-condicionamento, as sementes foram embaladas em papel de germinação umedecido com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes o seu peso seco e mantidas nestas condições por 16 horas, à temperatura de 25 °C. Após este processo, as sementes foram colocadas em frascos de plástico escuro, sendo totalmente submersas na solução de tetrazólio na concentração de 0,075% por 3 horas e temperatura de 35 °C. Após a coloração, as sementes foram lavadas com água corrente comum e avaliadas conforme metodologia descrita por França-Neto e Krzyzanowski (2018), considerando porcentagem de vigor (1 a 3) e danos mecânicos totais.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), com 4 repetições, em esquema fatorial 5 x 4 x 4, envolvendo 5 teores de água das sementes, 4 temperaturas de armazenamento e 4 épocas de avaliação ao longo do armazenamento. As análises estatísticas foram realizadas por meio da análise de variância com auxílio do software Sisvar® (FERREIRA, 2019), a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). As médias foram analisadas com o uso do teste de Scott-knott, a 5%, ou com análises de regressões polinomiais com a escolha do modelo significativo de maior coeficiente de determinação e relação biológica.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação do teor de água, observou-se logo após o tratamento fitossanitário, diferenças significativas apenas entre os teores de água planejados (TABELA 2). Este fato era esperado, pois foi mensurado logo após o tratamento, no momento do início da armazenagem e, portanto, ainda sem influência das diferentes temperaturas.

A partir dos 45 dias, ocorreram diferenças entre os tratamentos de acordo com a temperatura de armazenagem e o teor de água das sementes. Nas temperaturas de 30 e 20-30 °C todos os teores de água se estabilizaram, não diferindo entre si, independentemente do teor de água do início do armazenagem, devido ao equilíbrio higroscópico alcançado nessas temperaturas. Na temperatura de armazenagem a 10 °C este fato não foi observado, de modo que sementes com baixos teores de água iniciais (7, 9 e 11%) ainda apresentaram menores valores quando comparado às sementes com teores de água iniciais elevados (13 e 15%). Já na temperatura de 20 °C, apenas sementes com menor teor de água inicial, 7%, diferiu das demais, com o menor valor observado (TABELA 2). Isso indica que em temperaturas mais elevadas há aceleração do processo de perda de água no armazenagem, atingindo a estabilidade mais rápido e em valores mais baixos, consequência da relação inversa entre temperatura e umidade relativa do ar, afetando então, o teor de água.

Tabela 2 – Teor de água de sementes de soja, sob diferentes temperaturas e períodos de armazenamento.

Armazenamento (dias)	Teor de água	Temperatura			
		10°C	20°C	30°C	20°C/30°C
0	7%	7,33 eA	7,00 eA	7,21 eA	7,35 eA
	9%	9,13 dA	9,25 dA	9,24 dA	9,12 dA
	11%	10,92 cA	10,92 cA	11,09 cA	10,92 cA
	13%	12,97 bA	12,90 bA	13,02 bA	12,94 bA
	15%	14,94 aA	14,89 aA	15,11 aA	14,92 aA
45	7%	8,13 cB	8,58 bA	6,54 aC	7,87 aB
	9%	8,44 bB	9,14 aA	6,55 aC	8,19 aB
	11%	8,66 bB	9,00 aA	6,70 aC	8,39 aB
	13%	9,02 aA	8,99 aA	6,56 aC	8,16 aB
	15%	9,29 aA	9,20 aA	6,69 aC	8,12 aB
90	7%	10,60 bA	8,33 cB	6,58 aD	7,51 aC
	9%	10,90 bA	8,11 cB	6,44 aD	7,68 aC
	11%	12,42 aA	9,12 bB	6,49 aD	7,41 aC
	13%	12,18 aA	8,52 cB	6,57 aD	7,52 aC
	15%	12,53 aA	9,47 aB	6,29 aD	7,51 aC
135	7%	11,77 cA	8,36 bB	7,02 aC	7,32 aC
	9%	11,58 cA	8,26 bB	6,36 bD	7,20 aC
	11%	11,96 cA	8,99 aB	6,43 bD	7,16 aC
	13%	12,37 bA	8,24 bB	6,51 bD	7,28 aC
	15%	13,67 aA	8,27 bB	6,52 bD	7,30 aC

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Amaral *et al.* (2018), relataram que o teor de água de sementes de soja é importante no armazenamento e na preservação da qualidade até o período da comercialização. Os autores ressaltam que a umidade das sementes deve ser o mais uniforme possível, pois mesmo com sua uniformidade, a tendência é que esse teor de água seja reduzido após um período até a comercialização.

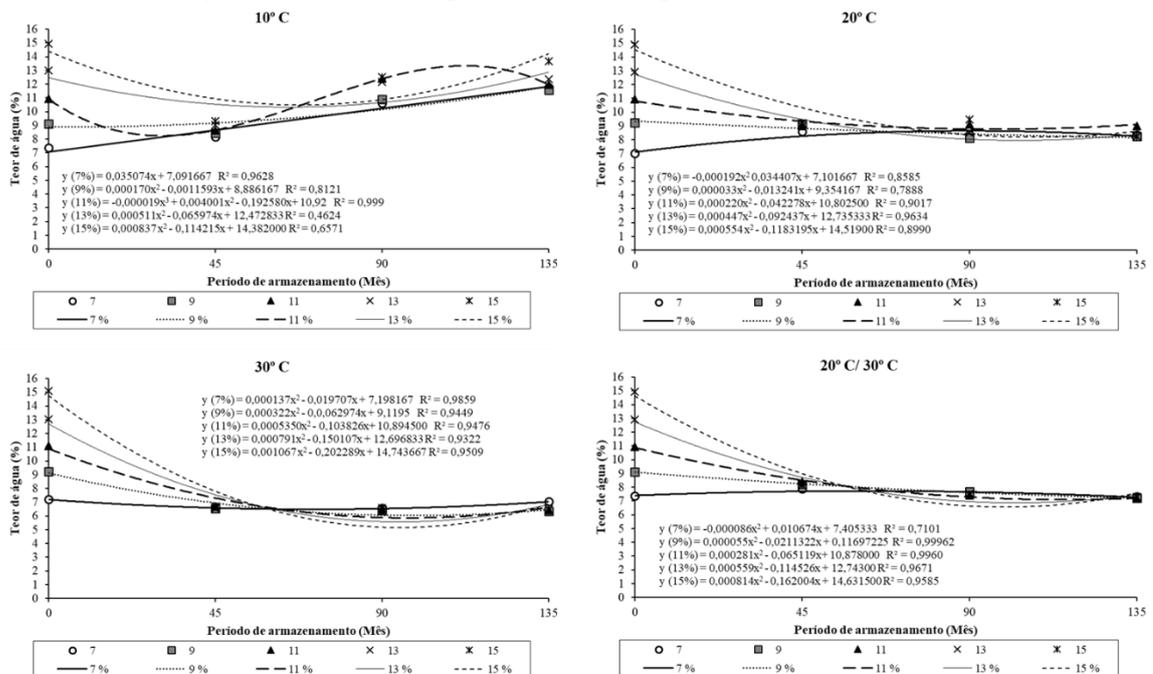
Ao analisar as temperaturas de armazenamento, em sementes armazenadas a 10 °C foram observadas maiores valores de umidade, seguido de 20 °C, 20-30 °C alternado, e por último, os menores valores encontrados no armazenamento foram em sementes acondicionadas a 30 °C após 90 dias, com valores entre 6 e 7%. Este resultado reitera a relação inversa entre temperatura e umidade relativa do ar e a consequente estabilização do teor de água em função do equilíbrio higroscópico.

Marcos Filho (2015) relata que a umidade relativa do ar é inversamente proporcional à temperatura do ambiente e, de acordo com a ASAE (1980), em condições de mesma umidade relativa do ar, sementes de soja atingem teores de água menores à medida que se aumenta a temperatura de exposição das sementes. Este fato pode ser comprovado nos resultados obtidos, em que à medida que se aumentou a temperatura de armazenagem das sementes, houve redução no teor de água das mesmas.

O armazenamento na temperatura de 10 °C ocasionou maior oscilação entre os tratamentos, com uma influência maior da umidade relativa do ambiente em função da estação do ano. Verificou-se um aumento linear do teor de água em sementes com 7 e 9% iniciais e para os demais tratamentos (11, 13 e 15%) ocorreu uma redução no teor de água, tendendo aos 135 dias ao equilíbrio higroscópico, com valores entre 13% e 11% (FIGURA 1 e TABELA 1).

Para as sementes armazenadas nas temperaturas de 20, 30 e 20-30 °C, constatou-se uma estabilidade de valores já aos 45 dias entre todas as amostras, indicando o equilíbrio higroscópico com valores de teores de água aproximados de 9%, 6,5% e 7,5% respectivamente em cada ambiente, permanecendo da mesma forma ao longo de todo o período de armazenagem e, portanto, não diferindo mais em relação ao teor de água (FIGURA 1).

Figura 1 – Variações dos teores de água (%) de sementes de soja ao longo do armazenamento em função dos teores de água iniciais e temperaturas de armazenagem.



Fonte: Da autora (2022).

Smaniotto *et al.* (2014) também observaram redução no teor de água de sementes de soja armazenadas por 180 dias. Os autores afirmaram que esta redução pode estar relacionada com a permeabilidade da embalagem nas quais as sementes foram armazenadas. Da mesma forma, neste estudo, as sementes foram armazenadas em embalagens do tipo permeável, permitindo assim, a troca de vapor d'água das sementes com o ambiente de armazenamento, estando, portanto, o teor de água dependente da umidade relativa e temperaturas durante as estações do ano.

Após o tratamento químico, houve redução na germinação de sementes com baixos teores de água, 7 e 9%. Essa relação pode ser explicada devido aos danos de embebição durante a germinação em sementes com baixos teores de água (TABELA 3). Marcos-Filho (2015) afirmou que sementes muito secas, umidade inferior a 11%, são mais afetadas quando em contato com matrizes que apresentam alta disponibilidade hídrica, como por exemplo, na condução de testes de germinação em laboratório, do que após a semeadura em condições de campo.

Toledo *et al.* (2010) relataram que sementes com teores de água acima de 15% não são afetadas por danos de embebição no teste de germinação padrão. Estes resultados reforçam a importância da pré-embebição de 24h a 25 °C em gerbox com telado suspenso e água, para sementes de soja com teores de água abaixo de 11%, conforme recomendado por Brasil (2009), principalmente para sementes tratadas com moléculas químicas.

Ao longo do período de armazenamento, sementes com teor de água elevado (15%) perderam a qualidade fisiológica mais rápido, mesmo após o equilíbrio higroscópico das sementes durante o armazenamento. Os danos se intensificaram de modo que ao final do armazenamento, sob condições de temperatura mais elevadas, as sementes chegaram próximas de 65% de germinação, abaixo do padrão para comercialização de sementes de soja no país. No entanto, é importante destacar que as sementes armazenadas à temperatura de 10 °C, independentemente do teor de água inicial, permaneceram com padrão de germinação para a comercialização de sementes após os períodos de armazenamento avaliados (TABELA 3).

Abati *et al.* (2020) observaram redução da qualidade de sementes de soja com o aumento do volume de calda utilizado no tratamento industrial e com o prolongamento do período de armazenamento, no entanto, o efeito negativo também foi mitigado pelo armazenamento em condições de 10 °C e 50% de umidade relativa.

Tabela 3 – Porcentagem de germinação de sementes de soja tratadas, oito dias após a semeadura, em diferentes temperaturas e períodos de armazenamento.

Armazenamento (dias)	Teor de água	Temperatura			
		10°C	20°C	30°C	20°C/30°C
0	7%	82 bA	81 bA	84 bA	84 bA
	9%	82 bA	82 bA	82 bA	81 bA
	11%	87 aA	86 bA	86 bA	87 aA
	13%	89 aA	86 bA	85 bA	88 aA
	15%	92 aA	93 aA	94 aA	92 aA
45	7%	87 aA	84 aA	80 aB	81 aB
	9%	85 aA	85 aA	80 aA	84 aA
	11%	87 aA	82 aA	82 aA	86 aA
	13%	86 aA	80 aA	55 bB	84 aA
	15%	86 aA	76 bB	75 aB	77 bB
90	7%	89 bA	89 aA	89 aA	86 aA
	9%	95 aA	93 aA	81 bB	84 aB
	11%	90 bA	88 aA	83 bB	85 aB
	13%	88 bA	82 bB	81 bB	85 aA
	15%	85 bA	78 bB	68 cD	74 bC
135	7%	90 aA	89 aA	84 aB	82 aB
	9%	84 bB	89 aA	80 aB	82 aB
	11%	92 aA	83 bB	80 aB	82 aB
	13%	83 bA	81 bA	73 bB	79 aA
	15%	87 aA	70 cB	68 bB	65 bB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

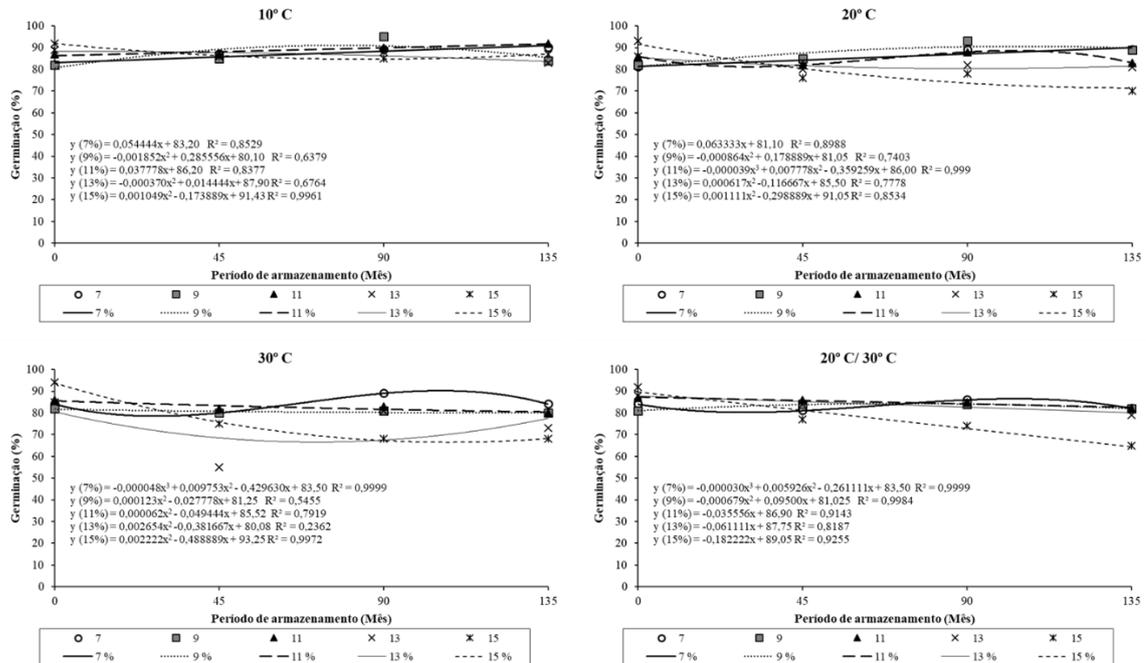
Fonte: Da autora (2022).

Ao analisar as temperaturas durante o armazenamento, após 45 dias houve diferenças na germinação em função do teor de água inicial das sementes tratadas. Em sementes submetidas aos tratamentos de 7, 13 e 15% de teor de água, houve menores valores quando armazenados em temperaturas mais altas, como 20-30 °C e 30 °C. Esse resultado se repetiu nos demais períodos de armazenamento, e o tratamento de 15% na temperatura de 20 °C também foi prejudicial, sendo indicado apenas a temperatura de 10 °C para conservação do potencial germinativo.

As condições de armazenamento, em temperatura de 10 °C manteve o potencial germinativo das sementes de soja tratadas em até 135 dias, para todos os teores de água estudados (FIGURA 2). No entanto, o armazenamento em temperaturas de 20 °C, 30 °C e alterado 20-30 °C causou redução da germinação acentuada, principalmente do tratamento com

teor de água inicial de 15%. Silva *et al.* (2011) relataram maiores perdas de qualidade no teste de germinação em sementes de arroz tratadas com maiores teores de água.

Figura 2 – Germinação (%) de sementes de soja tratadas, em diferentes teores de água, temperaturas e períodos de armazenamento.



Fonte: Da autora (2022).

No teste de germinação em rolo de papel mais vermiculita, observou-se que, para sementes armazenadas em temperatura de 10 °C, não ocorreram diferenças entre os tratamentos com diferentes teores de água iniciais, ao longo de todo armazenamento (TABELA 4). Este resultado não foi observado no teste de germinação padrão, em que, com sementes com 7 e 9% houve menores valores de germinação. Além disso, ao comparar as médias de germinação dos dois testes, notou-se maiores valores quando foi utilizado a metodologia de vermiculita no papel de germinação. Dessa forma, é possível relacionar que o substrato utilizado evita o contato direto entre produto, semente e água, e assim, o efeito fitotóxico atrelado ao processo de embebição das sementes não foi observado.

Rocha *et al.* (2020) observaram que não houve decréscimo da germinação utilizando rolo de papel mais vermiculita, em sementes de soja tratadas com produtos fitossanitários. Os autores também observaram fitotoxidez em sementes e plântulas nos métodos de germinação com água prontamente disponível, como no teste de germinação entre papel.

Tabela 4 – Porcentagem de germinação de sementes de soja em rolo de papel mais vermiculita, oito dias após a semeadura, em diferentes temperaturas e períodos de armazenamento.

Armazenamento (dias)	Teor de água	Temperatura			
		10°C	20°C	30°C	20°C/30°C
0	7%	87 aA	85 bA	86 bA	89 aA
	9%	87 aA	86 bA	87 bA	87 aA
	11%	82 aA	82 bA	83 bA	84 aA
	13%	86 aA	88 aA	87 bA	88 aA
	15%	91 aA	91 aA	92 aA	90 aA
45	7%	91 aA	94 aA	96 aA	98 aA
	9%	85 aA	96 aA	92 aA	94 aA
	11%	92 aA	95 aA	92 aA	88 bA
	13%	94 aA	88 bB	86 bB	96 aA
	15%	94 aA	90 bA	76 cC	82 cB
90	7%	94 aA	87 aB	77 aD	83aC
	9%	90 aA	89 aA	83 aB	81 bB
	11%	94 aA	87 aB	80 aC	85 aB
	13%	90 aA	81 bB	76 aB	77 bB
	15%	89 aA	80 bB	65 bC	87 aA
135	7%	93 aA	90 aA	84 aB	91 aA
	9%	91 aA	90 aA	86 aA	89 aA
	11%	92 aA	93 aA	81 aB	89 aB
	13%	89 aA	80 bB	69 bC	86 aA
	15%	91 aA	82 bB	68 bD	77 bC

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

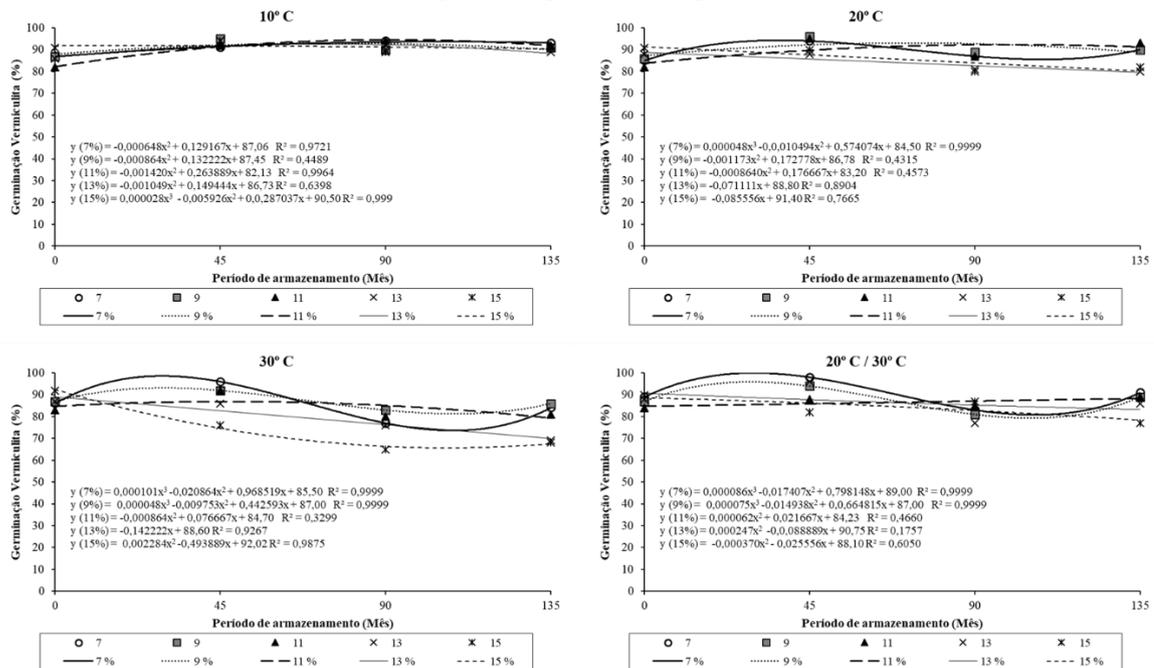
Em sementes com 15% de umidade foi observada maior redução na porcentagem de plântulas normais em condições de armazenamento a temperaturas mais elevadas, como 20, 30 e 20-30 °C (TABELA 4), o que corrobora com o que foi observado no teste de germinação.

O armazenamento em temperaturas mais altas acelera a taxa metabólica e a respiração das sementes, favorecendo reações bioquímicas que degradam proteínas e membranas, consomem reservas, prejudicam a germinação e o vigor, além de reduzir o tempo de viabilidade de armazenamento das sementes (STEFANELLO *et al.*, 2015).

Nos gráficos de regressão para germinação em rolo de papel mais vermiculita (RP+V), observou-se nas sementes armazenadas a 10 °C porcentagens de germinação acima de 85%, independente do teor de água inicial (FIGURA 3). Nas demais temperaturas, houve maior

redução na porcentagem de plântulas normais, principalmente em sementes com 13 e 15% de teor de água inicial. No entanto, os valores encontrados no teste de germinação utilizando RP + V, foram superiores quando comparados ao do teste de germinação padrão.

Figura 3 – Germinação (%) em rolo de papel mais vermiculita de sementes de soja tratadas, em diferentes teores de água, temperaturas e períodos de armazenamento.



Fonte: Da autora (2022).

Mavaieie *et al.* (2019) também observaram que no armazenamento em ambiente climatizado de câmara fria (10 °C e 50% de UR), a qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas foi mantida até oito meses, com valores de vigor elevados ao final do armazenamento.

Na avaliação da emergência, resultados semelhantes ao teste de germinação em rolo de papel + vermiculita foram encontrados, ou seja, aos 0 dias não houve diferença entre os diferentes teores de água para emergência de plântulas (TABELA 5). Isso mostra que o contato das sementes com o solo evita a proximidade direta com o produto químico e também o processo de embebição é mais lento, evitando assim, os danos por embebição nas sementes de soja. Essa informação reforça a importância da escolha da metodologia mais adequada para a avaliação da qualidade de sementes.

Ao longo do armazenamento, na temperatura de 10 °C, até 90 dias não houve diferença nos valores de emergência de plântulas, nos diferentes teores de água iniciais. No entanto, aos 135 dias de armazenamento em sementes com 13 e 15% foram observados menores valores

quando comparado aos demais. Esse fato pode ser explicado devido ao alto teor de água em que as sementes destes tratamentos se encontravam aos 135 dias (TABELA 2). Para Marcos-Filho (2015) em sementes mais úmidas as reações hidrolíticas são facilitadas, com acréscimo nas concentrações de açúcares, ácidos graxos e outras características típicas do processo de deterioração.

Tabela 5 – Porcentagem de emergência de plântulas de soja, oito dias após a semeadura, em diferentes temperaturas e períodos de armazenamento.

Armazenamento (dias)	Teor de água	Temperatura			
		10°C	20°C	30°C	20°C/30°C
0	7%	92 aA	90 aA	90 aA	89 aA
	9%	91 aA	90 aA	91 aA	89 aA
	11%	87 aA	86 aA	86 aA	86 aA
	13%	86 aA	87 aA	88 aA	83 aA
	15%	90 aA	89 aA	90 aA	89 aA
45	7%	86 aA	90 aA	80 aB	81 aB
	9%	84 aA	87 aA	74 aB	84 aA
	11%	80 aA	78 bA	68 bB	76 bA
	13%	71 bA	72 cA	48 cB	69 cA
	15%	71 bA	66 cA	48 cB	52 dB
90	7%	91 aA	87 aA	81 bB	83 aB
	9%	95 aA	92 aA	88 aB	84 aB
	11%	93 aA	82 bB	80 bB	84 aB
	13%	87 aA	77 bB	62 cC	76 bB
	15%	88 aA	77 bB	64 cC	66 cC
135	7%	94 aA	93 aA	85 aB	91 aA
	9%	95 aA	86 aB	86 aB	88 aB
	11%	87 bA	89 aA	80 aB	92 aA
	13%	82 bA	81 bA	73 bB	79 bA
	15%	84 bA	79 bB	67 bC	75 bB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

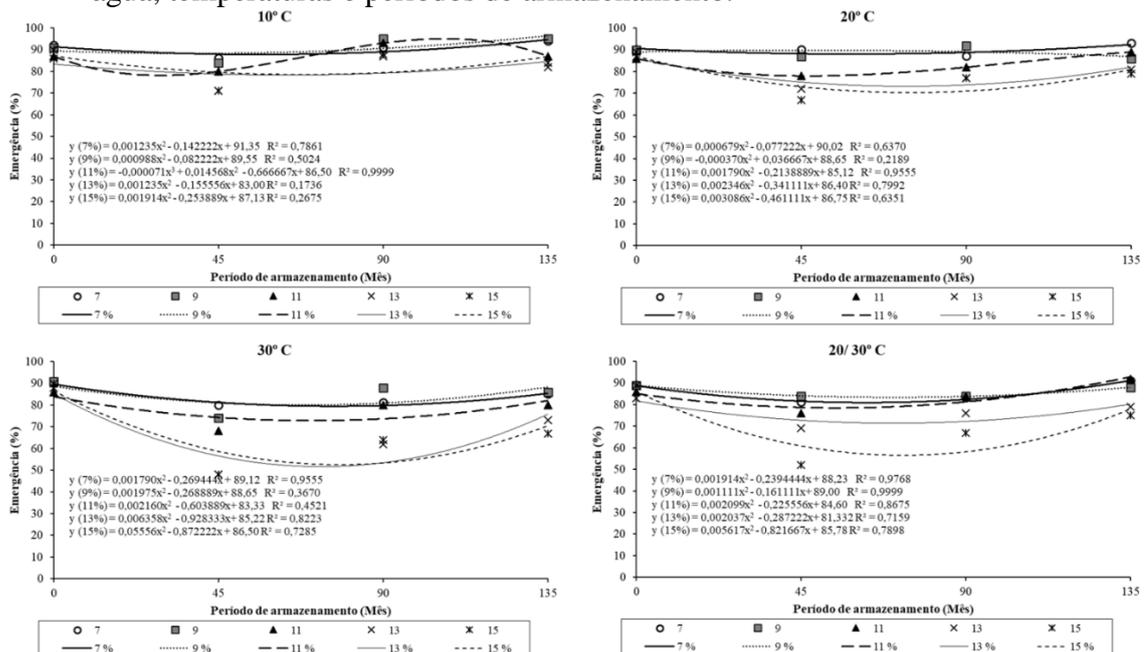
Fonte: Da autora (2022).

Silva (2008) afirma que existe um aumento da taxa respiratória das sementes proporcional ao aumento da temperatura, que depende do teor de água das mesmas. Com o teor de água superior a 14% (b.u.) a respiração das sementes aumenta e, conseqüentemente, ocorre maior deterioração das mesmas.

Na temperaturas de 20, 30 e 20-30 °C, observou-se aos 45 dias de armazenamento, em sementes com 11, 13 e 15%, também menores valores de emergência das plântulas e este fato se repetiu a cada período de armazenamento subsequente (TABELA 5). Assim, foi observado que a partir do momento em que se armazenou sementes tratadas em condições de temperaturas mais elevadas e maiores teores de água, houve perda da qualidade logo nos primeiros 45 dias de armazenamento. É importante notar que em condições de elevada temperatura, ocorreu a perda de água mais acentuada das sementes, e este fato pode potencializar também os danos por embebição.

Reforçando essas observações, em sementes com 7 e 9% houve maiores valores de emergência em todas temperaturas de armazenamento (FIGURA 4). Já para as sementes com teores de água iniciais de 13 e 15%, houve mais reduções na qualidade durante o período de armazenamento, com maior intensidade nas temperaturas de 30 °C e alternados 20-30 °C.

Figura 4 – Porcentagem de emergência em sementes de soja tratadas, em diferentes teores de água, temperaturas e períodos de armazenamento.



Fonte: Da autora (2022).

No teste de envelhecimento acelerado, em sementes com 13 e 15% de teor de água, foram verificadas maiores reduções no vigor a partir de 45 dias, armazenadas em temperatura de 30 °C (TABELA 6). Esse resultado corrobora com as demais variáveis analisadas no estudo, em que sementes com alto teor de água inicial tendem a perder qualidade ao longo do

armazenamento, sendo que, a perda de vigor, ainda é potencializada pelo armazenamento em altas temperaturas.

Tabela 6 – Porcentagem de emergência de sementes de soja, após envelhecimento acelerado, em diferentes temperaturas e períodos de armazenamento.

Armazenamento (dias)	Teor de água	Temperatura			
		10°C	20°C	30°C	20°C/30°C
0	7%	72 aA	74 aA	75 aA	73 aA
	9%	75 aA	74 aA	73 aA	72 aA
	11%	75 aA	78 aA	76 aA	77 aA
	13%	79 aA	77 aA	77 aA	80 aA
	15%	71 aA	70 aA	69 aA	71 aA
45	7%	70 aB	81 aA	70 aB	72 aB
	9%	74 aA	77 aA	75 aA	72 aA
	11%	74 aA	71 bA	73 aA	77 aA
	13%	70 aA	68 bA	60 bB	69 aA
	15%	71 aB	81 aA	57 bD	65 aC
90	7%	69 aA	65 bA	58 bB	56 aB
	9%	65 aA	61 bA	59 bA	46 bB
	11%	66 aA	59 bB	68 aA	60 aB
	13%	67 aB	76 aA	42 dC	48 bC
	15%	51 bA	57 bA	51 cA	47 bA
135	7%	69 bB	69 aB	72 aB	79 aA
	9%	72 bA	72 aA	69 aA	76 aA
	11%	83 aA	71 aB	67 aB	66 bB
	13%	72 bA	73 aA	57 bB	68 bA
	15%	70 bA	69 aA	49 bB	51 cB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

O envelhecimento acelerado é um importante teste de vigor, que traz informações importantes acerca da qualidade das sementes e do potencial de armazenamento. É possível observar que antes do armazenamento as sementes perderam a qualidade, independente do teor de água inicial, quando comparado aos demais testes em que se obteve valores superiores a 80%.

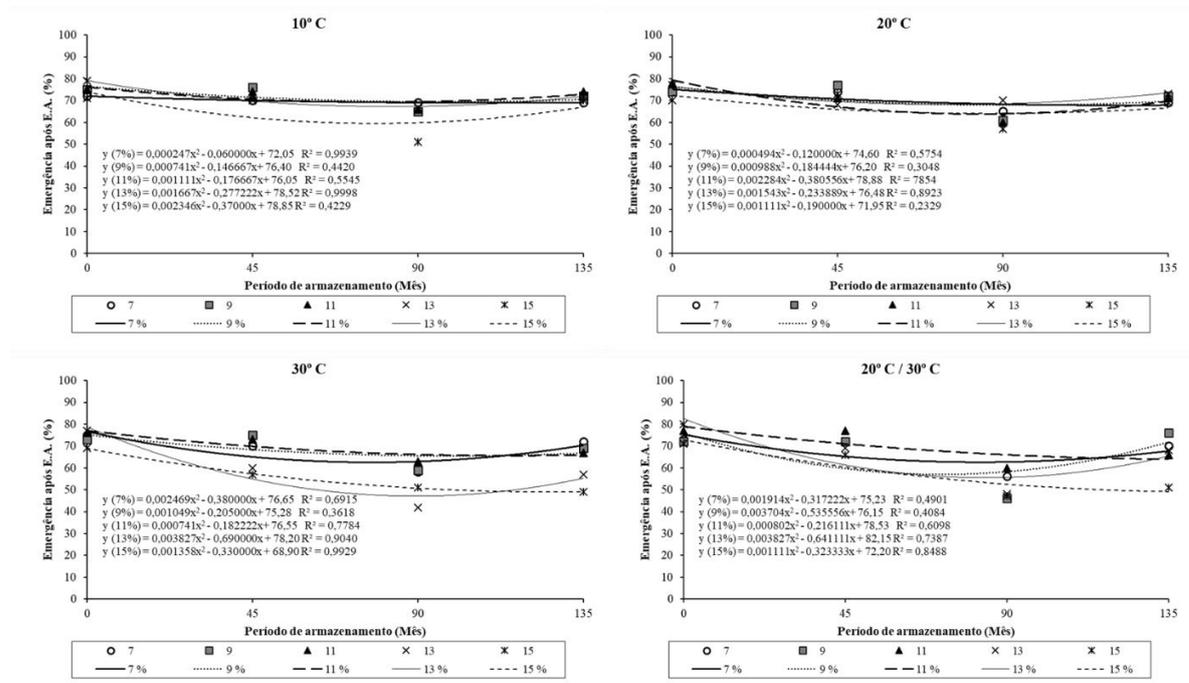
Para a maioria dos teores de água estudados, as sementes armazenadas a 30 e 20-30 °C houve maiores perdas de vigor quando comparado às temperaturas de 10 e 20 °C (TABELA 6). Este fato era esperado, visto que altas temperaturas de armazenamento podem acelerar o

processo de deterioração. Paraginski *et al.* (2015) observaram redução da porcentagem de germinação de sementes de milho acondicionadas em temperaturas de 35 °C. Da mesma forma, Schons *et al.* (2018) relataram maiores perdas da qualidade de sementes de soja tratadas e armazenadas em silo, com temperatura do local próximo a 40 °C.

A redução na germinação e no vigor pode estar relacionado ao acúmulo de danos oxidativos às células, ocasionado pelo armazenamento em condições inadequadas, como altas temperaturas e umidade relativa, e assim, prejudica a atuação dos sistemas antioxidantes, estes que são importantes para a manutenção da viabilidade e do vigor das sementes (KRZYZANOWSKI *et al.*, 2021).

O vigor das sementes armazenadas em temperaturas de 10 e 20 °C se mantiveram constante ao longo do armazenamento (FIGURA 5). Todavia, na temperatura de 30 °C houve maior decréscimo no vigor ao longo do armazenamento em sementes com teores de água iniciais de 13 e 15%. Já na temperatura alternada de 20-30 °C maior redução do vigor foi observado principalmente nas sementes com 15% de teor de água inicial (FIGURA 5), o que reitera os resultados anteriores de que em sementes submetidas a este tratamento, houve maiores decréscimos na qualidade fisiológica após o tratamento e durante o armazenamento.

Figura 5 – Porcentagem de plântulas normais, após envelhecimento acelerado, em sementes de soja tratadas, em diferentes teores de água, temperaturas e períodos de armazenamento.



Fonte: Da autora (2022).

Para os danos mecânicos identificados pelo teste de tetrazólio, observou-se que com a redução do teor de água das sementes, a incidência de danos mecânicos aumentou, sendo 7 e 9% as sementes com maior porcentagem de dano mecânico, em todas as temperaturas avaliadas (TABELA 7). Com relação às temperaturas de armazenamento, somente para sementes com 11% de teor de água houve maior incidência de danos mecânicos, nas temperaturas de 10 °C e 20-30 °C.

Tabela 7 – Incidência de danos mecânicos em sementes de soja com diferentes teores de água e temperaturas de armazenamento.

Teor de água	Temperatura			
	10°C	20°C	30°C	20°C/30°C
7%	27 cA	29 bA	27 cA	24 bA
9%	24 cA	26 bA	22 bA	23 bA
11%	19 bB	15 aA	13 aA	18 aB
13%	16 bA	17 aA	15 aA	14 aA
15%	12 aA	14 aA	13 aA	14 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

O mesmo padrão foi observado ao comparar os teores de água em função do armazenamento, em que em sementes com 7 e 9% de teor de água foram observadas as maiores porcentagens de danos em todos os períodos (TABELA 8). É importante ressaltar que, durante o armazenamento, para sementes com alto teor de água inicial (13 e 15%), houve aumento da incidência de danos mecânicos ao longo do armazenamento e isso pode ser explicado devido a intensificação dos danos mecânicos latentes, que se tornaram mais evidentes. Moreano *et al.* (2011) afirmaram que os danos mecânicos latentes podem aumentar durante o armazenamento e são influenciados pelas condições de temperatura e umidade. Os autores também observaram aumento da incidência de danos mecânicos em sementes de soja armazenadas durante 225 dias.

Tabela 8 – Incidência de danos mecânicos em sementes de soja com diferentes teores de água e períodos de armazenamento.

Teor de água	Armazenamento (dias)		
	0	90	135
7%	26 eA	29 cB	25 cA
9%	23 dA	25 bA	25 cA
11%	15 cA	17 aA	16 bA
13%	12 bA	18 aB	16 bB
15%	8 aA	20 aC	12 aB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade

Fonte: Da autora (2022).

Na avaliação do vigor pelo teste de tetrazólio, para as sementes com 7 e 9% de umidade, os resultados foram inferiores aos demais tratamentos, nas temperaturas de 10, 20 e 30 °C (TABELA 9). Ao analisar as diferentes temperaturas de armazenamento, somente para os tratamentos com 11 e 13% houve diferenças no vigor. Para as sementes com 11% de umidade, armazenadas à 20-30 °C houve menores médias de vigor pelo teste de tetrazólio. Já para as sementes com 13% de teor de água, observou-se que a temperatura de 10 °C foi a melhor condição de armazenamento, com as maiores médias de vigor das sementes, quando comparadas às observadas nas demais temperaturas.

Tabela 9 – Porcentagem de vigor pelo teste de tetrazólio em sementes de soja com diferentes teores de água e temperaturas de armazenamento.

Teor de água	Temperatura			
	10°C	20°C	30°C	20°C/30°C
7%	79 bA	77 bA	77 cA	79 aA
9%	80 bA	79 bA	82 bA	80 aA
11%	86 aA	91 aA	88 aA	81 aB
13%	88 aA	82 bB	83 bB	83 aB
15%	88 aA	86 aA	86 aA	83 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Para sementes armazenadas nas temperaturas de 20 e 30 °C houve redução no vigor após 90 dias de armazenamento (TABELA 10). Aos 135 dias, em todas as temperaturas, o vigor das sementes foi menor quando comparado aos demais períodos de armazenamento. Ao comparar as temperaturas de armazenamento, verificou-se que, apenas aos 90 dias houve

diferença significativa, sendo que novamente na temperatura de 10 °C, foram encontrados os maiores valores de vigor das sementes de soja.

Tabela 10 – Porcentagem de vigor pelo teste de tetrazólio em sementes de soja com diferentes teores de água e temperaturas de armazenamento.

Armazenamento (dias)	Temperatura			
	10°C	20°C	30°C	20°C/30°C
0	85 aA	86 aA	88 aA	83 aA
90	87 aA	82 bB	82 bB	82 aB
135	81 bA	82 bA	79 bA	78 bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Esses resultados reforçam a importância da armazenagem correta das sementes, que em temperaturas mais baixas, vão contribuir para a manutenção da qualidade das mesmas durante períodos mais prolongados. Além disso, o conhecimento do teor de água no momento do tratamento de sementes é fator essencial para evitar a ocorrência de danos mecânicos e também para garantir que a qualidade fisiológica das sementes produzidas, seja mantida após o tratamento e durante o armazenamento.

#### **4 CONCLUSÕES**

O teor de água inicial influencia na qualidade das sementes de soja tratadas durante o período de armazenamento, sendo que em sementes armazenadas com teor de água inicial acima de 13%, há maior perda de qualidade ao longo do armazenamento.

O tratamento de sementes com teores de água abaixo de 9% favorece a incidência de danos mecânicos e otimiza os danos de embebição quando da imediata avaliação pelo teste de germinação.

Recomenda-se o tratamento químico das sementes com teor de água próximo de 11%, em função da redução de danos mecânicos e preservação da qualidade após tratamento e armazenamento.

O armazenamento na temperatura de 10 °C proporciona melhor conservação da qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas em até 135 dias. Nas condições de temperatura de 20-30 e 30 °C a deterioração das sementes é mais acentuada, principalmente à 30 °C.

## REFERÊNCIAS

- ABATI, J. *et al.* Physiological response of soybean seeds to spray volumes of industrial chemical treatment and storage in different environments. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v.4 2, p. e202042002, 2020.
- AMARAL, D. R.; DOBIS, F. S.; CARVALHO, T. C. de. Avaliação da qualidade física e fisiológica de sementes de soja durante o beneficiamento. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, [S.l.], v.11, n.2, p.43-52, 2018.
- ASAE. American Society of Agricultural Engineers. **Moisture relationship of grains**. Agricultural Engineers Yearbook. American Society of Agricultural Engineering, 1980.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas: 1992-1990**. Brasília, 1992. 84 p.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p.
- CARBONELL, S. A. M. *et al.* Teor de umidade das sementes de soja e métodos de avaliação do dano mecânico provocado no teste do pêndulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 28, n. 11, p. 1277-1285, 1993.
- CARVALHO, E. R. *et al.* Phytotoxicity in soybean seeds treated with phytosanitary products at different application times. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 42, p. e202042036, 2020.
- CARVALHO, E. R. *et al.* Physiological and enzymatic monitoring of treated seeds of cultivars soybean during storage. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 17, n. 3, p. e2077-e2077, 2022.
- CARVALHO, E. R. *et al.* Incidence of fungal species in stored soybean seeds in relation to cooling before packing and to packing material. **Revista de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 44, n. 2-3, p. 193-202, 2021.
- CARVALHO, E. R. *et al.* Pre-packing cooling and types of packages in maintaining physiological quality of soybean seeds during storage. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 38, p. 129-139, 2016.
- CASTELLANOS, C. I. S. *et al.* Thiamethoxam treated bean seeds performance during storage. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 12, p. 1-5, 2017.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p.5 29-535, 2019.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina, 2018. 108 p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 406).

KRZYZANOWSKI, F.C.; DIAS, D.C.F.S.; FRANÇA-NETO, J.B. Deterioração e vigor da semente. **Revista Seednews**, [S.l.], v. 25, n.1, 2021.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. 2. ed. Londrina, PR: ABRATES, 2015.

\_\_\_\_\_. Teste de envelhecimento acelerado. *In*: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. MARCOS-FILHO.J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2020.

MAVAIEIE, D. P. R. *et al.* Performance of treated seeds of different soybean cultivars in function of environments and storage periods. **Brazilian Journal of Agriculture**, [S.l.], v. 94, p. 179-195, 2019.

MORAES, L. F. S. *et al.* Physiological quality of corn seeds treated with insecticides and stored at different temperatures. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 57, p. e02665, 2022.

MOREANO, T. B. *et al.* Changes in the effects of weathering and mechanical damage on soybean seed during storage. **Seed Science and Technology**, [S.l.], v. 39, p. 604-611, 2011.

NUNES, J. C. S. Tratamento de sementes de soja como um processo industrial no Brasil. **Revista SEED News**, [S.l.], v. 20, p. 26-32, 2016.

OLIVEIRA, T.L. de. *et al.* Biochemical changes and physiological quality of corn seeds subjected to different chemical treatments and storage times. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 42, p. e20204203, 2020.

PARAGINSKI, R. T. *et al.* Qualidade de grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 19, n. 4, p.358-363, 2015.

ROCHA, D. K. *et al.* Does the substrate affect the germination of soybean seeds treated with phytosanitary products?. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 44, p. e020119, 2020.

RUPPIN, N. W. *et al.* Caracterização morfofisiológica de sementes de diferentes cultivares de soja armazenadas sob condições não controladas. **Caderno de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 11, p. 1-8, 2019.

SCHONS, A. *et al.* Respostas do genótipo, tratamento de sementes e condições de armazenamento no potencial fisiológico de sementes de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 41, n.1, p. 111-120, 2018.

SILVA, C. S. D. *et al.* Efeito do tratamento químico sobre a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de arroz com diferentes graus de umidade. **Revista Brasileira de Sementes**, [S.l.], v. 33, n. 3, p. 426-434, 2011.

SILVA, J.S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. 560 p.

SMANIOTTO, T. A. S. *et al.* Qualidade Fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 18, n. 4, p. 446-453, 2014.

STEFANELLO, R. *et al.* Physiological and sanitary qualities of maize landrace seeds stored under two conditions. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 39, p. 339-347, 2015.

TOLEDO, M. Z. *et al.* Imbibition damage in soybean seeds as affected by initial moisture content, cultivar and production location. **Seed Science and Technology**, [S.l.], v. 38, n. 2, p. 399-408, 2010.

VIRGOLINO, Z. Z. *et al.* Physiological quality of soybean seeds artificially cooled and stored in different packages. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 20, n. 5, p. 473-480, 2016.

ZUCHI, J. *et al.* Physiological quality of dynamically cooled and stored soybean seeds. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 35, p. 353-360, 2013.

### **CAPÍTULO 3 RUPTURA FISIOLÓGICA (RASGO) DE SEMENTES DE SOJA INFLUENCIA NA QUALIDADE PÓS TRATAMENTO E ARMAZENAMENTO?**

#### **RESUMO**

A crescente ocorrência no aparecimento de ruptura fisiológica (rasgo) no tegumento de sementes de soja tem sido relatada com frequência no processo de produção. Ainda são pouco explorados os efeitos desta na qualidade de sementes, seja após o tratamento químico ou também durante o armazenamento. Por isso, o objetivo foi avaliar a influência do rasgo no tegumento de sementes sobre a qualidade de sementes de soja, em função do tratamento de sementes e armazenamento. Foram utilizadas duas cultivares de soja, Desafio e P96R70. Para o tratamento de semente foi utilizado o produto Fortenza® Duo, com adição de polímero e pó secante. Foram utilizadas amostras de sementes com 0%, 10%, 20% e 40% de rasgo no tegumento. As avaliações da qualidade física e fisiológica foram realizadas em 3 períodos de armazenamento: 0, 60 e 120 dias. As análises foram realizadas por meio dos testes de teor de água, teste de germinação, envelhecimento acelerado, emergência de plântulas e análise de plântulas por meio de imagens computadorizadas. O experimento foi realizado em arranjo fatorial 2 x 4 x 3, sendo dois tratamentos de sementes, quatro níveis de rasgo no tegumento das sementes e três períodos de armazenamento. Existem diferenças entre os genótipos estudados em relação à tolerância ao armazenamento em função dos diferentes níveis de rasgo no tegumento. A qualidade fisiológica de sementes de soja é afetada em condições de armazenamento na temperatura de 20-30 °C, aos 60 dias, principalmente em sementes tratadas em que a deterioração é mais acentuada. O nível de rasgo no tegumento influencia na qualidade de sementes, em lotes com porcentagens acima de 20%, ocorre maior redução da qualidade após o armazenamento e quando tratadas, esse efeito é potencializado.

**Palavras-chave:** *Glycine max*. Qualidade fisiológica. Ruptura fisiológica. Tratamento químico. de sementes.

## ABSTRACT

The increase of rupturing (tearing) in the seed coat of soybeans has been frequently reported in the production process. The effects of this on seed quality are still little explored, either after chemical treatment or during storage. Therefore, the objective was to evaluate the influence of seed coat tearing on the quality of soybean seeds, as a function of seed treatment and storage. Two soybean cultivars, Desafio and P96R70, were used. For the treatment of seeds, the product Fortenza® Duo was used, with the addition of polymer and drying powder. Seed samples with 0%, 10%, 20% and 40% tegument tears were used. Physical and physiological quality evaluations were carried out in 3 storage periods: 0, 60 and 120 days. The analyzes were performed through tests of water content, germination, accelerated aging, emergence and analysis of seedlings through computerized images. The experiment was carried out in a 2 x 4 x 3 factorial arrangement, with two seed treatments, four levels of tearing in the seed coat and three storage periods. There are differences between the genotypes studied in relation to storage tolerance due to the different levels of tegument tearing. The physiological quality of soybean seeds is affected under storage conditions at a temperature of 20-30 °C, at 60 days, mainly in treated seeds where deterioration is more pronounced. The level of tearing in the tegument influences the quality of seeds, in lots with percentages above 20%, there is a greater reduction in quality after storage and when treated, this effect is enhanced.

**Keywords:** *Glycine max*. Physiological quality. Physiological rupture. Seed treatment.

## 1 INTRODUÇÃO

A soja é uma das principais commodities que movimentam grande parte da economia do mundo, inclusive do Brasil, o qual ocupa a primeira posição no ranking dos maiores produtores da cultura (CONAB, 2022). Sua importância no cenário mundial tem motivado pesquisas em diversas áreas, sobretudo as que são voltadas ao aumento de produtividade e redução dos custos de produção. O investimento tem sido significativo por parte dos produtores que, para alavancarem a produção, investem em manejo de pragas e doenças, correção do solo e, principalmente, na aquisição de sementes de qualidade.

A utilização de sementes de elevada qualidade é essencial para obtenção de uma lavoura com estande de plantas adequado e plântulas vigorosas, garantindo assim, elevados índices de produtividade (BAGATELI *et al.*, 2019; REIS *et al.*, 2022).

São muitos os avanços tecnológicos visando aumentar a produtividade da soja e, dentre eles, o tratamento químico de sementes tem grande destaque (BRZEZINSKI *et al.*, 2015; CARVALHO *et al.*, 2020). Essa técnica pode ser afetada por diversos fatores como qualidade inicial das sementes (BRZEZINSKI *et al.*, 2017), genótipos (ABATI *et al.*, 2018; SCHONS *et al.*, 2018), produtos e volume de calda utilizados no tratamento de sementes (CARVALHO *et al.*, 2022a; PEREIRA *et al.*, 2021), dentre outros. Isso explica a busca por tecnologias que melhorem o desempenho das sementes de soja no campo.

O tratamento de sementes, atualmente é realizado de forma antecipada pelas empresas, com o Tratamento Industrial de Sementes - TSI (OLIVEIRA *et al.*, 2020; MORAES *et al.*, 2022), visando a logística de comercialização das sementes de maneira mais assertiva, com dosagem correta do ativo químico e segurança na operação. Assim, surgem também outros desafios visando a manutenção da qualidade das sementes tratadas durante o armazenamento e tem sido relatado por diversos autores (CONCEIÇÃO *et al.*, 2016; BEM JUNIOR *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2020; CARVALHO *et al.*, 2022b).

A semente de soja, como um todo, é formada por três partes: o eixo embrionário, dois cotilédones e o tegumento. O tegumento possui importante papel na proteção do embrião contra o ataque de patógenos e da ocorrência de danos mecânicos, além de modular as trocas gasosas entre a semente e o meio, e regular a velocidade de absorção ou dessorção de água (MARCOS-FILHO, 2015). Para que o tegumento desempenhe sua função na preservação da qualidade da

semente de forma eficiente, é importante que ele esteja íntegro, ou seja, sem fissuras ou rachaduras.

Nos últimos anos, com o crescente registro de cultivares e impulsionado pela alta competitividade do mercado, tem ocorrido também genótipos com maior incidência de rasgo (ruptura fisiológica) no tegumento do que nas décadas anteriores e, este fator, ainda é pouco explorado no controle de qualidade de sementes e vem preocupando e causando dúvidas com relação a sua influência sobre a qualidade de sementes (ZORATO, 2018; TEIXEIRA, 2021).

O rasgo no tegumento em sementes de soja é considerado um defeito fisiológico, em que a ruptura pode ser explicada pela rachadura no revestimento dorsal, provocada pela rápida turgidez das células em função do excesso de água (SENDA *et al.*, 2018, TEIXEIRA, 2021). Esse rasgo pode estar no centro do cotilédono, ladeando o hilo da semente ou pequenos rasgos por toda a semente, ou seja, não existe um padrão exato de formação deste defeito genético. Os genótipos de soja apresentam características diferenciais quanto a ocorrência de rasgo no tegumento das sementes (BAHRY *et al.*, 2015), por isso, são de grande importância estudos com distintos genótipos, a fim de correlacionar os efeitos deste defeito fisiológico na qualidade das sementes.

Informações científicas sobre a relação entre ocorrência de rasgos e eficiência do tratamento das sementes e relações com a qualidade fisiológica, seja na fitotoxidez ou na manutenção da qualidade fisiológica das sementes armazenadas, são demandadas e escassas. Por isso, são necessárias pesquisas nessa área, a fim de estabelecer possíveis padrões mínimos de lotes com rasgo no tegumento que serão tratados, visando a garantia da qualidade das sementes comercializadas. Sendo assim, o objetivo foi avaliar a influência do rasgo no tegumento na qualidade de sementes de soja, em função do tratamento de sementes e armazenamento.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes de duas cultivares de soja, P96R70 e BMX Desafio, produzidas/multiplicadas no centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia – CDTT, localizado no município de Ijaci, MG, sob as mesmas condições edafoclimáticas da Universidade Federal de Lavras – UFLA.

Todos os tratamentos culturais na produção das sementes e processamento pós-colheita foram padronizados entre as cultivares: colheita manual a 15% de teor de água, debulha por meio de trilhadora elétrica estacionária de parcelas (sistema de trilha constituído por cilindro e côncavo) e secagem natural até 12% de teor de água e beneficiamento. Após o beneficiamento, as sementes foram previamente selecionadas, visualmente, em porções com presença e ausência de rasgo no tegumento. Após a seleção, parte das sementes foi pesada e levada ao processo de tratamento químico.

O processo de tratamento foi efetuado em tambor adaptado para simulação do tratamento em bateladas. As sementes foram tratadas com a receita de Fortenza® Duo, conforme os produtos descritos na Tabela 1, além da adição de polímero (Biocroma vermelho Biogrow 100 ml/100 kg sementes) e Pó secante (Biogloss biogrow 200 g/100 kg sementes). A outra parte das sementes não recebeu tratamento químico, formando, portanto, amostras de sementes tratadas e sementes sem tratamento, com e sem incidência de rasgo.

Tabela 1 – Produtos que constituem a receita de Fortenza® Duo.

Princípio ativo	Concentração i.a.	Produto comercial	Tipo <sup>1</sup>	Dose do produto comercial <sup>2</sup>
Tiametoxam	350g/L	Cruiser 350 FS	I	200 mL
Ciantraniliprole	600g/L	Fortenza 600 FS	I	60 mL
Metalaxil-M	20g/L			
Tiabendazol	150g/L	Maxim advanced	F	100 mL
Fludioxonil	25g/L			

<sup>1</sup> Tipo: I: inseticida; F: fungicida

<sup>2</sup> Dose: mL 100 kg<sup>-1</sup> de sementes

Fonte: Da autora (2022).

Foram estudados quatro níveis de incidência de rasgo no tegumento dos lotes de sementes, sendo eles: 0, 10, 20 e 40% de rasgo. As sementes foram separadas manualmente em sementes com ausência e presença de rasgo. Posteriormente, as amostras com as porcentagens

de rasgo no tegumento foram formadas em cada teste avaliado, ou seja, para cada avaliação havia o número exato de sementes com rasgo equivalente a porcentagem estabelecida, a fim de obter maior precisão em relação a este fator dentro de cada análise.

As sementes foram armazenadas em ambiente com controle de temperatura alternado, com regime de luz em temperatura de 30 °C e escuro de 20 °C. Ao longo do período de armazenamento as sementes foram avaliadas em três períodos: 0, 60 e 120 dias.

As avaliações da qualidade foram realizadas no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Agricultura, Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL), Universidade Federal de Lavras, por meio seguintes testes:

- a) Teor de água: foram mensurados por meio do método de estufa (24 horas a 105 °C), sendo os teores expressos em porcentagens, conforme Brasil (2009).
- b) Germinação: com quatro repetições de 50 sementes por tratamento, com semeadura em substrato papel germitest (2 folhas), em rolos, umedecido com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco, e foram mantidas em germinador tipo mangelsdorf a 25 °C. A contagem de plântulas normais foi realizada aos 8 dias após a semeadura (BRASIL, 2009).
- c) Emergência de plântulas: o substrato utilizado foi composto pela mistura de areia + solo (proporção 2:1) colocado em bandejas plásticas, irrigado a 60% da capacidade de retenção de água na semeadura e, posteriormente, quando necessário, de forma uniforme. Foram utilizadas 4 repetições de 50 sementes. As bandejas foram mantidas em casa de vegetação à temperatura de 25 °C. A contagem de emergência de plântulas normais foi realizada aos 8 dias após a semeadura.
- d) Envelhecimento acelerado: foram utilizadas caixas plásticas tipo gerbox, adaptadas com tela de alumínio suspensa. Em cada gerbox foram adicionados 40 mL de água e uma camada única de sementes sobre toda a tela. Em seguida, foram mantidas em câmara tipo BOD a 41 °C por 48 horas (MARCOS-FILHO, 2020a). Após este período, foi realizado a mesma metodologia utilizada no teste de germinação (BRASIL, 2009). A avaliação foi realizada cinco dias após a semeadura, com os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.
- e) Desenvolvimento inicial de plântulas: com quatro repetições de 20 sementes, seguindo as metodologias descritas para o teste de germinação. Aos quatro dias após a semeadura foram realizadas as capturas das imagens da plântulas. As avaliações foram feitas no

GroundEye®, versão S120. As plântulas foram inseridas na bandeja do módulo de captação para a obtenção de imagens de alta resolução. Subsequentemente, para a calibração da cor de fundo foi utilizado o modelo de cor CIEL\*a\*b com índice de luminosidade de 0 a 100, dimensão “a” -13,9 a 46,1 e dimensão “b” de -57,1 a -40,6. Após a calibração da cor do fundo, a análise das imagens foi feita automaticamente através da extração dos valores médios dos seguintes parâmetros: média do tamanho da parte aérea (hipocótilo) e média do tamanho da raiz primária.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2 x 4 x 3, envolvendo 2 tratamentos de sementes (com e sem tratamento químico), 4 níveis de rasgos no tegumento e 3 épocas de avaliação ao longo do armazenamento. As análises estatísticas foram realizadas por meio da análise de variância com auxílio do software Sisvar® (FERREIRA, 2019), a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). As médias foram analisadas pelo teste de Tukey, a 5%, ou com análises de regressões polinomiais com a escolha do modelo significativo de maior coeficiente de determinação e relação biológica.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível constatar que, independentemente do tratamento de sementes da cultivar Desafio, houve redução no teor de água ao longo do período de armazenamento, sendo mais acentuado aos 60 dias, para todos os níveis de rasgo no tegumento, fato esse relacionado ao equilíbrio higroscópico da semente com o ambiente, visto que o controle foi somente para a temperatura. Considerando que o tratamento foi realizado no início do mês de julho, análises aos 60 dias de armazenamento no início do mês de setembro, após estação seca e menor umidade relativa média, o teor de água foi próximo a 7,5% (TABELA 2).

Tabela 2 – Teor de água de sementes de soja armazenadas com diferentes níveis de rasgo no tegumento e tratamento químico. Cultivar Desafio.

Nível de rasgo tegumento	Tratamento químico	Período de armazenamento (dias)		
		0	60	120
0	Sim	10,66 Aa	7,47 Ca	9,33 Ba
	Não	9,59 Ab	7,01 Cb	8,77 Bb
10	Sim	10,63 Aa	7,66 Ca	9,06 Ba
	Não	10,25 Ab	7,19 Cb	8,42 Bb
20	Sim	10,64 Aa	7,59 Ca	9,07 Ba
	Não	10,36 Ab	7,08 Cb	8,83 Ba
40	Sim	10,76 Aa	7,44 Ca	9,71 Ba
	Não	10,87 Aa	7,35 Ca	8,94 Bb
C.V.		2,12		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

A elevação do teor de água aos 120 dias de armazenamento também pode ser explicada devido ao início do período chuvoso que antecedeu as análises, que foram realizadas em novembro. Com o aumento da umidade relativa, houve alteração do teor de água para valores mais altos, próximos a 9%. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021), as médias mensais de UR na estação de Lavras foi de 60, 58, 55, 77 e 71% nos meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro, respectivamente, o que confirma os resultados obtidos.

Quando houve diferença em função dos tratamentos, sempre em sementes que receberam tratamento químico foram observados os maiores valores de teor de água quando

comparado às sementes que não receberam tratamento químico, tanto nos diferentes níveis de rasgo no tegumento quanto ao longo do armazenamento (TABELA 2). Esses resultados podem estar associados a uma elevação do teor de água devido ao produto químico, que é líquido e contém água em sua composição, o que faz com que, quando em contato com as sementes, ocorra alteração na umidade das mesmas.

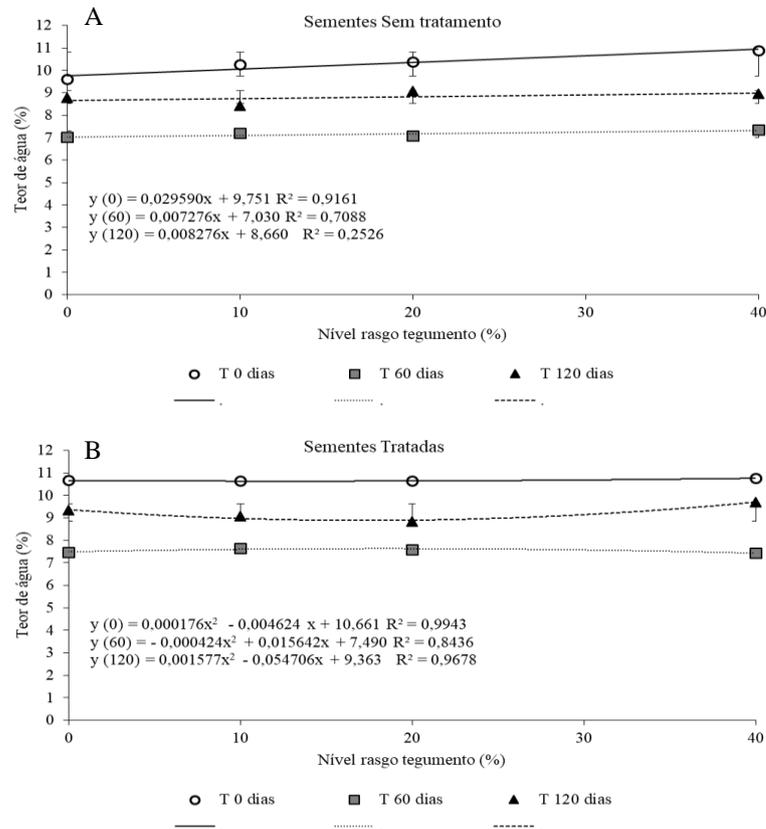
Ludwig *et al.* (2011) também observaram que após os tratamentos das sementes de soja, o teor de água aumentou em média 1% e, ao longo do armazenamento, a umidade das sementes reduziu em 2,6% aos 60 dias. Isso mostra que há uma tendência das sementes, mesmo com tratamento de sementes, atingirem o equilíbrio higroscópico de acordo com as variações do ambiente de armazenamento (BAUDET; VILLELA, 2012).

No entanto, todos os valores observados estavam adequados ao armazenamento, mesmo após o tratamento, com todos os valores abaixo de 12%, dessa forma, não influenciando nos resultados fisiológicos. Vale salientar que as diferenças significativas entre os tratamentos foram de pequena magnitude, próximas a 0,5%. A uniformidade do teor de água entre os tratamentos é importante para obtenção de resultados consistentes, pois segundo Marcos-Filho (2020b), diferenças superiores a 2% podem interferir nos resultados dos testes fisiológicos.

Smaniotto *et al.* (2014) afirmaram que o teor de água inicial de 12% (b.u.), mantém as sementes com maior qualidade, sendo recomendado para conservação do vigor das sementes de soja. Os autores relataram ainda, que sementes com teores de água acima desses valores apresentam maior perda de qualidade no decorrer do armazenamento.

Em sementes sem tratamento químico e com maior incidência de rasgo, houve tendência de maior valor de teor de água, principalmente no início do armazenamento (FIGURA 1). Em todas as épocas de armazenamento o efeito da incidência de rasgo nessas sementes foi linear direto sobre o teor de água. No início do armazenamento, a cada 10% de incidência de rasgo o teor de água foi maior em 0,2% (FIGURA 1A).

Figura 1 – Teor de água de sementes de soja sem tratamento (A) e tratadas (B), cultivar Desafio BMX, em função do nível de rasgo no tegumento e períodos de armazenamento.

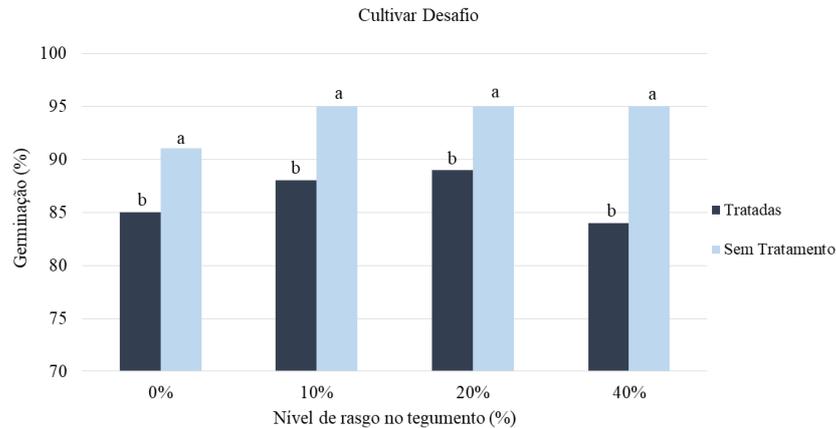


Fonte: Da autora (2022).

Em todos os níveis de rasgo no tegumento, em sementes tratadas, da cultivar Desafio, foram observados os menores valores de germinação em papel quando comparado às sementes que não foram tratadas (FIGURA 2), independentemente do período de armazenamento. Este fato pode estar relacionado à fitoxidez ocasionada pela concentração dos produtos junto às sementes e/ou à velocidade de absorção dos mesmos junto à água do papel de germinação. Rocha *et al.* (2020) relataram que os tratamentos de sementes de soja, principalmente com moléculas inseticidas, afetaram a germinação e a avaliação das plântulas em métodos de análise com água abundante e prontamente disponível, como no teste de germinação.

Entre sementes tratadas e não tratadas todas as diferenças foram significativas, porém, as diferenças numéricas para sementes com 40% no tegumento foram mais elevadas, de 11%, ao passo que para sementes sem rasgo, a diferença foi de 6% (FIGURA 2).

Figura 2 – Germinação de sementes de soja, com diferentes níveis de rasgo tegumento e tratamento de sementes. Cultivar Desafio.

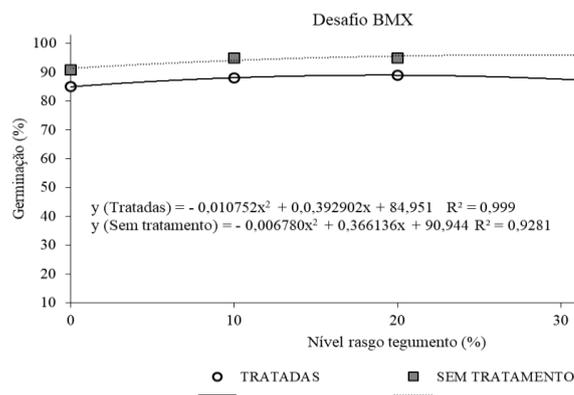


Médias seguidas de mesma letra entre colunas de cada nível de rasgo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Para os efeitos dos níveis de rasgo no tegumento sobre a germinação, tanto para sementes tratadas quanto não tratadas, o efeito foi quadrático, porém, para sementes sem tratamento, as alterações foram menores (FIGURA 3). Já para sementes tratadas houve maior redução da germinação em lotes com incidências maiores que 20%, principalmente com o nível mais elevado testado, 40% (FIGURA 3).

Figura 3 – Germinação de sementes de soja, com diferentes níveis de rasgo no tegumento e tratamento de sementes.



Fonte: Da autora (2022).

Durante o armazenamento também foi possível observar diferenças entre sementes tratadas e sem tratamento (TABELA 3). Em sementes tratadas houve menores porcentagens de plântulas normais em todos os períodos de armazenamento analisados. Além disso, ao longo

do armazenamento e independente das sementes serem tratadas ou não, houve redução na germinação das mesmas após o armazenamento.

Tabela 3 – Germinação de sementes de soja em diferentes períodos de armazenamento e tratamento de sementes. Cultivar Desafio.

Tratamento químico	Período de armazenamento (dias)		
	0	60	120
Sim	94 Ab	82 Bb	83 Bb
Não	97 Aa	93 Ba	92 Ba
C.V.		3,68	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Esses resultados podem estar associados à maior toxidez quando da avaliação da germinação em papel em sementes tratadas, relatado por Rocha *et al.* (2020) e Tunes *et al.* (2020) e, também ao teor de água das sementes pós armazenamento, abaixo de 10%, que pode ter ocasionado danos por embebição durante a germinação, devido a alta disponibilidade hídrica no teste de germinação (MARCOS-FILHO, 2015).

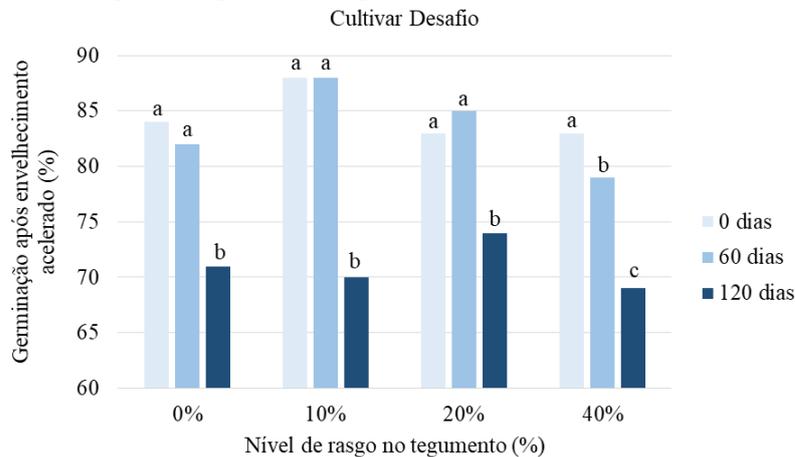
Carvalho *et al.* (2020) observaram redução na qualidade de sementes de soja em função do tratamento químico realizado 60 dias antes da semeadura, no entanto, não houve reduções para níveis abaixo do padrão para comercialização de sementes comerciais, o que corrobora com o observado nesse estudo.

Ferreira *et al.* (2017), em estudo com sementes de soja não tratadas, relataram que as mesmas diminuem ou aumentam a velocidade e a intensidade da deterioração de acordo com o ambiente ao qual foram expostas durante o armazenamento. De acordo com os autores, os melhores resultados para a preservação da qualidade fisiológica foram em ambiente de 13 °C por até 225 dias, que foi o período mais longo avaliado. Neste estudo, as sementes foram armazenadas em condições de temperatura de 30 °C durante o dia e 20°C a noite, na tentativa de simular condições não ideais próximas a entrega (revenda) e uso das sementes (produtor), o que pode explicar essa redução na qualidade fisiológica, sobretudo para sementes tratadas.

No teste de envelhecimento acelerado, as sementes da cultivar Desafio perderam vigor ao longo do armazenamento, principalmente aos 120 dias, independente do tratamento (FIGURA 4). Apenas em sementes com 40% de rasgo no tegumento, aos 60 dias já foi possível observar a redução do vigor, este que aos 120 dias foi ainda mais acentuado. Este resultado

ressalta o que foi observado também no teste de germinação, no qual foi possível relacionar a maior queda na qualidade das sementes armazenadas, em lotes com nível elevados de rasgo no tegumento, acima de 20%.

Figura 4 – Germinação de sementes de soja após envelhecimento acelerado, com diferentes níveis de rasgo no tegumento e períodos de armazenamento. Cultivar Desafio.



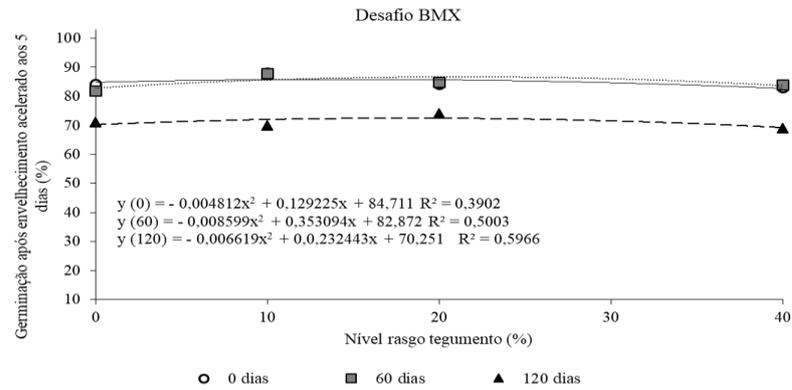
Médias seguidas de mesma letra entre colunas em cada nível de rasgo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

É importante ressaltar, que o envelhecimento acelerado é um teste eficaz para a seleção de lotes de soja com base na avaliação do potencial de armazenamento. Além disso, pode fornecer informações com um alto grau de consistência (MATERA *et al.*, 2019), o que também foi observado neste estudo.

Ao analisar os efeitos dos níveis de rasgo no tegumento nos valores de germinação em função do período de armazenamento, em todos os níveis o efeito foi quadrático, com maior queda entre 20 e 40% de incidência de rasgo (FIGURA 5). No entanto, os coeficientes de determinação foram baixos e as diferenças numéricas foram relativamente baixas.

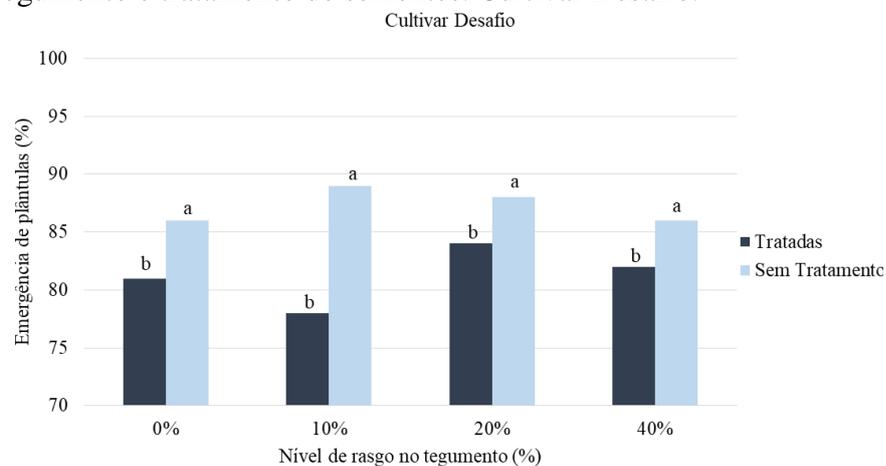
Figura 5 – Germinação após envelhecimento acelerado de sementes de soja com diferentes níveis de rasgo no tegumento e armazenadas em diferentes períodos.



Fonte: Da autora (2022).

Na avaliação da emergência de plântulas da cultivar Desafio, houve efeito negativo do tratamento químico na emergência das plântulas, para todos os níveis de rasgo estudados (FIGURA 6). Esse mesmo resultado foi observado no teste de germinação, o que reforça que houve perda na qualidade fisiológica das sementes após o tratamento.

Figura 6 – Porcentagem de emergência de sementes de soja, com diferentes níveis de rasgo no tegumento e tratamento de sementes. Cultivar Desafio.



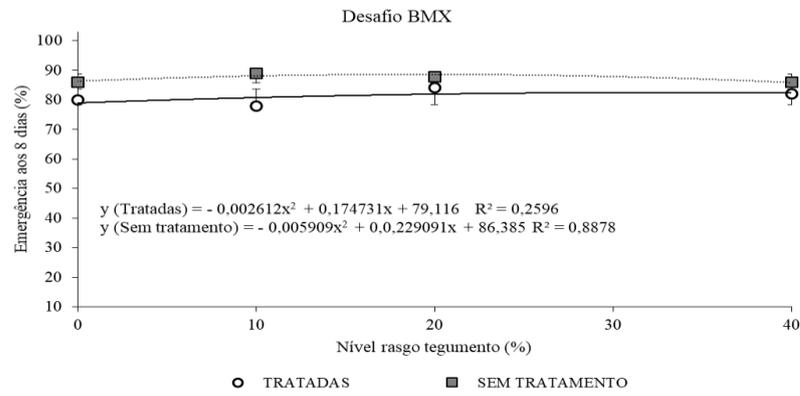
Médias seguidas de mesma letra entre colunas de cada nível de rasgo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Ao analisar os diferentes níveis de vigor, observou-se que tanto para sementes tratadas como para sementes sem tratamento, não existe uma relação de decréscimo consistente na

emergência final em função da incidência de rasgo no tegumento, ou seja, as médias de emergência de plântulas foram muito próximas em todos os níveis de rasgo (FIGURA 7).

Figura 7 – Emergência de sementes de soja em função do nível de rasgo no tegumento e tratamento de sementes.



Fonte: Da autora (2021).

Em todas as épocas de avaliação em sementes tratadas houve menor emergência de plantas (TABELA 4). Ao longo do armazenamento, em todas as sementes foi constatado redução aos 60 dias, independentemente do tratamento. Isso indica que a condição não ideal de armazenamento, com 60 dias já afeta a qualidade das sementes, principalmente em sementes tratadas em que a deterioração foi mais acentuada (TABELA 4). Além disso, esses resultados demonstram a importância das condições de armazenamento, mesmo que por curtos períodos, na manutenção da qualidade das sementes, principalmente em lotes tratados com inseticidas.

Rocha *et al.* (2020) relataram que tratamentos com moléculas inseticidas afetam a germinação de sementes de soja, com maior fitotoxidez em relação ao tratamento com fungicidas.

Tabela 4 – Porcentagem de emergência de sementes avaliadas em diferentes períodos de armazenamento e tratamento de sementes. Cultivar Desafio.

Tratamento químico	Período de armazenamento (dias)		
	0	60	120
Sim	92 Ab	76 Bb	75 Bb
Não	95 Aa	84 Ba	82 Ba
C.V.		4,84	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Como já mencionado anteriormente, as condições de armazenamento das sementes podem potencializar a deterioração e, neste caso, como as sementes foram armazenadas em condições de temperaturas mais elevadas, este fator pode ter contribuído para uma deterioração mais acentuada. Krzyzanowski *et al.* (2021) relatam que, em sementes armazenadas sob condições inadequadas, submetidas a elevadas temperaturas e umidade relativa, o acúmulo progressivo de danos oxidativos às células refletirá em redução na germinação e do vigor.

Lemes *et al.* (2019) observaram redução da germinação, emergência e germinação após envelhecimento acelerado de sementes de soja com o avanço do período de armazenamento, independentemente do produto utilizado para tratamento de sementes. Abati *et al.* (2020) também observaram redução na germinação de sementes de soja tratadas e armazenadas sem controle climático, temperaturas mínimas de 21 °C e máximas de 30 °C, quando comparado ao armazenamento refrigerado, principalmente para os materiais com maiores volumes de calda no tratamento industrial de sementes.

Na análise do comprimento médio do hipocótilo de plântulas da cultivar Desafio, observara-se menores valores em sementes tratadas aos 0 dias e, após o armazenamento de 60 e 120 dias, não houve diferença entre os comprimentos de plântulas de sementes tratadas e não tratadas. Durante o armazenamento houve redução do vigor das plântulas aos 120 dias para sementes tratadas e, para sementes sem tratamento químico, a redução no vigor foi observada aos 60 dias de armazenamento (TABELA 5).

Tabela 5 – Comprimento hipocótilo de plântulas oriundas de sementes de soja, em função do tratamento de sementes e armazenamento.

Tratamento químico	Período de armazenamento (dias)		
	0	60	120
Sim	4,49 Ab	4,23 Aa	3,86 Ba
Não	4,99 Aa	4,16 Ba	3,99 Ba
C.V.		8,23	

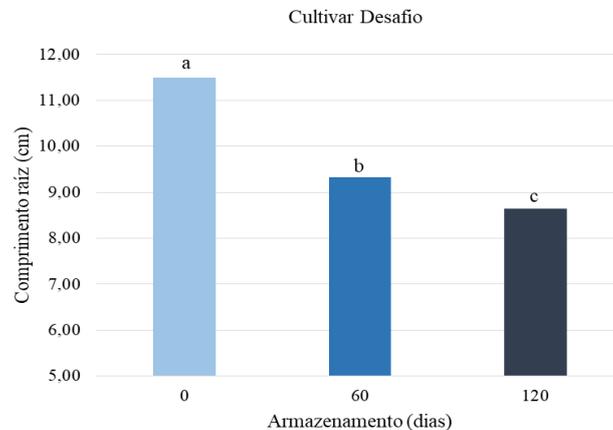
Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

No comprimento médio de raízes das plântulas, foi observado redução à medida em que o tempo de armazenamento das sementes foi prolongado (FIGURA 8), independente do tratamento e da incidência de rasgo no tegumento. As reduções nos comprimento das raízes foram de 19% aos 60 dias e 8% aos 120 dias, nessas condições de armazenamento. Esse resultado corrobora com os observados nos demais testes realizados, confirmando, portanto, o

efeito negativo do armazenamento sob temperaturas de 20-30 °C e reforçando a importância de boas condições de armazenamento, mesmo em menores períodos de tempo.

Figura 8 – Comprimento de raízes de plântulas oriundas de sementes de soja em função do período de armazenamento.

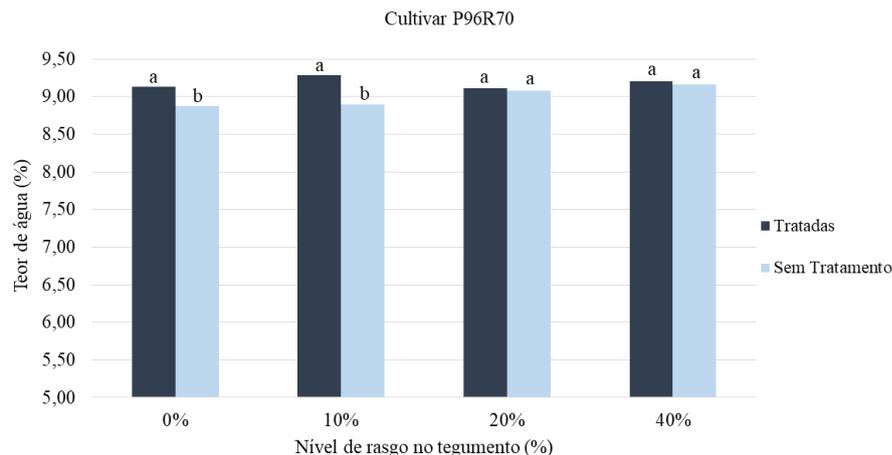


Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Para sementes da cultivar P96R70, nos menores níveis de rasgo no tegumento (0 e 10%) as sementes tratadas apresentaram maiores teores de água quando comparado às sementes sem tratamento (FIGURA 9).

Figura 9 – Teor de água (%) de sementes de soja com diferentes níveis de rasgo no tegumento e tratamento de sementes. Cultivar P96R70.

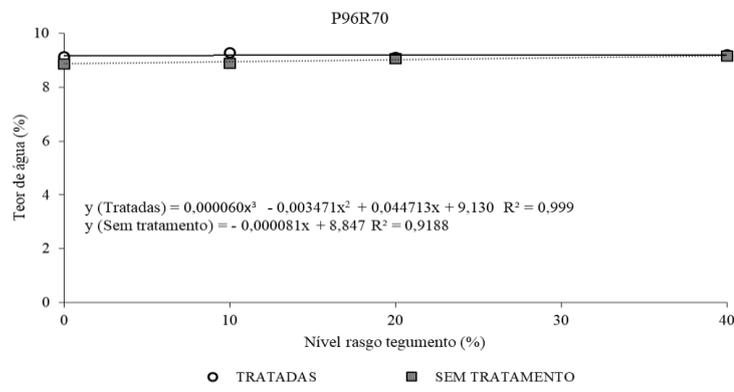


Médias seguidas de mesma letra entre colunas de cada nível de rasgo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Ao analisar o teor de água de sementes tratadas e não tratadas em função do nível de rasgo no tegumento, em ambas o efeito foi linear, quanto maior a incidência de rasgo, maior o teor de água (FIGURA 10). Todavia, as médias numericamente foram muito próximas, para sementes tratadas a variação máxima foi de 0,1% e para não tratadas 0,3%. Esse resultado foi semelhante ao observado para a cultivar Desafio, quando a umidade estava adequada para o armazenamento e essa pequena variação garantindo maior segurança nas inferências sobre a qualidade fisiológica, abaixo de 2% (MARCOS-FILHO, 2020b).

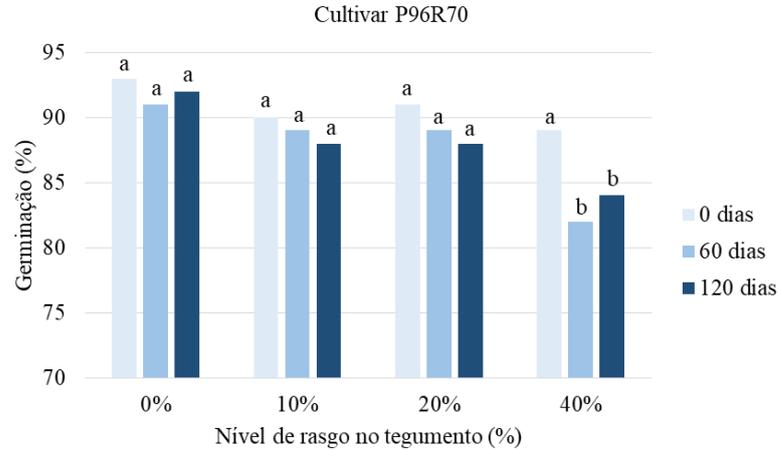
Figura 10 – Teor de água (%) de sementes de soja tratadas e não tratadas, em função do nível de rasgo no tegumento. Cultivar P96R70.



Fonte: Da autora (2022).

Nos resultados da germinação para sementes da cultivar P96R70, somente com nível mais elevado de rasgos, 40%, houve redução dos valores ao longo do armazenamento, observados aos 60 dias em condições de armazenamento à 20/30 °C (FIGURA 11). Esse resultado reitera o observado também para sementes da cultivar Desafio, em que em sementes com níveis mais elevados de rasgo no tegumento, acima de 20%, houve maior deterioração.

Figura 11 – Porcentagem de germinação de sementes de soja com diferentes níveis de rasgo no tegumento e períodos de armazenamento. Cultivar P96R70.

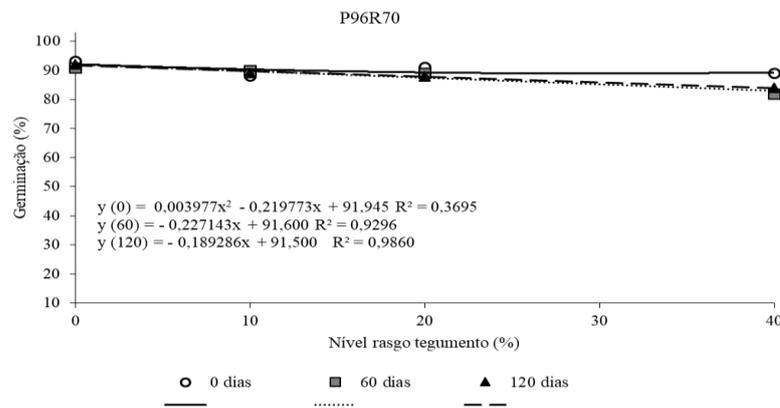


Médias seguidas de mesma letra entre colunas de cada nível de rasgo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Ao avaliar os resultados de germinação em relação aos níveis de rasgo no tegumento em cada período de armazenamento, observou-se que antes do armazenamento, considerado como 0 dias, não foi possível identificar diferença entre os diferentes níveis de rasgo (FIGURA 12). No entanto, após o armazenamento, aos 60 e 120 dias, houve redução da germinação das sementes à medida em que se aumentou a porcentagem de rasgo no tegumento. A cada 10% no aumento da incidência do rasgo, foi observada redução na germinação em 2,3% e 1,9% aos 60 e 120 dias, respectivamente. Esse resultado corrobora com o que foi discutido anteriormente, podendo, portanto, o nível de rasgo influenciar na qualidade de sementes armazenadas.

Figura 12 – Porcentagem de germinação de sementes de soja em função do nível de rasgo no tegumento em diferentes períodos de armazenamento. Cultivar P96R70.



Fonte: Da autora (2022).

No envelhecimento acelerado, somente com 0% de rasgo no tegumento, aos 60 e 120 dias de armazenamento e, com 10% de rasgo aos 60 dias, em sementes tratadas houve menor vigor. Nas demais comparações não houve diferenças entre sementes tratadas e não tratadas (TABELA 6).

Tabela 6 – Porcentagem de germinação após envelhecimento acelerado de sementes de soja com diferentes níveis de rasgo no tegumento, tratamento e armazenamento. Cultivar P96R70

Nível de rasgo tegumento	Tratamento químico	Período de armazenamento (dias)		
		0	60	120
0	Sim	80 Aa	69 Bb	65 Bb
	Não	83 Aa	85 Aa	80 Aa
10	Sim	84 Aa	75 ABb	74 Ba
	Não	81 Aa	83 Aa	75 Aa
20	Sim	70 ABa	77 Aa	68 Ba
	Não	75 Aa	74 Aa	71 Aa
40	Sim	71 Aa	75 Aa	60 Ba
	Não	77 Aa	75 Aa	66 Ba
C.V.		6,95		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Observou-se também que para lotes com níveis de rasgo até 20%, somente houve redução do vigor ao longo do armazenamento para sementes tratadas. Porém, nas amostras com 40% essa diminuição ocorreu tanto em sementes tratadas quanto não tratadas aos 120 dias (TABELA 6). Esses resultados reforçam que o tratamento químico pode influenciar na manutenção da qualidade das sementes após o armazenamento, principalmente em condições não ideais de armazenamento, de 20/30 °C, como foi no presente trabalho. E ainda, em sementes com altos níveis de rasgo no tegumento, acima de 20%, independente do tratamento químico, esse efeito também é observado.

Esse resultado reafirma o obtido no teste de germinação, em que sementes com alta porcentagem de rasgo no tegumento, acima de 20%, houve maiores reduções na qualidade após o armazenamento, e quando tratadas, esse efeito pode ser potencializado.

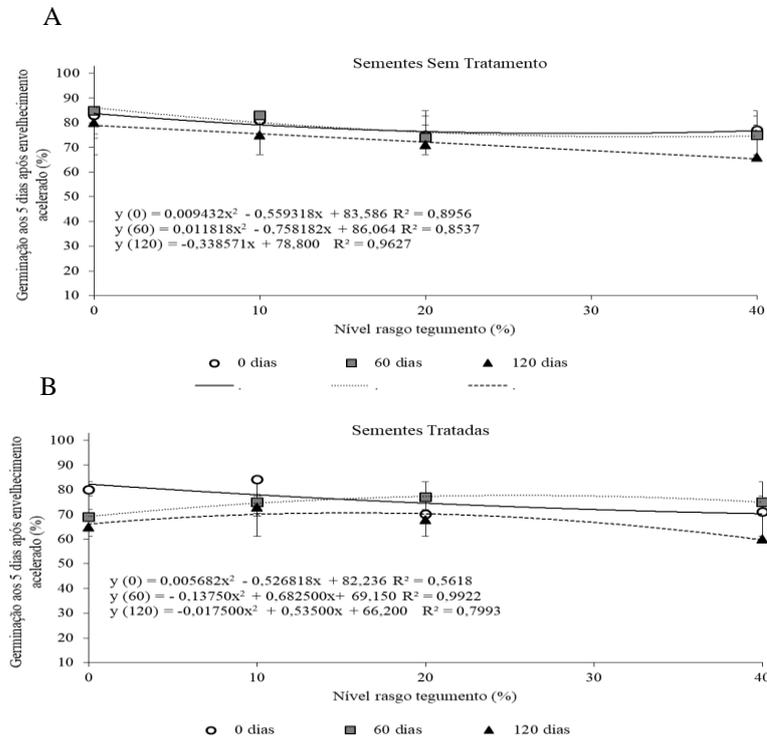
Zorato (2018) relatou que sementes sob condições climáticas adversas em campo podem contribuir para o aumento do nível de deterioração no local do rompimento do tegumento, que facilita a permeabilidade de água. Trabalhos nessa linha são escassos, sobre a perda da

qualidade fisiológica de sementes com rasgo no tegumento após o armazenamento. No entanto, no presente trabalho foi observado que a maior incidência de rasgos afeta a armazenabilidade e qualidade das sementes, e isso pode estar associado à maior suscetibilidade à deterioração, devido as alterações na integridade do tegumento e maior exposição do embrião das sementes às condições adversas.

Reforçando essa observação, para as regressões em função do nível de ocorrência de rasgos do tegumento, os modelos ajustados foram quadráticos ou lineares, porém, todos com tendência de menor vigor com o aumento da incidência de rasgos, principalmente para níveis acima de 20% e sementes armazenadas por 120 dias (FIGURA 13). Para as sementes não tratadas, aos 120 dias de armazenamento, em condições não ideais, a cada 10% de aumento na incidência de rasgo ocorreu a redução de 3,3% do vigor pelo teste de envelhecimento acelerado (FIGURA 13A).

Isso mostra que o nível de rasgo no tegumento e o armazenamento nestas condições podem potencializar a perda de qualidade das sementes de soja, independentemente do tratamento de sementes. Observou-se também esses efeitos para sementes tratadas, com redução mais acentuada nas amostras acima de 20% de rasgo e com 120 dias de armazenamento, com médias de germinação próximo a 60% (FIGURA 13B).

Figura 13 – Porcentagem de germinação após envelhecimento acelerado, de sementes de soja com diferentes níveis de rasgo no tegumento, sem tratamento (A) e tratadas (B) e avaliadas em diferentes períodos de armazenamento. Cultivar P96R70.

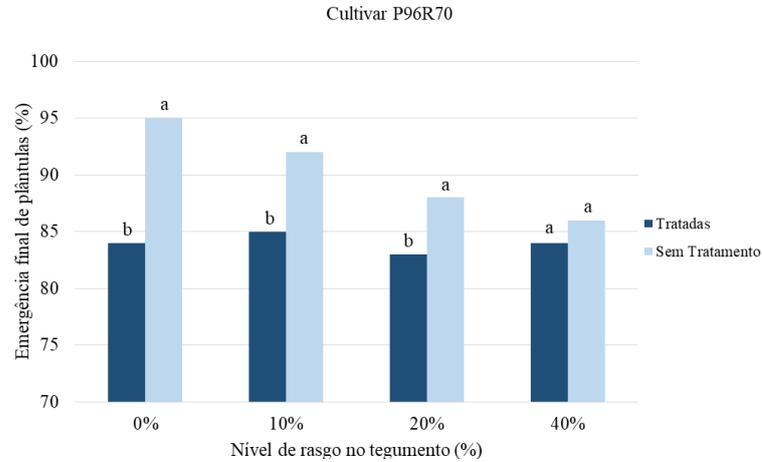


Fonte: Da autora (2022).

Na emergência de plântulas da cultivar P96R70, observou-se que, em sementes tratadas menor emergência em comparação às observadas em sementes não tratadas, em quase todos os níveis de rasgo no tegumento. Para as sementes com 40% de rasgo no tegumento não houve diferença estatística (FIGURA 14). Resultados semelhantes foram encontrados em outras avaliações como no teste de germinação e emergência da cultivar Desafio.

Ao analisar a emergência em função do nível de rasgo no tegumento, os efeitos foram lineares e quadráticos (FIGURA 15). Todavia, as médias foram muito próximas para sementes tratadas, com variação máxima de apenas 1%. Para sementes não tratadas houve redução de 2,3% nos valores de emergência de plântulas a cada 10% de aumento na incidência de rasgo. Isto mostra que não somente o tratamento químico pode influenciar na qualidade das sementes, mas que o alto nível de rasgo no tegumento, acima de 20%, também pode ocasionar perdas da qualidade das sementes de soja.

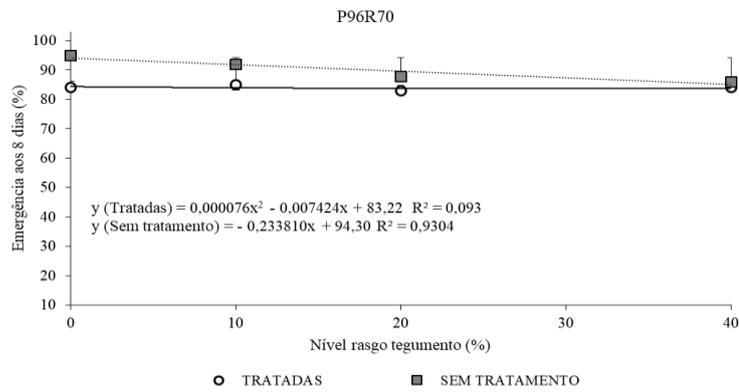
Figura 14 – Porcentagem de emergência de sementes de soja com diferentes níveis de rasgo no tegumento e tratamento de sementes. Cultivar P96R70.



Médias seguidas de mesma letra entre colunas de cada nível de rasgo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Fonte: Da autora (2022).

Figura 15 – Porcentagem de emergência de sementes de soja tratadas e não tratadas, em função do nível de rasgo no tegumento. Cultivar P96R70.



Fonte: Da autora (2022).

Teixeira *et al.* (2019), ao estudar os efeitos do rasgo no tegumento sobre a qualidade de sementes de soja, observaram que após 180 dias de armazenamento em temperatura de 15 °C, as sementes com rasgo apresentaram qualidade significativamente inferior as sementes sem rasgo. Os autores relataram ainda que em sementes armazenadas sob alta temperatura, 28 °C, houve acentuada redução da qualidade das sementes, o que corrobora com o que foi observado neste estudo.

Após o armazenamento por 60 e 120 dias, foi possível observar diferenças entre sementes tratadas e sem tratamento também para a emergência de plântulas (TABELA 7). Em

sementes tratadas foram observados menores valores, resultado este que confirma que as condições de armazenamento podem potencializar a perda de vigor em sementes de soja tratadas, sendo importante o conhecimento e adequação dessas condições para garantia da qualidade das mesmas durante o armazenamento. Mavaieie *et al.* (2019) relataram que em condições de temperatura de 10 °C e 50% de UR, a qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas foi mantida, até oito meses, com valores de vigor ainda elevados ao final do armazenamento.

Tabela 7 – Porcentagem de emergência de sementes de soja em função do tratamento e sementes e período de armazenamento. Cultivar P96R70.

Tratamento químico	Período de armazenamento (dias)		
	0	60	120
Sim	93 Aa	80 Bb	79 Bb
Não	94 Aa	89 Ba	88 Ba
C.V.		4,02	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Abati *et al.* (2020) verificaram maior redução na germinação de sementes de soja tratadas com diferentes volumes de calda no ambiente de armazenamento sem controle climático, temperaturas mínimas de 21 °C e máximas de 30 °C. Essas condições se assemelham ao ambiente de armazenamento deste estudo, com temperatura de 30 °C durante o dia e 20 °C a noite, simulando as condições onde se concentram a maior parte da produção de soja no Brasil. Isso torna os resultados obtidos essenciais para a recomendação do armazenamento de sementes mais seguro.

Na análise do comprimento médio do hipocótilo de plântulas da cultivar P96R70, observou-se menores comprimentos para sementes tratadas, aos 0 e 60 dias. Durante o armazenamento houve redução no vigor das plântulas após 60 dias de armazenamento, em ambas sementes (TABELA 8). Esse resultado reforça o que foi obtido nos demais testes, quando o armazenamento nestas condições, foi prejudicial à manutenção da qualidade fisiológica das sementes, independentemente do tratamento químico.

Ainda para o comprimento do hipocótilo, em sementes da cultivar P96R70 houve perda do vigor ao longo do armazenamento, aos 60 e 120 dias, em sementes com 10 e 20% de rasgo (FIGURA 16) e isso refletiu no comprimento do hipocótilo das plântulas. Ao analisar os efeitos

dos níveis de rasgo no tegumento em função do período de armazenamento, em todos os níveis o efeito foi quadrático, porém, as diferenças numéricas foram relativamente baixas (FIGURA 17).

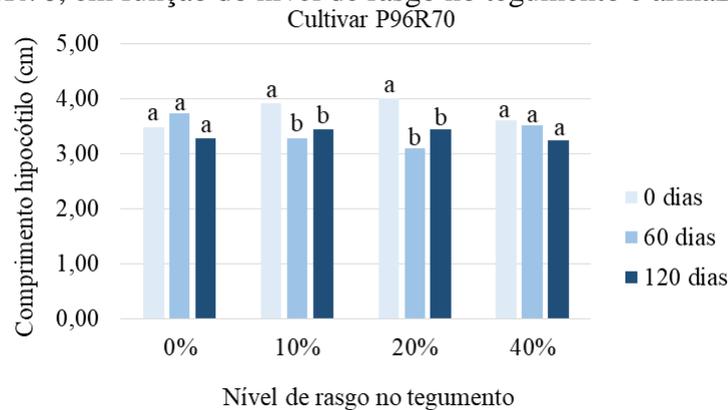
Tabela 8 – Comprimento hipocótilo de plântulas oriundas de sementes de soja, cultivar P96R70, em função do tratamento de sementes e armazenamento.

Tratamento químico	Período de armazenamento (dias)		
	0	60	120
Sim	3,45 Ab	3,09 Bb	3,25 ABa
Não	4,05 Aa	3,53 Ba	3,44 Ba
C.V.	8,00		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

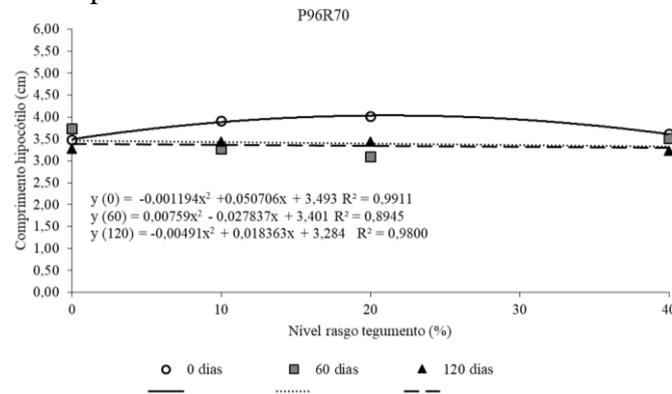
Figura 16 – Comprimento hipocótilo de plântulas oriundas de sementes de soja, cultivar P96R70, em função do nível de rasgo no tegumento e armazenamento.



Médias seguidas de mesma letra entre colunas de cada nível de rasgo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Figura 17 – Comprimento do hipocótilo (cm) de plântulas de soja, em função do nível de rasgo no tegumento e períodos de armazenamento. Cultivar P96R70.



Fonte: Da autora (2022).

Para o comprimento de raízes, somente aos 120 dias de armazenamento em sementes tratadas, 20% de rasgo, foi observada redução nos valores (TABELA 9). Apesar disso, após o armazenamento à 20/30 °C aos 60 e 120 dias, houve redução no vigor das plântulas, principalmente para sementes tratadas. Esse resultado também foi relatado nos demais testes fisiológicos, confirmando portanto a importância do armazenamento adequado para manutenção da qualidade das sementes de soja.

Tabela 9 – Comprimento de raiz de plântulas de soja, em função do nível de rasgo no tegumento e tratamento de sementes, após diferentes períodos de armazenamento.

Nível de rasgo tegumento	Tratamento químico	Período de armazenamento (dias)		
		0	60	120
0	Sim	11,51 Aa	9,44 Ba	9,73 Ba
	Não	10,63 Aa	10,05 ABa	9,07 Ba
10	Sim	11,96 Aa	10,02 Ba	9,00 Ba
	Não	12,18 Aa	9,63 Ba	9,81 Ba
20	Sim	10,61 Aa	8,39 Ba	8,46 Bb
	Não	9,82 Aa	8,92 Aa	9,95 Aa
40	Sim	10,74 Aa	10,65 Aa	8,49 Ba
	Não	10,84 Aa	9,76 Aa	9,52 Aa
C.V.		6,83		

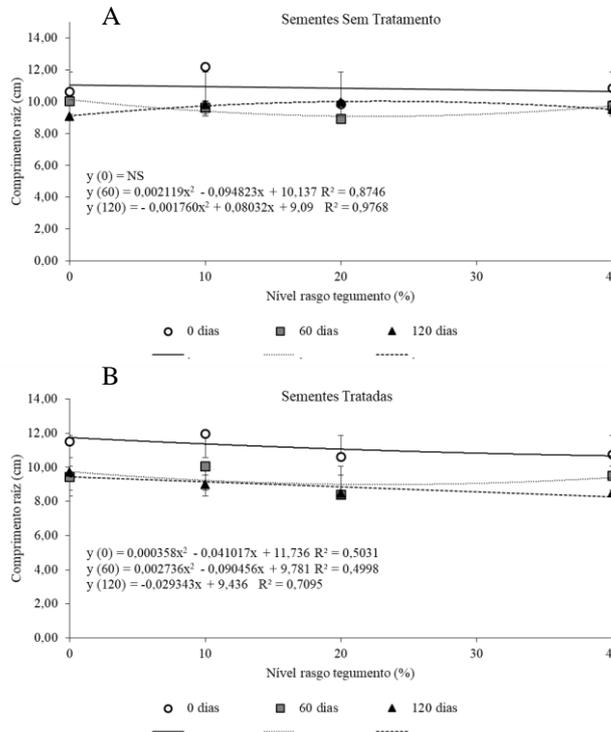
Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Ao analisar os dados de comprimento das raízes das plântulas em função do nível de rasgo no tegumento, os efeitos foram lineares e quadráticos (FIGURA 18). No entanto, as médias foram muito próximas, a exemplo de sementes tratadas em que aos 120 dias de

armazenamento, houve redução de 0,29% para cada 10% de aumento na incidência de rasgo (FIGURA 18B).

Figura 18 – Comprimento médio de raízes (cm) de plântulas de soja oriundas de sementes sem tratamento químico (A) e sementes tratadas (B), em função do nível de rasgo no tegumento e diferentes períodos de armazenamento. Cultivar P96R70.



Fonte: Da autora (2022).

Contudo, é importante ressaltar, que existem diferenças na resposta dos genótipos em relação a qualidade fisiológica após o armazenamento em função dos diferentes níveis de rasgo no tegumento. No entanto, de maneira geral, nos dois materiais foram obtidos resultados consistentes acerca da perda da qualidade em sementes com altos níveis de rasgo no tegumento, acima de 20%, principalmente em condições não ideais de armazenamento, e que, quando tratadas, esse efeito pode ser potencializado.

Zorato (2018) afirmou que o rasgo no tegumento é um fator genético, e no entanto, dependente de condições ambientais durante o cultivo e que pode ou não afetar a qualidade da sementes. Dessa forma, é importante o monitoramento dos campos de produção de sementes de soja, principalmente quando em condições de alternâncias acentuadas de umidade relativa do ar, que contribui para a maior ocorrência do rasgo no tegumento, e durante o armazenamento,

se faz essencial o controle da temperatura e umidade visando a manutenção da qualidade das sementes.

#### **4 CONCLUSÕES**

A qualidade fisiológica de sementes de soja é afetada em condições de armazenamento na temperatura de 20/30 °C, aos 60 dias, principalmente em sementes tratadas em que a deterioração é mais acentuada.

O nível de rasgo no tegumento influencia na qualidade de sementes, em lotes com porcentagens acima de 20%, ocorre maior redução da qualidade após o armazenamento e quando tratadas esse efeito é potencializado.

## REFERÊNCIAS

- ABATI, J. *et al.* Physiological potential of soybean seeds treated in the industry with and without the application of dry powder. **Journal of seed Science**, [S.l.], v. 40, n. 2, p. 179-184, 2018.
- ABATI, J. *et al.* Physiological response of soybean seeds to spray volumes of industrial chemical treatment and storage in different environments. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 42, p. e202042002, 2020.
- BAGATELI, J. R. *et al.* Productive performance of soybean plants originated from seed lots with increasing vigor levels. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 41, n. 2, p. 151-159, 2019.
- BAHRY, C. A. *et al.* Composição química e caracterização estrutural de tegumentos de sementes de soja com cores contrastantes. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 36, n. 3, p. 1913-1926, 2015.
- BAUDET, L.; VILLELA, F.A. Armazenamento de sementes. *In*: PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3. ed. Pelotas: Universitária/UFPel, 2012. p. 481-528.
- BEM JUNIOR, L. Del *et al.* Impact of storage on the physiological quality of soybean seeds after treatment with fungicides and insecticides. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 42, p. e202042037, 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p.
- BRZEZINSKI, C. R. *et al.* Seeds treatment times in the establishment and yield performance of soybean crops. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 37, p. 147-153, 2015.
- BRZEZINSKI, C.R. *et al.* Spray volumes in the industrial treatment on the physiological quality of soybean seeds with different levels of vigor. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 39, n. 2, p. 174-181, 2017.
- CARVALHO, E. R. *et al.* Phytotoxicity in soybean seeds treated with phytosanitary products at different application times. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 42, p. e202042036, 2020.
- CARVALHO, E.R. *et al.* Soil water restriction and performance of soybean seeds treated with phytosanitary products. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 26, n. 1, p. 59-66, 2022a.
- CARVALHO, E.R. *et al.* Physiological and enzymatic monitoring of treated seeds of cultivars soybean during storage. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 17, p. 1-9, 2022b.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, 12º levantamento, setembro 2022**. Brasília: Conab, 2022. v. 9, n. 12. p. 1-88.

CONCEIÇÃO, G.M. *et al.* Physiological and sanitary quality of soybean seeds under different chemical treatments during storage, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 20, n. 11, p. 1020-1024, 2016.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FERREIRA, F.C. *et al.* Cooling of soybean seeds and physiological quality during storage. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 39, n. 4, p. 385-392, 2017.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Meteorológicos**. Estação Lavras, MG, Brasil, 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 23 fev. 2023.

KRZYZANOWSKI, F.C.; DIAS, D.C.F.S.; FRANÇA-NETO, J.B. Deterioração e vigor de sementes. **Revista Seednews**, [S.l.], v. 15, n.1, p. 30-37, 2021.

LEMES, E. *et al.* Tratamento de sementes industrial: potencial de armazenamento de sementes de soja tratadas com diferentes produtos. **Colloquium Agrariae**, [S.l.], v. 15, n. 3, p. 94-103, 2019.

LUDWIG, M.P. *et al.* Qualidade de sementes de soja armazenadas após recobrimento com aminoácido, polímero, fungicida e inseticida. **Revista Brasileira de Sementes**, [S.l.], v. 33, n. 3, p. 395-406, 2011.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: Abrates, 2015. 660 p.

MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2020a.

MARCOS-FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2020b.

MATERA, T.C. *et al.* Accelerated aging test and its relationship to physiological potential of soybean seeds. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 41, p. 301-308, 2019.

MAVAIEIE, D. P. R. *et al.* Performance of treated seeds of different soybean cultivars in function of environments and storage periods. **Brazilian Journal of Agriculture**, [S.l.], v. 94, p. 179-195, 2019.

MORAES, L. F. S. *et al.* Physiological quality of corn seeds treated with insecticides and stored at different temperatures. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [S.l.], v. 57, p. e02665, 2022.

- OLIVEIRA, T.L. *et al.* Biochemical changes and physiological quality of corn seeds subjected to different chemical treatments and storage times. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 42, p. e20204203, 2020.
- PEREIRA, R.C. *et al.* Physiological quality of soybean seeds treated with imidacloprid before and after storage. **Plant Soil and Environment**, [S.l.], v. 66, p. 513–518, 2020.
- PEREIRA, R. C. *et al.* Physiological quality of soybean seeds stored after industrial treatments with different chemicals. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. e6310212279, 2021.
- REIS, V.U.V. *et al.* Vigor of maize seeds and its effects on plant stand establishment, crop development and grain yield. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v.44, e202244020, 2022.
- ROCHA, D. K. *et al.* Does the substrate affect the germination of soybean seeds treated with phytosanitary products?. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 44, p. e020119, 2020.
- SCHONS, A. *et al.* Respostas do genótipo, tratamento de sementes e condições de armazenamento no potencial fisiológico de sementes de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 41, n. 1, p. 109-121, 2018.
- SENDA, M. *et al.* Occurrence and tolerance mechanisms of seed cracking under low temperatures in soybean (*Glycine max*). **Planta**, [S.l.], v. 248, n. 2, p. 369-379, 2018.
- SMANIOTTO, T. A. S. *et al.* Qualidade Fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 18, n. 4, p. 446–453, 2014.
- TEIXEIRA, S.B. *et al.* Rasgo no tegumento de soja: implicações na qualidade de sementes. In: ENCONTRO DE PÓS GRADUAÇÃO, 21., 2019. In: SEMANA INTEGRADA, UFPEL, 5., 2019. **Anais[...]**, 2019
- TEIXEIRA, S.B. **Rasgo no tegumento em sementes de soja suas causas e consequências**. 2021. 103 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão, RS, 2021.
- TUNES, C. D. *et al.* Distinct levels of quality of treated soybean seeds evaluated in alternative substrates to the germination test. **Brazilian Journal of Development**, [S.l.], v. 6, n. 8, p. 61623-61635, 2020.
- ZORATO, M.F. O tegumento de sementes de soja e o seu impacto na qualidade. **Revista Seednews**, [S.l.], v. 22, n. 3, 2018.

## CAPÍTULO 4 CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE SEMENTES DE GENÓTIPOS DE SOJA E A TOLERÂNCIA AO ARMAZENAMENTO

### RESUMO

O armazenamento de sementes de soja é parte fundamental do processo de produção e a tolerância das sementes das cultivares de soja ao armazenamento, para manutenção da qualidade até sua semeadura, é desejável. As cultivares de soja devem apresentar tolerância ao armazenamento para manutenção da qualidade até sua semeadura. Assim, objetivou-se analisar e relacionar o teor de lignina no tegumento, expressões enzimáticas e análises morfoanatómicas das sementes de cultivares de soja à manutenção da qualidade fisiológica e tolerância ao armazenamento. Foram utilizadas oito cultivares de soja, produzidas e colhidas nas mesmas condições edafoclimáticas. As avaliações da qualidade física e fisiológica foram realizadas em seis períodos de armazenamento: 0, 60, 120, 180, 240 e 360 dias. As avaliações foram realizadas por meio dos testes de teor de água, germinação, emergência, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica e teor de lignina no tegumento. Foram realizadas análises bioquímicas e enzimáticas do metabolismo antioxidante e análises morfoanatómicas por meio de microscopia de luz das sementes aos 0 e 360 dias de armazenamento. O experimento foi realizado em arranjo fatorial 8 x 5, sendo oito cultivares de soja e seis períodos de armazenamento. Existe efeito do genótipo sobre a tolerância de sementes de soja ao armazenamento por longos períodos. Em sementes com alta qualidade fisiológica e tolerantes ao armazenamento há menor acúmulo de peróxido de hidrogênio e menor peroxidação lipídica. Análises morfoanatómicas podem contribuir para a avaliação de genótipos para alta qualidade fisiológica e tolerância ao armazenamento.

**Palavras-chave:** Anatomia de sementes. *Glycine max*. Longevidade. Qualidade fisiológica. Metabolismo antioxidante.

## ABSTRACT

Soybean seed storage is a fundamental part of the production process and seed storage tolerance of soybean cultivars is intended. Soybean cultivars must be tolerant to storage, in order to maintain quality until sowing. Thus, the objective was to analyze and relate the lignin content in the tegument, enzymatic expressions and morphoanatomical analyzes of soybean cultivar seeds to the maintenance of physiological quality and storage tolerance. Eight soybean cultivars produced and harvested under the same edaphoclimatic conditions were used. Physical and physiological quality were evaluated in 6 storage periods: 0, 60, 120, 180, 240 and 360 days. The analyzes were performed through tests of water content, germination, emergence, accelerated aging, electrical conductivity and lignin content in the tegument. Biochemical and enzymatic analyzes of antioxidant metabolism and morphoanatomical analyzes using optical microscopy were performed on seeds at 0 and 360 days of storage. The experiment was arranged in a 8 x 5 factorial scheme, with eight soybean cultivars and six storage periods. There is an effect of genotype on the tolerance of soybean seeds to long periods storage. In seeds with high physiological quality and tolerant to storage, there is less accumulation of hydrogen peroxide and less lipid peroxidation. Morphoanatomical analyzes can contribute to the evaluation of genotypes for high physiological quality and storage tolerance.

**Keywords:** Seed anatomy. *Glycine max.* Longevity. Physiological quality. Antioxidant metabolism.

## 1 INTRODUÇÃO

O armazenamento de sementes constitui uma etapa importante do processo de produção de sementes visto que o período de armazenamento pode ser extenso. A armazenagem visa a manutenção da qualidade das mesmas durante o tempo em que antecede a semeadura. As tecnologias disponíveis para o armazenamento podem retardar a deterioração das sementes, mantendo a elevada qualidade até a semeadura.

O armazenamento em ambiente climatizado, com controle da temperatura e umidade relativa (UR), de 10 °C e 50%, respectivamente, é considerado o ideal para preservação da qualidade das sementes (FRANÇA-NETO *et al.*, 2016). Ferreira *et al.* (2017) observaram que no armazenamento a 13 °C por até 225 dias, houve a manutenção da qualidade fisiológica das sementes de soja. Abati *et al.* (2020) relataram que para sementes tratadas, o armazenamento em condições climatizadas (10 °C e UR de 50%) reduziu os efeitos negativos do volume de calda usado no tratamento fitossanitário das sementes. No entanto, a realidade em grande parte das sementeiras é a utilização temperaturas acima de 10 °C nos armazéns, devido ao alto custo energético demandado por essas condições.

Apesar das diversas tecnologias disponíveis no mercado, existem perdas na qualidade das sementes durante o armazenamento influenciadas pela ação de diversos fatores externos, dentre os quais se destacam: qualidade inicial do lote, teor de água das sementes, UR e temperatura do ar de armazenamento (THIRUSENDURA SELVI; SARASWATHY, 2017). Além desses fatores, os genótipos também podem afetar a armazenabilidade (CARVALHO; COELHO; SOUZA, 2014; CARVALHO *et al.*, 2014b; CARVALHO *et al.*, 2016; RUPPIN *et al.*, 2019). Por isso, o conhecimento do comportamento das sementes durante o armazenamento em função de vários fatores é essencial para a tomada de decisão na gestão de qualidade (SMANIOTTO *et al.*, 2014).

Existe variabilidade genética entre cultivares de soja quanto a qualidade fisiológica de sementes, a qual pode ser explorada em programas de melhoramento (MERTZ *et al.*, 2009). No entanto, essa variabilidade dos materiais genéticos pode estar atrelada a diferenças no potencial de armazenamento das sementes de soja.

Tem-se observado que algumas cultivares de soja, apesar de altamente produtivas, apresentam respostas diferentes em relação as variações da qualidade durante o armazenamento. Autores como Carvalho *et al.* (2014a), Rosa *et al.* (2017) e Mathias *et al.*

(2019) relataram que cultivares de soja apresentam diferentes níveis de tolerância ao armazenamento em função do genótipo. Schons *et al.* (2018) também constataram que as cultivares de soja respondem de forma diferenciada em função do local de armazenamento e ao tratamento de sementes, o que reforça a relevância do fator genótipo. Por isso, estudos que auxiliem no entendimento dessa relação genótipo, armazenamento e qualidade de sementes são relevantes.

A qualidade das sementes e a composição química estão relacionadas a fatores genéticos e também podem ser influenciadas pelo ambiente (BATISTA *et al.*, 2022). As características genéticas e efeitos ambientais durante as fases de desenvolvimento, colheita, beneficiamento e do armazenamento são fatores fundamentais para o período de viabilidade das sementes, influenciando diretamente na qualidade (GRIS *et al.*, 2010; BATISTA *et al.*, 2022).

Nos programas de melhoramento de soja, tem-se buscado selecionar genótipos cujas cultivares tenham características desejáveis quanto a resistência a doenças e pragas, teores de óleo, de proteína e de lignina (VASCONCELOS *et al.*, 2008; CARVALHO *et al.*, 2015). A presença de lignina no tegumento de sementes de soja é importante para maior resistência a danos mecânicos, integridade da parede celular e também tem sido relacionado com maior tolerância ao processo de deterioração das sementes (FRANÇA-NETO *et al.*, 2016). O uso somente dessa característica em programas de melhoramento pode ser insuficiente para obtenção de genótipos superiores quanto a qualidade fisiológica e tolerância ao armazenamento, assim, estudos em níveis moleculares e análises morfoanatômicas das sementes podem contribuir. Pinheiro *et al.* (2021) avaliando as características morfoanatômicas em sementes de soja submetidas à deterioração na pré-colheita, obtiveram correlação entre as alterações anatômicas com a redução na qualidade das sementes. Carvalho *et al.* (2014b) observaram diferenças nas expressões isoenzimáticas em cultivares de soja e constataram diferentes níveis de tolerância ao armazenamento.

Atualmente, tem ocorrido alterações no escopo e dinâmica da produção de sementes de soja, como a semeadura mais cedo e, conseqüentemente, colheita antecipada, muitas vezes em janeiro ou fevereiro, devido a pressão de cultivo da segunda safra. Esse fato tem aumentado o período de armazenamento das sementes de soja, o que em cenários anteriores eram de 6 meses, hoje pode chegar até 8 meses. É crescente os relatos de problemas de cultivares que apresentam problemas com relação à qualidade durante o armazenamento prolongado, por isso estudos nessa linha são importantes e demandados.

Sendo assim, o objetivo foi analisar e relacionar teor de lignina no tegumento, expressões enzimáticas e análises morfoanatômicas das sementes de cultivares de soja à manutenção da qualidade fisiológica e tolerância ao armazenamento.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Central de Análise de Sementes, Departamento de Agricultura (DAG), Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brasil.

As sementes das cultivares de soja foram produzidas/multiplicadas nas mesmas condições edafoclimáticas, no centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia – CDTT do DAG/ESAL/UFLA, localizado no município de Ijaci, Minas Gerais, Brasil. Foram utilizadas oito cultivares de soja, sendo elas: M6410 IPRO, Brasmax Desafio (8473RSF RR), UFLA 6301 RR, Brasmax Foco (74177RSF IPRO), Syn 15640 IPRO, M7739 IPRO, Brasmax Bônus (8579RSF IPRO) e P96R70 IPRO. O experimento foi implantado em uma área de aproximadamente 1000 m<sup>2</sup> (12,5m x 82m). Cada parcela ocupou uma área de 60 m<sup>2</sup>, constituída de 5 linhas de 20 m, sendo as três centrais a área útil e as laterais bordadura.

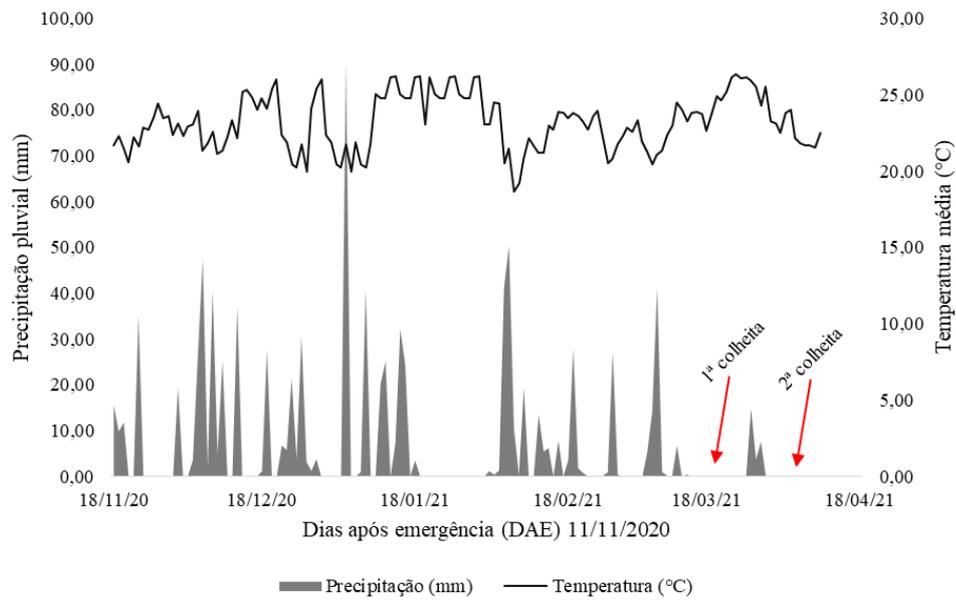
Foi realizada a amostragem do solo (0-20 cm de profundidade) e de posse dos resultados da análise, a adubação foi realizada de acordo com as recomendações da 5ª aproximação descrita por Ribeiro *et al.* (1999), para a soja. A abertura dos sulcos de semeadura foi executada com tração mecanizada, espaçados em 0,50 m, juntamente com a distribuição dos fertilizantes.

Todas as sementes foram tratadas com Fortenza® Duo, envolvendo os fungicidas Maxim advanced (Metalaxil-M, Tiabendazol e Fludioxonil) e inseticidas Cruiser 350 FS (Tiametoxam) e Fortenza 600 FS (Ciantraniliprole), além da adição de polímero (Biocroma vermelho). No dia da semeadura foi feito a inoculação nas sementes com o produto Biomabradyl® (*Bradyrhizobium japonicum*, concentração de bactérias de  $7,2 \times 10^9$  células viáveis/mL), dose de 400 ml de produto comercial/100 kg sementes. Também foram adicionados os micronutrientes cobalto (Co) e molibdênio (Mo) utilizando o produto comercial CoMo plus® na concentração de 11,6 g/L de cobalto (Co) e 69,6 g/L de molibdênio (Mo), na dose de 200 ml de produto comercial/100 kg sementes. A semeadura foi realizada manualmente e o desbaste feito após 15 dias de emergência, mantendo o estande de plantas/ha recomendado para cada cultivar de soja.

Os dados relativos à precipitação e temperatura média do ar, apresentados na Figura 1, foram coletados na estação meteorológica situada em Lavras, MG, ESAL-UFLA, a 10 km do campo de produção. Entre as duas épocas de colheita que foram realizadas em função dos ciclos

das cultivares utilizadas, foi observado um acúmulo de 20 mm de precipitação pluviométrica (FIGURA 1).

Figura 1 – Dados meteorológicos de precipitação pluvial e temperaturas médias diárias da estação Lavras, MG, ESAL-UFLA durante o ciclo da cultura da soja.



As plantas foram colhidas manualmente quando o teor de água das sementes atingiu 15%. A colheita foi feita em duas ocasiões devido a diferença entre as cultivares quanto ao grupo de maturação (TABELA 1). Após a colheita, a debulha foi realizada por meio de trilhadora elétrica estacionária de parcelas, realizada a pré-limpeza por meio de peneiras seguida de secagem até 12%, e após, foram beneficiadas/classificadas. Após a secagem e o beneficiamento, as sementes de cada genótipo foram amostradas em porções necessárias para cada época de avaliação ao longo do armazenamento. As sementes foram acondicionadas em sacos de papel tipo kraft e armazenadas em câmara com controle de temperatura constante de 20 °C, com início em 03 de maio.

Tabela 1 – Grupo de maturação (GM) das cultivares de soja e data da colheita das sementes em Ijaci, MG.

Cultivares	GM	Colheita
M6410 (1)	6.4	21/mar
Desafio (2)	7.4	05/abr
UFLA 6310 (3)	6.3	21/mar
Foco (4)	7.2	05/abr
Syn 15640 (5)	6.9	21/mar
M7739 (6)	7.7	05/abr
Bônus (7)	7.9	05/abr
P96R70 (8)	6.7	21/mar

Fonte: Da autora (2022).

As avaliações da qualidade física e fisiológica foram realizadas em 6 períodos de armazenamento: 0, 60, 120, 180, 240 e 360 dias. Para análises enzimáticas, ao final de cada época foram coletadas amostras e acondicionadas em temperatura de -18 °C. As análises foram realizadas por meio dos seguintes testes:

- a) Teor de água: foram mensurados por meio do método da estufa (24 horas a 105 °C), sendo os teores expressos em porcentagens, conforme Brasil (2009).
- b) Germinação entre papel: com quatro repetições de 50 sementes por tratamento, com semeadura em substrato papel germitest (2 folhas), em rolos, umedecido com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco, e foram mantidas em germinador tipo mangelsdorf a 25 °C. As contagens de plântulas normais foram realizadas aos 8 dias após a semeadura (BRASIL, 2009).
- c) Emergência de plântulas: o substrato utilizado foi composto pela mistura de areia + solo (proporção 2:1) colocado em bandejas plásticas, irrigado a 60% da capacidade de campo na semeadura e, posteriormente, quando necessário, de maneira uniforme. Para a semeadura foram utilizadas 4 repetições de 50 sementes. As bandejas foram mantidas em casa de vegetação à temperatura de 25 °C. A contagem de emergência de plântulas normais foram realizadas aos 8 dias. Além disso, foram realizadas contagens diárias, para cálculo do índice de velocidade de emergência (IVE) (MAGUIRE, 1962).
- d) Envelhecimento acelerado: foram utilizadas caixas plásticas tipo gerbox, adaptadas com tela de alumínio suspensa. Em cada gerbox foi adicionado 40 mL de água e uma camada única de sementes sobre toda a tela. Em seguida foram mantidas em câmara tipo BOD a 41 °C por 48 horas (MARCOS-FILHO, 2020). Após este período, foi realizada a

semeadura da mesma forma como descrito no teste de germinação (BRASIL, 2009), sendo a avaliação de plântulas normais realizada aos 5 dias após semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem.

- e) Condutividade elétrica: foi realizado com quatro repetições de 50 sementes que foram pesadas e colocadas para embeber em copos plásticos, contendo 75 mL de água deionizada e mantidas em BOD, a 25 °C por 24 horas. Após este período, foi realizado a leitura da condutividade elétrica da solução por meio do aparelho condutivímetro marca Digimed, modelo CD-21. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}\cdot\text{g}$ . (VIEIRA; MARCOS-FILHO, 2020)
- f) Teor de lignina no tegumento: foi determinado utilizando-se quatro repetições de 100 sementes para cada tratamento, as quais foram inicialmente imersas em água durante 12 horas. Após esse procedimento, foi realizada a retirada do tegumento e posterior secagem em estufa a 105 °C por 24h. A massa da matéria seca obtida foi triturada e homogeneizada. Posteriormente, pesou-se 300 mg de tegumento, as quais foram submetidas a centrifugações (3300 rpm por seis minutos) com diferentes soluções (fosfato de sódio e potássio; triton x-100; NaCl 1,0 M; água deionizada e acetona), para obtenção da parede celular. Realizado esse processo, os tubos com as amostras foram levados ao dessecador com vácuo, e, em seguida, o material foi levado à estufa a 60 °C. Após a secagem das amostras, as mesmas foram maceradas e foi obtido o material livre de proteínas. Após, foi realizada a quantificação da lignina pelo método de brometo de acetila (MOREIRA-VILAR *et al.*, 2014). O teor de lignina foi expresso em  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ .

De posse dos resultados dos testes fisiológicos, foi realizada a seleção das quatro cultivares mais contrastantes para as análises enzimáticas, sendo duas de alto nível de qualidade e duas de baixa qualidade fisiológica, com os períodos de armazenamento de 0 e 360 dias. As metodologias para essas análises foram:

- a) Análises bioquímicas enzimáticas: metabolismo antioxidante: as sementes foram maceradas em nitrogênio líquido e polivinilpolipirrolidona (PVPP) insolúvel, sendo posteriormente acondicionadas em temperatura de -18 °C.
- b) Atividade catalase: amostras de 200 mg do material macerado foi homogeneizada em 1,5 mL do tampão de extração composto por fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), EDTA 0,1 mM e ácido ascórbico 10 mM e água. O material homogeneizado foi centrifugado a 13.000 g por 20 minutos a 4 °C e o sobrenadante coletado. A atividade

da CAT foi determinada conforme Azevedo *et al.* (1998), com modificações, estimada pelo decréscimo na absorvância a 240 nm durante 3 minutos em um meio de reação contendo fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0) e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 12,5 mM.

- c) Quantificação de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica: utilizou-se amostras de 200 mg do material macerado, homogeneizado com 1500 µL de ácido tricloroacético (TCA) 0,1% e em centrifugadas a 12.000 g por 15 minutos a 4 °C. Foi coletado o sobrenadante de cada amostra para posterior quantificação. O peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) foi determinado medindo-se a absorvância a 390 nm em um meio de reação contendo o sobrenadante, tampão fosfato de potássio 100 mM com pH 7,0 e iodeto de potássio 1 M (VELIKOVA; YORDANOV; EDREVA, 2000). A peroxidação lipídica foi determinada por meio da quantificação de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico, conforme descrito por Buege e Aust (1978). O extrato foi obtido de acordo com Velikova; YORDANOV; EDREVA, 2000). Alíquotas de 125 µL do sobrenadante foram adicionadas ao meio de reação de ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,5% e ácido tricloroacético (TCA) 10%. As amostras foram levadas ao banho maria a 95 °C por 30 minutos. A reação foi paralisada por resfriamento rápido em gelo e a leitura realizada em espectrofotômetro a 535 e a 600 nm.

Foi realizada a análise morfofisiológica das sementes de soja, das mesmas cultivares selecionadas para análises enzimáticas. As análises foram realizadas aos 0 dias de armazenamento e após 360 dias, conforme metodologia descrita a seguir.

- a) Análise morfoanatômica por microscopia de luz: Foram coletadas amostras de 10 sementes de cada genótipo no respectivo período de armazenamento. As sementes foram colocadas em tubo falcon, fixadas em solução de FAA<sub>50</sub> (formaldeído, ácido acético e álcool etílico 50%, na proporção de 5:5:90, v:v:v) sob baixa pressão por um período de 48 horas, em seguida colocadas em série etílica crescente de 70, 85, e 95% de álcool etílico. Em seguida, as amostras foram imersas em resina metacrilato Leica, segundo recomendações do fabricante. Posteriormente, as amostras foram emblocadas em resina e seccionadas com 5µm. Após o preparo, foram montadas as lâminas histológicas, sendo 5 lâminas para cada amostra. Foram coradas com azul de toluidina tanoai acetato de sódio (pH 4,7), montadas em permount e fotografadas em fotomicroscópio modelo Olímpud AX70. Foram fotografados 5 campos por lâmina, contendo 10 cortes histológicos, nas regiões do tegumento e eixo embrionário das

sementes. Em seguida as imagens foram analisadas de acordo com as alterações morfológicas e anatômicas.

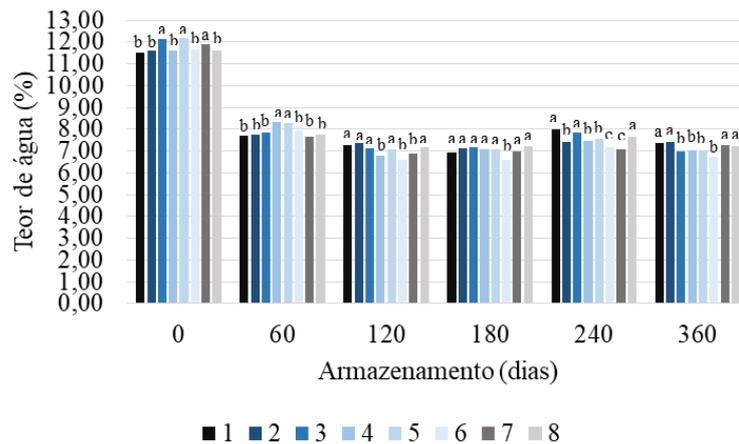
O delineamento experimental para as análises fisiológicas foi o inteiramente casualizado (DIC), com 4 repetições, em esquema fatorial 8 x 6, envolvendo 8 cultivares de sementes de soja e 6 épocas de avaliações ao longo do armazenamento. Para as análises enzimáticas o delineamento foi em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro cultivares de soja e 2 épocas de avaliações. As análises estatísticas foram realizadas por meio da análise de variância com auxílio do software Sisvar® (FERREIRA, 2019), a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p < 0,05$ ). As médias foram analisadas com o uso do teste de Scott-knott, a 5% de probabilidade, ou com análises de regressões polinomiais com a escolha do modelo significativo de maior coeficiente de determinação e relação biológica.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise para teor de água das sementes ao longo do armazenamento está representado na Figura 1. Apesar de existirem diferenças no teor de água entre as cultivares estudadas, essa diferença foi de pequena magnitude, não ultrapassando de 0,5% entre os materiais, em todas as épocas de armazenamento.

A uniformidade do teor de água entre os lotes de sementes é importante para a obtenção de resultados consistentes, pois segundo Marcos-Filho (1999), diferenças superiores a 2% podem interferir nos resultados dos testes fisiológicos. Dessa forma, é possível inferir com segurança sobre a qualidade fisiológica das sementes das diferentes cultivares produzidas sob mesmas condições edafoclimáticas, ao longo do armazenamento, sem que o efeito teor de água influencie nas avaliações e resultados.

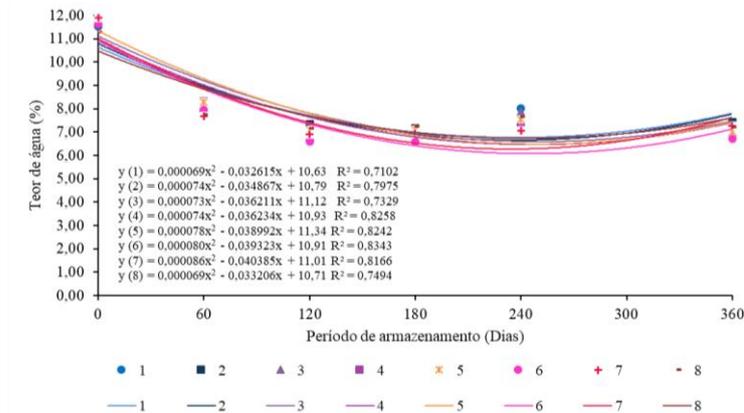
Figura 2 – Teor de água de sementes de cultivares de soja ao longo do período de armazenamento.



(1) M6410; (2) Desafio; (3) UFLA6310; (4) Foco; (5) Syn15640; (6) M7739; (7) Bônus; (8) P96R70.  
Fonte: Da autora (2022).

Em relação aos teores de água ao longo do tempo, foi possível observar que após 60 dias de armazenamento, houve redução do teor de água das sementes, permanecendo com valores mais baixos até 180 dias, com posterior elevação. Isso ocorre devido ao equilíbrio higroscópico das sementes com o ambiente, visto que em janeiro, período que coincidiu com a época de 240 dias, é comum a ocorrência de chuvas e com isso o aumento da UR do ar. É importante ressaltar, que as sementes foram armazenadas a uma temperatura constante de 20 °C, UR não foi controlada, e este fato pode ter contribuído para maior redução do teor de água.

Figura 3 – Teor de água de sementes de cultivares de soja ao longo do período de armazenamento.



(1) M6410; (2) Desafio; (3) UFLA6310; (4) Foco; (5) Syn15640; (6) M7739; (7) Bônus; (8) P96R70.  
Fonte: Da autora (2022).

Amaral *et al.* (2018) relataram que o teor de água de sementes de soja é importante no armazenamento e preservação da qualidade do lote de sementes até o período da comercialização. Os autores ressaltaram que o teor de água das sementes deve ser o mais uniforme possível, pois mesmo com sua uniformidade a tendência é que esse teor de água seja reduzido após um período até a comercialização. Esse efeito foi observado no estudo, visto que ao longo do armazenamento houve redução do teor de água das sementes devido ao equilíbrio higroscópico com o ambiente em função da temperatura e umidade relativa.

No teste de germinação (TABELA 2), observou-se diferença de qualidade inicial para sementes das cultivares 4 e 6 com relação às demais, que apresentaram germinação maior. Em todos os períodos de armazenamento, para a cultivar 6 houve as menores médias de germinação. Em contraste, para as cultivares 3 e 7 foram verificadas as maiores médias de germinação quando comparado às demais cultivares, em todos os períodos avaliados.

Para Krzyzanowski *et al.* (2018), além das diferenças genéticas, o potencial de armazenamento de um lote de sementes pode ser determinado pelo nível de deterioração sofrido desde o processo de maturação em campo até o fim do armazenamento, sugerindo que a longevidade das sementes é também influenciada pela sua qualidade fisiológica inicial.

A importância da qualidade inicial das sementes para tolerância ao armazenamento ficou evidente no teste de germinação, em que sementes com alta qualidade inicial apresentaram tendências de menores reduções ao longo do armazenamento, mantendo-se em patamares de germinação mais elevados. Porém, para as sementes da cultivar 6, que logo no início já

apresentava menor germinação (87%), houve perdas significativas da qualidade desde os períodos iniciais de armazenamento (TABELA 2 e FIGURA 4).

Tabela 2 – Porcentagem de germinação de cultivares de sementes de soja em diferentes períodos de armazenamento.

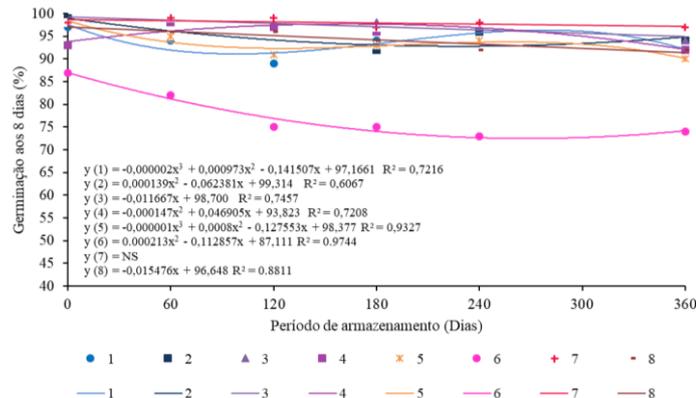
Cultivares*	Armazenamento (dias)					
	0	60	120	180	240	360
1	97 a	94 b	89 b	94 b	96 a	92 b
2	99 a	98 a	91 b	92 b	96 a	94 a
3	98 a	99 a	98 a	98 a	97 a	94 a
4	93 b	98 a	97 a	96 a	98 a	92 b
5	98 a	95 b	91 b	93 b	95 a	90 b
6	87 c	82 c	75 c	75 c	73 b	74 c
7	98 a	99 a	99 a	97 a	98 a	97 a
8	96 a	96 b	96 a	94 b	92 a	92 b
C.V.	3,19					

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

\*(1) M6410; (2) Desafio; (3) UFLA6310; (4) Foco; (5) Syn 15640; (6) M7739; (7) Bônus; (8) P96R70.

Fonte: Da autora (2022).

Figura 4 – Germinação (%) de sementes de cultivares de soja ao longo do período de armazenamento



(1) M6410; (2) Desafio; (3) UFLA6310; (4) Foco; (5) Syn15640; (6) M7739; (7) Bônus; (8) P96R70.

Fonte: Da autora (2022).

Na avaliação da emergência de plântulas, observou-se resultados semelhantes aos obtidos no teste de germinação, em que, para sementes da cultivar 6, também houve menor valor percentual inicial e, conseqüentemente, menor qualidade ao longo de todas as épocas de avaliações (TABELA 3).

A medida em que avança o armazenamento, é possível observar maiores diferenças na qualidade fisiológica entre as cultivares. A partir dos 60 dias de armazenamento, para a cultivar 5 também foram observadas menores porcentagens de emergência, e nos períodos de armazenamento subsequentes esse mesmo resultado foi observado. Em contraste, para as cultivares 1 e 3 foram verificadas as maiores médias de emergência em todos os períodos de armazenamento, com altos valores após 360 dias de armazenamento, de 97 e 98% respectivamente.

Tabela 3 – Porcentagem de emergência de plântulas de cultivares de sementes de soja em diferentes períodos de armazenamento.

Cultivares*	Armazenamento (dias)					
	0	60	120	180	240	360
1	99 a	94 a	99 a	99 a	97 a	97 a
2	99 a	95 a	99 a	99 a	99 a	94 b
3	99 a	95 a	97 a	97 a	98 a	98 a
4	98 a	97 a	95 a	97 a	97 a	94 b
5	98 a	89 b	88 b	90 b	90 b	84 c
6	81 b	77 c	61 c	62 c	63 c	60 d
7	99 a	97 a	97 a	99 a	96 a	90 b
8	96 a	95 a	95 a	93 b	95 a	93 b
C.V.	3,16					

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

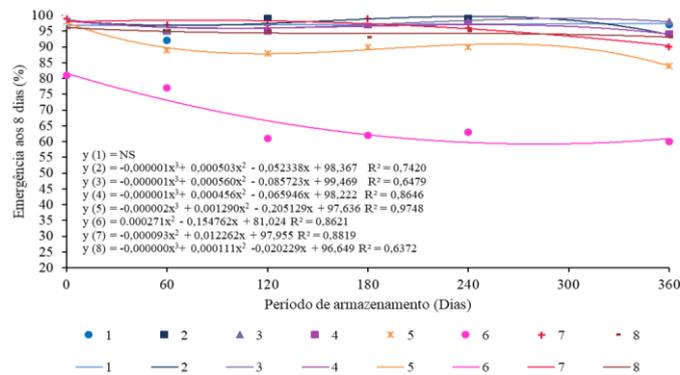
\*(1) M6410; (2) Desafio; (3) UFLA6310; (4) Foco; (5) Syn 15640; (6). M7739; (7) Bônus; (8) P96R70.

Fonte: Da autora (2022).

Ao final do período de armazenamento, somente em sementes da cultivares 5 e 6 houve emergência de plântulas abaixo de 90%, com diferenças em relação a cultivar 3 de 14% e 38%, respectivamente. Para a cultivar 6 foi constatada diminuição acentuada desde o primeiro período de armazenamento, provavelmente relacionado a baixa qualidade inicial combinada à baixa tolerância ao armazenamento. Já para as sementes da cultivar 5, apesar de alta qualidade inicial houve redução da qualidade logo nos primeiros períodos de armazenamento, indicativo de uma possível baixa tolerância ao armazenamento (TABELA 3 e FIGURA 5).

Abati *et al.* (2022a) também observaram que cultivares de soja têm diferentes níveis de tolerância ao armazenamento. Os autores relataram que sementes que absorvem maiores quantidades de água têm menor tolerância à deterioração devido as flutuações de temperatura e umidade relativa que ocorrem armazenamento em condições descontroladas, afetando negativamente o potencial fisiológico das sementes.

Figura 5 – Emergência de plântulas (%) de cultivares de soja ao longo do período de armazenamento.



(1) M6410; (2) Desafio; (3) UFLA6310; (4) Foco; (5) Syn15640; (6) M7739; (7) Bônus; (8) P96R70.

Fonte: Da autora (2022).

Foi avaliado também, o índice de velocidade de emergência (IVE), este considerado um parâmetro de vigor na avaliação da qualidade de sementes. De maneira semelhante à emergência, em sementes da cultivar 6 foram observados os menores índices, ou seja, as sementes demoraram mais para emergir quando comparado às outras cultivares (TABELA 4). Após 60 dias, em sementes da cultivar 5 houve também redução da velocidade de emergência, um indicativo da perda de qualidade ao longo do armazenamento. Ao final do período de armazenamento, sementes das cultivares 1, 2 e 3 foi observado maior índice de velocidade de emergência (TABELA 4), confirmando as diferenças entre as cultivares em relação à tolerância ao armazenamento.

Tabela 4 – Índice de velocidade de emergência (IVE) de cultivares de sementes de soja em diferentes períodos de armazenamento.

Cultivares*	Armazenamento (dias)					
	0	60	120	180	240	360
1	12,30 a	9,47 b	12,11 a	11,49 b	11,87 a	11,87 a
2	12,27 a	11,01 a	12,19 a	12,31 a	12,19 a	11,61 a
3	12,40 a	11,04 a	12,08 a	12,00 a	12,02 a	12,08 a
4	12,00 a	10,84 a	11,59 a	12,22 a	11,94 a	11,29 b
5	11,95 a	9,31 b	10,93 b	10,89 b	10,70 b	9,82 c
6	09,26 b	5,15 c	7,23 c	7,65 c	8,15 c	6,45 d
7	11,99 a	11,23 a	11,77 a	11,78 a	11,78 a	10,97 b
8	11,68 a	10,47 a	11,94 a	11,58 b	11,83 a	11,33 b
C.V.	4,82					

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

\*(1) M6410; (2) Desafio; (3) UFLA6310; (4) Foco; (5) Syn 15640; (6). M7739; (7) Bônus; (8) P96R70.

Fonte: Da autora (2022).

Houve diferenças no vigor, por meio do teste envelhecimento acelerado entre as cultivares no início do armazenamento, sendo os menores valores para sementes das cultivares 5, 6 e 8, as quais ao longo do armazenamento tiveram menor vigor quando comparado às demais, especialmente após 120 dias de armazenamento. Ao final do armazenamento, além dessas 3 cultivares, em sementes da cultivar 1 houve menor vigor (TABELA 5 e FIGURA 6).

Tabela 5 – Porcentagem de germinação após envelhecimento acelerado (%) de cultivares de sementes de soja em diferentes períodos de armazenamento.

Cultivares*	Armazenamento (dias)					
	0	60	120	180	240	360
1	93 a	93 a	86 b	89 b	87 b	80 c
2	96 a	97 a	92 a	92 a	89 a	84 b
3	91 b	96 a	94 a	90 b	91 a	85 b
4	94 a	95 a	93 a	95 a	85 b	82 b
5	88 b	95 a	94 a	90 b	86 b	85 b
6	70 d	73 b	72 c	73 c	67 c	52 e
7	95 a	97 a	95 a	95 a	93 a	90 a
8	82 c	94 a	90 a	85 b	86 b	74 d
C.V.	4,18					

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

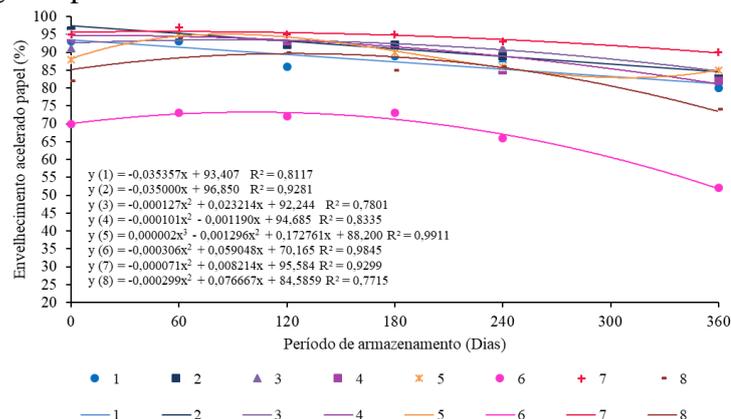
\*(1) M6410; (2) Desafio; (3) UFLA6310; (4) Foco; (5) Syn 15640; (6). M7739; (7) Bônus; (8) P96R70.

Fonte: Da autora (2022).

Para as sementes da cultivar 7, em todos os períodos de armazenamento avaliados, observou-se maiores médias de vigor no teste de envelhecimento acelerado. Ao final do armazenamento, além das sementes da cultivar 7, sementes de 2, 3 e 4 também foram superiores às demais (TABELA 5 e FIGURA 6). Da mesma forma que nos outros testes fisiológicos, em geral, sementes das cultivares 3 e 7 apresentaram bons resultados de qualidade, indicando uma maior tolerância ao armazenamento.

O envelhecimento acelerado é um teste de vigor eficaz para a seleção de lotes de soja com base na avaliação do potencial de armazenamento, visto que simula o processo de deterioração. Além disso, esse teste pode fornecer informações com um alto grau de consistência (MATERA *et al.*, 2019). Sendo assim, os resultados obtidos reiteram as diferentes tolerâncias ao armazenamento de sementes dessas cultivares de soja.

Figura 6 – Germinação após envelhecimento acelerado (%) de sementes de cultivares de soja ao longo do período de armazenamento.



(1) M6410; (2) Desafio; (3) UFLA6310; (4) Foco; (5) Syn15640; (6) M7739; (7) Bônus; (8) P96R70.

Fonte: Da autora (2022).

No teste de condutividade elétrica os resultados foram consistentes aos testes demais fisiológicos. Em sementes das cultivares com menor qualidade fisiológica foram observados os maiores valores de condutividade elétrica, como por exemplo, as cultivares 6 e 8, principalmente com o avanço do armazenamento (TABELA 6). Porém, é importante salientar que os valores de condutividade elétrica têm forte influência do genótipo, que em alguns casos, por características morfoanatômicas e das membranas celulares, tendem a apresentar resultados em patamares mais elevados mesmo apresentando bons resultados fisiológicos, como exemplo sementes da cultivar 2, e o inverso também pode ser observado, com sementes da cultivar 5 (TABELA 6 e FIGURA 7). Por isso, se faz necessário uma análise cuidadosa quando da

utilização desse teste para comparação entre genótipos e assim, assegurar a consistência dos resultados.

Tabela 6 – Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de cultivares de sementes de soja em diferentes períodos de armazenamento.

Cultivares*	Armazenamento (dias)					
	0	60	120	180	240	360
1	61,35 a	78,96 a	93,49 a	73,94 a	74,83 a	74,43 a
2	83,91 b	140,15 d	136,42 c	113,89 b	117,96 b	129,13 c
3	65,63 a	89,25 b	99,78 a	81,47 a	81,15 a	89,55 b
4	76,47 b	94,65 b	98,05 a	87,73 a	84,74 a	92,92 b
5	58,44 a	79,93 a	87,41 a	71,18 a	77,88 a	81,68 a
6	88,65 b	147,77 d	157,55 d	128,76 c	137,57 c	166,76 d
7	64,08 a	97,17 b	101,48 a	87,11 a	85,84 a	93,99 b
8	70,18 a	121,97 c	116,10 b	82,81 a	91,38 a	103,96 b
C.V.	10,05					

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

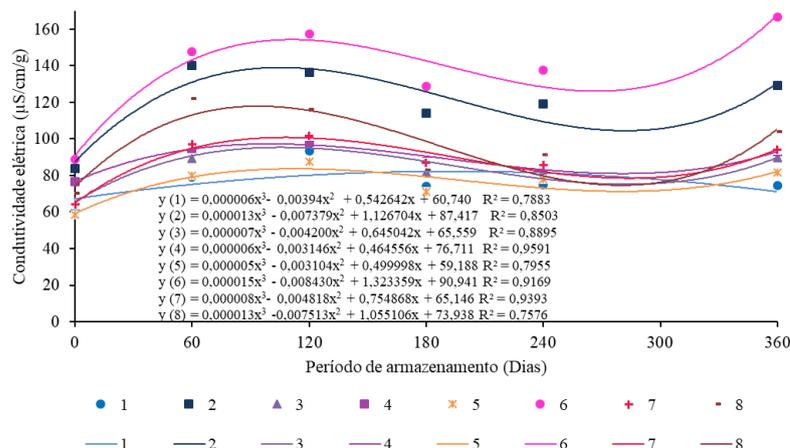
\*(1) M6410; (2) Desafio; (3) UFLA6310; (4) Foco; (5) Syn 15640; (6). M7739; (7) Bônus; (8) P96R70.

Fonte: Da autora (2022).

Marcos-Filho (2015) afirma que, com base neste teste, pode-se avaliar indiretamente o estado metabólico atual das sementes, considerando-se que, quanto maior for a liberação e exsudados (eletrólitos), maior é a condutividade elétrica da solução, o que corresponde ao menor vigor do lote de sementes, em função do grau de desestruturação das membranas.

De maneira geral, houve tendência de elevação na condutividade elétrica em sementes de todas as cultivares com o avanço do período de armazenamento, principalmente no quartil final (FIGURA 7), período este, em que no geral, foram constatadas as diminuições mais acentuadas da qualidade fisiológica, como por exemplo na emergência e envelhecimento acelerado. Smaniotto *et al.* (2014) também verificaram crescente liberação de eletrólitos das sementes para a água de embebição durante o período de armazenamento, considerando um indicativo de perda de vigor e qualidade fisiológica no armazenamento. Este fato também foi observado por outros autores trabalhando com soja armazenada em diferentes condições (CARVALHO *et al.*, 2016; MAVAIIEIE *et al.*, 2019).

Figura 7 – Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de sementes de cultivares de soja ao longo do período de armazenamento



(1) M6410; (2) Desafio; (3) UFLA6310; (4) Foco; (5) Syn15640; (6) M7739; (7) Bônus; (8) P96R70.  
Fonte: Da autora (2022).

Apesar das variações nas faixas de valores de condutividade elétrica em função dos genótipos de soja, alguns autores sugerem valores basais para possíveis inferências como para Vieira (1994), que os valores de condutividade elétrica devem estar abaixo de  $70\text{-}80 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  em lotes de alto vigor. Já para Carvalho *et al.* (2014b), valores de condutividade elétrica entre  $70\text{-}80 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  as sementes apresentam forte tendência ao médio vigor e, abaixo desses valores, ao alto vigor.

No início do armazenamento as cultivares com maior qualidade fisiológica foram as mesmas com menores valores de condutividade,  $65,63$  (cultivar 3) e  $64,08 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  (cultivar 7) confirmando, portanto, a hipótese de materiais com alto vigor inicial. Após o longo período de armazenamento, em sementes destas cultivares também houve perda de vigor, mas ainda assim, apresentaram valores próximos de  $90 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  ao final de 360 dias de armazenamento.

De maneira geral, nos testes fisiológicos, aquelas cultivares que apresentaram resultados melhores e consistentes em relação a qualidade fisiológica das sementes foram as cultivares 7 e 3. Já em sementes das cultivares 5 e 6 foram aquelas com menor qualidade fisiológica, indicando assim, a variabilidade genética em relação a qualidade fisiológica e tolerância ao armazenamento.

Quanto ao teor de lignina no tegumento, um dos menores valores foram encontrados nos tegumentos das sementes da cultivar 6, além das cultivares 1 e 2, sendo que somente essas apresentaram valores abaixo de  $50 \text{ mg Lignina}\cdot\text{g}^{-1}$  parede celular. Dentre essas cultivares, somente sementes da cultivar 6 foi caracterizado como de baixa qualidade fisiológica e baixa

tolerância ao armazenamento. Já entre aquelas que apresentaram valores acima de 50 mg Lignina. g<sup>-1</sup> parede celular (5% de lignina), estavam sementes das cultivares caracterizadas como alta qualidade fisiológica, 7 e 3. As sementes da cultivar 5, apesar do teor de lignina mais elevado, foi classificada como baixa qualidade fisiológica (TABELA 7) e, para essa mesma cultivar, foi observado valores mais baixos de condutividade elétrica (TABELA 6 e FIGURA 7).

Tabela 7 – Teor de lignina (mg.g<sup>-1</sup>) na parede celular das cultivares de sementes de soja.

Cultivares*	Lignina (mg Lignina. g <sup>-1</sup> parede celular)
1	44,96
2	45,92
3	51,19
4	51,98
5	52,68
6	46,69
7	50,77
8	50,07

\*(1) M6410; (2) Desafio; (3) UFLA6310; (4) Foco; (5) Syn 15640; (6). M7739; (7) Bônus; (8) P96R70.

Fonte: Da autora (2022).

Para Mertz-Henning *et al.* (2015), menores valores de condutividade elétrica na solução de embebição das sementes de soja estão diretamente relacionados com o maior teor de lignina no tegumento, que confirma o observado nesse estudo.

Segundo Krzyzanowski, França-Neto e Henning (2022), a lignina presente no tegumento de sementes de soja interferem no potencial de armazenamento das mesmas. Abati *et al.* (2021) relataram que cultivares com maiores teores de lignina apresentaram maior potencial de armazenamento, principalmente em ambiente não controlado.

A lignina está presente no tegumento e possui um importante papel na proteção das sementes contra injúrias mecânicas. Muitos autores relatam que o teor de lignina tem relação com a resistência das sementes de soja aos danos mecânicos, ou seja, quando se tem maiores teores desse composto minimiza-se a ocorrência de danos e, por consequência, maior qualidade das sementes (MENEZES *et al.*, 2009; GRIS *et al.*, 2010; FELICETI, 2019).

França-Neto *et al.* (2010) observaram que cultivares de soja com teor de lignina no tegumento das sementes acima de 5% conferiram maior qualidade. Esse mesmo resultado foi observado neste estudo, em que sementes das cultivares 3 e 7, com teores de lignina de 5,12 %

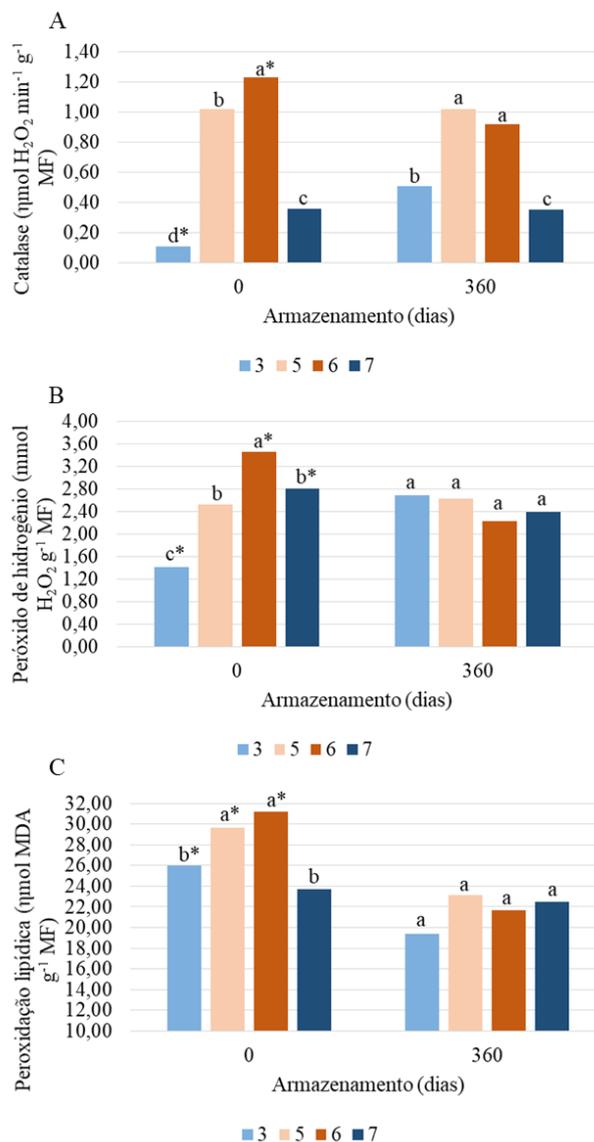
(51,19 mg Lignina g<sup>-1</sup> parede celular) e 5,08 % (50,77 mg Lignina g<sup>-1</sup> parede celular) respectivamente (TABELA 7), tiveram maior qualidade fisiológica na maioria dos testes avaliados.

França-Neto *et al.* (2016) afirmam que a presença de lignina nas sementes confere além da resistência aos danos mecânicos, maior tolerância à deterioração e mantém a integridade da parede celular. Dessa forma, é essencial a seleção de genótipos com estas características em programas de melhoramento, que atrelado a outras características agronômicas desejáveis, poderão refletir na qualidade das sementes de soja. Além dessas características, a qualidade fisiológica de sementes também é altamente influenciada pelos fatores ambientais e vários genes estão relacionados na expressão deste atributo (MORENO, 2016).

Aos 0 dias de armazenamento em sementes das cultivares 5 e 6 houve maiores valores da enzima catalase (CAT), com sementes da cultivar 6 com valor superior a todas as demais. Sementes das cultivares 5 e 6 foram as de menor qualidade fisiológica, principalmente a cultivar 6, desde o início do armazenamento. Em sementes das cultivares 3 e 7, ambas constatadas como sementes de alta qualidade fisiológica, foram observadas menores quantidades dessa enzima (FIGURA 8).

As enzimas catalase juntamente com a superóxido dismutase atuam como mecanismo de defesa das sementes. A superóxido dismutase atua anulando as formas reativas do oxigênio, produzindo peróxido de hidrogênio. Em seguida, a catalase impede a formação de outros compostos reativos, convertendo, portanto, o peróxido de hidrogênio em água e oxigênio, ou seja, em espécies não reativas (NAKADA *et al.*, 2011). Carvalho *et al.* (2014b) também constataram essa maior atividade de enzimas do sistema antioxidante, relacionado a um maior estresse provocado pelo armazenamento, principalmente em ambiente não controlado, gerando radicais livres e, assim, aumentando a atividade dessas enzimas. Sendo assim, altos valores da catalase podem indicar que as sementes dessas cultivares menos tolerantes ao armazenamento estavam com um nível maior de radicais livres, devido ao estresse mais elevado para combater os danos oxidativos.

Figura 8 – Expressão das enzimas catalase (A), peróxido de hidrogênio (B) e peroxidação lipídica (C) em sementes de soja aos 0 e 360 dias de armazenamento.



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si em cada período de armazenamento pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade. Médias marcadas com \* diferem após o armazenamento, para cada cultivar.

(3) UFLA6310; (5) Syn 15640; (6). M7739; (7) Bônus.

Fonte: Da autora (2022).

Após 360 dias de armazenamento, observou-se resultados semelhantes ao que foi observado aos 0 dias de armazenamento, o que reitera, portanto, a maior tolerância ao armazenamento das cultivares 3 e 7, em relação à 5 e 6, confirmado pelos resultados fisiológicos anteriores (FIGURA 8A).

Para sementes da cultivar 3, classificada como de alta qualidade fisiológica e tolerante ao armazenamento, houve menor valor da enzima catalase desde o início do armazenamento,

com aumento aos 360 dias, sempre em níveis inferiores às cultivares 5 e 6. Pode-se inferir maior tolerância desse genótipo ao armazenamento, menor estresse, menor acúmulo de radicais livres, menor acúmulo de peróxido de hidrogênio, menor atividade antioxidante CAT e menor peroxidação lipídica, principalmente no início do armazenamento (FIGURA 8). Para a cultivar 6 ocorreu redução nos valores da enzima CAT após o armazenamento, e tendo em vista que para esta cultivar foi constatado altos valores de condutividade elétrica e baixa qualidade fisiológica, ambos indicativos da deterioração, conclui-se que a atividade da CAT foi reduzida e insuficiente para evitar os danos oxidativos às sementes.

Em sementes deterioradas, tem sido relatado menor atividade da catalase e menor eficiência dos sistemas antioxidantes (CARVALHO *et al.*, 2014b; CASTRO *et al.*, 2017). Segundo estes autores, em sementes nessas condições de envelhecimento, ocorre maior peroxidação lipídica e redução na atividade das enzimas removedoras de peróxidos como a catalase.

Na quantificação do peróxido de hidrogênio, observou-se maiores valores de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para sementes da cultivar 6, já no início do armazenamento (FIGURA 8B). Sharma *et al.* (2013) afirmam que em sementes de soja armazenadas, este acúmulo é um dos fatores que resultam na perda da viabilidade e do vigor, fato este que pode ser confirmado neste estudo para esta cultivar em questão, devido a baixa qualidade fisiológica apresentada desde o início do armazenamento.

Aos 360 dias não foram observadas diferenças no acúmulo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> entre as cultivares, no entanto, ao comparar entre períodos de armazenamento, ocorreu um aumento do peróxido de hidrogênio para a cultivar 3, da mesma forma como foi observado para catalase. Para as cultivares 6 e 7, ocorreu redução nos teores deste composto (FIGURA 8).

Em sementes das cultivares 5 e 6 houve maiores valores de peroxidação lipídica, expressa como malondialdeído (MDA), ou seja, maiores danos oxidativos, o que levou a uma menor qualidade fisiológica das sementes armazenadas. Já nas sementes das cultivares, 3 e 7, foram constatadas menores peroxidações lipídicas no início do armazenamento (FIGURA 8C), cultivares estas que apresentaram maior qualidade fisiológica e maior tolerância ao armazenamento.

Hernández *et al.* (2000) relacionaram a elevação da peroxidação lipídica como o principal sintoma atribuído ao dano oxidativo, sendo frequentemente utilizada como um indicador de danos às membranas celulares. Sharma *et al.* (2013) relataram que sementes de soja armazenadas em temperatura ambiente sofreram peroxidação lipídica. Os autores também

afirmaram que a taxa de peroxidação lipídica expressa como malondialdeído formado (MDA) é um parâmetro importante para quantificar a extensão da peroxidação lipídica em sementes ricas em óleo, como as sementes de soja.

Para Min *et al.* (2017), os acúmulos de MDA e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em conjunto, foram os principais fatores que resultaram na perda de viabilidade de sementes de soja submetidas à deterioração. De fato, esses resultados corroboram com o resultado da condutividade elétrica e demais testes fisiológicos, a exemplo das sementes da cultivar 6 com altos valores de condutividade, alta peroxidação lipídica e maior deterioração.

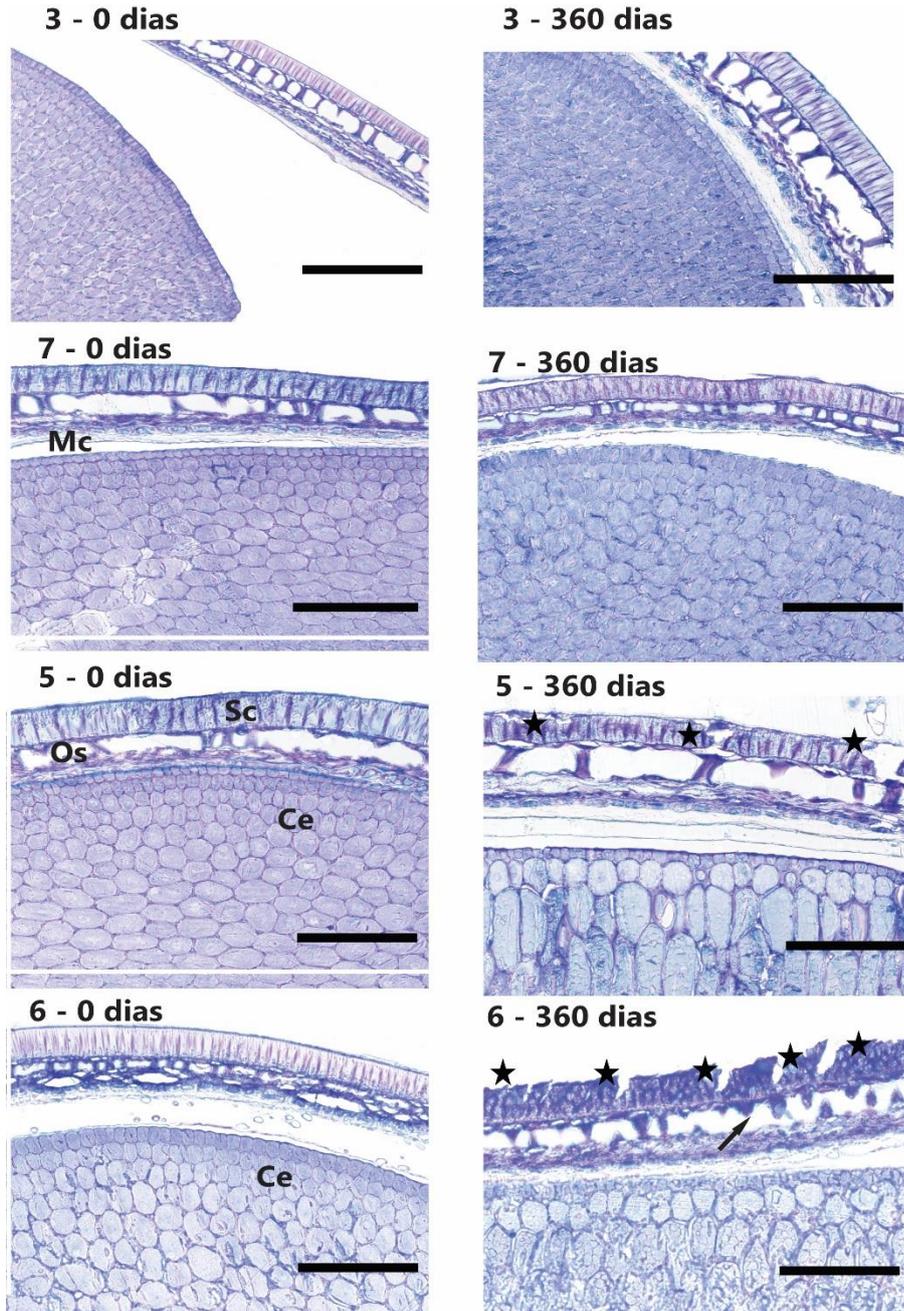
Na avaliação da anatomia das sementes foram capturadas imagens do eixo embrionário e do tegumento das sementes (FIGURA 9). Observou-se resultados consistentes em relação aos testes fisiológicos e análises enzimáticas, ou seja, sementes das cultivares de menor qualidade fisiológica e menor tolerância ao armazenamento (5 e 6) tiveram alterações nas estruturas e conformações das células após 360 dias de armazenamento, apresentando desorganizações e rupturas na camada de células do tegumento e rupturas dos osteoesclereídes (FIGURA 9).

Cunha (2018) observou fissuras no tegumento de sementes de lentilha, com perda de conjunto de esclereídes (macrosclereídes e osteosclereídes). A autora afirma que essas rupturas facilitam o aporte de água para germinação ou o desenvolvimento de microrganismos oportunistas, o que contribui para a redução da qualidade das sementes.

Para as sementes das cultivares 3 e 7, classificadas como de alta qualidade fisiológica, as estruturas celulares se mantiveram sem alterações mesmo após um longo período de armazenamento, 360 dias, principalmente das células do tegumento, as esclereídes (macrosclereídes e osteosclereídes), o que contribui para uma maior tolerância destes materiais em relação ao armazenamento e manutenção da qualidade das sementes (FIGURA 9).

Marcos-Filho (2015) afirma que sementes que apresentam alterações na composição, estrutura ou integridade do tegumento, o processo de embebição para germinação é prejudicado. Este fato reitera o que foi observado neste estudo, pois nas cultivares que foram observadas rupturas e desorganização de células do tegumento, são também aquelas de menor qualidade fisiológica após o armazenamento.

Figura 9 – Cortes histológicos de sementes de cultivares de soja aos 0 e 360 dias de armazenamento.



Sc = tegumento; Os = osteoesclereídes; Mc = macroesclereídes; Ce = células do eixo embrionário; ★ = rupturas tegumento; ➤ = rupturas osteosclereídes.

Fonte: Da autora (2022).

Pode-se relacionar também os resultados obtidos quanto à integridade do tegumento (FIGURA 9) com o teor de lignina das sementes, principalmente em relação às cultivares 3, de maior qualidade e maior teor de lignina, e 6, de menor qualidade e menor teor de lignina. Em sementes de soja, a medida em que ocorre o processo de maturação, verifica-se progressiva

lignificação das macroesclereídes (CUNHA, 2018). O maior teor de lignina geralmente está atrelado à maior qualidade das sementes (FRANÇA-NETO *et al.*, 2016; CASTRO, 2015). Esse comportamento pode estar associado à proteção mecânica conferida por esse composto e, conseqüentemente, menor deterioração das sementes (MENEZES *et al.*, 2009).

Para Abati *et al.* (2022b) o aumento do teor de peróxido de hidrogênio no tegumento é um indicador da redução da qualidade fisiológica das sementes quando armazenadas em ambiente não controlado. Além disso, os autores relataram que a diferença na tolerância à deterioração durante o armazenamento das sementes de soja está associada com o teor de lignina no tegumento, especialmente em ambientes com flutuações de temperatura e umidade relativa do ar.

Sendo assim, existem diferenças entre as diferentes cultivares de soja para a tolerância ao armazenamento, mesmo quando produzidas nas mesmas condições edafoclimáticas, pois as cultivares UFLA6310 e Bônus apresentaram maior potencial de armazenamento. O teor de lignina é um componente importante, que pode ser usado como ferramenta na seleção de genótipos de soja com maior potencial de qualidade durante o período de armazenamento, bem como as características morfoanatômicas do tegumento das mesmas.

#### **4 CONCLUSÕES**

Existe efeito do genótipo sobre a tolerância de sementes de soja ao armazenamento por longos períodos.

Em sementes com alta qualidade fisiológica e tolerantes ao armazenamento há menor acúmulo de peróxido de hidrogênio e menor peroxidação lipídica.

Análises morfoanatômicas podem contribuir para a avaliação de genótipos para alta qualidade fisiológica e tolerância ao armazenamento.

#### **AGRADECIMENTOS**

À Embrapa Soja, pela realização da análise de lignina, e à CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

## REFERÊNCIAS

- ABATI, J. *et al.* Physiological response of soybean seeds to spray volumes of industrial chemical treatment and storage in different environments. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 42, p. e202042002, 2020.
- ABATI, J. *et al.* Metabolites of the phenylpropanoid pathway and physiological quality of soybean seeds in storage. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 43, e202143033, 2021.
- ABATI, J. *et al.* Water absorption and storage tolerance of soybean seeds with contrasting seed coat characteristics. **Acta Scientiarum Agronomy**, [S.l.], v. 44, 2022a.
- ABATI, J. *et al.* Physiological potential and antioxidant metabolism during storage of soybean seeds contrasting with phenylpropanoid pathway compounds. **Bragantia**, [S.l.], v. 81, p. e3022, 2022b.
- AMARAL, D. R.; DOBIS, F. S.; CARVALHO, T. C. de. Avaliação da qualidade física e fisiológica de sementes de soja durante o beneficiamento. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, [S.l.], v. 11, n. 2, p. 43-52, 2018.
- AZEVEDO, R. A. *et al.* Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiology Plantarum**, [S.l.], v. 104, p. 280-292, 1998.
- BATISTA, E.C. *et al.* Physiological quality of soybean seeds and the influence of maturity group. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 44, p. e202244026, 2022.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p.
- BUEGE, J. A.; AUST, S. D. Microsomal lipid peroxidation. **In Methods in Enzymology**, [S.l.], v. 52, p. 302-310, 1978.
- CARVALHO, C.F., COELHO, C.M.M. E SOUZA, C.A. Qualidade de sementes de soja submetidas ao armazenamento no oeste de Santa Catarina, Brasil. **Engenharia na Agricultura**, [S.l.], v.22, n.4, p. 287–293, 2014.
- CARVALHO, E. R.; OLIVEIRA, J.A.; CALDEIRA, C.M. Qualidade fisiológica de sementes de soja convencional e transgênica RR produzidas sob aplicação foliar de manganês. **Bragantia**, [S.l.], v. 73, n. 3, p. 219-228, 2014a.
- CARVALHO, E. R. *et al.* Alterações isoenzimáticas em sementes de cultivares de soja em diferentes condições de armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 49, n. 12, p. 967-976, 2014b.
- CARVALHO, E. R. *et al.* Mn foliar sobre a qualidade sanitária e lignina de sementes de soja convencional e resistente ao glifosato. **Revista Ciência Agronômica**, [S.l.], v. 46, n. 1, p. 135-143, 2015.

CARVALHO, E.R. *et al.* Pre-packing cooling and types of packages in maintaining physiological quality of soybean seeds during storage. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 38, n. 2, p. 129-139, 2016.

CASTRO, E. M. **Teor de lignina e qualidade de sementes de soja em relação ao retardamento da colheita**. 2015. 88 p. Dissertação. (Mestrado Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras: UFLA, 2015.

CASTRO, D.G. *et al.* Qualidade fisiológica e expressão enzimática de sementes de soja RR®. **Revista de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 40, n. 1, p. 222-235, 2017.

CUNHA, P.T. **Alterações fisiológicas, bioquímicas e anatômicas em sementes de lentilha em diferentes estádios de maturação e submetidas ao armazenamento**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, 2018.

FELICETI, M.L. **Desempenho de sementes de genótipos de soja com grupos de maturação contrastantes em função da época de semeadura**. 2019. 68 p. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

FERREIRA, F.C. *et al.* Cooling of soybean seeds and physiological quality during storage. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 39, n. 4, p. 385-392, 2017.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; PÁDUA, G.P.; LORINI, I.; HENNING, F. A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2016.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 20, n. 1-2, p. 37-38, 2010.

GRIS, C. F. *et al.* M. Qualidade fisiologica e teor de lignina no tegumento de sementes de soja convencional e transgênica RR submetidas a diferentes épocas de colheita. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 34, n. 2, p. 374-381, 2010.

HERNÁNDEZ, J.A. *et al.* Tolerance of pea plants (*Pisum sativum*) to long term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. **Plant Cell and Environment**, [S.l.], v. 23, p. 853-862, 2000.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.de B.; HENNING, A.A. **A alta qualidade de sementes de soja: fator importante para a produção da cultura**. 1. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 24 p. (Circular Técnica 136).

\_\_\_\_\_. **Importância do conteúdo de lignina da parede celular da vagem e do tegumento da semente de soja sobre o seu desempenho fisiológico e sanitário**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 22 p. (Circular Técnica 180).

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MARCOS-FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.1.1-1.21

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina, Abrates, 2015. 660 p.

MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2020.

MATERA, T.C. *et al.* Accelerated aging test and its relationship to physiological potential of soybean seeds. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 41, p. 301-308, 2019.

MATHIAS, V.; COELHO, C. M. M.; GARCIA, J. Soluble protein as indicative of physiological quality of soybean seeds. **Revista Caatinga**, [S.l.], v. 32, n. 3, p. 730-740, 2019.

MAVAIEIE, D. P. R. *et al.* Performance of treated seeds of different soybean cultivars in function of environments and storage periods. **Brazilian Journal of Agriculture**, [S.l.], v. 94, p. 179-195, 2019.

MENEZES, M. *et al.* Aspectos químicos e estruturais da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 44, n. 12, p. 1716- 1723, 2009.

MERTZ, L. M. *et al.* Diferenças estruturais entre tegumentos de sementes de soja com permeabilidade contrastante. **Revista Brasileira de Sementes**, [S.l.], v. 31, n. 1, p. 23-29, 2009.

MERTZ-HENNING, L. M. *et al.* Relative quantification of gene expression levels associated with lignina biosynthesis in soybean seed coat. **Seed Science and Technology**, [S.l.], v. 43, p. 445-455, 2015.

MIN, C. W. *et al.* In-depth proteomic analysis of Glycine max seeds during controlled deterioration treatment reveals a shift in seed metabolism. **Journal of Proteomics**, [S.l.], v. 169, n. 2017, p. 125–135, 2017.

MOREIRA-VILAR, F.C. *et al.* The acetyl bromide method is faster, simpler and presents best recovery of lignin in different herbaceous tissues than Klason and thioglycolic acid methods. **Plos One**, [S.l.], v. 9, n. 10, p. 1-7, 2014.

MORENO, K.A.A. **Expressão de genes relacionados com a qualidade fisiológica de sementes de soja**. 2016. 68 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia/Sementes) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2016.

NAKADA, P. G. *et al.* Desempenho fisiológico e bioquímico de sementes de pepino nos diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Sementes**, [S.l.], v. 33, p. 113-122, 2011.

PINHEIRO, D. T. *et al.* Weathering deterioration in pre-harvest of soybean seeds: physiological, physical, and morpho-anatomical changes. **Scientia Agricola**, [S.l.], v. 78, e20200166, 2021.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa, MG: FSEMG/UFV, 1999. p.359.

ROSA, D.P. *et al.* Genetic diversity in soybean seed quality under different storage conditions. **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, n.1, p. 57-72, 2017.

RUPPIN, N. W. *et al.* Caracterização morfofisiológica de sementes de diferentes cultivares de soja armazenadas sob condições não controladas. **Caderno de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 11, p. 1-8, 2019.

SCHONS, A. *et al.* Respostas do genótipo, tratamento de sementes e condições de armazenamento no potencial fisiológico de sementes de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 41, n. 1, p. 111-120, 2018.

SHARMA, S. *et al.* Positional effects on soybean seed composition during storage. **Journal of Food Science and Technology**, [S.l.], v. 50, n. 2, p. 353–359, 2013.

SMANIOTTO, T.A.S. *et al.* Physiological quality of soybean seeds stored in different conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 446–53, 2014.

THIRUSENDURA SELVI, D.; SARASWATHY, S. Seed viability, seed deterioration and seed quality improvements in stored onion seeds: a review. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, [S.l.], v. 93, n. 1, p. 1-7, 2018.

VASCONCELOS, E.S. *et al.* Análise não-paramétrica da sanidade de sementes e índices de eliminação e classificação de genótipos de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 43, n. 3, p. 341-348, 2008.

VELIKOVA, V.; YORDANOV, I.; EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, [S.l.], v. 151, n. 1, p. 59-66, 2000.

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

VIEIRA, R.D.; MARCOS-FILHO, J. Teste de condutividade elétrica. *In*: KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2 ed. Londrina: ABRATES, 2020.