



LEANDRO VILELA REIS

**COLHEITA, BENEFICIAMENTO E TRATAMENTO DE
SEMENTES DE SOJA VISANDO ALTA QUALIDADE**

**LAVRAS - MG
2022**

LEANDRO VILELA REIS

**COLHEITA, BENEFICIAMENTO E TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA
VISANDO ALTA QUALIDADE**

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
2022**

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

Reis, Leandro Vilela.

Colheita, beneficiamento e tratamento de sementes de soja
visando alta qualidade / Leandro Vilela Reis. - 2022.

100 p. : il.

Orientador(a): Everson Reis Carvalho.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Retardamento de colheita. 2. Classificação por peneiras. 3.
Máquinas tratadoras. I. Carvalho, Everson Reis. II. Título.

LEANDRO VILELA REIS

**COLHEITA, BENEFICIAMENTO E TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA
VISANDO ALTA QUALIDADE**

**HARVESTING, CONDITIONING AND TREATMENT OF SOYBEAN SEEDS
AIMING HIGH QUALITY**

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 25 de maio de 2022.

Dr. Everson Reis Carvalho	UFLA
Dra. Edila Vilela de Resende Von Pinho	UFLA
Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires	UFLA
Dr. André Delly Veiga	IF SUL DE MINAS
Dr. Hugo Cesar Rodrigues Moreira Catão	UFU

Dr. Everson Reis Carvalho
Orientador

**LAVRAS-MG
2022**

Deus, minha fortaleza...

Aos meus pais, Delany e Sonderson, minha esposa Camila, meu irmão Venicius, minha família, amigos, professores e colegas que me acompanharam em minha jornada de aprendizado.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A DEUS e a interseção de Nossa Senhora Aparecida, por me dar forças e nunca me deixar desistir, pelas graças recebidas e por permitir mais essa vitória.

Aos meus pais, Delany e Sonderson (Dinho), por serem exemplo e por todo o trabalho que enfrentaram para essa conquista.

À minha esposa Camila, por todo o seu amor, companheirismo, apoio, incentivo, ajuda, carinho, compreensão e paciência ao longo dessa jornada, e também a toda a sua família, pelo apoio e incentivo.

Ao meu irmão Venicius, pela presença, apoio, incentivo e companheirismo.

Aos meus Avós e a toda a família, pelo apoio e confiança. Principalmente ao meu avô Wilton, que se aqui estivesse presente, veria seu sonho realizado.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pelas oportunidades de aprendizado e ensinamentos dessa renomada instituição de ensino.

Ao meu orientador Prof. Dr. Everson Reis Carvalho, pelo exemplo, amizade, incentivo e disponibilidade sempre que precisei.

Ao Prof. Dr. André Delly Veiga, professor do IF Sul de Minas - Campus Machado, meu primeiro orientador dos tempos de escola agrícola, pelo incentivo, amizade e, sobretudo, confiança. Em seu nome agradeço a todos os professores que contribuíram para a minha formação.

Ao professor Dr. João Almir Oliveira, pela oportunidade de trabalho em sua equipe durante minha formação. Agradeço aos demais professores (Edila, Laene, Renato, Heloisa e Raquel), pesquisadores (Sttela) e funcionários do Laboratório de Análise de Sementes da UFLA (LAS), pelos ensinamentos, amizade, e oportunidade de trabalhar com uma equipe tão renomada.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, principalmente à Marli por estar sempre disposta a me ajudar.

Aos amigos e companheiros de trabalho do LAS, principalmente à Amanda, Débora, Cris, Cuxilo, Chupal, Rafael, Elias, Adriano, Larissa, Raquel, Débora Ribeiro, dentre outros, pelo apoio, ajuda nos experimentos e amizade em todos esses anos.

Ao professor Allan Bruce Downie Ph.D. e sua esposa Lynette Dirk Ph.D., pela oportunidade de estagiar em seu laboratório na Universidade do Kentucky - E.U.A., onde tive a grande oportunidade de apreender com o *Seed Biology Group*, um dos maiores grupos de pesquisa em sementes do mundo.

Ao Núcleo de Estudos em Sementes – NESem, e por todos os ensinamentos adquiridos, por todas as oportunidades de crescimento pessoal e profissional.

Aos companheiros da República Pé de Cana, pela amizade verdadeira, apoio e por tantos momentos divertidos que passamos juntos nesses anos de vida universitária.

A todos os meus amigos, presentes ou distantes, pela amizade, confiança e torcida.

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições para este trabalho.

Aos órgãos de apoio à pesquisa CAPES, CNPq e FAPEMIG, pelas oportunidades de todos esses anos como bolsista, e principalmente à CAPES, que foi o órgão de fomento de minha bolsa ao longo do doutorado.

À Valiosa Sementes, em especial ao Natalício, ao Giuliano da Fazenda Chaparral Ashidany e aos seus funcionários, pelo apoio durante a realização dos experimentos e ao *Seed Care Institute* da Syngenta, instituições parceiras onde foi realizado parte dos trabalhos.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma, para a minha formação e essa conquista.

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

Muito obrigado!

RESUMO

A produção de sementes de alta qualidade representa um dos principais fatores para o sucesso da cultura da soja, entretanto, esta depende de todas as etapas do sistema de produção de sementes, desde o plantio, tratos culturais, condições climáticas, técnicas de colheita, beneficiamento, condições de armazenamento e tratamento. Para isso, é necessário um controle de qualidade efetivo com tecnologias que proporcionem uma produção eficiente. Assim, foram conduzidos 3 experimentos, envolvendo fatores desde a colheita, beneficiamento, até o tratamento de sementes de soja. No primeiro experimento o objetivo foi avaliar a incidência de danos mecânicos, danos por umidade e a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja colhidas com diferentes métodos e teores de água nas sementes. A colheita das sementes com 13% de teor de água, ocasiona maiores incidências de danos mecânicos e deterioração por umidade nas sementes, independentemente do método de colheita. A severidade desses danos são intensificadas com o armazenamento. Em sementes colhidas mecanicamente, com o sistema de trilha axial à 19% de grau de umidade, observa-se melhor qualidade, em relação às colhidas com 13%. O atraso na colheita de 19% para 13% favorece a incidência fúngica, principalmente de *Fusarium* spp. A incidência de danos mecânicos e por umidade depreciaram a qualidade fisiológica e favorece a incidência de fungos. No segundo experimento objetivou-se avaliar a incidência de danos mecânicos e a qualidade fisiológica ao longo do beneficiamento em função do tamanho das sementes de soja. Sob beneficiamento industrial são verificadas maiores incidências de danos mecânicos e menor qualidade fisiológica em sementes maiores. Sementes de lotes com maior massa específica apresentam maior qualidade fisiológica. Diferença de 3% de massa específica em sementes de soja da seção superior e da seção inferior da mesa densimétrica é uma regulagem que já estratifica quanto à qualidade fisiológica. A separação por peso específico, por meio da mesa densimétrica, é eficiente para a separação de sementes com danos mecânicos e diferentes níveis de vigor e germinação. A incidência de danos por umidade não é afetada pelo tamanho da semente de soja e a mesa densimétrica não é eficiente para redução deste dano no lote. No terceiro ensaio, o objetivo foi avaliar a influência das tecnologias de tratamento de sementes de soja, máquinas e processos com tratadoras industriais e *OnFarm*, sobre ocorrência de danos mecânicos e qualidade funcional do tratamento. O tratamento de sementes de soja em tratadoras industriais de batelada ou fluxo contínuo, sem diferença entre essas tecnologias, asseguram melhor recobrimento das sementes, maior assertividade da dose, menor desprendimento de partículas e menor incidência de danos mecânicos em relação à tecnologia de aplicação *OnFarm*. O processamento digital de imagens de alta resolução é eficiente para a quantificação do recobrimento de sementes de soja por produtos fitossanitários. O recobrimento de sementes apresenta relação direta com a assertividade de dose.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Merril. Retardamento de colheita. Classificação por peneiras. Máquinas tratadoras. Qualidade de tratamento.

ABSTRACT

The production of high quality seeds represents one of the main factors for the success of the soybean crop, however, this is dependent on all stages of the seed production system, from sowing, cultural practices, climatic conditions, harvesting techniques, seed conditioning, storage conditions and treatment. An effective quality control is required with technologies that provide efficient production. Thus, three experiments were conducted, involving factors since harvesting, seed conditioning, until soybean seeds treatment. The first experiment, aimed to evaluate the incidence of mechanical damages, moisture damages and the physiological and sanitary quality of soybean seeds harvested with different methodologies and water contents. Seeds harvesting with 13% of water content causes higher incidences of mechanical damage and deterioration by moisture in the seeds, regardless method is used. The severity of these damages is intensified with storage. At mechanically harvested seeds, with the axial threshing system, at 19% of humidity, it is observed better quality in relation to seeds harvested with 13%. Harvest delay from 19% to 13% favors the fungal incidence, mainly of *Fusarium* spp. The incidence of mechanical and moisture damages depreciated the seed physiological quality and favored the incidence of fungi. The second experiment aimed to evaluate the incidence of mechanical damages and the physiological quality throughout the seed conditioning as a function of the size of the soybean seeds. It was verified, in an industrial conditioning, higher incidences of mechanical damage and lower physiological quality in larger seeds. Lots with higher apparent specific mass present higher physiological quality. Difference of 3% in specific mass analyzes between soybean seeds from the upper and lower sections of the densimetric table is an adjustment that stratifies in terms of physiological quality. The density table is efficient in separating seeds with mechanical damage and different levels of vigor and germination. The size of seeds does not affect the incidence of deterioration by moisture and the density table is not efficient to reduce this defect in the lot. At the third experiment aimed to evaluate the influence of soybean seed treatment technologies, machines and processes with industrial and *On Farm* treaters, about the occurrence of mechanical damage and the functional quality of the treatment. Soybean seed treatment in industrial batch or continuous flow treatment machine, with no difference between these technologies, ensures better seed coverage, greater dose assertiveness, lower dust-off and lower incidence of mechanical damage in relation to the application technology OnFarm. Digital processing of high-resolution images is efficient for quantification of soybean seed coating by phytosanitary products. Seed coverage is directly related to dose assertiveness.

Keywords: *Glycine max* L. Merrill. Harvest delay. Classification screens. Treatment machines. Seed treatment quality.

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	11
1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	A cultura da soja.....	13
2.2	Qualidade de sementes	14
2.3	Colheita de sementes.....	16
2.4	Beneficiamento.....	18
2.5	Qualidade sanitária e tratamento de sementes	21
	REFERÊNCIAS.....	25
	CAPÍTULO 2 ÉPOCA E METODOLOGIA DE COLHEITA SOBRE A INCIDÊNCIA DE DANOS MECÂNICOS E A QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA	30
1	INTRODUÇÃO.....	32
2	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4	CONCLUSÕES.....	50
	REFERÊNCIAS.....	50
	CAPÍTULO 3 O TAMANHO DAS SEMENTES DE SOJA AFETA A OCORRÊNCIA DE DANOS MECÂNICOS NO BENEFICIAMENTO E A QUALIDADE FISIOLÓGICA?.....	54
1	INTRODUÇÃO.....	56
2	MATERIAIS E MÉTODOS	58
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4	CONCLUSÕES.....	75
	REFERÊNCIAS.....	76
	CAPÍTULO 4 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA: ASSERTIVIDADE DE DOSES, DANOS MECÂNICOS E O RECOBRIMENTO DAS SEMENTES.....	79
1	INTRODUÇÃO.....	81
2	MATERIAIS E MÉTODOS	83
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	87
4	CONCLUSÕES.....	93

REFERÊNCIAS.....	94
APÊNDICES	96

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

A soja é uma importante cultura agrícola mundial e é um dos principais produtos da agricultura brasileira. Isso se deve à evolução do conhecimento e aos avanços tecnológicos disponibilizados aos agricultores, muitos dos quais são transferidos via sementes. Assim, há uma demanda crescente por sementes, especialmente as de alta qualidade (SANTOS *et al.*, 2018). Para atender a atual demanda de sementes, assegurando o estabelecimento de estande adequado e plantas de alto desempenho que contribuam para o aumento da produtividade de grãos, a utilização de sementes de alta qualidade é primordial (FRANÇA NETO *et al.*, 2015).

Vários são os desafios na produção de sementes de elevada qualidade, especialmente em regiões de clima tropical e subtropical, uma vez que uma gama de fatores ambientais pode influenciar o processo produtivo de sementes, sobretudo durante a maturação e a colheita de sementes de soja. O processo de deterioração de sementes de soja pode ser agravado pelas condições climáticas após a maturidade fisiológica das sementes, principalmente se coincidir com condições desfavoráveis, como chuvas, altas temperaturas e elevada umidade relativa do ar. Este pode ser intensificado quando da ocorrência conjunta de patógenos, danos por percevejos e danos mecânicos (GOMES *et al.*, 2012). Por outro lado, o teor de água elevado das sementes próximo à maturidade fisiológica dificulta a colheita mecanizada e pode favorecer a ocorrência de danos mecânicos latentes. Por isso, o conhecimento do momento correto da colheita mecanizada é essencial para a obtenção de lotes de sementes de alta qualidade.

Outro ponto que merece atenção para a manutenção da eficiência do processo produtivo de sementes de soja é o beneficiamento. Deve-se atentar para um dos principais problemas que podem afetar a qualidade das sementes de soja durante o processo de produção que são os danos causados na colheita mecânica e no beneficiamento. Sabe-se que a semente de soja é sensível aos danos mecânicos, uma vez que as partes vitais do eixo embrionário estão situadas sob um tegumento pouco espesso, que praticamente não oferece proteção (MARCOS FILHO, 2015). Assim, o monitoramento de danos mecânicos ao longo do beneficiamento é importante para possíveis ajustes e adequações das etapas e processos. Aliado a isso, muitos questionamentos ainda existem sobre a relação danos mecânicos e o tamanho das sementes.

Uma das etapas finais da produção de sementes, e não menos relevante, o tratamento de sementes, é primordial para cultura da soja, seja visando a manutenção da qualidade das sementes, bem como a proteção inicial contra patógenos e pragas (CARVALHO *et al.*, 2020). No entanto, a maneira como são realizados esses tratamentos pode influenciar na qualidade das sementes e do próprio tratamento, sendo necessários maquinários que promovam segurança do operador, ambiental e tecnologia de aplicação para o melhor recobrimento, assertividade de doses, sem gerar danos mecânicos e sem prejudicar à qualidade fisiológica das sementes. Com a elevada utilização de sementes tratadas de soja, o controle de qualidade neste processo precisa ser eficiente. Nesse sentido, processos mais tecnificados de tratamento e de avaliação da qualidade do tratamento são necessários. A análise computadorizada de imagens de alta resolução, por exemplo, pode ser útil para o desenvolvimento de tratamentos de sementes mais assertivos e eficientes, mas esses processos precisam ser estudados.

Frente às demandas atuais por informações para produção de sementes de soja de elevada qualidade foram realizados três estudos com os seguintes objetivos principais: avaliar a incidência de danos mecânicos, deterioração por umidade, qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja em função da época e métodos de colheita; avaliar a incidência de danos mecânicos e a qualidade fisiológica ao longo do beneficiamento em função do tamanho das sementes de soja e estabelecer relação entre esses fatores; e estudar a influência das tecnologias de tratamento de sementes de soja, máquinas e processos com tratadoras industriais e OnFarm, sobre ocorrência de danos mecânicos e a qualidade funcional do tratamento, aliados ao uso da análise computadorizada de imagens de alta resolução.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da soja

A cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill) destaca-se como uma das principais *commodities* produzidas e comercializadas no mundo. O Brasil está situado no mercado internacional como o maior produtor e exportador de soja do mundo. Segundo o sétimo levantamento de produtividade de grãos realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o Brasil produziu 122.431 milhões de toneladas e exportou, em média, 77 milhões de toneladas de grãos na safra 2021/2022 proporcionando grande impacto no agronegócio (CONAB, 2022).

No Brasil, o crescimento da produção de soja está relacionado à composição química do grão, que em média, possui 40% de proteína e 20% de óleo, caracterizando como uma excelente fonte de proteína e energia para a alimentação humana e animal, além disso, também é utilizado como matéria-prima para diversos produtos e energia renovável (MERTZ-HENNING *et al.*, 2018). O complexo da soja tem expressiva importância econômica para o Brasil, pois movimenta diversos setores socioeconômicos, como as empresas de pesquisa e desenvolvimento, fornecedores de insumos, indústrias de máquinas e equipamentos, produtores rurais, cooperativas agropecuárias e agroindustriais, produtores de óleos, fabricantes de ração, usinas de biodiesel, dentre outras. Portanto, sendo essencial para gerar riquezas, empregos e desenvolvimento do país (EMBRAPA, 2014).

Os principais fatores que impulsionaram a produção da cultura da soja no país estão relacionados aos avanços científicos e à disponibilização de tecnologias ao setor produtivo, sejam estes referentes ao manejo de solos, insetos praga, doenças, plantas daninhas, material genético, transgenia, mecanização e alta qualidade de sementes (EMBRAPA, 2014). Dentre os insumos do setor agrícola, a semente de alta qualidade ocupa papel fundamental em todo sistema de produção (COSTA *et al.*, 2011). Neste contexto, a base que sustenta todo o processo é a semente. O aumento da área cultivada e o incremento na produtividade e na produção nacional só se viabilizam com o uso deste importante insumo (MENEGHELLO; PESKE, 2013).

Para produzir e disponibilizar sementes de soja com a qualidade desejada pelo agricultor, e nos volumes demandados para a área a ser cultivada, há necessidade de infraestrutura e pessoal capacitado, envolvendo grande investimento (MENEGHELLO;

PESKE, 2013). Porém, quando analisados todos os aspectos relacionados à qualidade das sementes e seus efeitos na produtividade da cultura da soja, fica claro a importância de utilizar sementes de alta qualidade e de origem conhecida (FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI; HENNING, 2010; BAGATELI *et al.*, 2019).

2.2 Qualidade de sementes

As sementes são responsáveis pelo grande avanço tecnológico na agricultura brasileira, e é a base para o sucesso da lavoura (ZAMBIAZZI, 2017). O alicerce das altas produtividades conquistadas nas lavouras de soja brasileiras está vinculado com o êxito do estabelecimento das plantas no campo, que dependem, principalmente, de sementes de alta qualidade somadas a um manejo adequado. Desse modo, as sementes conseguem expressar seu máximo potencial genético, gerando plantas produtivas e vigorosas; formação de lavouras sem falhas e com população de plantas adequada; melhor uniformidade e; maior resistência a pragas e doenças e ao acamamento (BAGATELI *et al.*, 2019).

Assim, para um lote de sementes ser considerado de qualidade, deve pertencer à espécie da cultivar desejada, estar puro, possuir elevado nível de germinação, vigor e sanidade, ser de fácil conservação e apresentar uma boa adaptação às condições edafoclimáticas da região a que se destina. Isto é, a qualidade de sementes é o somatório dos atributos fisiológicos, físicos, sanitários e genéticos que um grão não tem, e que lhe confere a garantia de elevado desempenho agrônomo no campo, estande ideal e altas produtividades, o qual é base fundamental do sucesso para uma lavoura bem instalada (KRYZANOWSKI *et al.*, 2018).

As sementes, por serem um organismo vivo, podem ter sua qualidade afetada por vários fatores, desde a fecundação até o momento da semeadura, como: genótipo, condições ambientais durante o desenvolvimento das sementes, fertilidade do solo e nutrição mineral, posição da semente na planta mãe, época e técnicas de colheita, condições de armazenamento e tratamentos pré-semeadura (MARCOS FILHO, 2015). Por isso, a obtenção de um material de alta qualidade é dependente de todas as etapas do sistema de produção de sementes.

A produção de sementes de alta qualidade representa um dos principais fatores para o sucesso da cultura da soja, entretanto, essa tarefa é mais complexa em relação a outras plantas cultivadas, pois sementes de soja caracterizam-se por grande sensibilidade aos agentes patogênicos, mecânicos e às condições climáticas; que se desfavoráveis, contribuem para

acelerar a deterioração das sementes dessa cultura (MARCOS FILHO, 2015). Desta forma, para que a semente de soja seja considerada de alta qualidade, deve apresentar alto vigor, germinação e sanidade, bem como garantias de pureza física e genética (KRYZANOWSKI *et al.*, 2018).

A qualidade fisiológica de sementes pode ser definida como a capacidade de desempenhar funções vitais, caracterizada pela germinação, vigor e longevidade que garantem a porcentagem e uniformidade da emergência das plântulas (SCHUCH *et al.*, 2008). Sabe-se que a baixa qualidade fisiológica pode resultar em reduções na velocidade e emergência de plântulas, desuniformidade de emergência, menores tamanho inicial de plântulas, produção de matéria seca e área foliar (BAGATELI *et al.*, 2019).

Schuch *et al.* (2008), ao avaliar o efeito da qualidade fisiológica de sementes no comportamento de plantas isoladas de soja, incluindo o rendimento de grãos, observaram que plantas oriundas de sementes de alta qualidade fisiológica apresentam maior altura, diâmetro de caule, e rendimento de grãos 25% superior às obtidas de sementes de baixa qualidade.

Bagateli *et al.* (2019) relataram que para cada aumento de um ponto percentual no nível de vigor do lote de sementes de soja, utilizando o teste de envelhecimento acelerado, tem-se o aumento de 28 Kg ha⁻¹ na produtividade de grãos e, portanto, as sementes de soja com alto vigor apresentaram plantas com melhor estrutura no final do ciclo da cultura e com melhor desempenho produtivo em comparação com plantas resultantes de sementes de baixo e médio vigor.

Contudo, só as indicações dos parâmetros associados à qualidade fisiológica não são suficientes para predizer sobre a qualidade em geral. A condição sanitária é extremamente importante, visto que, em soja, a maioria das doenças de importância econômica que ocorrem na cultura são causadas por patógenos que podem ser transmitidos via sementes. Os patógenos associados às sementes podem promover redução da qualidade fisiológica, levar à perda parcial ou total da produtividade e causar aumento do custo de produção (FRANÇA NETO *et al.*, 2016).

Além disso, sementes infectadas podem introduzir e disseminar patógenos nas áreas de produção, sendo focos primários de doenças e, com isso, favorecer o avanço de doenças no campo (PARSA *et al.*, 2016; MEDEIROS *et al.*, 2019). No Brasil, os fungos de maior importância que ocorrem em sementes de soja são *Phomopsis* spp., *Colletotrichum truncatum*, *Cercospora kikuchii*, *Fusarium* spp, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Corynespora cassiicola* e *Aspergillus flavus* (MEDEIROS *et al.*, 2019).

Um dos fatores que pode afetar tanto a qualidade sanitária quanto a fisiológica das sementes é o excesso de chuvas associado à ocorrência de altas temperaturas durante a fase final do ciclo de maturação das sementes de soja, principalmente em regiões tropicais, acarretando em severos danos à produção de sementes, pois além de favorecer sucessivos processos de embebição e secagem das sementes, também propicia altos índices de infecção que estão associados à baixa qualidade fisiológica e sanitária (COSTA *et al.*, 2003).

Sabe-se que o ponto de maturidade fisiológica é o momento no qual as sementes apresentam máxima qualidade fisiológica e corresponde ao desligamento fisiológico da planta mãe. Neste estágio, não ocorrem acréscimos de matéria seca, o teor de água é reduzido e a semente apresenta máxima capacidade germinativa e vigor (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). A partir deste momento, alterações degenerativas começam a ocorrer, de modo que a qualidade fisiológica das sementes é mantida ou decresce, dependendo das condições ambientais no período que antecede a colheita, da condução dos processos de colheita, secagem, beneficiamento, tratamento e das condições de armazenamento (FRANÇA NETO *et al.*, 2015).

2.3 Colheita de sementes

No processo de produção de sementes, todas as etapas são relevantes para a obtenção de sementes de alta qualidade, e para a cultura da soja, o período pré-colheita que se inicia na maturidade fisiológica das sementes e se estende até a colheita é a fase mais crítica (FRANÇA NETO *et al.*, 2016). A qualidade das sementes de soja pode sofrer danos por vários fatores, destacando-se: a colheita mecanizada, por causarem injúrias mecânicas as sementes (CUNHA *et al.*, 2009), o teor de água das sementes durante a colheita (TERASAWA *et al.*, 2009) e o fator genético de cada genótipo (DINIZ *et al.*, 2013).

Outros fatores que também contribuem para a perda de qualidade estão relacionados à sanidade das sementes diante das intempéries, como umidade, precipitação pluvial, temperatura do ar e ao conteúdo de água da semente (CARVALHO; NOVENBRE, 2012).

Em relação ao conteúdo de água nas sementes de soja, recomenda-se que a colheita deve ser feita de preferência logo após a maturidade fisiológica, porém, isto é inviável, uma vez que há alto teor de água na semente neste momento (em torno de 40-65%), que inviabiliza a colheita mecanizada (SEDIYAMA, 2016). Por esse motivo, é indicado esperar a redução do teor de água até que as sementes atinjam de 12% a 14% de grau de umidade. Sementes que

apresentam umidade superior a 14% podem estar sujeitas a maior incidência de danos mecânicos latentes, enquanto teores de água menor que 12% podem provocar uma maior quebra das sementes, causando rompimento nos tecidos e, conseqüentemente, prejuízos à qualidade fisiológica das sementes (FRANÇA NETO *et al.*, 2007). Resultados de pesquisa evidenciam que sementes de soja colhidas com teor de água de 13% proporcionaram menores índices de danos mecânicos, menores quebras de sementes e menores impurezas, indicando que, neste teor, a semente de soja apresenta melhor padrão de qualidade (COSTA *et al.*, 2003). Porém, com a evolução dos sistemas de trilha das colhedoras existe a possibilidade de colheita com maiores teores de água.

É importante ressaltar, que o tempo de exposição das sementes no campo após a maturidade fisiológica é um fator importante que afeta o processo natural de deterioração das sementes, sendo que cada cultivar tolera o atraso de colheita de forma diferente (DINIZ *et al.*, 2013). As sementes de soja ao ficarem expostas às condições climáticas desfavoráveis para sua conservação, tais como a ocorrência de variações da umidade relativa do ar, temperatura e chuvas, podem sofrer injúrias, como a presença de rachaduras e enrugamento do tegumento que resultam no aumento do processo de deterioração, em virtude de maior facilidade da penetração de patógenos e maior exposição do tecido embrionário ao ambiente (MATHIAS *et al.*, 2017).

Uma alternativa que pode ser empregada pelos produtores de soja para minimizar esses prejuízos é a realização da colheita antecipada, na qual a colheita de sementes com teores de água nas sementes em torno de 18%, pode ser adotada, no caso de o produtor ter o conhecimento do sistema de trilha e disponibilidade de secadores adequados, tendo como objetivo a não ocorrência de elevados índices de danos mecânicos latentes (FRANÇA NETO *et al.*, 2007).

Minuzzi *et al.* (2010), ao avaliarem a qualidade das sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em quatro épocas e produzidas em dois locais, constataram que a maior qualidade de sementes foi obtida com a colheita aos sete dias após o estágio R7 e em relação à qualidade sanitária das sementes, à medida que se retardou a época de colheita, a porcentagem total de microrganismos aumentou linearmente para todas as cultivares.

Segundo Mathias *et al.* (2017) o atraso da colheita em 10 dias proporciona redução no percentual de germinação e vigor nas sementes. Conseqüentemente, há redução no comprimento total de plântulas, comprimento de radícula e comprimento da parte aérea. Esta redução está associada ao fato de a taxa de deterioração das sementes aumentarem consideravelmente pela exposição às intempéries, reduzindo o desempenho das plântulas.

Gris *et al.* (2010), em estudo sobre a qualidade fisiológica de diferentes genótipos de soja, quanto ao retardamento de colheita, observaram comportamento diferente entre genótipos e redução significativa na porcentagem de germinação e vigor das sementes avaliadas com o retardamento da colheita. Zuffo *et al.* (2017) relataram que o atraso de colheita promove aumento nos danos provocados por percevejos e pela umidade e prejudica a qualidade fisiológica das sementes.

2.4 Beneficiamento

O beneficiamento é uma etapa de extrema importância para a obtenção de sementes de qualidade. Consiste em um conjunto de processos por meio dos quais a semente é submetida desde o recebimento na Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS) até a sua embalagem e distribuição. O processo de beneficiamento visa aprimorar a qualidade dos lotes de sementes por meio das operações de remoção de materiais indesejáveis, como impurezas, sementes de invasoras, sementes imaturas, malformadas e deterioradas, e as atacadas por fungos e insetos (PESKE *et al.*, 2012).

Além disso, o beneficiamento também tem o objetivo de classificar a semente por tamanho; melhorar a qualidade do lote pela remoção de semente danificada e deteriorada; aplicar fungicidas e inseticidas quando necessário. Dessa forma, tal operação pode imprimir características de qualidade aos lotes de sementes, seja na melhoria da qualidade física, fisiológica ou sanitária (FRANÇA NETO *et al.*, 2016).

A escolha do tipo de máquinas para o beneficiamento de um lote de semente, depende do tipo, da natureza e quantidade de impurezas e das características desejáveis no material beneficiado. Geralmente, para o beneficiamento de semente de soja são utilizados equipamentos de pré-limpeza, secagem, máquina de ar e peneiras, separador em espiral, padronizadora por tamanho e mesa de gravidade (FRANÇA NETO *et al.*, 2016).

No beneficiamento, as sementes passam por diversas etapas, contudo, nem todos os lotes seguem a mesma sequência, de forma que as operações neste processo são realizadas em função da espécie, cultivar e das características físicas e impurezas presentes (JUVINO *et al.*, 2014). As etapas utilizadas na UBS se iniciam com a entrada da semente pelas moegas, passando a seguir, pela máquina de pré-limpeza para a remoção das impurezas grosseiras e menores que a semente. As sementes recém-colhidas, vindas do campo, podem muitas vezes apresentar um

teor de água inadequado, então há necessidade do emprego da secagem para reduzir a umidade da massa das sementes, tornando-a própria para o armazenamento e também para facilitar as operações durante o beneficiamento (FRANÇA NETO *et al.*, 2016).

A máquina de ar e peneiras (MAP) tem como bases de separação de acordo com as diferenças de tamanho (largura e espessura) e o peso específico das sementes e do material indesejável (VAUGHAN; GREGG; DELOUCHE, 1976). O separador por espiral tem a função de separar sementes de formato diferentes das arredondadas, enquanto a máquina padronizadora classifica a semente por tamanho.

A padronizadora é um equipamento composto por várias chapas de metal perfuradas com furos redondos, que separam as sementes por tamanho. A semente de soja varia muito em tamanho entre diferentes cultivares e dentro de cada cultivar. Uniformidade de tamanho na semente de soja permite o ajuste correto da população de plantas no campo. Com o avanço do melhoramento genético e obtenção de maior produtividade das plantas, a densidade de semeadura foi reduzida para populações de plantas mais baixas, sendo necessário ser altamente preciso na distribuição de sementes na linha de semeadura (KRZYZANOWSKI *et al.*, 2018). Em geral, a classificação de sementes de soja é realizada em intervalos mínimos de pelo menos 0,5 mm e máximo 1,0 mm.

Em seguida, a semente padronizada por tamanho passa pela mesa de gravidade ou densimétrica, onde haverá a separação dos materiais que apresentam diferenças em peso específico, conseguindo separar sementes de tamanho similar, mas que diferem em peso específico (ALMEIDA *et al.*, 2016). Mesa densimétrica ou separadores por gravidade, ou mesas separadoras por gravidade, são equipamentos amplamente utilizados na indústria de sementes, pois melhoram a qualidade ao remover do lote sementes danificadas, quebradas, sementes atacadas por insetos ou patógenos e outros materiais indesejados que geralmente são menos densos do que as sementes puras (PESKE *et al.*, 2012).

A mesa densimétrica, consiste basicamente em uma mesa com tampo telado que permite a passagem do ar. O fluxo de ar é ajustado, a fim de levantar as sementes menos densas, enquanto aquelas mais densas permanecem na superfície da mesa, proporcionando uma estratificação vertical em relação ao peso. Com o movimento elíptico da mesa e com as inclinações laterais e longitudinais do tampo da mesa, as sementes menos densas, fluem sobre as pesadas para a parte inferior da mesa e são descarregadas nas seções inferiores de descarga da mesa. Já aquelas mais densas, como estão mais aderidas ao tampo da mesa, deslocam-se e

mantêm-se na parte superior da mesa, onde são descarregadas nas seções mais altas (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Os ajustes feitos na mesa densimétrica são carregamento, inclinações laterais e longitudinais, fluxo de ar, o movimento de vibração e fracionamento da carga no eixo terminal. As sementes de diferentes densidades se separaram em seções na saída do separador por gravidade (GADOTTI *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Durante os processos de beneficiamento, o dano mecânico é uma das causas da perda de qualidade da semente de soja, pois a mesma é caracterizada como suscetível ao dano mecânico, uma vez que as partes vitais do eixo embrionário estão situadas sob um tegumento pouco espesso, que praticamente não oferece proteção (CONRAD; RADKE; VILLELA, 2017). Logo, a escolha dos equipamentos adequados para o beneficiamento, bem como a velocidade de operação, são fatores fundamentais que devem ser feitos corretamente para evitar ou minimizar impactos das sementes.

Estudo realizado por Copeland (1972), destaca que o dano mecânico ocorrido no beneficiamento inadequado pode acarretar redução na germinação na ordem de 30%. Segundo Moore (1972), os efeitos latentes do dano mecânico, expressos por amassamento, produzem lesões que podem servir como meio de entrada para patógenos que afetam a sanidade e a conservação durante o armazenamento. Em estudo dos danos mecânicos ocorridos no beneficiamento de sementes de soja e suas relações com a qualidade fisiológica, Oliveira, Sader e Krzyanowski (1999) concluíram que os danos mecânicos podem ocorrer em cada ponto do beneficiamento e são cumulativos; mas o beneficiamento de sementes de soja pode aprimorar a qualidade física de um lote, assim, refletindo na germinação e vigor; dependendo da qualidade inicial e da cultivar.

Resultados semelhantes foram encontrados por Conrad, Radke e Villela (2017), que concluíram que a manutenção e o aprimoramento dos atributos físicos e fisiológicos de sementes de soja são influenciados pelas máquinas de beneficiamento. Os equipamentos de transporte podem causar redução da qualidade do lote de sementes de soja, ocasionada principalmente pelo aumento da incidência de danos mecânicos. Os elevadores de semente pronta necessitam de atenção especial, pois ocasionam redução da qualidade do lote.

Estudos que caracterizam as etapas de beneficiamento de sementes de soja são de extrema relevância para a manutenção da qualidade das sementes, principalmente para observação de etapas que causam mais danos às sementes. Tal medida se faz necessária para

que os problemas sejam pontuados, analisados e corrigidos, para que se busque a qualidade e melhoria continua dentro da UBS (JUVINO *et al.*, 2014; AMARAL *et al.*, 2018; MOREANO *et al.*, 2018; JESUS *et al.*, 2021).

2.5 Qualidade sanitária e tratamento de sementes

Com a expansão da cultura da soja no Brasil, a produção de sementes de alta qualidade tornou-se um desafio. Considerando a qualidade sanitária, a semente ideal seria aquela livre de qualquer microrganismo indesejável. Entretanto, nem sempre isso é possível, uma vez que a qualidade das sementes é altamente influenciada pelas condições climáticas sob as quais são produzidas e armazenadas (GOULART, 2005).

As sementes podem ser infestadas e/ou infectadas por patógenos, tanto no campo como nas operações subsequentes (colheita, secagem, beneficiamento e armazenamento), reduzindo sua capacidade germinativa e causando tombamento de plântulas recém-emergidas (JUHÁSZ *et al.*, 2013). Ademais, caso ocorra o retardamento da colheita, o processo de deterioração é agravado, principalmente se coincidir com condições climáticas desfavoráveis, como chuvas, altas temperaturas e elevada umidade relativa do ar, intensificando ainda mais, quando da ocorrência conjunta de patógenos (HENNING, 2005).

A soja pode ser acometida por doenças bacterianas, viróticas, nematoides e principalmente fúngicas. Dentre estes patógenos, os fungos são os presentes em maior número e os que causam maiores prejuízos, como *Colletotrichum truncatum*, agente causador da antracnose, *Phomopsis* spp, que causa a doença de seca da haste e da vagem, *Fusarium* spp, responsável pela seca da vagem, *Cercospora kikuchii*, causador da mancha púrpura em sementes e crestamento foliar, *Cercospora sojina*, agente da doença mancha olho-de-rã, *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp., que causam diversos danos durante o armazenamento de sementes e *Sclerotinia sclerotiorum*, causador do mofo branco (MEDEIROS *et al.*, 2019).

Além disso, muitos desses patógenos utilizam a semente como o seu principal veículo de disseminação e de introdução em novas áreas de cultivo (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Portanto, a condição sanitária das sementes é extremamente importante, visto que, sementes infectadas exibem redução na qualidade fisiológica, ou seja, o uso de sementes sadias é essencial para a prevenção ou a redução das perdas (LEMES *et al.*, 2019).

Neste sentido, algumas tecnologias utilizadas, como o tratamento de sementes, ajudam a controlar os avanços das doenças e as infestações de insetos na fase inicial dos cultivos, protegendo o vigor e estabelecimento de plântulas. Esta é uma prática consolidada e economicamente recomendada para a soja, desde que utilizados produtos ou misturas de produtos de forma adequada, na dosagem correta, e distribuídos uniformemente em todas as sementes do lote (CARVALHO *et al.*, 2020).

O tratamento químico de sementes, além de ser econômico e de fácil execução, é também considerado pouco prejudicial ao ambiente, devido a pequena quantidade de produtos adicionados às sementes e estes estarem em contato direto com o sítio alvo. Esta tecnologia vem sendo considerada como uma das medidas mais eficientes no controle de patógenos transportados e/ou transmitidos por sementes, porque além de eliminar ou reduzir o inóculo do patógeno, também consegue impedir a entrada dos mesmos em áreas isentas, possibilitando uma uniformidade na emergência de plântulas, protegendo as sementes e plântulas contra microrganismos presentes no solo e evita a necessidade de ressemeadura, com consequente economia de sementes; proporciona maior sustentabilidade à cultura pela redução de riscos na fase de implantação da lavoura e promove o estabelecimento inicial da lavoura com uma população ideal de plantas. Por isso, essa é uma etapa de suma importância na implantação de qualquer lavoura para que se obtenha um estande uniforme com um desenvolvimento inicial de plantas vigorosas e sadias (FRANCA NETO *et al.*, 2015; RICHETTE; GOULART, 2018; LAMICHHANE *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

O tratamento de sementes de soja com fungicidas não atingia 5% da área semeada na safra de 1991/1992, e, atualmente, é uma prática amplamente utilizada pelos sojicultores, com estimativas de adoção de 98%, seja o tratamento de sementes industrial (TSI) ou em nível de propriedade agrícola, também denominado *OnFarm* (FRANÇA NETO *et al.*, 2015). Este mercado movimentou 870 milhões de dólares na safra 2014/2015, mostrando um grande crescimento e sua percepção de valor pelos agricultores, destacando-se o tratamento de sementes (TS) em soja, com um valor superior a 525 milhões de dólares anuais. As principais moléculas utilizadas no Brasil são: fipronil, tiametoxam, imidacloprid, clothianidin, thiodicarb, fludioxonil e methyl-thiophanate (NUNES, 2016).

O tratamento *OnFarm* é o método mais utilizado pelos agricultores brasileiros, devido ter sido o primeiro a ser difundido, mas com tendência a diminuição do seu uso. Em tempos não muito remotos, as condições do tratamento realizado na fazenda, apresentavam qualidade

precária, sendo realizado sobre lonas ao solo, em caixas d'água, com utilização de produtos sem recomendação técnica, e o uso por pessoas com pouco ou nenhum treinamento para tal operação (NUNES, 2016). Atualmente, este processo pode ser realizado em máquinas de tratamento, em um sistema de distribuição por dosador fixo volumétrico e de rosca sem fim, que realiza a mistura das sementes com os produtos. O uso desse tipo de equipamento trouxe a redução de intoxicação dos operadores e melhor uniformidade de distribuição dos defensivos à semente. Contudo, ainda podem ocorrer problemas na fazenda, como por exemplo o erro na dosagem, podendo gerar pressão de seleção em pragas e doenças resultado no surgimento de resistência. Há também, questões como o desconhecimento da interação entre os produtos utilizados, equipamentos não calibrados, fitotoxicidade e outros. A assertividade de dose é de extrema importância, pois erros podem levar a problemas de fitotoxidez e consequentes depreciação da qualidade fisiológica, sobretudo para moléculas inseticidas (CARVALHO *et al.*, 2020; ROCHA *et al.*, 2020).

Diante deste fato, nos últimos anos, empresas que produzem e comercializam sementes têm realizado o tratamento na própria indústria, denominado tratamento industrial de sementes (TSI), visando a redução dos riscos toxicológicos para os operadores e ambiente, praticidade e rapidez. Além disso, esta prática apresenta vantagens em relação a eficiência na aplicação da dose do produto, uniformidade de cobertura e aderência dos produtos às sementes (BEM JÚNIOR, 2017). O TSI consiste na utilização de equipamentos de aplicação de precisão, por profissionais treinados e supervisionados, os quais combinam a aplicação de fungicida, inseticida, nematicidas, micronutrientes, entre outros produtos, assegurando melhor cobertura, assertividade de dose, menor risco de intoxicação dos operadores e menores impactos ao meio ambiente, qualidade das sementes e custos benefício. As sementes são tratadas no pré-ensaque, antes do armazenamento ou no momento da entrega das sementes e comercializadas dentro dos padrões de qualidade (FRANÇA NETO *et al.*, 2015; BEM JÚNIOR, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2021). Existem dois sistemas de tecnologias de aplicação em uso no TSI: sistemas de tratamento de bateladas e o de fluxo contínuo.

O sistema de batelada consiste na mistura de volumes de sementes e calda dos defensivos, em proporções predeterminadas, de maneira descontinuada, realizado mais comumente por meio de tambores rotativos acionadas manualmente ou por motores elétricos. Este processo também pode ser feito por sensores resultando em dosagens mais assertivas. Já o tratamento pelo sistema de fluxo contínuo, as sementes e a calda fluem simultaneamente de

forma separada em volumes predeterminados até o momento do tratamento, quando entram em contato e passam a formar um fluxo único de sementes já tratadas (BEM JÚNIOR, 2017).

Bem Júnior (2017) avaliou o efeito dos métodos de tratamento de sementes *OnFarm* e industrial em soja, cultivar NS 7667 IPRO, sobre a abrasão, geração de poeira, fluidez e a plantabilidade, a fim de obter melhor qualidade do produto final e a otimização deste processo, e inferiu que TSI apresenta superioridade em termos de qualidade do que o tratamento *OnFarm*.

A tecnologia de aplicação do tratamento de sementes é de extrema importância, visando assertividade dos ingredientes ativos aplicados, manutenção da qualidade fisiológica das sementes e evitar fitotoxicidade (DECARLI *et al.*, 2019; CARVALHO *et al.*, 2020; ROCHA *et al.*, 2020; CARVALHO *et al.*, 2022).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T. L. *et al.* Qualidade de sementes de soja beneficiadas em mesa de gravidade. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 23, p. 1097-1106, 2016.
- AMARAL, D.R.; DOBIS, F.S.; CARVALHO, T.C. Avaliação da qualidade física e fisiológica de sementes de soja durante o beneficiamento. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 11, n. 2, p. 43-52, 2018.
- BAGATELI, J.R. *et al.* Productive performance of soybean plants originated from seed lots with increasing vigor levels. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 41, n. 2, p. 151-159, 2019.
- BEM JÚNIOR, L.D. Avaliação qualitativa de métodos de tratamento de sementes de soja. 2017. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Proteção de Plantas) - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2017.
- CARVALHO, E.R. *et al.* Phytotoxicity in soybean seeds treated with phytosanitary products at different application times. **Journal of Seed Science**, v. 42, 2020.
- CARVALHO, E.R.; ROCHA, D.K.; FRAGA JÚNIOR, E.F.; PIRES, R.M.O.; OLIVEIRA, T.F.; PENIDO, A.C. Soil water restriction and performance of soybean seeds treated with phytosanitary products. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 59-66, 2022.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.
- CARVALHO, T.C.; NOVEMBRE, A.D.L.C. Soybean seed quality, harvested by hand and mechanically, with different levels of moisture content. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, p. 155-166, 2012.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 7, sétimo levantamento, abril, 2022.
- CONRAD, V.A.D.; RADKE, A.K.; VILLELA, F.A. Atributos físicos e fisiológicos em sementes de soja no beneficiamento. **Magistra**, Cruz das Almas, BA, v. 29, n. 2, p. 56-63, 2017.
- COPELAND, L.O. How seed damage effects germination. **Crops & Soils Magazine**, Madison, v. 24, n. 9, p. 9-22, 1972.
- COSTA, N.P. da *et al.* Avaliação da qualidade de sementes e grãos de soja provenientes da colheita mecanizada, em diferentes regiões do Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 211-219, 2002.
- COSTA, N.P. da *et al.* Qualidade fisiológica, física e sanitária de sementes de soja produzidas no Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 128-132, 2003.

COSTA, N.P. *et al.* Efeito de sementes verdes na qualidade fisiológica de semente de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 102-107, 2011.

CUNHA, J.P.A R. *et al.* Qualidade das sementes de soja após a colheita com dois tipos de colhedora e dois períodos de armazenamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1420-1425, 2009.

DECARLI, L. *et al.* Tratamento industrial em sementes de soja: qualidade fisiológica e desempenho da cultura. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.14, n .3, 2019.

DINIZ, F.O. *et al.* Incidence of pathogens and field emergence of soybean seeds subjected to harvest delay. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 4, p. 478-484, 2013.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de Produção de Soja - região Central do Brasil 2014**. Londrina, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/95489/1/SP-16-online.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2022.

FRANÇA NETO, J.B. *et al.* **Tecnologia para produção de sementes de soja de alta qualidade série sementes**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2007. 12 p. (Circular Técnica, 40).

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

FRANÇA-NETO, J.B; HENNING, A.A.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, F.A.; LORINI, I. Adoção do tratamento industrial de sementes de soja no Brasil, safra 2014/15. Trabalhos técnicos. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 26-29, 2015.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A.; PÁDUA, G.P.; LORINI, I.; HENNING, F.A. **Tecnologia de produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2016, 82 p. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n.380)

GADOTTI, G.I.; VILLELA, F.A.; BAUDET, L. Influência da mesa densimétrica na qualidade de sementes de cultivares de tabaco. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 372-378, 2011.

GOMES, G.D.R. *et al.* Produção e qualidade fisiológica de sementes de soja em diferentes ambientes de cultivo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2593-2604, 2012.

GOULART, A.C.P. **Fungos em sementes de soja detecção, importância e controle**. Dourados: EMBRAPA, 2005. 72 p.

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

HENNING, A.A. **Patologia e tratamento de sementes: noções gerais**. 2. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 52 p.

JESUS, M.A. *et al.* Quality control charts in the processing of soybean seeds. **Journal of Seed Science**, v. 43, 2021.

JUHÁSZ, A.C.P. *et al.* Desafios fitossanitários para a produção de soja. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 34, n. 276, p. 66-75, set./out. 2013.

JUVINO, A.N.K.; RESENDE, O.; COSTA, L.M.; SALES, J.F. Vigor da cultivar BMX Potência RR de soja durante o beneficiamento e períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 8, p. 844-850, 2014.

KRZYŻANOWSKI, F. C. *et al.* **Tecnologias para Produção de Sementes de Soja**. Embrapa Soja, Londrina, 1. ed., p. 32, 2015.

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

LAMICHHANE, J.R.; YOU, M.P.; LAUDINOT, V.; BARBETTI, M.J.; AUBERTOT, J. Revisiting Sustainability of fungicide seed treatments for field crops. **Plant Disease**, v. 104, n. 3, p. 610-623, 2020.

LEMES, E.; ALMEIDA, A.; JAUER, A.; MATTOS, F.; TUNES, L. Tratamento de sementes industrial: potencial de armazenamento de sementes de soja tratadas. **Colloquium Agrariae**, v.15, n. 3, p. 94-103, 2019.

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

MATHIAS, V. *et al.* Implications of harvest time on the quality of soybean physiological seed. **Revista Agro@ambiente On-line**. v. 11, n. 3, p. 223-231, 2017.

MEDEIROS, J.G.F. *et al.* Controlo f fungi anf physiological quality of soybean seeds (Glycine max L.) subjected to moist heat. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 464-471, 2019.

MENEGHELLO, G.E.; PESKE, S.T. A grandeza do negócio de sementes de soja no Brasil. **Seed News**, v. 18, n. 4, 2013.

MERTZ-HENNING, L.M. *et al.* Effect of water deficit-induced at vegetative and reproductive stages on protein and oil content in soybean grains. **Agronomy**, v. 8, n. 1, p. 3, 2018.

MINUZZI, A. *et al.* Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no estado do mato grosso do sul. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 1 p.176-185, 2010.

MOORE, R. P. Effects of mechanical injuries on viability. In: ROBERTS, E. M. (Ed.). **Viability of seeds**. London: Chapman and Hall, 1972. p. 94-113.

MOREANO, T.B. *et al.* Evolution of the physical and physiological quality of soybean seeds during processing. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 40, n. 3, p. 313-322, 2018.

NUNES, J.C.S. **Tratamento de sementes de soja como um processo industrial no Brasil**. Pelotas, 2016. Disponível em: <https://seednews.com.br/artigos/334-tratamento-de-sementes-de-soja-como-um-processo-industrial-no-brasil-edicao-janeiro-2016>. Acesso em: 22 abr. 2022.

OLIVEIRA, A.; SADER, R.; KRZYZANOWSKI, F. C. Danos mecânicos ocorridos no beneficiamento de sementes de soja e suas relações com a qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 59-66, jan. 1999.

OLIVEIRA, J.A. *et al.* Beneficiamento de Sementes. In: OLIVEIRA, J.A. (Ed.). **Processamento pós-colheita de sementes: abordagem agrônômica visando à melhoria da qualidade**. Lavras: UFLA, 2021. Cap.1. p. 19-66.

OLIVEIRA, J.A. *et al.* Tratamento de Sementes. In: OLIVEIRA, J.A. (Ed.). **Processamento pós-colheita de sementes: abordagem agrônômica visando à melhoria da qualidade**. Lavras: UFLA, 2021. Cap. 3. p. 95-116.

PARSA, S.; GARCIA-LEMO, A.M.; CASTILLO, K.; ORTIZ, V.; LOPEZ-LAVALLE, L.A.B.; JEROME, F.B.V. Fungal endophytes in germinated seeds of the common bean, *Phaseolus vulgaris*. **Fungal Biology**, v. 120, n. 5, p. 783-790, 2016.

PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3. ed. rev. e ampl. Pelotas: UFPel, 2012. 573 p.

RICHETTI, A.; GOULART, A.C.P. Adoção e custo do tratamento de sementes na cultura da soja. **Embrapa Agropecuária Oeste-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**. Dourados: Embrapa, 2018.

ROCHA, D.K. *et al.* O substrato afeta a avaliação da germinação de sementes de soja tratadas com produtos fitossanitários?. **Ciência e Agrotecnologia** [online], v. 44, p. e020119, 2020.

SANTOS, S.F.; CARVALHO, E.R.; ROCHA, D.K.; NASCIMENTO, R.M; Composition and volumes of slurry in soybean seeds treatment in the industry and physiological quality during storage. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 1, p. 67-74, 2018.

SCHUCH, L.O.B.; KOLCHINSKI, E.M.; FINATTO, J.A. Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n.1, p.144-149, 2008.

SEDIYAMA, T. **Produtividade da soja**. Londrina: Mecenias, 2016.

TERASAWA, J.M. *et al.* Antecipação da colheita na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 765-773, 2009.

VAUGHAN, C.E.; GREGG, B.R.; DELOUCHE, J. C. **Beneficiamento e manuseio de sementes**. Brasília: AGIPLAN, 1976. 195 p.

ZAMBIAZZI, E.V. **Soybean seed quality in different production environments**. 2017. 82 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

ZUFFO, A.M. *et al.* Physiological and sanitary quality of soybean seeds harvested at different periods and submitted to storage. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 3, p. 312-320, 2017.

CAPÍTULO 2 ÉPOCA E METODOLOGIA DE COLHEITA SOBRE A INCIDÊNCIA DE DANOS MECÂNICOS E A QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA

RESUMO

O momento adequado da colheita é um fator essencial para a produção de sementes de soja com elevada qualidade, pois tempo e fatores climáticos após a maturidade fisiológica estão associados à deterioração das sementes. O objetivo deste trabalho, foi avaliar a incidência de danos mecânicos, danos por umidade e a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja colhidas com diferentes métodos de colheita e teores de água das sementes. Foi conduzido um campo de produção de sementes da cultivar de soja M5917IPRO. O experimento foi realizado em arranjo fatorial 2 x 2 x 2, envolvendo épocas e métodos de colheita, e armazenamento. As sementes foram colhidas manualmente ou por colhedora com sistema de trilha axial, quando atingiram 19% e 13% de teor de água. A qualidade das sementes foi avaliada antes e após armazenamento de seis meses, por meio dos testes: danos mecânicos por hipoclorito de sódio, tetrazólio (danos mecânicos, por umidade e vigor), sanidade, germinação, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado. A colheita das sementes com 13% de teor de água, ocasiona maiores incidências de danos mecânicos e deterioração por umidade nas sementes, independentemente do método de colheita. A severidade desses danos são intensificadas com o armazenamento. Em sementes colhidas mecanicamente, com o sistema de trilha axial, à 19% de grau de umidade, observa-se melhor qualidade em relação às colhidas com 13%. O atraso na colheita de 19% para 13% favorece a incidência fúngica, principalmente de *Fusarium* spp. A incidência de danos mecânicos e por umidade depreciaram a qualidade fisiológica e favorece a incidência de fungos.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Merrill. Colheita de sementes. Retardamento de Colheita. Vigor.

HARVEST TIME AND METHODOLOGY ON THE INCIDENCE OF MECHANICAL DAMAGE AND THE QUALITY OF SOYBEAN SEEDS

ABSTRACT

The appropriate time of harvest is an essential factor for the production of high quality soybean seeds, as time and climatic factors after physiological maturity affect seed deterioration. The aimed of this study was to evaluate the incidence of mechanical damage, moisture damage and the physiological and sanitary quality of soybean seeds harvested with different methodologies and water contents. A field of seed production of the soybean cultivar M5917IPRO was conducted. The experiment was arranged in a 2 x 2 x 2 factorial scheme, involving periods, storage and harvest technologies. The seeds were harvested manually or by a combine with an axial threshing system, when the water content of the seeds reached 19% and 13%. Seed quality was evaluated before and after storage for six months, through tests: mechanical damage by sodium hypochlorite, tetrazolium (mechanical damage, deterioration by moisture and vigor), seed health, germination, electrical conductivity and accelerated aging. Seeds harvesting with 13% of water content causes higher incidences of mechanical damage and deterioration by moisture in the seeds, regardless method is used. The severity of these damages is intensified with storage. At mechanically harvested seeds, with the axial threshing system, at 19% of humidity, it is observed better quality in relation to seeds harvested with 13%. Harvest delay from 19% to 13% favors the fungal incidence, mainly of *Fusarium* spp. The incidence of mechanical and moisture damages depreciated the seed physiological quality and favored the incidence of fungi.

Keywords: *Glycine max* L. Merrill. Seed harvesting. Harvest delay. Seed vigor.

1 INTRODUÇÃO

Os constantes progressos na sojicultura brasileira têm exigido melhorias nos diferentes setores da cadeia produtiva da cultura, principalmente na produção de sementes. No sistema de produção da cultura da soja, utilizar sementes de alta qualidade ocupa um papel de destaque, pois a produção sementeira de soja é a céu aberto, e diante disso, sofre influências desde a semeadura até a colheita (XAVIER *et al.*, 2015; MATHIAS *et al.*, 2017).

Para a cultura da soja, saber o ponto de maturidade fisiológica das sementes é fundamental para compreender qual é o momento no qual as sementes apresentam sua maior qualidade fisiológica e irão desligar-se fisiologicamente da planta mãe. Nessa fase, não ocorrem acréscimos de matéria seca, o teor de água é diminuído e a semente apresenta máxima capacidade germinativa e vigor (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MATHIAS *et al.*, 2017).

Contudo, é inviável a colheita de sementes de soja na maturidade fisiológica, isto porque as sementes estão com grau de umidade elevado, inviabilizando o processo de colheita mecânica, sendo necessário esperar que o grau de umidade das sementes reduza de maneira natural. Entretanto, isso pode propiciar a exposição das mesmas às variações de temperaturas e precipitações acarretando em severos danos à produção de sementes, pois além de favorecer sucessivos processos de embebição e secagem das sementes, também propicia injúrias mecânicas, aumento das percentagens de estrias e enrugamento do tegumento, maior exposição do tecido embrionário no ambiente, presença e penetração de patógenos, prejudicando a qualidade fisiológica e sanitária, resultando no aumento do processo de deterioração da semente (XAVIER *et al.*, 2015; CASTRO *et al.*, 2016; ZUFFO *et al.*, 2017;).

Este processo vem sendo um desafio para o setor sementeiro, uma vez que, diversos fatores podem comprometer a qualidade das sementes no campo, principalmente quando da ocorrência de alterações de umidade relativa do ar, temperatura e precipitações no período após a maturidade fisiológica e anterior a colheita, podendo gerar danos na qualidade fisiológica, física e sanitária das sementes (ZUFFO *et al.*, 2017).

Outra fonte de dano nas sementes no campo é a colheita mecanizada, que ao passar pelo sistema de trilha a semente fica suscetível à danificação mecânica. A semente de soja é suscetível à danificação de natureza mecânica, uma vez que o eixo embrionário está situado sob tegumento pouco espesso, que praticamente não oferece proteção (OLIVEIRA; SADER; KRZYZANOWSKI, 1999).

Uma das alternativas para minimizar esses prejuízos é a antecipação da colheita. A realização da colheita antecipada, com teores de água mais elevados, pode ser adotada, no caso de o produtor ter o conhecimento do sistema de trilha da colhedora e disponibilidade de secadores adequados, tendo como objetivo a não ocorrência de elevados índices de danos mecânicos latentes e diminuir o tempo de exposição das sementes às intempéries climáticas no campo (FRANÇA NETO *et al.*, 2007). Assim, com a evolução dos sistemas de trilha das colhedoras atuais existe a possibilidade de colheita com maior teor de água, porém, pesquisas são necessárias para alinhar teor de água na colheita, sistema de trilha e qualidade das sementes.

Muitas sementeiras ainda necessitam de esclarecimentos que mostrem de forma prática e direta os benefícios da colheita antecipada de sementes de soja, justificando os altos investimentos em secadores, colhedoras e treinamento de equipe para a realização desse processo que exige muito cuidado e atenção para a manutenção da qualidade das sementes. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a incidência de danos mecânicos, deterioração por umidade e qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja colhidas com diferentes teores de água e com distintas metodologias.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Sementes de soja da cultivar Monsoy M5917IPRO, foram produzidas no município de Madre de Deus de Minas, Minas Gerais, Brasil (latitude 21°20'43.43"S, longitude 44°08'53.83"O e altitude 1059m) . As análises das sementes foram conduzidas no Laboratório Central de Sementes do Departamento de Agricultura (DAG) e no de Laboratório de Patologia de Sementes, Departamento de Fitopatologia (DFP), da Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brasil.

A semeadura ocorreu em 05 de novembro de 2018 e as sementes foram colhidas manualmente ou por colhedora, quando as mesmas atingiram 19% e 13% de teor de água (b.u).

Para a colheita manual foram demarcadas aleatoriamente 5 parcelas para cada grau de umidade de colheita no campo de produção, área homogênea da gleba de 5 ha. As parcelas foram constituídas de 4 linhas de 5 metros de comprimento espaçadas em 0,5 m, totalizando 10 m² de parcela. Nestes pontos, logo após a colheita manual, na mesma área experimental foi realizada a colheita mecanizada. As amostras da colheita mecanizada foram retiradas casualizadamente, com auxílio de calador de amostragem, em diferentes pontos do tanque graneleiro da colhedora, durante o processo de colheita.

Para a realização da colheita manual, as plantas foram arrancadas por sua haste principal rente ao solo, amarradas e encaminhadas para trilha manual imediatamente após a colheita. Na colheita mecânica foi utilizada a colhedora automotriz, Modelo CASE IH Axial-Flow 8230, sistema de trilha axial.

Para determinar o momento da colheita, foram realizadas amostragens diárias das sementes de soja, duas vezes ao dia (pela manhã e no período da tarde), em pontos aleatórios do campo de produção, iniciadas quando as plantas de soja atingiram o estágio de desenvolvimento R7 (início da maturação/maturidade fisiológica), segundo descrição fenológica proposta por Fehr *et al.* (1971). O teor de água das sementes foi determinado por meio do medidor de umidade de grãos portátil Modelo GEHAKA G610i.

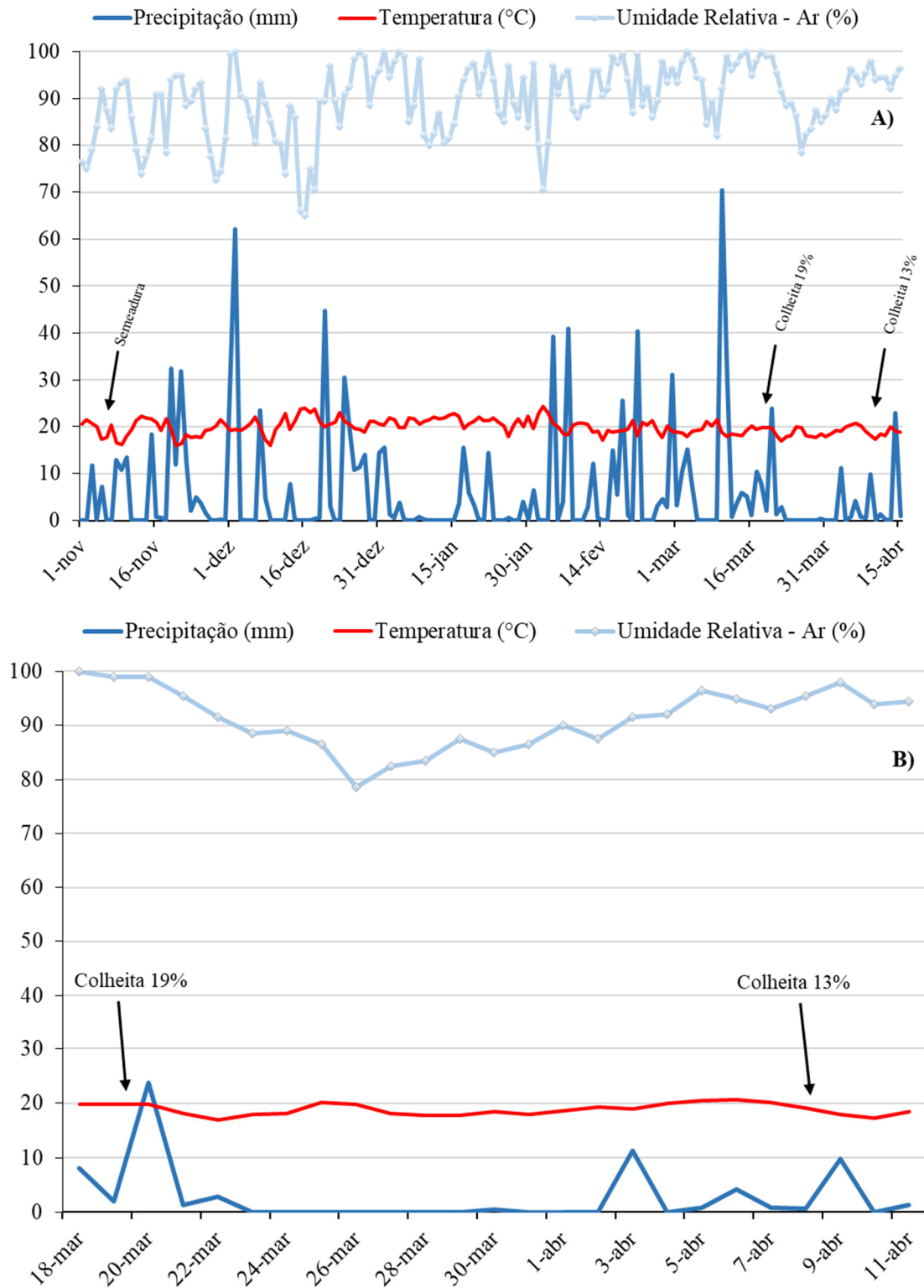
A colheita das sementes de soja com 19% de grau de umidade ocorreu em 20 de março e a colheita das sementes com 13% de grau de umidade ocorreu em 09 de abril, ocasionou um retardamento de 20 dias entre as colheitas.

As condições climáticas durante o ciclo da cultura, são apresentados na Figura 1A, e os dados relativos à precipitação, temperatura média do ar e umidade relativa do ar, foram

coletados na estação meteorológica da fazenda onde situava o campo de produção de sementes (Estação Meteorológica Inteligente *Zeus Agrotech*). Entre as duas épocas de colheita, período de retardamento de colheita de 20 dias, foi observado um acúmulo de 46 mm de precipitação pluviométrica (FIGURA 1B).

As sementes colhidas com 13% de umidade não foram submetidas à secagem. Já as sementes colhidas a 19%, imediatamente após a trilha manual ou amostragem no graneleiro da colhedora, foram secadas em protótipos de secadores longitudinais estacionários na Unidade de Beneficiamento e Tratamento de Sementes, setor de sementes, DAG/ESAL/UFLA, adotando-se 32 °C como temperatura máxima na massa de sementes, até que as sementes atingissem 13% de teor de água.

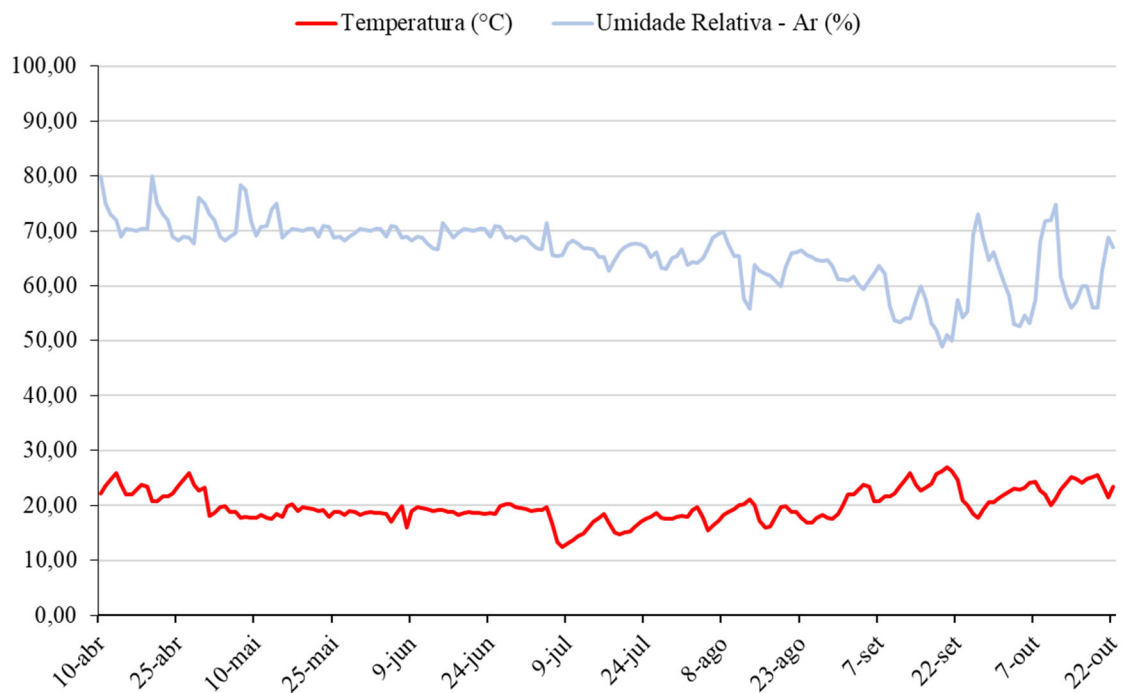
Figura 1 – Precipitação pluviométrica (mm), temperatura média do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) no período de produção das sementes de soja (A) e no período de colheita (B), no município de Madre de Deus de Minas, MG.



Fonte: Do autor (2022).

Após secagem, todas as sementes passaram por processo de limpeza manual, com peneiras de crivo oblongo, e foram classificadas em peneiras de orifício circular de 6,0 mm de diâmetro. Em seguida as sementes secas e classificadas foram divididas em duas porções, uma parte para avaliações imediatas, sem armazenamento, e outra parte acondicionadas em sacos de papel Kraft para serem armazenadas e então avaliadas. O armazenamento foi conduzido em condições não controladas por seis meses, na Unidade de Beneficiamento e Tratamento de Sementes, Setor de sementes, DAG/ESAL/UFLA Lavras, MG, Brasil (latitude 21°13'38.22''S; longitude 44°58'18.13''O e altitude 945m). Os dados de temperatura ambiente e umidade relativa do ar durante o armazenamento foram coletados a cada 3 horas por meio de um registrador digital (Datalogger AKSO – AK174) e estão apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Temperatura média (°C) e umidade relativa do ar (%), diárias e internas durante o período de armazenamento, entre abril e outubro. Datalogger da Unidade de Beneficiamento e Tratamento de Sementes da Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, MG.



Fonte: Do autor (2022).

Logo após a colheita, e após o armazenamento, as sementes foram avaliadas por meio dos seguintes testes:

- a) Grau de Umidade: o grau de umidade das sementes foi avaliado em estufa a 105 ± 3 °C durante 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem.
- b) Danos mecânicos em hipoclorito de sódio: foi estimada por meio do teste de imersão em hipoclorito de sódio. Utilizou-se duas replicatas de 100 sementes para cada repetição de campo. As sementes foram colocadas em copo plástico e imersas com solução de hipoclorito de sódio a 0,13%, durante 10 minutos. Após este período, as sementes foram distribuídas sobre folhas de papel toalha, procedendo-se a contagem do número de sementes com tegumento entumecido, rompido e/ou solto, sendo estas computadas como danificadas. Os resultados foram expressos em porcentagem de sementes com danos mecânicos (KRZYZANOWSKI; FRANÇA NETO; COSTA, 2004).
- c) Teste de tetrazólio (TZ): foram utilizadas 100 sementes (2 replicatas com 50 sementes cada) para cada repetição de campo. Para o pré-umedecimento as sementes foram colocadas entre papel úmido por 16h a 25 °C. Para a coloração foi utilizado o sal 2, 3, 5 trifenil cloreto de tetrazólio a 0,075%, e as sementes ficaram imersas por 3h a 40 °C, na ausência de luz. Ao final do período de coloração, a solução foi descartada e as sementes foram lavadas em água corrente e mantidas submersas em água até o final da avaliação. Os resultados foram expressos pela porcentagem de vigor (somatório dos níveis de 1 a 3), danos mecânicos (verificados nos níveis de 1 a 8) e deteriorações por umidade (verificados nos níveis de 1 a 8), conforme metodologia proposta por França Neto, Krzyzanowski e Costa (1998).
- d) Germinação: a semeadura foi realizada em substrato de papel tipo *Germitest*, umedecidos com 2,5 vezes o peso seco do papel com água destilada, e os rolos mantidos em germinador à 25 °C. A avaliação foi realizada aos 8 dias após a semeadura (BRASIL, 2009). Foram utilizadas duas replicatas de 50 sementes para cada repetição de campo, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.
- e) Envelhecimento acelerado: o método utilizado foi o da caixa plástica tipo gerbox adaptada. Em cada gerbox foram adicionados 40 ml de água e uma camada única de sementes cobrindo toda a tela suspensa. Posteriormente, os gerbox foram colocados em câmara tipo BOD a 41 °C por 48 horas (MARCOS FILHO, 1999). Após este

período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme metodologia descrita anteriormente, com duas replicatas de 50 sementes para cada repetição de campo, e a avaliação foi realizada 5 dias após a semeadura, com os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

- f) Condutividade elétrica: foram utilizadas 50 sementes por replicata em laboratório, sendo duas replicatas para cada repetição de campo, as quais foram pesadas (g) e em seguida colocadas em copos plásticos descartáveis com 75 mL de água deionizada. Após 24 horas de embebição à temperatura de 25 °C, mantida em câmara tipo BOD, a condutividade elétrica da solução de embebição foi determinada com o auxílio de um condutivímetro Digimed CD-21. Os resultados foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ (VIEIRA, 1994).
- g) Teste de sanidade de sementes: Para o teste de sanidade foi utilizado o método de incubação em papel de filtro sem congelamento (NEERGAARD, 1979), com quatro replicatas de 25 sementes por cada repetição de campo. As sementes foram distribuídas em placas de Petri de 15 cm de diâmetro contendo três folhas de papel filtro previamente esterilizados, umedecidas com água, ágar e 2,4 D, esterilizados. As placas foram mantidas em sala de incubação a 20 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas, onde permaneceram por sete dias, para então serem avaliadas quanto a presença de patógenos (BRASIL, 2009). Para a identificação e determinação da incidência (%) dos patógenos presentes nas sementes, foram utilizadas lupa estereoscópica e microscópio ótico.

Delineamento e análise estatística: o delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$, cujo fatores foram dois teores de água na colheita (19,0% e 13,0%), dois métodos de colheita (manual e mecanizada – sistema de trilha axial) e duas épocas de avaliação (antes e após armazenamento), com cinco repetições em campo. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com auxílio do software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2019) a 5% de probabilidade, pelo teste F. Quando necessário os dados foram transformados em $(x + 1)^{1/2}$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Apêndice A encontra-se o resumo da análise de variância. Nota-se interação tripla entre tipos de colheita (C), grau de umidade de colheita (U) e armazenamento (A) somente para a variável vigor por envelhecimento acelerado. Interação dupla C*U para as variáveis danos mecânicos avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio, danos mecânicos avaliados pelo teste de tetrazólio, incidência de *Fusarium* spp. e germinação. Interação dupla C*A para variáveis germinação e vigor avaliados pelo teste de tetrazólio. Interação dupla U*A para as variáveis incidência de *Phomopsis* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. e vigor avaliado pelo teste de tetrazólio. As variáveis deterioração por umidade, incidências de *Cercospora kikuchii*, condutividade elétrica e umidade das sementes apresentaram efeito significativo isolado para pelo menos um dos fatores estudados.

Não houve diferença do grau de umidade final das sementes nos diferentes tipos de colheita e nos diferentes graus de umidades de colheita, mostrando eficiência na secagem artificial das sementes colhidas a 19% de umidade para se igualarem ao das sementes colhidas a 13%. Somente houve diferença do grau de umidade antes e após armazenamento de seis meses, sendo que em sementes avaliadas antes do armazenamento o teor de água médio foi de 12,53% e após armazenamento de 10,56%, resultados explicados pelo equilíbrio higroscópico ocorrido em função do ambiente de armazenamento.

Os dados de danos mecânicos avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio e danos mecânicos avaliados pelo teste de tetrazólio, apresentados na Tabela 1, evidenciam resultados semelhantes. A colheita mecânica causou maior incidência de danos mecânicos que a colheita manual. Sementes colhidas mecanicamente com 13% de umidade apresentaram maiores índices de danos mecânicos que as colhidas mecanicamente com 19% de umidade.

Tabela 1 - Porcentagem média de danos mecânicos avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio (A) e por tetrazólio (B) em sementes de soja, cultivar M5917IPRO, colhidas de forma manual e mecânica, com 19% e 13% de umidade.

Tipo de Colheita	DM _{HIP} (%) (A)		DM _T (%) (B)	
	Umidade de Colheita		Umidade de colheita	
	19%	13%	19%	13%
Manual	0,56 Aa	1,63 Ba	9,0 Aa	10,0 Aa
Mecânica	2,00 Ab	30,75 Bb	20,0 Ab	33,0 Bb

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, em cada tipo de avaliação de DM, não diferem entre si pelo teste F a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

Pelo teste de hipoclorito de sódio foi observada uma diferença de 29% a mais, de danos mecânicos para sementes colhidas a 13% de grau de umidade com colhedora mecânica do que as colhidas manualmente, e também 29% a mais, de danos entre as colhidas mecanicamente com 13% em relação às colhidas com 19% de umidade (TABELA 1). Reiterando a importância da antecipação da colheita de sementes de soja. O armazenamento não afetou a incidência de danos mecânicos, quando avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio (TABELA 2).

Tabela 2 – Porcentagem média de danos mecânicos avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio (A) e por tetrazólio (B) em sementes de soja, cultivar M5917IPRO, antes e após armazenamento de 6 meses.

Armazenamento	DM _{HIP} (%) (A)	DM _T (%) (B)
Antes	8,66 a	17,0 a
Após	8,81 a	19,0 b

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

A porcentagem de danos mecânicos avaliados pelo teste de tetrazólio foi maior na colheita mecânica, em 11% para as sementes colhidas com 19% de grau de umidade e 23% para sementes colhidas com 13% de grau de umidade, resultados esperados, pois a colheita manual foi utilizada como testemunha, porém, impraticável em escala comercial. Com a colheita mecanizada das sementes com 19% houve redução de 13% de danos mecânicos em relação as colhidas com 13%, o que deixa claro a importância da antecipação da colheita (TABELA 1). Houve avanço dos danos mecânicos com o armazenamento, 2% nos 6 meses, quando avaliados

por meio do teste de tetrazólio (TABELA 2), fato relacionado a danos mecânicos latentes causados na colheita de sementes e indicados nesse teste.

Resultados relacionados à natureza do dano, capacidade e características dos testes utilizados para sua avaliação. Sendo predominante a indicação de danos mecânicos imediatos no teste de hipoclorito, comuns em baixo grau de umidade de colheita, e no tetrazólio além dos danos mecânicos imediatos a detecção de danos mecânicos latentes, comuns em colheitas com umidades elevadas (TABELA 1 e 2).

Esses dados demonstram a suscetibilidade das sementes de soja aos danos mecânicos quando da colheita mecanizada e que um período maior de ‘armazenamento’ em campo, principalmente quando submetidas às atividades higroscópicas e ciclos de umedecimento e secagem, acelera-se o processo de deterioração e fragilizam as estruturas da semente, deixando-as mais suscetíveis aos danos mecânicos (HOLTZ; REIS, 2013). Sementes de soja colhidas com teor de água baixo, estão mais propensas ao dano por trincamento e rompimento dos tecidos, comprometendo assim, a qualidade do material (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

A colheita mecânica é uma das principais fontes de danos mecânicos em sementes. Na colheita, a semente fica particularmente suscetível aos danos mecânicos, imediato ou latente, que ocorrem em consequência dos impactos recebidos na trilha e os danos podem evoluir ao longo do armazenamento, principalmente os latentes (PAIVA; MEDEIROS; FRAGA, 2000; MOREANO *et al.*, 2011).

Segundo Carvalho e Nakagawa (2012), mesmo com a perfeita regulagem das colhedoras, podem ocorrer danos em intensidades variáveis, ou seja, a sua ocorrência é inevitável. Tais danos são provocados por impactos nas sementes, em virtude de vários fatores, como teor de água e tensão aplicada no impacto das sementes, resistência e características genóticas do material, dentre outros (LOPES *et al.*, 2011). Além disto, no caso da soja, a própria espécie possui características que propiciam a alta incidência de danos mecânicos, uma vez que as partes vitais do eixo embrionário, como radícula, hipocótilo e plúmula, estão situadas sob tegumento pouco espesso, o qual, praticamente, não lhe oferece proteção (MARCOS FILHO, 2013). Apesar de inevitáveis, os danos mecânicos em colheita mecanizadas podem ser amenizados com o ajuste do teor de água ao sistema de trilha, conforme verificado nos dados apresentados para este sistema de trilha axial utilizado, e colheita com 19% de teor de água.

Os níveis de deterioração por umidade foram os mesmos para sementes colhidas de forma manual e mecânica, já em sementes colhidas com 13% de grau de umidade houve

acréscimo de 24% de danos e o armazenamento também potencializou em 12% a deterioração por umidade nas sementes (TABELA 3). Fato esse provocado pelo atraso da colheita em 20 dias até que as sementes atingissem 13% de umidade, nesse período de retardamento de colheita as sementes ficaram expostas no campo às diversas intempéries, dentre elas, a precipitação acumulada nesse período em 46 mm, como observado na Figura 1.

Tabela 3 – Porcentagem média de deteriorações por umidade (DU) avaliadas pelo teste de tetrazólio em sementes de soja, cultivar M5917IPRO, colhidas de forma manual e mecânica, com 19% e 13% de umidade e antes e após armazenamento de 6 meses.

Colheita	DU (%)	Umidade	DU (%)	Armazenamento	DU (%)
Manual	41,0 a	19%	28,0 a	Antes	34,0 a
Mecânica	40,0 a	13%	52,0 b	Após	46,0 b

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

A deterioração por umidade é oriunda das oscilações do grau de umidade das sementes decorrentes de chuvas, neblina e orvalho que atingem as sementes no campo, provocando rugas características no tegumento. Esse enrugamento é decorrente de sucessivos ciclos de hidratação (expansão do volume da semente) e desidratação (contração) do tegumento e dos cotilédones em proporções diferentes (FRANÇA NETO *et al.*, 2016). Além do mais, os danos causados pela deterioração por umidade podem evoluir durante o armazenamento e diminuir o potencial fisiológico das sementes (FORTI *et al.*, 2010; MOREANO *et al.*, 2011). Estes resultados reiteram a importância da colheita o mais próximo possível do ponto de maturidade fisiológica e, assim, diminuir os riscos de exposição das mesmas às condições adversas que propiciam a deterioração por umidade, considerando a viabilidade técnica da colheita mecanizada, em relação a operacionalidade e ocorrência de danos mecânicos.

Quanto à avaliação sanitária das sementes, os patógenos *Cercospora kikuchii*, *Phomopsis* spp., *Fusarium* spp., *Penicillium* spp. e *Aspergillus* spp. foram identificados nas sementes (TABELAS 4, 5, 6, 7 e 8). Esses patógenos são os de maior ocorrência no Brasil e de acordo com Danielli *et al.* (2011), são os de maior importância, pois podem causar perdas nas lavouras e reduzir a qualidade das sementes de soja.

Tabela 4 – Porcentagem média de incidência de *Cercospora kikuchii* (Cer.) em sementes de soja, cultivar M5917IPRO, colhidas de forma manual e mecânica, com 19% e 13% de umidade e antes e após armazenamento de 6 meses.

Colheita	Cer.(%)	Umidade	Cer.(%)	Armazenamento	Cer.(%)
Manual	5,63 a	19%	4,00 a	Antes	7,06 b
Mecânica	5,43 a	13%	7,05 b	Após	4,00 a

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5%. As médias originais foram apresentadas, mas os dados foram comparados em função dos dados transformados em $(x + 1)^{1/2}$.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 5 - Porcentagem média de incidência de *Phomopsis* spp. (A) e *Fusarium* spp. (B) em sementes de soja, cultivar M5917IPRO, colhidas de forma manual e mecânica, com 19% e 13% de umidade.

Tipo de Colheita	<i>Phomopsis</i> spp. (%) (A)	<i>Fusarium</i> spp. (%) (B)	
		Umidade de colheita	
		19%	13%
Manual	5,56 a	17,50 Aa	58,00 Ba
Mecânica	7,06 b	23,25 Ab	58,50 Ba

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada fungo, não diferem entre si pelo teste F a 5%. As médias originais foram apresentadas, mas os dados foram comparados em função dos dados transformados em $(x + 1)^{1/2}$.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 6 - Porcentagem média de incidência de *Phomopsis* spp. (A) e *Fusarium* spp. (B) em sementes de soja, cultivar M5917IPRO, colhidas com 19% e 13% de umidade e antes e após armazenamento de 6 meses.

Armazenamento	<i>Phomopsis</i> spp. (%) (A)		<i>Fusarium</i> spp. (%) (B)	
	19%	13%	19%	13%
Antes	1,00 Aa	16,50 Bb	31,13 Ab	88,63 Bb
Após	0,75 Aa	7,00 Ba	9,63 Aa	27,88 Ba

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada fungo, não diferem entre si pelo teste F a 5%. As médias originais foram apresentadas, mas os dados foram comparados em função dos dados transformados em $(x + 1)^{1/2}$.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 7 - Porcentagem média de incidência de *Aspergillus* spp. (A) e *Penicillium* spp. (B) em sementes de soja, cultivar M5917IPRO, colhidas com 19% e 13% de umidade, antes e após armazenamento de 6 meses.

Armazenamento	<i>Aspergillus</i> spp. (%) (A)		<i>Penicillium</i> spp. (%) (B)	
	19%	13%	19%	13%
Antes	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa	0,38 Aa
Após	6,63 Ab	10,50 Bb	12,50 Ab	27,13 Bb

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada fungo, não diferem entre si pelo teste F a 5%. As médias originais foram apresentadas, mas os dados foram comparados em função dos dados transformados em $(x + 1)^{1/2}$.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 8 - Porcentagem média de incidência de *Aspergillus* spp. (A) e *Penicillium* spp. (B) em sementes de soja, cultivar M5917IPRO, colhidas de forma manual e mecânica.

Tipo de Colheita	<i>Aspergillus</i> spp. (%) (A)	<i>Penicillium</i> spp. (%) (B)
Manual	3,81 a	9,69 a
Mecânica	4,75 a	10,31 a

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5%. As médias originais foram apresentadas, mas os dados foram comparados em função dos dados transformados em $(x + 1)^{1/2}$.

Fonte: Do autor (2022).

Em geral a maior incidência de patógenos foi observada em sementes colhidas com 13%. Houve aumento de incidência dos fungos *Cercospora kikuchii*, *Phomopsis* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. de até 3%, 15,5%, 57%, 4% e 15% (TABELA 4, 6 e 7), respectivamente, em sementes que permaneceram por maior período no campo até a colheita, fato esse associado a maior deterioração por umidade (TABELA 3) que facilita a infecção dos patógenos nas sementes. Esses resultados corroboram com os resultados obtidos por Diniz *et al.* (2013), em que as sementes de soja colhidas aos 15 ou 30 dias após estágio reprodutivo R8 apresentaram um aumento significativo de infecção fúngica, especialmente do gênero *Fusarium* spp. e *Phomopsis* spp. E também com os resultados de Zuffo *et al.* (2017), que com o retardamento de colheita houve aumento na incidência dos fungos *Cercospora kikuchii*, *Phomopsis* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp.

Ao longo do armazenamento foi observada redução na incidência dos fungos *Cercospora kikuchii*, *Phomopsis* spp. e *Fusarium* spp. e aumento da incidência de *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. (TABELAS 4, 6 e 7). Estes resultados podem estar relacionados às características desses fungos, sendo que aqueles comuns em condições de campo, *Cercospora kikuchii*, *Phomopsis* spp. e *Fusarium* spp., perdem sua viabilidade durante o armazenamento,

enquanto os fungos de armazenamento, *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp., aumentam seu potencial de infecção durante o período de armazenamento (CARVALHO *et al.*, 2021). Carvalho *et al.* (2021) também relataram redução de *Phomopsis* spp., *Fusarium* spp., *Cercospora kikuchii*, e aumento de ocorrência de *Aspergillus* spp. e de *Penicillium* spp. ao longo dos seis meses de armazenamento.

Segundo Henning (2005), fungos do gênero *Cercospora kikuchii*, *Phomopsis* spp., *Fusarium* spp. são conhecidos como fungos de campo, e sua ocorrência é acentuada quando as sementes permanecem no campo por um período relativamente longo após a maturidade fisiológica, expostos a um ambiente quente e úmido, enquanto *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. são fungos de armazenamento, que contaminam as sementes, especialmente em casos de atraso de colheita.

A deterioração das sementes no campo será intensificada pela incidência de fungos de campo, como *Phomopsis* spp., *Fusarium* spp. e *Colletotrichum truncatum*, que, ao infectar a semente, contribuem para a redução do vigor e da germinação. Para infectar as sementes os fungos utilizam de enzimas, como as celulases, pectinases e proteases, que causarão a degradação das membranas celulares, consumindo os materiais de reserva das sementes, por meio da sua respiração (HENNING *et al.*, 2014). Assim, para amenizar a infecção por fungos e consequências sobre a qualidade fisiológica, a antecipação da colheita para 19% de umidade é uma alternativa adequada.

Em relação ao método de colheita somente para os fungos *Phomopsis* spp. e *Fusarium* spp. (colheita com 19% de umidade) (TABELA 5) foi observada maior incidência quando realizada colheita mecânica, fato esse provavelmente relacionado à maior danificação mecânica provocada pelo sistema de trilha mecanizado que pode ter facilitado a infecção/infestação por patógenos (NEVES *et al.*, 2016).

Quando as sementes foram colhidas com 19% de grau de umidade manualmente, foi observada germinação 10% maior que as colhidas mecanicamente, já naquelas colhidas com 13% de grau de umidade essa diferença foi de 3% (TABELA 9). Em sementes colhidas com 13% de grau de umidade manualmente, houve um decréscimo de 8% de germinação em relação à observada naquelas colhidas a 19%. Por meio dos resultados observados em sementes colhidas manualmente foi possível avaliar a redução da qualidade fisiológica em função do teor de água de colheita, pelo fato de as sementes apresentarem baixa incidência de danos mecânicos, que também afetam a qualidade fisiológica. Isso não ficou tão evidenciado quando

a colheita foi realizada de forma mecanizada, devido a sobreposição dos efeitos dos danos mecânicos e de umidade.

Tabela 9 – Porcentagem média de germinação em sementes de soja, cultivar M5917IPRO, colhidas de forma manual e mecânica, com 19% e 13% de umidade (A) e antes e após armazenamento de 6 meses (B).

Tipo de Colheita	Umidade de Colheita (A)		Armazenamento (B)	
	19%	13%	Antes	Após
Manual	97,0 Aa	89,0 Ba	93,0 Aa	92,0 Aa
Mecânica	87,0 Ab	86,0 Ab	89,0 Ab	84,0 Bb

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, em cada variável analisada, não diferem entre si pelo teste F a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

Nas sementes recém-colhidas de forma mecânica, houve redução de 4% nos valores de germinação em relação às colhidas manualmente, já após 6 meses de armazenamento essa diferença foi para 8% (TABELA 9). Sementes colhidas de forma manual não apresentaram redução do potencial germinativo ao longo do armazenamento, ao passo que as colhidas de forma mecânica tiveram 5% de redução. Esta redução provavelmente está relacionada à evolução de danos mecânicos latentes que ocorreram na colheita mecanizada.

Zuffo *et al.* (2017) constataram que o retardamento da colheita de sementes a partir de 10 dias após R8 prejudica o vigor das sementes e, a partir de 15 dias, a germinação. O potencial germinativo das sementes tende a decrescer com o retardamento de colheita, como observado por Xavier *et al.* (2015). No entanto, a realização da colheita antecipada pode ser adotada, desde que seja utilizado colhedoras com sistema de trilha adequado e bem reguladas, evitando a ocorrência de elevados índices de danos mecânicos nas sementes (FRANÇA NETO *et al.*, 2016).

Ao avaliar os valores de vigor pelo teste de tetrazólio (TABELA 10) verificou-se menor vigor em sementes colhidas de forma mecanizada, tanto antes, e principalmente após o armazenamento, consequências dos maiores níveis de danos mecânicos observados nesse tipo de colheita (TABELA 1). Observa-se que, em sementes recém-colhidas, o retardamento de colheita acarretou redução de 6 % do vigor, sendo que após o armazenamento essa redução foi aumentada para 11% (TABELA 10). Isto reforça a importância da antecipação da colheita para 19% de umidade, com a utilização do sistema de trilha axial.

Tabela 10 – Porcentagem média de vigor determinado pelo teste de tetrazólio em sementes de soja, cultivar M5917IPRO, antes e após armazenamento de 6 meses, colhidas de forma manual e mecânica (A), com 19% e 13% de umidade (B).

Armazenamento	Tipo de Colheita (A)		Umidade de Colheita (B)	
	Manual	Mecânica	19%	13%
Antes	94,0 Aa	84,0 Ba	92,0 Aa	86,0 Ba
Após	89,0 Ab	68,0 Bb	84,0 Ab	73,0 Bb

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, em cada variável analisada, não diferem entre si pelo teste F a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

Por meio do teste de envelhecimento acelerado (TABELA 11) também ficou evidente que sementes colhidas mecanicamente, associada com menor teor de água no momento de colheita e armazenadas por seis meses em condições não controladas de temperatura e umidade, acarretam redução no vigor das sementes. Após o armazenamento, em ambos os métodos de colheita, em sementes colhidas com 19% foi verificado maior vigor. Segundo Mathias *et al.* (2017) o atraso da colheita em 10 dias proporciona redução no percentual de germinação e vigor nas sementes. O período entre a maturidade fisiológica e a colheita, e as oscilações das condições de umidade no campo, podem causar danos às sementes, reduzindo seu vigor (CASTRO *et al.*, 2016). Segundo França Neto *et al.* (2016), danos mecânicos, deterioração por umidade e ataque de percevejos são os principais fatores que afetam a qualidade fisiológica de sementes de soja e esses danos evoluem com o período de armazenamento.

Tabela 11 – Porcentagem média de germinação após envelhecimento acelerado em sementes de soja, cultivar M5917IPRO, colhidas de forma manual e mecânica, com 19% e 13% de umidade e antes e após armazenamento de 6 meses.

Armazenamento	Tipo de Colheita	Umidade de Colheita	
		19%	13%
Antes	Manual	89,0 Aa	71,0 Ba
	Mecânica	65,0 Ab	64,0 Ab
Após	Manual	83,0 Aa ^x	68,0 Ba ^x
	Mecânica	59,0 Ab ^x	51,0 Bb ^x

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, em cada período de armazenamento, não diferem entre si pelo teste F a 5%. ^xsignificativo para armazenamento pelo teste F a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

Corroborando com os demais testes de vigor, os resultados do teste de condutividade elétrica evidenciaram que na colheita manual, a colheita com 19% de grau de umidade com sistema axial e sementes antes do armazenamento apresentaram melhores resultados (TABELA 12).

Para Vieira (1994) os valores de condutividade elétrica devem estar abaixo de 70-80 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ em lotes de alto vigor. Já para Carvalho *et al.* (2014), valores de condutividade elétrica entre 70-80 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ as sementes apresentam forte tendência ao médio vigor e abaixo desses valores ao alto vigor.

Tabela 12 – Valores médios de condutividade elétrica (C.E.- $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) na solução de embebição de sementes de soja, cultivar M5917IPRO, colhidas de forma manual e mecânica, com 19% e 13% de umidade e antes e após armazenamento de 6 meses.

Colheita	C.E.	Umidade	C.E.	Armazenamento	C.E
Manual	69,23 a	19%	74,46 a	Antes	73,98 a
Mecânica	89,86 b	13%	84,63 b	Após	85,11 b

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

Os maiores valores de condutividade elétrica verificados em sementes colhidas de forma mecanizada estão relacionados aos danos causados por esse tipo de colheita, pois de acordo com Paiva, Medeiros e Fraga (2000) a colheita mecânica é uma das principais fontes de danos mecânicos em sementes. A colheita manual em escala comercial é inviável, porém, com os resultados, infere-se que ainda existe a necessidade no aperfeiçoamento nos sistemas de trilha mecanizada, para amenizar a incidência de danos mecânicos e consequências sobre o vigor, mesmo quando a colheita é realizada com 19% de grau de umidade.

O retardamento de colheita deixa as sementes expostas às intempéries que podem afetar a integridade das membranas, e de acordo com Marcos Filho (2015), a alternância de períodos secos e úmidos predispõe a ocorrência de danos ao tegumento das sementes, devido às expansões e contrações após sucessivos ciclos de umedecimento e secagem. Carvalho *et al.* (2014) relatam a relação entre a menor condutividade elétrica, consequência de membranas mais organizadas e, assim, de menores quantidades de lixiviados liberados para o meio externo, com a maior qualidade fisiológica das sementes. Fato que pode estar relacionado com a menor incidência de fungos de armazenamento associados à baixas ocorrências de danos mecânicos nas sementes.

4 CONCLUSÕES

A colheita das sementes com 13% de teor de água, ocasiona maiores incidências de danos mecânicos e deterioração por umidade nas sementes, independentemente do método de colheita. A severidade desses danos são intensificadas com o armazenamento.

Em sementes colhidas mecanicamente, com o sistema de trilha axial, à 19% de grau de umidade, observa-se melhor qualidade em relação às colhidas com 13%.

O atraso na colheita de 19% para 13% favorece a incidência fúngica, principalmente de *Fusarium* spp.

A incidência de danos mecânicos e por umidade depreciou a qualidade fisiológica e favorece a incidência de fungos.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 398 p.
- 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**, v. 73, n. 3, p. 219-228, 2014.
- 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**, v. 44, n. 2-3, p. 193-202, 2021.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.
- CASTRO, E.M. *et al.* Physiological quality of soybean seeds produced under artificial rain in the pre-harvesting period. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 1, p. 14-21, 2016.
- DANELLI, A.L. *et al.* Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de soja em função do tratamento químico de sementes e no campo. **Revista Ciência y Tecnologia**, v. 4 n. 2, p. 29-37, 2011.
- DINIZ, F.O. *et al.* Incidence of pathogens and field emergence of soybean seeds subjected to harvest delay. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 4, p. 478-484, 2013.
- FEHR, W.R. *et al.* Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, v. 11, n. 6, p. 929-931, 1971.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- FORTI, V.A.; CÍCERO, S.M.; PINTO, T.L.F. Avaliação da evolução de danos por “umidade” e redução do vigor em sementes de soja, cultivar TMG113-RR, durante o armazenamento, utilizando imagens de raios x e testes de potencial fisiológico. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 123-133, 2010.
- FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; COSTA, N.P. **O teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1998. 7 1p. (EMBRAPA-CNPSO, Documentos, 115).
- FRANÇA NETO, J.B. *et al.* **Tecnologia para produção de sementes de soja de alta qualidade série sementes**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2007. 12 p. (Circular Técnica, 40).
- FRANÇA NETO, J. de B. *et al.* **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82 p. (Embrapa Soja. Documentos, 380).
- HENNING, A.A. *et al.* **Patologia e tratamento de sementes: noções gerais**. 2. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005.

HENNING, A.A.; ALMEIDA, A.M.R.; GODOY, C.V.; SEIXAS, C.D.S.; YORINORI, J.T.; COSTAMILAN, L.M.; FERREIRA, L.P.; MEYER, M.C.; SOARES, R.M.; DIAS, W.P. **Manual de identificação de doenças de soja**. 5. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 76 p.

HOLTZ, V.R.; REIS, E.F. Perdas na colheita mecanizada de soja: uma análise quantitativa e qualitativa. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 347-353, 2013.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B.F.; COSTA, N.P. **Teste do hipoclorito de sódio para semente de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPQ, 2004. 4 p. (Circular técnica, 37).

LOPES, M.M.; PRADO, M.O.D.; SADER, R.; BARBOSA, R.M. Efeitos dos danos mecânicos e fisiológicos na colheita e beneficiamento de sementes de soja. **Bioscience Journal**, v. 27, p. 230-238, 2011.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. *In*: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999.

MARCOS FILHO, J. Importância do potencial fisiológico da semente de soja. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 23, n. 1, p. 21-24, 2013.

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

MATHIAS, V.; PEREIRA, T.; MANTOVANI, A.; ZÍLIO, M.; MIOTTO, P.; COELHO, C.M.M. Implication of Harvest time on the quality of soybean physiological seed. **Revista Agro@ambiente On-line**, v.11, n. 3, p. 223-231, 2017.

MOREANO, T.B. *et al.* Changes in the effects of weathering and mechanical damage on soybean seed during storage. **Seed Sci. & Technol.**, v. 39, p. 604-611, 2011.

NEERGAARD, P. **Seed pathology**. 2nd ed. London: MacMillan, 1979. v. 1. 839 p.

NEVES, J.M.G. *et al.* Quality of soybean seeds with high mechanical damage index after processing and storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online]**, v. 20, n. 11, p. 1025-1030, 2016.

OLIVEIRA, A.; SADER, R.; KRZYZANOWSKI, F.C. Danos mecânicos ocorridos no beneficiamento de sementes de soja e suas relações com a qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 59-66, jan. 1999.

PAIVA, L.E.; MEDEIROS, S.F.; FRAGA, A.C. Beneficiamento de sementes de milho colhidas mecanicamente em espigas: efeitos sobre danos mecânicos e qualidade fisiológica. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 24, p. 846-856, 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.

XAVIER, T.S. *et al.* Época de colheita na qualidade de sementes de genótipos de soja. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 2, p. 241-245, 2015.

ZUFFO, A.M. *et al.* Physiological and sanitary quality of soybean seeds harvested at different periods and submitted to storage. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 3, p. 312-320, 2017.

CAPÍTULO 3 O TAMANHO DAS SEMENTES DE SOJA AFETA A OCORRÊNCIA DE DANOS MECÂNICOS NO BENEFICIAMENTO E A QUALIDADE FISIOLÓGICA?

RESUMO

O beneficiamento é um componente fundamental na produção de sementes de elevada qualidade, porém, a possibilidade de ocorrência de danos mecânicos nas suas etapas pode comprometer o resultado final do processo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a incidência de danos mecânicos e a qualidade fisiológica ao longo do beneficiamento em função do tamanho das sementes de soja. Foram amostradas sementes de duas cultivares em uma unidade de beneficiamento de sementes (UBS). O experimento foi conduzido em arranjo fatorial 5 x 2, envolvendo cinco pontos de amostragem ao longo do beneficiamento e 2 classificações de sementes por tamanho, com 3 repetições, sendo que as cultivares foram analisadas separadamente. Foram avaliados a massa específica aparente, danos mecânicos pelo teste de hipoclorito de sódio, teste de tetrazólio (danos mecânicos, por umidade e vigor), germinação, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado. Sob beneficiamento industrial são verificadas maiores incidências de danos mecânicos e menor qualidade fisiológica em sementes maiores. Sementes de lotes com maior massa específica apresentam maior qualidade fisiológica. Diferença de 3% de massa específica em sementes de soja da seção superior e da seção inferior da mesa densimétrica é uma regulagem que já estratifica quanto à qualidade fisiológica. A separação por peso específico por meio da mesa densimétrica, é eficiente para a separação de sementes com danos mecânicos e diferentes níveis de vigor e germinação. A incidência de danos por umidade não é afetada pelo tamanho da semente de soja, e a mesa densimétrica não é eficiente para a redução deste dano no lote.

Palavras-chave: Classificação por peneiras. Controle de qualidade. *Glycine max* L. Merril.. Usina de beneficiamento de sementes. Vigor.

DOES THE SIZE OF SOYBEAN SEEDS AFFECT THE OCCURRENCE OF MECHANICAL DAMAGE IN THE CONDITIONING AND THE PHYSIOLOGICAL QUALITY?

ABSTRACT

Seed conditioning is a fundamental component in the production of high quality seeds, however, the possibility of mechanical damage in its stages can compromise the final result of the process. The study aimed to evaluate the incidence of mechanical damage and the physiological quality during the conditioning seed as a function of the size of the soybean seeds. Seed samples of two soybean cultivar was taken in a seed conditioning plant. The experiment was arranged in a 5 x 2 factorial scheme, involving five samples points during the seed conditioning and 2 seed classifications by size, with 3 replications, the cultivars were analyzed separately. Samples were assessed by specific mass analyzes, mechanical damages by sodium hypochlorite test, tetrazolium test (mechanical damage, deterioration by moisture and vigor), germination, electrical conductivity and accelerated aging were evaluated. Under industrial conditioning, higher incidences of mechanical damage and lower physiological quality were observed in larger seeds. Lots with higher apparent specific mass present higher physiological quality. Difference of 3% in specific mass analyzes between soybean seeds from the upper and lower sections of the densimetric table is an adjustment that stratifies in terms of physiological quality. The density table is efficient in separating seeds with mechanical damage and different levels of vigor and germination. The size of seeds does not affect the incidence of deterioration by moisture and the density table is not efficient to reduce this defect in the lot.

Keywords: Classification screens. Quality control. *Glycine max* L. Merrill. Seed Conditioning Plant. Seed vigor.

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das principais culturas no Brasil, sendo explorada em uma extensa área. Nos últimos anos, a cultura da soja tornou-se relevante fonte de divisas para a nação e foi cultivada em 40,80 milhões de hectares em 2021/22 (CONAB, 2022). Um dos principais fatores para o êxito desta cultura é a adoção de novas tecnologias, sendo muitas dessas, veiculadas por meio das sementes, assim são cada vez mais demandadas, sobretudo com elevada qualidade (CARVALHO *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2018).

O controle da qualidade assume importância fundamental para assegurar a obtenção de sementes de alto vigor, quer seja na fase de campo ou nas etapas de processamento das sementes (KRZYZANOWSKI; FRANÇA-NETO; HENNING, 2018). A qualidade das sementes reflete diretamente o desenvolvimento da cultura gerando plantas de elevado vigor e uniformidade de população, fatores que podem influenciar diretamente a produtividade (BAGATELI *et al.*, 2019).

O beneficiamento é uma das etapas essenciais do processo de produção das sementes, que visa remover as impurezas, selecionar as sementes por forma, tamanho e densidade e embalar de forma adequada. O monitoramento e o controle de qualidade nas diferentes etapas do processo são importantes para que as sementes atendam aos padrões de mercado (JESUS *et al.*, 2021). Assim, o beneficiamento pode favorecer características de qualidade aos lotes de sementes (MOREANO *et al.*, 2018).

No processo de beneficiamento, as sementes de soja passam por diferentes máquinas, dentre elas, a padronizadora, onde é realizada a operação de classificação da semente por tamanho. Esse procedimento é importante uma vez que a padronização por tamanho das sementes resulta em um incremento da precisão de semeadura (PÁDUA *et al.*, 2010). Uma das últimas etapas no beneficiamento de sementes de soja consiste na passagem da semente padronizada por tamanho pela mesa densimétrica, onde haverá a separação dos materiais que apresentam diferenças em peso específico (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Todavia, durante os processos de beneficiamento, a ocorrência de danos mecânicos pode ser uma das causas da perda de qualidade da semente, portanto, o controle de qualidade ao longo desse processo é essencial (JUVINO *et al.*, 2014). Em estudo relacionado aos danos mecânicos ocorridos no beneficiamento de sementes de soja e suas relações com a qualidade fisiológica, Neves *et al.* (2016) concluíram que os danos mecânicos podem ocorrer em cada

ponto do beneficiamento e são cumulativos. Conrad, Radke e Vilela (2017) relataram que os equipamentos de transporte, composto por elevadores de caneca e correias transportadoras, podem causar redução da qualidade do lote de sementes de soja, principalmente pelo aumento da incidência de dano mecânico.

Além dos tipos e regulagens dos equipamentos utilizados, outros fatores podem afetar a relação danos mecânicos, beneficiamento e qualidade, como tamanho das sementes e qualidade inicial do lote (MOREANO *et al.*, 2018; PÁDUA *et al.*, 2010; PERIPOLLI *et al.*, 2019; BIANCHI *et al.*, 2022).

Esclarecimentos ainda são necessários para um controle de qualidade eficiente durante o beneficiamento. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a relação do tamanho das sementes de soja e a ocorrência de danos mecânicos e efeitos sobre a qualidade fisiológica ao longo de etapas do processo de beneficiamento.

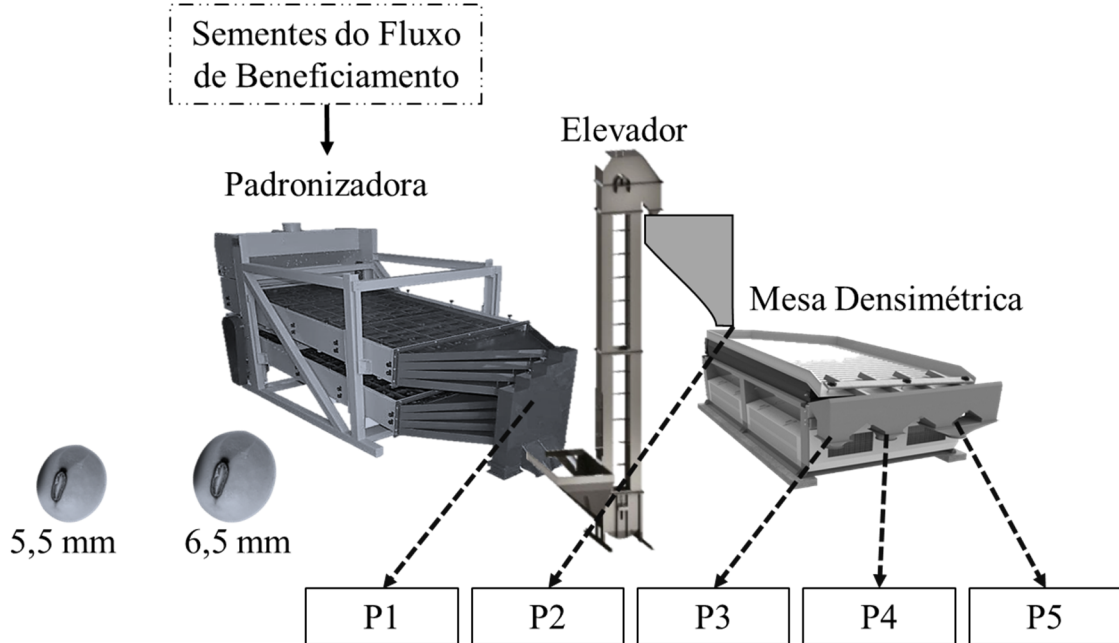
2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras foram coletadas na unidade de beneficiamento de sementes (UBS) da empresa Valiosa Sementes, localizada no município de Nazareno, Minas Gerais, Brasil. As análises das sementes foram conduzidas no Laboratório Central de Sementes do Departamento de Agricultura (DAG), Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais.

Foram coletadas amostras em lotes de sementes de duas cultivares de soja: Monsoy M6410IPRO e Brasmax FLX IPRO. Para cada cultivar, as amostras foram coletadas de sementes produzidas nas mesmas condições edafoclimáticas no município de Madre de Deus de Minas, Minas Gerais, seguindo os mesmos padrões de grau de umidade de colheita, tipo de máquina colhedora e transporte até a UBS.

Após a descarga, os lotes passaram por Pré-limpeza (Marca Rotasilos, modelo MPLR-80), Limpeza (Marca Rotasilos, modelo MLR-60), Separador em espiral (Marca Rotasilos, modelo Rota II) e padronizadora/classificadora com peneira plana crivo circular (Marca Rotasilos, modelo Rota I), e então, foram realizadas as amostragens. Foram coletadas três amostras (repetições) de 2 kg de sementes no fluxo de beneficiamento em intervalos regulares de 30 minutos, para sementes classificadas nos tamanhos 5,5 mm e 6,5 mm na padronizadora nos seguintes pontos: saída da máquina padronizadora (classificador de peneira plana), entrada na mesa densimétrica (Marca Rotasilos, modelo MDR-80) (após elevador de canecas entre padronizadora e densimétrica), saída da mesa densimétrica seção superior, saída da mesa densimétrica seção intermediária e saída da mesa densimétrica seção inferior, conforme representado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma dos pontos de amostragem nas etapas do processamento de sementes de soja em uma unidade de beneficiamento de sementes.



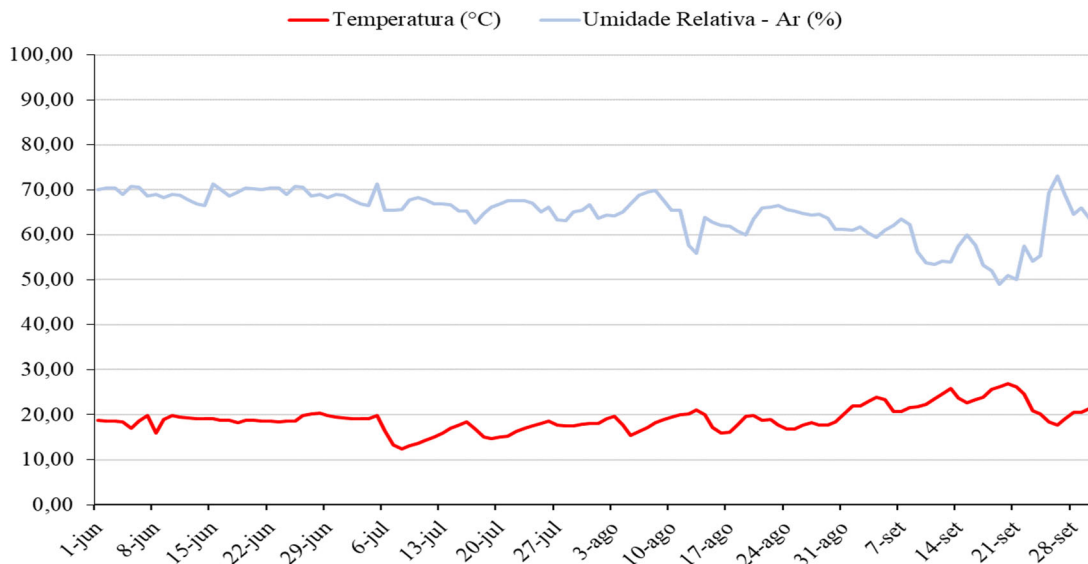
Pontos de Amostragem*	Etapas do Processamento de Sementes de Soja
P1	Saída da máquina padronizadora (classificador de peneira plana)
P2	Entrada na mesa densimétrica (após passagem pelo elevador)
P3	Saída da mesa densimétrica seção superior
P4	Saída da mesa densimétrica seção intermediária
P5	Saída da mesa densimétrica seção inferior

*Amostras coletadas independentemente nos diferentes pontos para sementes classificadas nos tamanhos de 5,5 e 6,5 mm de cada cultivar.

Fonte: Do autor (2022).

As amostras foram coletadas no mês de maio e acondicionadas em sacos de papel. O armazenamento foi conduzido em condições não controladas por 4 meses, na unidade de beneficiamento e tratamento de sementes, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil (latitude 21°13'38.22''S e longitude 44°58'18.13''O). Os dados de temperatura ambiente e umidade relativa do ar durante o armazenamento foram coletados a cada 3 horas por meio de um registrador digital (Datalogger AKSO – AK174) e estão apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Temperatura média (°C) e umidade relativa do ar (%), diárias e internas durante o período de armazenamento, entre junho e setembro. Datalogger da unidade de beneficiamento e tratamento de sementes da Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, MG.



Fonte: Do autor (2022).

Após o armazenamento, as sementes foram avaliadas por meio dos seguintes testes:

- Grau de Umidade: o grau de umidade das sementes foi avaliado em estufa a 105 ± 3 °C durante 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem.
- Massa Específica Aparente: realizada pelo método expedito Dickey-John, com o equipamento GAC 2100 da Agrosystem, de acordo com as instruções do fabricante (MOREANO *et al.*, 2013) e utilizando duas replicatas para cada repetição de amostragem na UBS, sendo os resultados expressos em Kg m^{-3} .
- Danos mecânicos em hipoclorito de sódio: foi estimada por meio do teste de imersão em hipoclorito de sódio. Utilizou-se duas replicatas de 100 sementes para cada repetição de amostragem na UBS. As sementes foram colocadas em copo plástico e imersas com solução de hipoclorito de sódio a 0,13%, durante 10 minutos. Após este período, as sementes foram distribuídas sobre folhas de papel toalha, procedendo-se a contagem do número de sementes com tegumento entumecido, rompido e/ou solto, sendo essas computadas como danificadas. Os resultados foram expressos em porcentagem de sementes com danos mecânicos (KRZYZANOWSKI; FRANÇA NETO; COSTA, 2004).

- d) Teste de tetrazólio (TZ): foram utilizadas 100 sementes (2 replicatas com 50 sementes cada) para cada repetição de amostragem na UBS. Para o pré-umedecimento as sementes foram colocadas entre papel úmido por 16h a 25 °C. Para a coloração foi utilizado o sal 2, 3, 5 trifenil cloreto de tetrazólio a 0,075%, onde as sementes ficaram imersas por 3h a 40 °C, na ausência de luz. Ao final do período de coloração, a solução foi descartada e as sementes foram lavadas em água corrente e mantidas submersas em água até o final da avaliação. Os resultados foram expressos pela porcentagem de vigor (somatório dos níveis de 1 a 3), danos mecânicos totais (verificados nos níveis de 1 a 8), sementes inviáveis devido a danos mecânicos letais (verificados nos níveis 6 a 8), deteriorações por umidade totais (verificados nos níveis de 1 a 8) e sementes inviáveis devido a deterioração por umidade (verificados nos níveis 6 a 8), conforme metodologia proposta por França Neto, Krzyzanowski e Costa (1998).
- e) Germinação: A semeadura foi realizada em substrato de papel tipo 'Germitest', umedecido com 2,5 vezes o peso seco do papel com água destilada, e os rolos mantidos em germinador à 25 °C. A avaliação foi realizada aos 8 dias após a semeadura (BRASIL, 2009). Foram utilizadas duas replicatas de 50 sementes para cada uma das três repetições de amostragem na UBS, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.
- f) Condutividade elétrica: foram utilizadas 50 sementes por replicata, sendo duas replicatas para cada repetição de amostragem na UBS, as quais foram pesadas (g) e em seguida colocadas em copos plásticos descartáveis com 75 mL de água deionizada. Após 24 horas de embebição a uma temperatura de 25 °C, mantida em câmara tipo BOD, a condutividade elétrica da solução de embebição foi determinada com auxílio de um condutivímetro Digimed CD-21. Os resultados foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ (VIEIRA, 1994).
- g) Envelhecimento acelerado: o método utilizado foi o da caixa plástica tipo gerbox adaptada. Em cada gerbox foram adicionados 40 ml de água e uma camada única de sementes cobrindo toda a tela suspensa. Posteriormente, os gerbox foram colocados em câmara tipo BOD a 41 °C por 48 horas (MARCOS FILHO, 1999). Após este período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme metodologia descrita anteriormente, com duas replicatas de 50 sementes para cada

repetição de amostragem na UBS, e a avaliação foi realizada cinco dias após a semeadura, com os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

Delineamento e Análise estatística: o delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 5 x 2, cujos fatores foram cinco pontos de amostragem ao longo do beneficiamento e duas classificações de sementes por tamanho (diâmetros 5,5 e 6,5 mm), com três repetições de amostragem na UBS. As cultivares foram analisadas separadamente. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com auxílio do software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2019) a 5% de probabilidade, pelo teste F, e quando pertinente, as médias foram comparadas com o uso do teste de Tukey ($p < 0,05$). Quando necessário os dados foram transformados em $(x + 1)^{1/2}$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Apêndice B1 encontra-se o resumo da análise de variância para cultivar Brasmax FLX IPRO. Houve interação entre tamanho de semente e pontos de amostragem ao longo do fluxo de beneficiamento somente para a variável danos mecânicos avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio. Deterioração por umidade letal somente foi significativa para tamanho de sementes, deterioração por umidade total e o percentual de umidade das sementes não apresentaram significância para nenhum dos fatores estudados. Para condutividade elétrica somente houve efeito significativo para o fator pontos de amostragens. As demais variáveis analisadas apresentaram significância isolada para os fatores avaliados. O coeficiente de variação (CV) da maioria das variáveis estudadas foi inferior a 9,0%, exceto para danos mecânicos letais e deterioração por umidade letal.

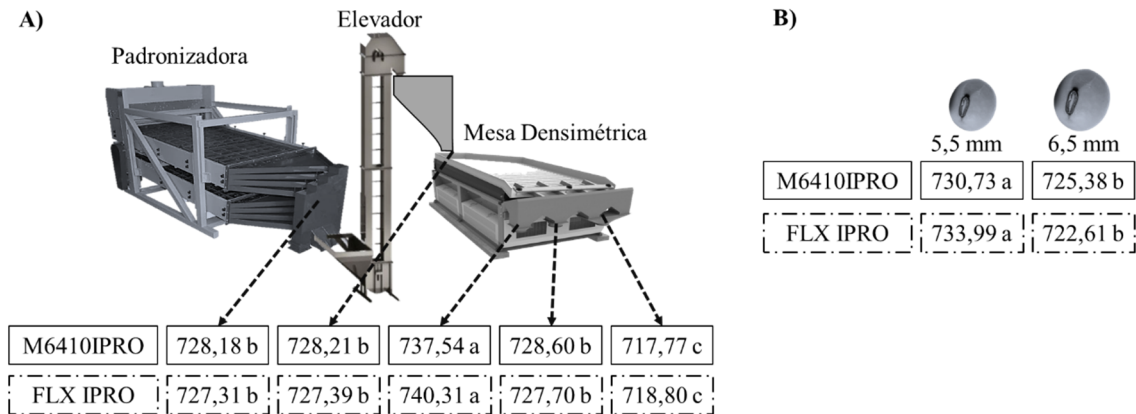
Para a cultivar M6410IPRO observa-se interação dos fatores para variáveis danos mecânicos avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio e de condutividade elétrica. Germinação apresentou significância isolada somente para o fator pontos de amostragem. Umidade, deterioração por umidade total e letal não apresentaram significância para nenhum dos fatores estudados. Já para as demais variáveis analisadas houve significância isolada para os fatores avaliados. O coeficiente de variação (CV) da maioria das variáveis estudadas foi inferior a 6,5%, exceto para danos mecânicos e deteriorações por umidade (APÊNDICE B2).

Não houve diferença do grau de umidade entre os pontos amostrados e entre o tamanho das sementes, apresentando média de 9,82% para cultivar FLX IPRO e 10,06% para cultivar M6410IPRO. Trabalhando com sementes de soja coletadas em diferentes etapas de uma UBS, Conrad, Radke e Villela (2017) também não encontraram variação no grau de umidade das amostras coletadas, grau de umidade geral em torno de 11,0%. Resultados estes esperados e relacionados ao equilíbrio higroscópico das sementes em um mesmo ambiente.

Houve incremento da massa específica aparente (MEA) dos lotes das sementes, após passagem pela mesa densimétrica, para aquelas classificadas na seção superior da mesa. Na descarga da mesa densimétrica, as sementes foram estratificadas em três categorias: na seção superior concentraram as sementes com maior MEA, na seção intermediária as sementes com MEA intermediário as seções superior e inferior, porém, iguais aos pontos de amostragem que antecederam à passagem das sementes pela mesa densimétrica, e na seção inferior as sementes com menor MEA. Para a cultivar M6410IPRO, sementes classificadas na seção superior da

mesa apresentaram MEA 2,75% maior do que a seção inferior, para FLX IPRO essa diferença foi de 3,0% (FIGURA 3A).

Figura 3 – Massa específica aparente (Kg m^{-3}) de sementes das cultivares de soja M6410IPRO e FLX IPRO, obtidas de amostras coletadas em 5 diferentes pontos do fluxo de beneficiamento (A) e classificadas em diferentes tamanhos (B).



*Médias seguidas de mesma letra na linha para mesma cultivar não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

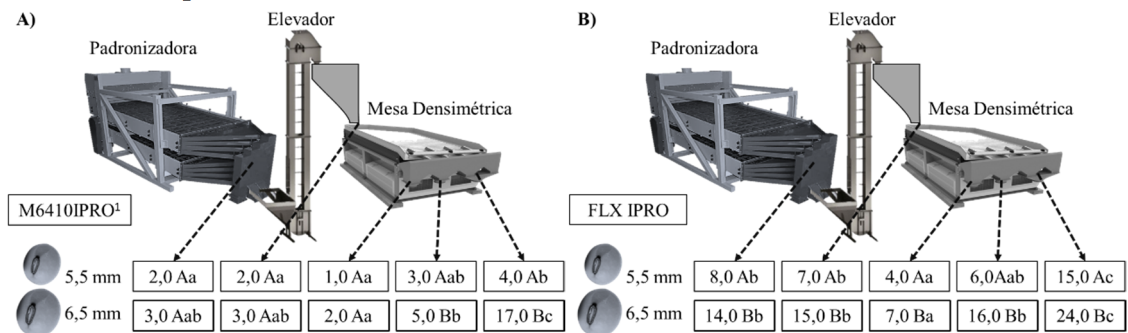
Já em relação a classificação por tamanho, em sementes menores (5,5 mm) foi observada maior MEA que as sementes maiores (6,5 mm) em ambas as cultivares (FIGURA 3B). Fato que pode estar relacionado ao menor espaço entre as sementes menores em uma massa de sementes, além da própria constituição das mesmas.

A avaliação da massa específica aparente pode ser utilizada para verificar o funcionamento da mesa densimétrica, pois o princípio da utilização deste equipamento no beneficiamento de sementes é separar as sementes que apresentam diferenças em peso específico, e assim descartar sementes de menor massa específica e conseqüentemente menor qualidade fisiológica (PESKE; VILLELA; MENEGUELO, 2012).

Em sementes de soja beneficiadas em mesa densimétrica, a massa específica foi o atributo físico melhor correlacionado com a qualidade fisiológica das sementes (ALMEIDA *et al.*, 2016). A mesa densimétrica melhora a qualidade física e fisiológica do lote de sementes de soja pelo incremento da massa específica (MOREANO *et al.*, 2013). Foram observados resultados positivos da utilização da mesa densimétrica no processamento de sementes de várias espécies, o que evidencia a importância deste equipamento em Unidades de Beneficiamento de Sementes (ALMEIDA *et al.*, 2016; FERREIRA; SÁ, 2010; GADOTTI *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.*, 2012).

Os dados de danos mecânicos avaliados por meio do teste de hipoclorito de sódio, danos mecânicos totais (TZ 1-8) e letais (TZ 6-8) avaliados pelo teste de tetrazólio, contidos nas Figuras 4, 5 e 6 respectivamente, evidenciam resultados semelhantes em ambas as cultivares. A mesa densimétrica foi eficiente na estratificação das sementes com menor incidência de danos mecânicos na seção superior da mesa, na seção intermediária sementes com porcentagem intermediária de danos, semelhantes aos pontos de amostragem na entrada da mesa densimétrica e saída da padronizadora, e na seção inferior da mesa sementes com maior incidência de danos mecânicos, sobretudo para as sementes maiores.

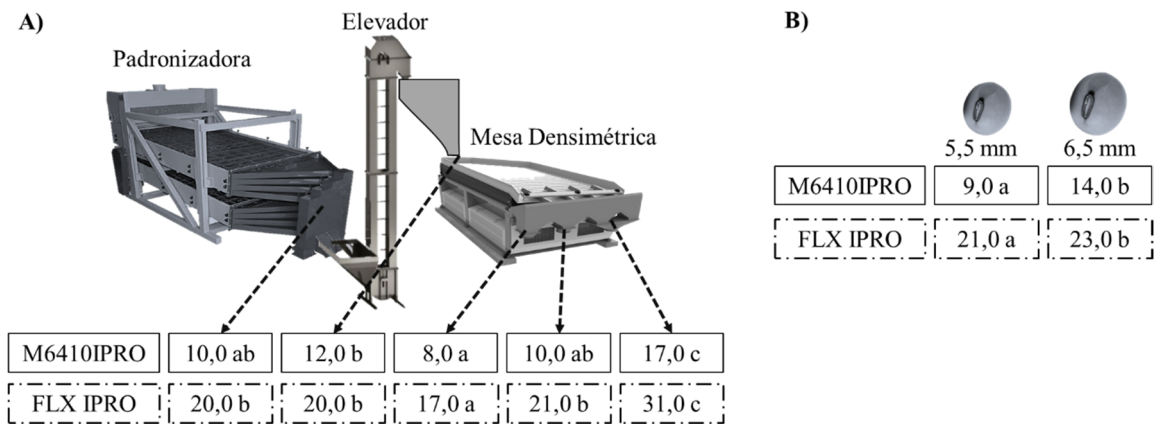
Figura 4 – Danos mecânicos (%) avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio de sementes das cultivares de soja M6410IPRO (A) e FLX IPRO (B), obtidas de amostras coletadas em 5 pontos do fluxo de beneficiamento, classificadas em diferentes tamanhos.



*Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha (fluxo de beneficiamento) e maiúscula na coluna (tamanho de sementes) para mesma cultivar, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. ¹As médias originais foram apresentadas, mas os dados foram comparados em função dos dados transformados em $(x + 1)^{1/2}$.

Fonte: Do autor (2022).

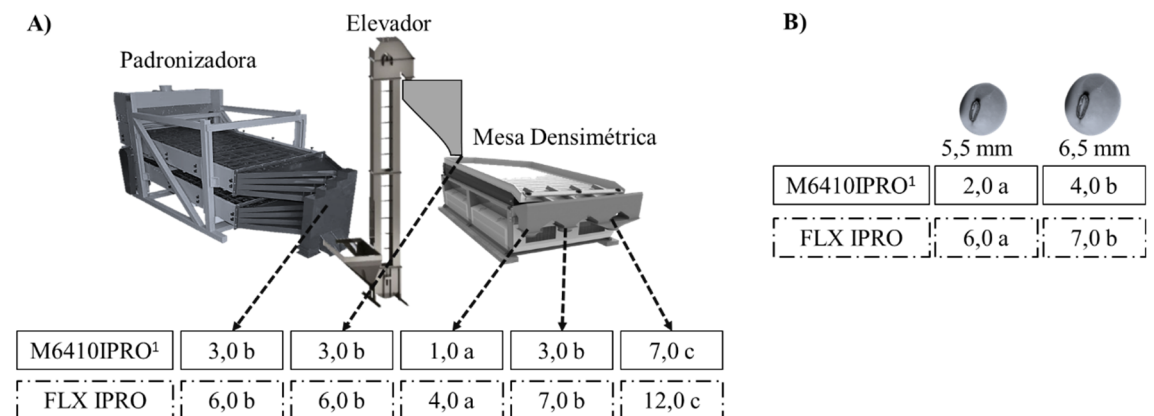
Figura 5 – Danos mecânicos totais (%) avaliados pelo teste de tetrazólio (TZ 1-8) de sementes das cultivares de soja M6410IPRO e FLX IPRO, obtidas de amostras coletadas em 5 pontos do fluxo de beneficiamento (A), classificadas em diferentes tamanhos (B).



*Médias seguidas de mesma letra na linha para mesma cultivar não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

Figura 6 – Danos mecânicos letais (%) avaliados pelo teste de tetrazólio (TZ 6-8) de sementes das cultivares de soja M6410IPRO e FLX IPRO, obtidas de amostras coletadas em 5 pontos do fluxo de beneficiamento (A), classificadas em diferentes tamanhos (B).



*Médias seguidas de mesma letra na linha para mesma cultivar não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. ¹As médias originais foram apresentadas, mas os dados foram comparados em função dos dados transformados em $(x + 1)^{1/2}$.

Fonte: Do autor (2022).

Pelo teste de hipoclorito de sódio foi observada diferença de até 15% na incidência de danos mecânicos entre a seção superior e inferior (descarte) da mesa densimétrica, para cultivar FLX IPRO classificada na peneira de 6,5 mm (FIGURA 4). Na mesa densimétrica, com a correta regulagem houve o descarte na seção inferior de sementes com maior danificação mecânica total (TZ 1-8), com diferença de 9% e 14% de danos respectivamente para as cultivares M6410IPRO e FLX IPRO, entre a separação das sementes na seção superior e inferior da mesa (FIGURA 5A). Para danos mecânicos letais a tendência foi a mesma, as

incidências nas sementes descartadas na seção inferior foram 6% e 8% superiores em relação às concentradas na seção superior da mesa densimétrica para as cultivares M6410IPRO e FLX IPRO, respectivamente (FIGURA 6A).

A mesa densimétrica tem se mostrado um equipamento eficiente no beneficiamento de sementes de soja, promovendo a remoção de sementes com danos mecânicos, atacadas por insetos e doenças, deformadas e com menor densidade, contribuindo com melhorias no atributo fisiológico dos lotes de sementes (ALMEIDA *et al.*, 2016; MOREANO *et al.*, 2013; MOREANO *et al.*, 2018).

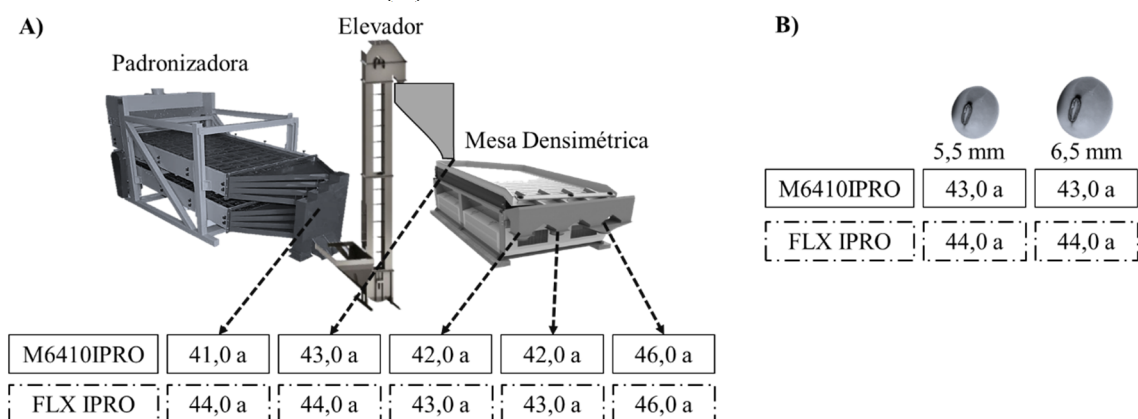
Com base nos resultados observados nas Figuras 4, 5 e 6, pode-se afirmar que os danos mecânicos foram concentrados nas sementes maiores, para as duas cultivares estudadas. Na seção inferior da mesa densimétrica, onde as maiores incidências de danos mecânicos foram encontradas, os índices de danos mecânicos, avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio, nas sementes de 6,5 mm foram superiores em 13% e 9%, respectivamente, para as cultivares M6410IPRO e FLX IPRO. Quando houve diferença, em sementes maiores sempre foi observada maior incidência de danos mecânicos (FIGURA 4). Em sementes classificadas na peneira 5,5 mm apresentaram menores índices de danos mecânicos totais (TZ 1-8) e letais (TZ 6-8) em relação as classificadas na peneira 6,5 mm (FIGURAS 5B e 6B). É clara e notória a maior incidência de danos mecânicos nas sementes maiores, quando beneficiadas mecanicamente em escala industrial.

Segundo Carvalho e Nakagawa (2012), mesmo com a perfeita regulagem das colhedoras e das máquinas do beneficiamento, podem ocorrer danos em intensidades variáveis, ou seja, a sua ocorrência é inevitável. Tais danos são provocados por impactos nas sementes, em virtude de vários fatores, como teor de água e tensão aplicada na queda das sementes, resistência e características genóticas do material, dentre outros (LOPES *et al.*, 2011). Além disto, no caso da soja, a própria espécie possui características que propiciam a alta incidência de danos mecânicos, uma vez que as partes vitais do eixo embrionário, como radícula, hipocótilo e plúmula, estão situadas sob tegumento pouco espesso, o qual, praticamente, não lhe oferece proteção (MARCOS FILHO, 2013). Para Conrad, Radke e Vilela (2017) os equipamentos de transporte podem ocasionar aumento da incidência de dano mecânico e isso afeta a qualidade do lote. Moreano *et al.* (2018) ao estudarem o efeito do processo de beneficiamento na qualidade física e fisiológica de sementes de soja, observaram que após a classificação das sementes na padronizadora os danos mecânicos concentraram nas sementes maiores. Isso pode

ser relacionado ao fato de as sementes maiores terem maior superfície de contato e serem mais pesadas, o que pode favorecer maior danificação mecânica nos processos de colheita e beneficiamento. Por isso o controle de processos e de qualidade durante o beneficiamento são essenciais.

Os níveis de deterioração por umidade totais (TZ 1-8) e letais (TZ 6-8) nas sementes, indicados na Figura 7 e 8 respectivamente, não apresentaram alterações ao longo da linha de beneficiamento, não sendo reduzidos ou eliminados pela padronizadora e/ou mesa densimétrica. Este fato pode estar relacionado à característica do dano, enrugamento de tecidos externos, em que ocorre pouca ou nenhuma alteração física significativa na semente, dificultando sua retirada nas operações de beneficiamento. A incidência de deteriorações por umidade totais foi a mesma para sementes classificadas em diferentes tamanhos em ambas as cultivares. Já as sementes maiores da cultivar FLX IPRO foram mais afetadas por deteriorações por umidade letais do que as sementes classificadas em peneira menor (FIGURA 8B), comportamento esse não observado para cultivar M6410IPRO, em que, independente do tamanho das sementes, os níveis de deteriorações por umidade letais foram os mesmos. Resultados similares foram observados por Moreano *et al.* (2013), que concluíram que nenhum dos equipamentos utilizados no processo de beneficiamento foi eficiente para remoção de sementes de soja com deterioração por umidade.

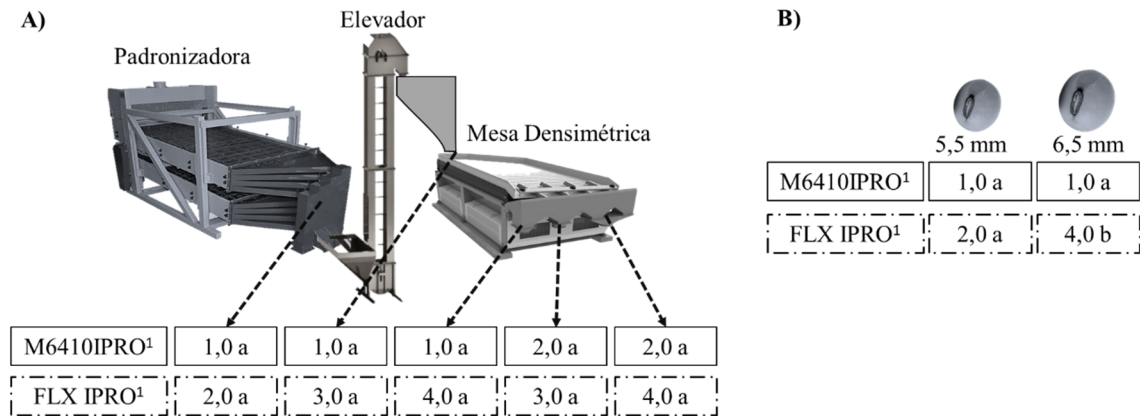
Figura 7 – Deteriorações por umidade totais (%) avaliadas pelo teste de tetrazólio (TZ 1-8) de sementes das cultivares de soja M6410IPRO e FLX IPRO, obtidas de amostras coletadas em 5 diferentes pontos do fluxo de beneficiamento (A), classificadas em diferentes tamanhos (B).



*Médias seguidas de mesma letra na linha para mesma cultivar não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

Figura 8 – Deteriorações por umidade letais (%) avaliadas pelo teste de tetrazólio (TZ 6-8) de sementes das cultivares de soja M6410IPRO e FLX IPRO, obtidas de amostras coletadas em 5 diferentes pontos do fluxo de beneficiamento (A), classificadas em diferentes tamanhos (B).



*Médias seguidas de mesma letra na linha para mesma cultivar não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. ¹As médias originais foram apresentadas, mas os dados foram comparados em função dos dados transformados em $(x + 1)^{1/2}$.

Fonte: Do autor (2022).

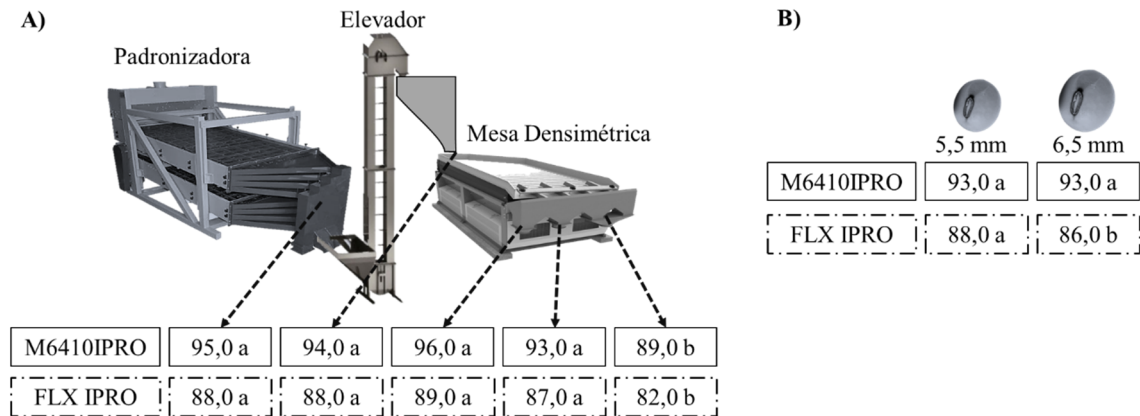
Danos causados pela deterioração por umidade podem evoluir durante o armazenamento e diminuir o potencial fisiológico das sementes (FORTI *et al.*, 2010). No entanto, esse tipo de dano não causa nenhuma diferença física nas sementes que permita a separação em máquinas no processo de beneficiamento (MOREANO *et al.*, 2013). Este fato reitera a importância da colheita o mais próximo possível do ponto de maturidade fisiológica, e assim, diminuir os riscos de exposição das mesmas às condições adversas que propiciam a deterioração por umidade.

Ao longo dos pontos amostrados no beneficiamento, a menor porcentagem de germinação das sementes foi constatada em sementes da seção inferior da mesa densimétrica, para ambas as cultivares (FIGURA 9A). As sementes classificadas na menor peneira da cultivar FLX IPRO tiveram maior percentual de germinação que as maiores. Já para cultivar M6410IPRO a classificação por tamanho das sementes não interferiu em sua germinação (FIGURA 9B). Entretanto, todos os percentuais de germinação foram acima do mínimo exigido para comercialização de sementes de soja no Brasil, 80% (MAPA, 2013), mesmo para sementes descartadas na seção inferior da mesa densimétrica.

Para as sementes de ambas cultivares, a germinação das sementes descartadas na seção inferior da mesa densimétrica apresentaram germinação 7% inferior às sementes classificadas na seção superior. Este resultado evidencia a importância deste equipamento, quando bem regulado, no fluxo de beneficiamento de sementes de soja, objetivando a obtenção de lotes de sementes de desempenho superior. Em estudo sobre a qualidade de sementes de soja

beneficiada em mesa densimétrica, Almeida et al. (2016) observaram uma diferença de mais de 20% de germinação entre sementes do ponto mais alto e mais baixo da mesa densimétrica.

Figura 9 – Germinação (%) de sementes das cultivares de soja M6410IPRO e FLX IPRO, obtidas de amostras coletadas em 5 pontos do fluxo de beneficiamento (A), classificadas em diferentes tamanhos (B).



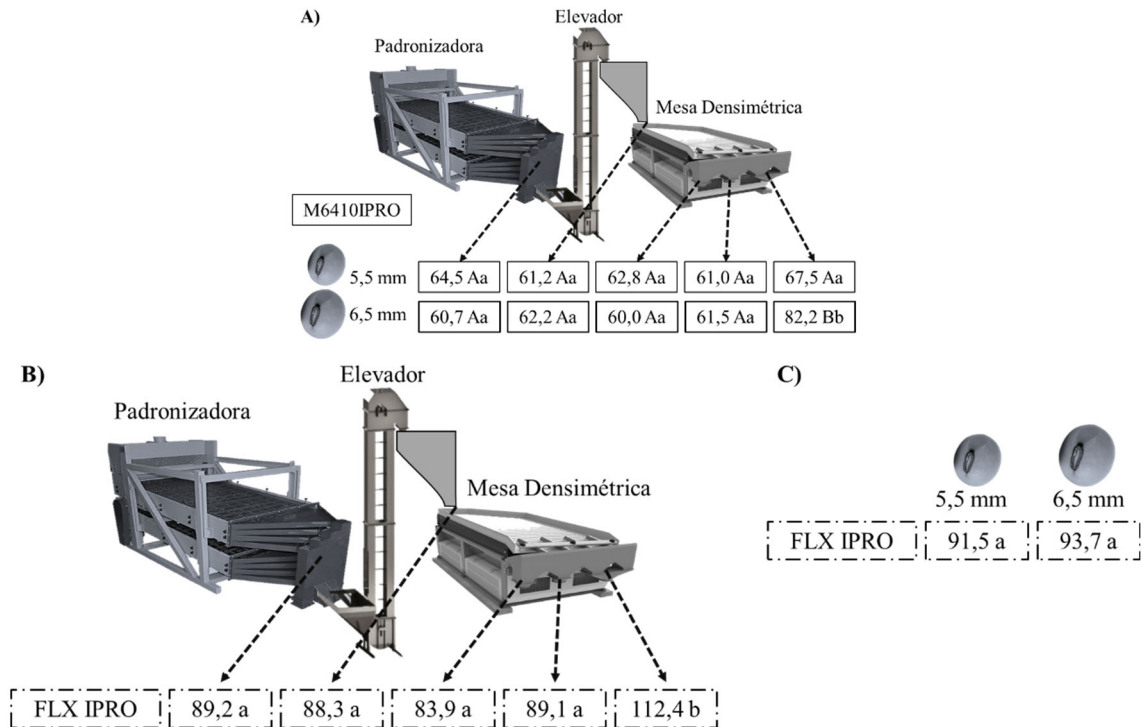
*Médias seguidas de mesma letra na linha para mesma cultivar não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

Para a cultivar FLX IPRO e sementes de 6,5 mm da cultivar M6410IPRO os valores médios de condutividade elétrica foram mais elevados em sementes da seção inferior da mesa densimétrica, indicando uma maior lixiviação de exsudados (FIGURA 10), indicativo de maior desestruturação das membranas e consequências negativas sobre a qualidade fisiológica (FIGURA 9). Já para sementes de 5,5 mm da cv. M6410IPRO nenhuma diferença foi observada entre os pontos de amostragem. Em relação ao tamanho, na seção inferior da mesa, em sementes maiores da cv. M6410IPRO houve maior lixiviação de solutos que as menores (FIGURA 10A).

De acordo com os resultados do teste de condutividade elétrica, houve maior lixiviação de exsudatos em sementes coletadas em pontos onde foram detectados concentração de sementes com maiores índices de danos mecânicos (Seção inferior da mesa densimétrica). Danos causados ao longo das etapas de colheita e processamento das sementes de soja podem ser prejudiciais à sua qualidade, comprometendo a integridade das membranas celulares, evidenciado pela maior lixiviação de exsudatos na solução de embebição das sementes (NEVES *et al.*, 2016).

Figura 10 – Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) na solução de embebição de sementes das cultivares de soja M6410IPRO (A) e FLX IPRO (B e C), obtidas de amostras coletadas em 5 diferentes pontos do fluxo de beneficiamento, classificadas em diferentes tamanhos.



*Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha (fluxo de beneficiamento) e maiúscula na coluna (tamanho de sementes) para mesma cultivar, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

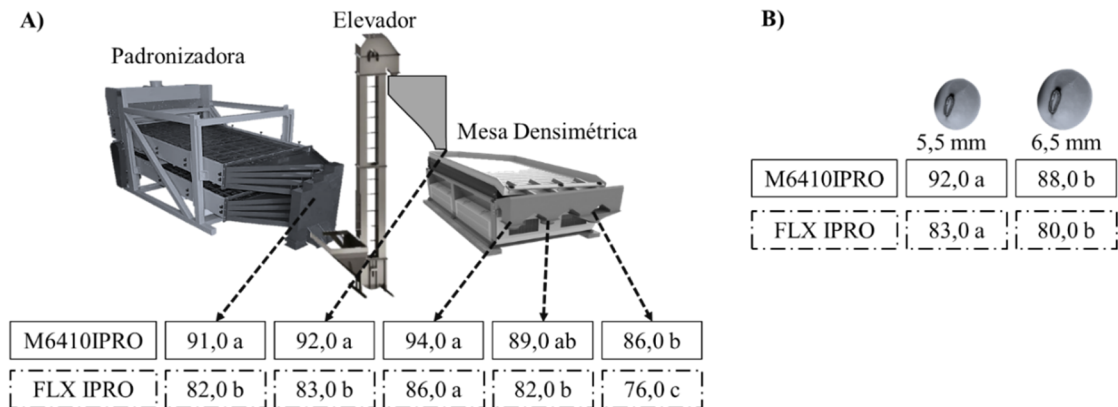
Fonte: Do autor (2022).

Pelos resultados da porcentagem média de vigor avaliado no teste de tetrazólio (TZ 1-3) ao longo do processo de beneficiamento, observa-se que a mesa densimétrica foi eficiente para separação de sementes em relação ao vigor para as duas cultivares. Em geral, separando em três categorias nas seções superior, intermediária e inferior as sementes com maior, intermediária e menor porcentagem de vigor, respectivamente (FIGURA 11A). Esse fato corrobora com a separação também das sementes com danificação mecânica nesses pontos de amostragem (FIGURAS 4, 5 e 6), sendo que em sementes com menor porcentagem de danos mecânicos foi observado maior vigor.

Salienta-se que, para sementes do lote da cultivar M6410IPRO, lote já de qualidade inicial superior, não houve diferença estatística entre os pontos de amostragem anteriores à mesa densimétrica e a seção alta, e essas foram superiores às sementes da seção inferior. Já para o lote da cultivar FLX IPRO, qualidade inicial mediana, as diferenças de vigor entre os pontos de amostragem foram mais acentuadas, com sementes classificadas na seção superior da mesa

apresentando maior vigor (86%) em relação a todos os pontos de amostragem, principalmente para seção inferior (76%), com diferença de 10% (FIGURA 11A). Moreano *et al.* (2018) relataram que o beneficiamento melhora as qualidades física e fisiológica do lote de sementes.

Figura 11 – Vigor (%) determinado pelo teste de tetrazólio (TZ 1-3) de sementes das cultivares de soja M6410IPRO e FLX IPRO, obtidas de amostras coletadas em 5 diferentes pontos do fluxo de beneficiamento (A), classificadas em diferentes tamanhos (B).



*Médias seguidas de mesma letra na linha para mesma cultivar não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

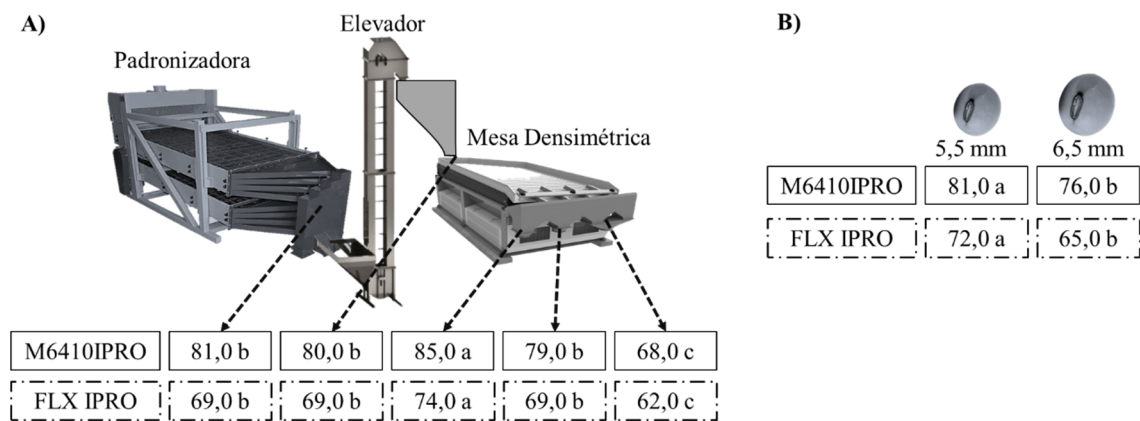
Em sementes menores (5,5 mm) foi verificado maior vigor em detrimento do observado em sementes maiores (6,5 mm) (FIGURA 11), em ambas as cultivares. Em sementes de menor tamanho da cultivar M6410IPRO houve vigor 4% maior que as sementes maiores, para o lote de sementes da cultivar FLX IPRO essa diferença foi de 3%. Fato relacionado com a maior porcentagem de danos mecânicos nas sementes maiores e conseqüentemente menor vigor (FIGURAS 4, 5 e 6).

Resultados semelhantes foram constatados por Moreano *et al.* (2013), em estudo do efeito do processo de beneficiamento sobre as qualidades física e fisiológica da semente de soja. Esses autores concluíram que a padronizadora concentrou os danos mecânicos nas sementes maiores, refletindo em menor vigor dessas sementes, e a mesa densimétrica segregou sementes de qualidade superior na fração alta em relação às intermediárias e baixa.

O teste de envelhecimento acelerado (FIGURA 12) foi mais sensível para indicar diferenças de vigor das sementes durante o fluxo de beneficiamento. Para as duas cultivares a mesa densimétrica segregou o lote inicial em três níveis de vigor, independentemente do tamanho das sementes. Na seção superior da mesa densimétrica foram concentradas sementes com maior vigor, superior a todos os outros pontos, na seção inferior sementes com menor vigor

e na seção intermediária sementes com vigor intermediário, que não diferiram dos pontos que antecederam a passagem pela mesa de gravidade. Isso reitera a relevância da mesa densimétrica no processo de beneficiamento, para a cultivar M6410IPRO a diferença de vigor entre a seção superior e a inferior foi de 17% e para a cultivar FLX IPRO foi de 12% (FIGURA 12A), por isso sementes da seção superior devem ser as utilizadas como produto final, além do descarte das sementes da seção inferior como grão e o repasse das sementes da seção intermediária, para que assim, o lote final tenha maior qualidade.

Figura 12 – Vigor por meio de envelhecimento acelerado (%) de sementes das cultivares de soja M6410IPRO e FLX IPRO, obtidas de amostras coletadas em 5 diferentes pontos do fluxo de beneficiamento (A), classificadas em diferentes tamanhos (B).



*Médias seguidas de mesma letra na linha para mesma cultivar não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

Ficou clara a importância da mesa densimétrica para a qualidade final do lote de sementes, porém, o equipamento deve estar corretamente regulado. Nesse sentido, observou-se que a diferença de MEA de 3% entre sementes da seção superior e a seção inferior/descarte (FIGURA 3A), já pode proporcionar uma segregação adequada de qualidade, conforme observados nos testes realizados.

De acordo com Bagateli *et al.* (2019), cada ponto percentual de aumento no nível de vigor (determinado por envelhecimento acelerado) dos lotes pode resultar num acréscimo médio de até 28 kg ha⁻¹ no rendimento de grãos de soja. Nesse contexto, a diferença de potencial produtivo dos lotes de sementes da cultivar M6410IPRO separados na seção superior e inferior da mesa densimétrica poderia chegar a um incremento de 476 kg (7,93 sacas) ha⁻¹ para sementes de alto vigor, destacando a importância de utilização de sementes de elevado vigor, que refletem

diretamente no estabelecimento, uniformidade e produtividade da cultura, e da importância do processo de beneficiamento de sementes para aprimorar a qualidade dos lotes.

Em relação à classificação por tamanho observa-se que as sementes menores apresentaram cinco e sete pontos percentuais a mais de vigor que as sementes maiores, para as cultivares M6410IPRO e FLX IPRO, respectivamente (FIGURA 12B), confirmando a diferença entre as sementes maiores e menores verificadas em outros testes para qualidade fisiológica (FIGURAS 9B e 11B). A perda de vigor em sementes de maior tamanho se dá ao fato de que estas sofrem mais danos devido seu maior volume e maior probabilidade do eixo embrionário ser atingido durante o beneficiamento, sendo este situado em um local onde o tegumento é pouco espesso, resultando em uma baixa proteção facilitando a danificação mecânica, acarretando redução da qualidade fisiológica das sementes (NEVES *et al.*, 2016).

Fato este, diretamente relacionado às controvérsias que ainda ocorrem na literatura no escopo tamanho de sementes de soja e qualidade fisiológica, pois, em geral, aqueles trabalhos em que o processo de colheita e beneficiamento foram realizados em escala experimental, ou seja com algumas etapas manuais e equipamentos em escala laboratorial, ocorre a tendência de resultados de sementes maiores apresentarem maior qualidade fisiológica (LIMA; CARMONA, 1999; PÁDUA *et al.*, 2010; SOARES *et al.*, 2013; BIANCHI *et al.*, 2022), já naqueles trabalhos conduzidos em escala industrial, com colheita mecânica, processamento em máquinas e equipamentos de beneficiamento industriais, essa relação não é constatada, ou algumas vezes, é até inversa, com sementes menores com melhor qualidade devido a menor incidência de danos mecânicos (KRZYZANOWSKI *et al.*, 1991; PICCININ *et al.*, 2012; MOREANO *et al.*, 2013; MOREANO *et al.*, 2018; PERIPOLLI *et al.*, 2019). No entanto, as técnicas utilizadas durante todo o processo de produção de sementes influenciam sobremaneira nos resultados relacionados à qualidade das sementes, o que dificulta a comparação dos resultados em outras pesquisas.

4 CONCLUSÕES

Sob beneficiamento industrial são verificadas maiores incidências de danos mecânicos e menor qualidade fisiológica em sementes maiores.

Sementes de lotes com maior massa específica apresentam maior qualidade fisiológica.

Diferença de 3% de massa específica em sementes de soja da seção superior e da seção inferior da mesa densimétrica é uma regulação que já estratifica quanto à qualidade fisiológica.

A separação por peso específico por meio da mesa densimétrica, é eficiente para a separação de sementes com danos mecânicos e diferentes níveis de vigor e germinação.

A incidência de danos por umidade não é afetada pelo tamanho da semente de soja, e a mesa densimétrica não é eficiente para redução deste dano no lote.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T.L. *et al.* Qualidade de sementes de soja beneficiadas em mesa de gravidade. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 23, p. 1097-1106, 2016.
- BAGATELI, J.R. *et al.* Productive performance of soybean plants originated from seed lots with increasing vigor levels. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 41, n. 2, p. 151-159, 2019.
- BIANCHI, M.C. *et al.* Soybean seed size: how does it affect crop development and physiological seed quality?. **Journal of Seed Science**, v. 44, 2022.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 398 p.
- 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**, v. 38, n. 2, p. 129-139, 2016.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: Funep, 2012.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 7, sétimo levantamento, abril, 2022.
- CONRAD, V.A.D.; RADKE, A.K.; VILLELA, F.A. Atributos físicos e fisiológicos em sementes de soja no beneficiamento. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 29, n. 2, p. 56-63, 2017.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- FERREIRA, R.L.; SÁ, M.E. Contribuição de etapas do beneficiamento na qualidade fisiológica de sementes de dois híbridos de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 99-110, 2010.
- FORTI, V.A.; CÍCERO, S.M.; PINTO, T.L.F. Avaliação da evolução de danos por “umidade” e redução do vigor em sementes de soja, cultivar TMG113-RR, durante o armazenamento, utilizando imagens de raios x e testes de potencial fisiológico. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 123-133, 2010.
- FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; COSTA, N.P. **O teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1998. 71 p. (EMBRAPA-CNPSO, Documentos, 115).
- GADOTTI, G.I.; VILLELA, F.A.; BAUDET, L. Influência da mesa densimétrica na qualidade de sementes de cultivares de tabaco. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 372-378, 2011.

JESUS, M. A. *et al.* Quality control charts in the processing of soybean seeds. **Journal of Seed Science**, v. 43, 2021.

JUVINO, A.N.K.; RESENDE, O.; COSTA, L.M.; SALES, J.F. Vigor da cultivar BMX Potência RR de soja durante o beneficiamento e períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 8, p. 844-850, 2014.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B.; COSTA, N.P. Efeito da classificação de sementes de soja por tamanho sobre sua qualidade e a precisão de semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 13, p. 59-68, 1991.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B.F.; COSTA, N.P. **Teste do hipoclorito de sódio para semente de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPF, 2004. 4 p. (Circular técnica, 37).

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

LIMA, A.M.M.P.; CARMONA, R. Influência do tamanho da semente no desempenho produtivo da soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 21, n. 1, p. 157-163, 1999.

LOPES, M.M.; PRADO, M.O.D.; SADER, R.; BARBOSA, R.M. Efeitos dos danos mecânicos e fisiológicos na colheita e beneficiamento de sementes de soja. **Bioscience Journal**, v. 27, p. 230-238, 2011.

MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Instrução Normativa Nº 45, de 17 de setembro de 2013**. Disponível em: http://antigo.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-Agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/copy_of_INN45de17desetembrode2013.pdf. Acesso em: 10 abr. 2022.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. *In*: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999.

MARCOS FILHO, J. Importância do potencial fisiológico da semente de soja. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 23, n. 1, p. 21-24, 2013.

MOREANO, T.B. *et al.* Evolução da qualidade física de sementes de soja durante o beneficiamento. **Informativo ABRATES**, v. 23, n. 3, 2013.

MOREANO, T.B. *et al.* Evolution of the physical and physiological quality of soybean seeds during processing. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 40, n. 3, p. 313-322, 2018.

NEVES, J.M.G. *et al.* Quality of soybean seeds with high mechanical damage index after processing and storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online]**, v. 20, n. 11, p. 1025-1030, 2016.

- PÁDUA, G. P. de. *et al.* Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica e na produtividade da cultura da soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 9-16, 2010.
- PEREIRA, C.E.; SOUSA ALBUQUERQUE, K.S.; OLIVEIRA, J.A. Qualidade física e fisiológica de sementes de arroz ao longo da linha de beneficiamento. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2995-3001, 2012.
- PERIPOLLI, M.; SANCHOTENE, D.M.; LIMA, C.S.; CRISTOFARI, L.P.; PIVETTA, M.; CONCEIÇÃO, G.M.; ROSADO, G.F. Qualidade fisiológica de sementes de soja provenientes de dois tamanhos de peneira. **Vivências**, v. 15, n. 29, p. 267-278, 14 out. 2019.
- PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 2. ed. Pelotas, UFPel, 2012. 573 p.
- PICCININ, G.G.; DAN, L.G.M.; RICCI, T.T.; BRACCINI, A.L.; BARBOSA, M.C.; MOREANO, T.B.; HORVATHY NETO, A.; BAZO, G.L. Relação entre o tamanho e a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja. **Revista Agrarian**, v. 5, n. 15, p. 20-28, 2012.
- 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**, v. 40, n. 1, p. 67-74, 2018.
- SOARES, M.M. *et al.* Performance of soybean plants as function of seed size: II. Nutritional stress. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 4, p. 419-427, 2013.
- 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.

CAPÍTULO 4 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA: ASSERTIVIDADE DE DOSES, DANOS MECÂNICOS E O RECOBRIMENTO DAS SEMENTES

RESUMO

O tratamento de sementes é um procedimento importante na cultura da soja, atualmente realizado de duas maneiras: tratamento de sementes industrial (TSI), realizado na indústria sementeira, e o tratamento *OnFarm*, realizado na fazenda, sob responsabilidade do produtor. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das tecnologias de tratamento de sementes de soja, máquinas e processos com tratadoras industriais e *OnFarm*, sobre ocorrência de danos mecânicos e a qualidade funcional do tratamento. Sementes de soja foram submetidas aos tratamentos fitossanitários com diferentes processos e máquinas: (1) tratadora industrial com processo de tratamento por batelada; (2) tratadora industrial com processo de tratamento por fluxo contínuo, (3) tratadora *OnFarm* de fluxo contínuo, distribuição das dosagens via dosador fixo volumétrico e mistura nas sementes via rosca sem fim e (4) controle, sem tratamento de sementes, sementes brancas. As sementes foram tratadas com produtos fitossanitários fungicidas (MetalaxiL-M + Tiabendazol + Fludioxonil), inseticidas (Tiametoxam + Ciantraniliprole), nematocida (Abamectina) e polímero (Biocroma® vermelho). Foram analisadas as incidências de danos mecânicos pelo teste de hipoclorito de sódio e a qualidade funcional do tratamento por meio das análises de recobrimento das sementes por meio do processamento digital de imagens, desprendimento de partículas (Dust-off) e assertividade da dose de tiametoxam por HPLC – *High-Performance Liquid Chromatography*. O tratamento de sementes de soja em tratadoras industriais de batelada ou fluxo contínuo, sem diferença entre essas tecnologias, asseguram melhor recobrimento das sementes, maior assertividade da dose, menor desprendimento de partículas e menor incidência de danos mecânicos em relação a tecnologia de aplicação *OnFarm*. O processamento digital de imagens de alta resolução é eficiente para a quantificação do recobrimento de sementes de soja por produtos fitossanitários. O recobrimento de sementes apresenta relação direta com a assertividade de dose.

Palavras-chave: Máquinas tratadoras. TSI. *OnFarm*. Processamento digital de imagens. HPLC. Dust-Off.

SOYBEAN SEED TREATMENT TECHNOLOGIES: DOSE ASSERTIVITY, MECHANICAL DAMAGES AND SEED COATING

ABSTRACT

Seed treatment is an important procedure in a soybean crop, currently carried out in two ways: industrial seed treatment (IST), made in the seed industry with high technology and quality control, and the OnFarm treatment, prepared in a farm under the responsibility of the producer. This study aimed to evaluate the influence of soybean seed treatment technologies, machines and processes with industrial and OnFarm seed treatment machine, about the occurrence of mechanical damages and the functional quality of the treatment. Soybean seeds were submitted to phytosanitary treatments with different processes and machines: (1) industrial treater with batch treatment process; (2) industrial treater with continuous flow treatment process, (3) OnFarm continuous flow treater, dosage distribution by fixed volumetric doser and seed mixing by auger and (4) control, without seed treatment, white seeds. The seeds were treated with fungicide phytosanitary products (MetalaxiL-M + Thiabendazole + Fludioxonil), insecticides (Thiamethoxam + Ciantraniliprole), nematicide (Abamectin) and polymer (Biochroma® red). The incidence of mechanical damage was analyzed by the sodium hypochlorite test and the functional quality of the treatment was analyzed through the analysis of seed coating through digital image processing, detachment of particles (Dust-off) and assertiveness of the dose of thiamethoxam by HPLC – *High-Performance Liquid Chromatography*. Soybean seed treatment in industrial batch or continuous flow treatment machine, with no difference between these technologies, ensures better seed coverage, greater dose assertiveness, lower dust-off and lower incidence of mechanical damage in relation to the application technology OnFarm. Digital processing of high-resolution images is efficient for quantification of soybean seed coating by phytosanitary products. Seed coverage is directly related to dose assertiveness.

Keywords: Treatment machines. IST. *OnFarm*. Digital image processing. HPLC. Dust-Off.

1 INTRODUÇÃO

O tratamento de sementes (TS) é uma tecnologia importante para proteção das sementes durante o armazenamento e durante a fase inicial de desenvolvimento das plântulas contra a ocorrência de patógenos e pragas presentes na semente e no solo. Além de controlar patógenos transmitidos pela semente, o tratamento de sementes é uma prática eficiente para assegurar populações adequadas de plantas, quando as condições edafoclimáticas são desfavoráveis à rápida germinação e emergência de plântulas, deixando a semente exposta por mais tempo a fungos e pragas habitantes do solo (BRZEZINSKI *et al.*, 2015). O tratamento de sementes com fungicidas favorece o desenvolvimento inicial de plântulas de soja, principalmente sob restrição hídrica no solo (CARVALHO *et al.*, 2022).

Somente o tratamento de sementes não é garantia de qualidade, visto que existem diversas possibilidades de composições e produtos a serem utilizados no tratamento de sementes de soja e, conseqüentemente, de diferentes volumes de calda, fatores estes que podem afetar positivamente ou negativamente a qualidade fisiológica das sementes (SANTOS *et al.*, 2018; CARVALHO *et al.*, 2022). Além desses fatores, o processo de aplicação dos produtos junto às sementes também pode ser realizado com diferentes tecnologias. Basicamente ocorrem em duas linhas, a comumente denominada de *OnFarm* em que processo é realizado na propriedade do agricultor, sob sua própria supervisão e em geral com equipamento de menor precisão. Os agricultores adotam diferentes estratégias para tratar as sementes no sistema *OnFarm*, sendo uma das principais a utilização de tratadora convencionais de fluxo contínuo que utilizam o sistema de dosadores fixos volumétricos, popularmente denominados ‘copinhos’ para dosar o produto químico e rosca sem fim para mistura dos produtos a sementes (LUDWIG *et al.*, 2011).

Outra tecnologia de tratamento, mais recente, tem sido utilizada visando acompanhar a modernização da agricultura, trata-se do tratamento de sementes industrial (TSI), realizado nas próprias empresas produtoras de sementes com conseqüente armazenamento das sementes até a semeadura. Neste processo são utilizadas máquinas de alta tecnologia com tendência de um processo mais adequado de tratamento, que se realizado corretamente pode favorecer doses adequadas dos produtos e distribuição mais uniforme (BRZEZINSKI *et al.*, 2015; NUNES, 2016). A adoção desse tipo de tratamento tem aumentado na cadeia produtiva da soja e diversas empresas oferecem essa tecnologia (FERREIRA *et al.*, 2016; CARVALHO *et al.*, 2020).

Os tipos de tratadoras utilizadas no TSI podem ser de fluxo contínuo ou por batelada. Nas tratadoras de batelada a semente é colocada dentro de uma câmara onde gira e ao mesmo tempo a solução de tratamento é pulverizada de um local central e distribuída sobre as sementes que estão girando. O resultado é uma carga precisa da semente tratada em função do volume de calda/solução utilizada. Já as tratadoras industriais com a tecnologia de aplicação de fluxo contínuo tem como principais características o fluxo adequado e constante de sementes em um dispositivo para pulverizar a calda/solução de tratamento de sementes para distribuição primária, e um dispositivo adaptado para a mistura de sementes de uma forma suave, distribuição secundária, permitindo que todas as sementes obtenham a mesma quantidade de calda (PLATZEN, 2010). Porém, as possíveis vantagens desse melhor processo de tratamento necessitam de mais estudos científicos para aferição do processo e futuras melhorias.

O tratamento de sementes de soja com produtos fitossanitários é crescente a cada safra, frente à importância dessa técnica para garantir uma das premissas básicas da alta produtividade o estande de plantas adequado e uniforme. A avaliação de equipamentos para aplicação desses tratamentos fitossanitários, quanto à ocorrência de danos mecânicos no processo, bem como a qualidade funcional do tratamento, como avaliação da assertividade de dose, recobrimento das sementes e desprendimento de partículas são temáticas importantes e demandadas atualmente. Nesse sentido, novas metodologias e o uso de análise de imagens podem ser úteis e eficientes, porém, com escassez de pesquisas e de trabalhos científicos na literatura, sobretudo para aplicabilidade da análise de imagens para esse viés.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos das tecnologias do processo de tratamento de sementes de soja, tratadoras industriais e *OnFarm*, sobre a ocorrência de danos mecânicos, assertividade de doses, desprendimento de partículas e recobrimento avaliado por processamento digital de imagens, ou seja, a qualidade funcional do tratamento de sementes de soja.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em três locais: em uma sementeira, Agro-sol, localizada no estado do Mato Grosso-MT, município de Campo Verde, onde foram realizados os tratamentos das sementes em escala industrial e, posteriormente, as avaliações funcionais das sementes foram conduzidas no Laboratório Central de Sementes da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG e no *Seedcare Institute Latin America* – Syngenta, Holambra -SP.

Sementes de um lote da cultivar de soja Monsoy M8644IPRO foram submetidas a distintas tecnologias de tratamento com produtos fitossanitários, em função da máquina utilizada no processo: (1) tratadora industrial de batelada (Modelo: Arktos 150K); (2) tratadora industrial de fluxo contínuo (Modelo: VHS Seedmix 20T) e (3) tratadora *OnFarm* de fluxo contínuo (Modelo: Grazmec MTS60), distribuição das dosagens via dosadores fixos volumétricos e mistura nas sementes via rosca sem fim e (4) controle sem tratamento de sementes, sementes brancas. As sementes foram tratadas com produtos fitossanitários, envolvendo fungicidas, inseticidas e nematicidas, com a receita comercial Fortenza® Elite: Maxim advanced® (MetalaxiL-M + Tiabendazol + Fludioxonil) na dose de 100 ml 100 Kg⁻¹ de sementes, Cruiser 350 FS® (Tiametoxam) 200 ml 100 Kg⁻¹ de sementes, Fortenza 600 FS® (Ciantraniliprole) 60 ml 100 Kg⁻¹ de sementes, Avicta 500 FS® (Abamectina) 100ml 100 Kg⁻¹ de sementes, Polímero (Biocroma® vermelho) 100 ml 100 Kg⁻¹ de sementes. Totalizando um volume final de calda de 560 mL 100 Kg⁻¹ de sementes.

Após o tratamento, as sementes foram acondicionadas em sacos de papel multifoliado e enviadas à UFLA e ao *SeedCare Institute* para realização das seguintes análises:

- a) Incidência de danos mecânicos pelo teste de hipoclorito de sódio: a incidência de danos mecânicos foi estimada por meio do teste de imersão em hipoclorito de sódio. Utilizou-se 100 sementes para cada repetição dos tratamentos. As sementes foram colocadas em placas de petri e imersas com solução de hipoclorito de sódio a 0,13%, durante 10 minutos. Após este período, as sementes foram distribuídas sobre folhas de papel-toalha, procedendo-se a contagem do número de sementes com tegumento entumecido, rompido e/ou solto, sendo computadas como danificadas. Os resultados foram expressos em porcentagem de sementes com danos mecânicos (KRZYZANOWSKI; FRANÇA NETO; COSTA, 2004).

- b) Recobrimento das sementes com tratamento por meio de análise de imagens: as imagens de alta resolução foram capturadas utilizando o sistema GroundEye®, versão S800, composto por um módulo de captação que possui uma bandeja de acrílico e uma câmera de alta resolução e um software integrado para avaliação. O percentual de recobrimento das sementes com tratamento foi avaliado por meio de análise de imagem. As sementes de soja foram inseridas na bandeja do módulo de captação para a obtenção de imagens de alta resolução com auxílio de um tabuleiro semeador, analisando 100 sementes por cada repetição dos tratamentos. Na configuração da análise para a calibração da cor de fundo foi utilizado o modelo de cor CIE L*a*b com índice L de 0,0 a 100,0; índice a de -18,8 a 41,2 e índice b de -56,1 a -6,5. O tamanho mínimo de descarte do objeto foi de 0,30 cm² e o preenchimento de interior selecionado. Modelo esse desenvolvido após vários pré-testes. Depois da calibração da cor do fundo, foi realizada a análise das imagens utilizando a ferramenta de Cor: Dominância, sendo consideradas como porcentagem de recobrimento das sementes com tratamento a soma das porcentagens da Cor: Dominância Vermelha e Cor: Dominância Rosa das amostras de sementes analisadas. Cores estas definidas em relação a coloração dos produtos que foram utilizados no tratamento das sementes.
- c) Desprendimento de partículas (*Dust-off*): anteriormente a realização do teste, as sementes foram acondicionadas por 48 horas em ambiente a 20 °C e 50% de umidade relativa. Após este período, foi utilizado o medidor de poeira (*Dustmeter*) Heubach D.38679 Langelsheim, seguindo a metodologia da *European Seed Treatment Assurance* - ESTA. Para avaliação das amostras de sementes de cada repetição dos tratamentos os parâmetros estabelecidos foram tempo de operação do equipamento: 2 minutos, tamanho da amostra analisada: 100 gramas de sementes e fluxo de ar: 20 litros por minuto. Um filtro de microfibras de 6 cm de diâmetro foi colocado no porta-filtro e o conjunto foi pesado em balança de precisão de cinco casas decimais. O tambor foi carregado com a amostra de 100g de sementes e o equipamento acionado, a movimentação giratória do tambor e o atrito da massa de sementes em agitação com os defletores instalados nesse compartimento resultam em desprendimento de partículas de poeira que foram aspiradas pelo fluxo de ar de 20 litros por minuto que passa através do filtro, durante 2 minutos, ficando a poeira desprendida retida no

filtro. Ao final do tempo de movimentação estabelecido, o conjunto filtro e porta filtro foram pesados novamente e por diferença de peso, estimou-se a massa de partículas de poeira desprendida. Os resultados foram apresentados em g 100 kg⁻¹ de sementes, conforme Equação 1 (E1).

$$\text{Desprendimento de partículas (g 100 kg}^{-1}\text{)} = ((W1 - W0) \times 100.000) Ws^{-1} \quad (1)$$

onde:

W1: peso do porta filtro com filtro de fibra de vidro após teste (g);

W0: peso do porta filtro com filtro de fibra de vidro antes do teste (g);

Ws: peso das sementes tratadas (g).

- d) Quantificação do ingrediente ativo tiametoxam por HPLC – assertividade da dose: a técnica analítica de HPLC - *High-Performance Liquid Chromatography* ou Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) permite quantificar a assertividade da dose (concentração) de tiametoxam, inseticida presente em todos os tratamentos (exceto nas sementes brancas - controle). Após protocolos prévios foi estabelecida a correspondência da dose de 0,7 g de tiametoxam por kg de sementes corresponde a 200 mL do produto comercial Cruiser 350 FS 100 kg⁻¹ de sementes, sendo considerada a dose desejável. As amostras foram analisadas em sistemas de HPLC Agilent 1260 Infinity II, que conta com o sistema de cabine de solventes, bomba quaternária, injetor, colunas cromatográficas, detector VWD e computador com software analítico. Para o preparo das amostras analisadas, foram pesadas 50 gramas sementes de soja em triplicata para cada repetição dos tratamentos. Para proceder a extração das amostras foram adicionados 100 mL de água ultra purificada, agitando por 15 minutos a 200 rotações por minuto em shaker. Foi filtrada a solução de lavagem, por meio de papel filtro qualitativo, recebendo o filtrado em erlenmeyer de 125 mL. Foi retirada uma alíquota de 4 mL do filtrado que foi transferido para balão de 100 mL. O volume foi completo com água ultrapura. Foi filtrado com seringa de 5 mL e filtro de 0,22 µL e o conteúdo transferido para microtubos identificados procedendo-se às injeções e leituras. Para quantificação do inseticida tiametoxam por HPLC foram utilizados os seguintes parâmetros do Laboratório do *Seedcare Institute Latin America* – Syngenta: coluna cromatográfica C18 – Coluna

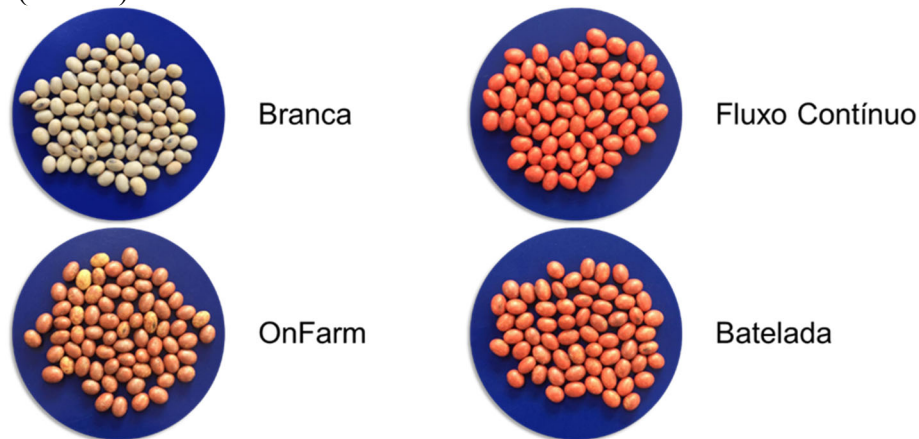
Zorbax ODS com 4,6 mm de diâmetro interno e 250 mm de comprimento, com filme de 5 μL ou similar; fase móvel: água:acetonitrila (70:30); fluxo da fase móvel de 1,0 mL min^{-1} ; comprimento de onda de 255 nm ; volume da injeção de 10 μL e temperatura da coluna de 40 $^{\circ}\text{C}$, com tempo de retenção das amostras de aproximadamente 3,7 minutos. O software calcula automaticamente o resultado em g kg^{-1} . O resultado das amostras analisadas foi transformado em percentual de acerto em função da dose desejável, 0,7 g kg^{-1} de tiametoxam.

Delineamento e análise estatística: o delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), com 4 tratamentos em função do tipo de tratamento (TSI Batelada, TSI Fluxo Contínuo, *OnFarm* dosador fixo volumétrico e controle – sem tratamento), com seis repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) com auxílio do software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2019) a 5% de probabilidade, pelo teste F, e quando pertinente, as médias foram comparadas com o uso do teste de Tukey ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão ilustrados os padrões visuais das sementes não tratadas (Branca) e tratadas com diferentes tratadoras de TSI e *OnFarm*. O aspecto visual ainda é utilizado como parâmetro para classificação da qualidade do tratamento em muitas empresas, porém, muitas vezes pode ser impreciso e de difícil padronização, sendo a análise de imagem uma tecnologia a ser empregada para melhoria da eficiência da classificação da qualidade do tratamento quanto ao recobrimento das sementes.

Figura 1 - Aspecto visual dos tratamentos de sementes de soja em função da tecnologia de aplicação: TSI Fluxo Contínuo, TSI Batelada, *OnFarm* e controle sem tratamento (Branca).



Fonte: Do autor (2022).

Na Tabela 1 encontra-se o resumo da análise de variância, nota-se efeito significativo para todas variáveis analisadas e um baixo coeficiente de variação (CV).

Tabela 1 – Resumo da análise de variância dos resultados de danos mecânicos avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio ($DM_{Hip.}$), desprendimento de poeira (Dust-off), recobrimento das sementes com tratamento por análise de imagem (REC) e quantificação do ingrediente ativo tiametoxam por HPLC (HPLC).

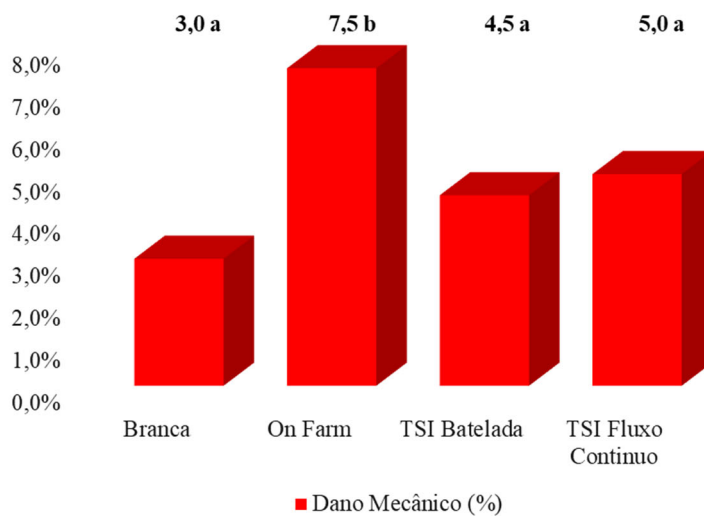
FV	GL	Quadrados médios			
		$DM_{Hip.}$ (%)	Dust-off ($g.100Kg^{-1}$)	REC (%)	HPLC (%)
Tratamentos	3	21,0417*	45,2485*	13862,11*	12613,35*
Resíduo	20	3,2417	0,0187	0,3563	1,5556
CV (%)		9,10	6,70	0,83	1,83
Média		4,79	2,04	71,62	68,06

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F ($p < 0,05$).

Fonte: Do autor (2022).

Na Figura 2 é ilustrado a porcentagem média de ocorrência de danos mecânicos em função da tecnologia de tratamento utilizada. Observa-se que para esta variável, sementes do lote sem tratamento fitossanitário não diferiram daquelas que foram submetidos ao processo de tratamento industrial, seja em sistema de batelada ou fluxo contínuo, já maiores ocorrências de danos mecânicos foram observadas em sementes submetidas ao tratamento *OnFarm*, dosador fixo volumétrico e rosca sem fim. O aumento de danos mecânicos na tecnologia *OnFarm* em relação as não tratadas foi de 4,5%, fato este relacionado à rosca sem fim presente no equipamento *OnFarm* de tecnologia mais rudimentar. Equipamentos desenvolvidos para tratamento industrial de sementes apresentam tecnologias que possibilitam um tratamento eficaz em um menor tempo de manuseio das sementes e assim contribuem para minimizar a ocorrência de injúrias mecânicas nas mesmas, conforme constatado no trabalho.

Figura 2 - Valores médios de porcentagem de incidência de danos mecânicos avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio em sementes de soja tratadas em diferentes tratadoras e controle.



*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.
Fonte: Do autor (2022).

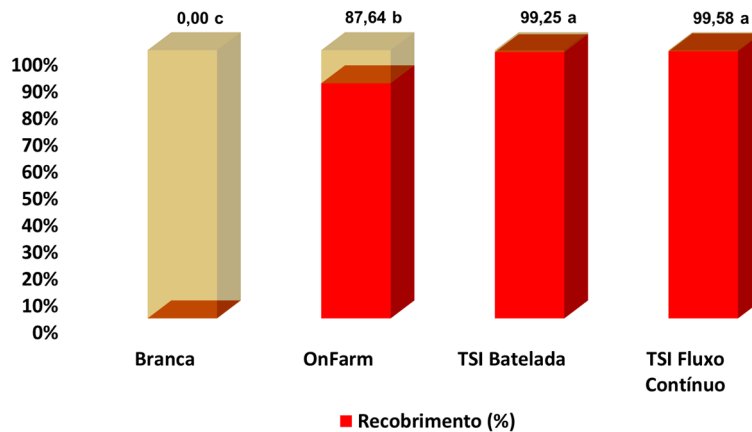
No caso da soja, a própria espécie possui características que propiciam a alta incidência de danos mecânicos, uma vez que as partes vitais do eixo embrionário, como radícula, hipocótilo e plúmula, estão situadas sob tegumento pouco espesso, o qual, praticamente, não lhe oferece proteção (MARCOS FILHO, 2015), sendo necessário todo o cuidado no tratamento e utilização de maquinários que reduzam a ocorrência de danos mecânicos.

A baixa ocorrência de danos mecânicos nos lotes de sementes de soja é importante, pois os danos mecânicos afetam diretamente a qualidade fisiológica das sementes (MOREANO *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Outra característica relevante na qualidade funcional do tratamento é o recobrimento das sementes pelos produtos fitossanitários, característica primordial junto aos produtores e mercado, que em sua grande maioria é avaliada somente visualmente, o que gera muita dúvida e imprecisão na avaliação dessa característica. Por meio do processamento digital de imagens de alta resolução foi possível mensurar o recobrimento das sementes com tratamento. Foram consideradas como porcentagem de recobrimento das sementes com tratamento a soma das porcentagens da Cor: Dominância Vermelha e Cor: Dominância Rosa, de acordo com a predominância de cores vermelha e rósea dos produtos utilizados no tratamento.

O tratamento de sementes com a tecnologia industrial, seja por batelada ou fluxo contínuo, proporcionou melhor recobrimento das sementes, ambas acima de 99% de recobrimento, superior ao obtido no sistema *OnFarm* de tratamento, 88% (FIGURA 3). Isto reitera a importância da tecnologia de aplicação para uma correta distribuição e recobrimento com o produto. As tratadoras utilizadas no TSI têm tecnologias que apresentam vantagens em relação à eficiência na aplicação da dose dos produtos, à uniformidade de cobertura e da aderência dos produtos às sementes (DECARLI *et al.*, 2019). Já em sementes tratadas em tratadora *OnFarm* com aplicação via dosador fixo volumétrico e mistura via rosca sem fim, com tecnologia inferior as utilizadas no TSI houve um menor recobrimento, inferindo em uma menor uniformidade de cobertura das sementes, o que possivelmente implica em menor assertividade de dose.

Figura 3 - Valores médios de porcentagem de recobrimento de sementes de soja por produtos fitossanitários em função da tecnologia de tratamento e controle, sem tratamento.



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

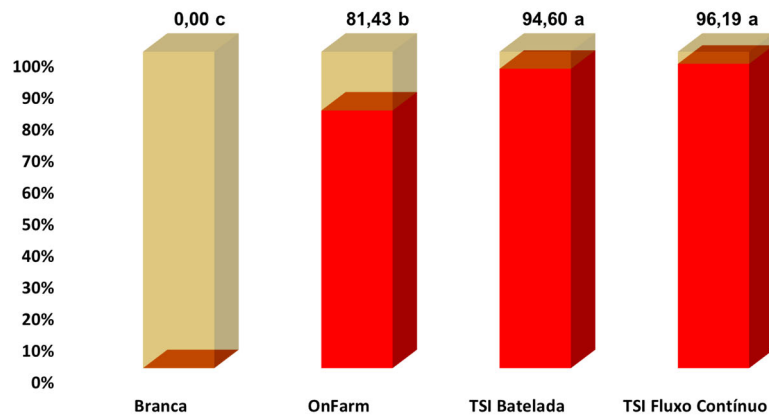
Fonte: Do autor (2022).

A precisão da dose aplicada é fator relevante, pois pode afetar diretamente a ação e eficiência dos produtos, além dos custos envolvidos na aquisição dos produtos e sementes e a importância do tratamento para o cultivo da soja. Na Figura 4 é apresentada a quantificação por HPLC do ingrediente ativo tiametoxam, inseticida presente em todos os tratamentos (exceto nas sementes brancas- controle), com conversão em função da dose desejada de 0,7g de tiametoxam por kg de sementes (100%). Em sementes tratadas em tratadora com a tecnologia usada em tratamento *OnFarm* verificou-se menor assertividade de dose, apenas 81% ($0,57\text{g}^{-1}\text{kg}$) da concentração desejável do ingrediente ativo tiametoxam. Já naquelas tratadas com a tecnologia industrial observou-se assertividade acima de 95% ($0,67\text{g}^{-1}\text{kg}$), não tendo diferença entre elas.

O tratamento industrial de sementes assegura melhor eficiência na aplicação e distribuição dos produtos, garantindo uniformidade de cobertura das sementes, bem como sementes tratadas com precisão de dosagem (FRANÇA NETO *et al.*, 2015).

Os resultados de assertividade da dose do ingrediente ativo por HPLC utilizado no TS (FIGURA 4) corroboram com os resultados obtidos da porcentagem de recobrimento das sementes (FIGURA 3), indicando que um melhor recobrimento das sementes com tratamento está diretamente relacionado com melhor distribuição da dosagem desejada.

Figura 4 - Porcentagem média em relação a dose desejável (100%) do ingrediente ativo tiametoxam, quantificado por HPLC em sementes de soja tratadas em diferentes tratadoras e controle.

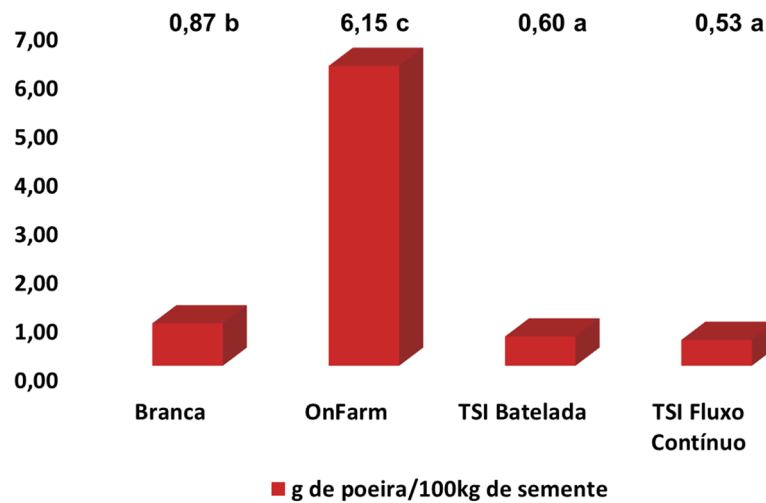


*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

O menor desprendimento de partículas após o tratamento de sementes é desejável, pois está relacionado com a menor perda do produto e maior segurança ambiental nas operações agrícolas (NUYTTENS *et al.*, 2013). Em sementes tratadas em tratadoras com tecnologia industrial houve menor desprendimento de poeira, mostrando a eficiência dessa modalidade de tratamento em aderir os produtos às sementes. Sementes sem tratamento geraram maior quantidade de poeira que as tratadas em TSI, mesmo sem partículas químicas em sua composição, fato esse relacionado a resíduos orgânicos e poeira aderidos e comuns nas sementes de soja. Já em sementes tratadas com tecnologia *OnFarm* houve maior desprendimento de partículas do que as demais (FIGURA 5), ficando acima do limite máximo preconizado na Europa, de desprendimento de partículas/poeira para sementes de soja tratadas, que é de 4 g de poeira por 100 Kg⁻¹ de sementes, de acordo com Associação Europeia de Qualidade Assegurada em Tratamento de Sementes - ESTA (*European Seed Treatment Assurance*) (BRANDL *et al.*, 2009).

FIGURA 5 - Valores médios de desprendimento de poeira (g de poeira 100 Kg⁻¹ de sementes) de sementes de soja tratadas com produtos fitossanitários em função da tecnologia de tratamento e controle, sem tratamento.



*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.
Fonte: Do autor (2022).

Apesar dos produtos serem os mesmos utilizados tanto em TSI quanto em *OnFarm*, incluindo polímeros, a tecnologia de aplicação e distribuição junto às sementes afetaram a aderência do produto na semente e, conseqüentemente, o desprendimento de partículas. A tecnologia mais incipiente usada em equipamento *OnFarm* ocasionou menor adesão dos produtos às sementes e maior formação de poeira. A formação de poeira nas sementes tratadas está diretamente relacionada à adesão dos produtos, indicando possível incompatibilidade entre as formulações e perda de ingrediente ativo após o tratamento e, conseqüentemente, a ineficiência da proteção (AVELAR *et al.*, 2012).

A menor geração de poeira pelo TSI promove a redução no impacto ambiental e a saúde humana por poeira tóxica, e assegura proteção das sementes, além de minimizar a exposição humana e de inimigos naturais aos produtos fitossanitários durante a semeadura (NUYTTENS *et al.*, 2013).

4 CONCLUSÕES

O tratamento de sementes de soja em tratadoras industriais de batelada ou fluxo contínuo, sem diferença entre essas tecnologias, asseguram melhor recobrimento das sementes, maior assertividade da dose, menor desprendimento de partículas e menor incidência de danos mecânicos em relação à tecnologia de aplicação OnFarm.

O processamento digital de imagens de alta resolução é eficiente para a quantificação do recobrimento de sementes de soja por produtos fitossanitários.

O recobrimento de sementes apresenta relação direta com a assertividade de dose.

REFERÊNCIAS

- AVELAR, S.A.G. *et al.* The use of film coating on the performance of treated corn seed. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 186-192, jun. 2012.
- BRANDL, F. *et al.* **Quality Management in Seed Treatment from Harvesting to Planting**. Switzerland; Syngenta Crop Protection, 2009. 13 p.
- BRZEZINSKI, C.R. *et al.* Seeds treatment times in the establishment and yield performance of soybean crops. **Journal of Seed Science**, v. 37, p. 147-153, 2015.
- CARVALHO, E.R. *et al.* Phytotoxicity in soybean seeds treated with phytosanitary products at different application times. **Journal of Seed Science**, v. 42, 2020.
- CARVALHO, E.R.; ROCHA, D.K.; FRAGA JÚNIOR, E.F.; PIRES, R.M.O.; OLIVEIRA, T.F.; PENIDO, A.C. Soil water restriction and performance of soybean seeds treated with phytosanitary products. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 59-66, 2022.
- DECARLI, L. *et al.* Tratamento industrial em sementes de soja: qualidade fisiológica e desempenho da cultura. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 3, 2019.
- ESTA. European Seed Treatment Assurance. **Dust reference values Heubach test method**. Disponível em: <https://euroseeds.eu/esta-the-european-seed-treatment-assurance-industry-scheme/dust-reference-values-heubach-test-method/>. Acesso em: 12 abr. 2022.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- FERREIRA, T.F. *et al.* Quality of soybean seeds treated with fungicides and insecticides before and after storage. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 4, p. 278-286, 2016.
- FRANÇA NETO, J. de B.; HENNING, A.A.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, F.A.; LORINI, I. Adoção do tratamento industrial de sementes de soja no Brasil, safra 2014/2015. **Informativo ABRATES**, v. 25, p.26-29, 2015.
- KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J B F.; COSTA, N P. **Teste do hipoclorito de sódio para semente de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPQ, 2004. 4 p. (Circular técnica, 37).
- LUDWIG, M.P. *et al.* Eficiência do recobrimento de sementes de soja em equipamento com sistema de aspersão. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 557-563, 2011.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015. 660 p.
- MOREANO, T.B. *et al.* Evolution of the physical and physiological quality of soybean seeds during processing. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 40, n. 3, p. 313-322, 2018.

NUNES, J.C.S. Tratamento de sementes de soja como um processo industrial no Brasil. **Seed News**, Pelotas, n.1, jan./fev. 2016.

NUYTTENS, D. *et al.* Pesticide-laden dust emission and drift from treated seeds during seed drilling: a review. **Pest Management Science**, Medford, v. 69, n. 5, p. 564-575, jun. 2013.

OLIVEIRA, G.R.F. *et al.* Treatment of soybean seeds with mechanical damage: effects on their physiological potential. **Journal of Seed Science**, v. 43, 2021.

PLATZEN, H. Tratadoras de sementes. **Seed News**, v. 14, n. 6, p. 16-17, 2010.

SANTOS, S.F.; CARVALHO, E.R.; ROCHA, D.K.; NASCIMENTO, R.M; Composition and volumes of slurry in soybean seeds treatment in the industry and physiological quality during storage. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 1, p. 67-74, 2018.

APÊNDICES

Apêndice A – Resumo da análise de variância dos resultados de Umidade, danos mecânicos avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio (DM_{HIP}), danos mecânicos avaliados pelo teste de tetrazólio (DM_T), deterioração por umidade avaliada pelo teste de tetrazólio (DU), incidências de *Cercospora kikuchii* (Cer.), *Phomopsis* spp. (Pho.), *Fusarium* spp. (Fus.), *Aspergillus* spp. (Asp.), *Penicillium* spp. (Pen.), germinação (Germ), vigor avaliado pelo teste de tetrazólio (Vig-TZ), vigor por envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica (CE) em sementes de soja, cultivar M5917IPRO, colhidas de forma manual e mecânica (C), com 19% e 13% de umidade (U) e antes e após armazenamento (A) de 6 meses. (continua)

FV	GL	Quadrados médios						
		Umidade	DM _{HIP}	DM _T	DU	Cer. ¹	Pho. ¹	Fus. ¹
Colheita (C)	1	0,0087	2335,0896*	3062,50*	6,40	0,0071	0,9353*	1,2228*
Umidade (U)	1	0,0714	2222,1865*	532,90*	5664,40*	4,1994*	45,4589*	88,4893*
Armz. (A)	1	38,8287*	0,2434	22,50*	1464,10*	3,3981*	5,3765*	106,8056*
C*U	1	0,0141	1916,5634*	324,90*	3,60	0,0430	0,0214	0,8071*
C*A	1	0,0087	0,0096	12,10	0,90	0,0390	0,0637	0,0165
U*A	1	0,0016	0,7896	4,90	2,50	0,1471	3,9529*	7,0352*
C*U*A	1	0,0731	3,5284	0,90	8,10	0,0050	0,0061	0,0906
Resíduo	32	0,0225	0,9199	3,26	9,55	0,3591	0,1575	0,1714
CV (%)		1,30	10,98	9,95	7,71	24,38	16,49	6,99
Média ²		11,54	8,74	18,15	40,10	5,53	6,31	39,31

Apêndice A – Resumo da análise de variância dos resultados de Umidade, danos mecânicos avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio (DM_{HIP}), danos mecânicos avaliados pelo teste de tetrazólio (DM_T), deterioração por umidade avaliada pelo teste de tetrazólio (DU), incidências de *Cercospora kikuchii* (Cer.), *Phomopsis* spp. (Pho.), *Fusarium* spp. (Fus.), *Aspergillus* spp. (Asp.), *Penicillium* spp. (Pen.), germinação (Germ), vigor avaliado pelo teste de tetrazólio (Vig-TZ), vigor por envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica (CE) em sementes de soja, cultivar M5917IPRO, colhidas de forma manual e mecânica (C), com 19% e 13% de umidade (U) e antes e após armazenamento (A) de 6 meses. (conclusão)

FV	GL	Quadrados médios					
		Asp. ¹	Pen. ¹	Germ	Vig _{TZ}	EA	CE
Colheita (C)	1	0,2413	0,0046	384,40*	2371,60*	3258,03*	4258,2386*
Umidade (U)	1	1,0009*	8,0671*	193,60*	688,90*	1113,03*	1034,5941*
Armz. (A)	1	42,0214*	114,8180*	102,40*	1166,40*	483,03*	1239,1029*
C*U	1	0,0421	0,0147	152,10*	2,50	354,03*	1,5171
C*A	1	0,2413	0,2833	36,10*	270,40*	60,03*	92,8725
U*A	1	1,0009*	5,6438*	2,50	84,10*	18,23*	8,8642
C*U*A	1	0,0421	0,1178	0,01	0,10	70,23*	28,6117
Resíduo	32	0,0826	0,1452	3,06	6,11	4,28	38,3257
CV (%)		14,19	13,77	1,95	2,96	3,01	7,78
Média ²		4,28	10,00	89,65	83,60	68,63	79,55

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F (p<0,05). ¹Dados transformados em $(x + 1)^{1/2}$.

²Média original. Umidade, DM_{HIP}, DM_T, DU, Cer., Pho., Fus., Asp., Pen., Germ., Vig-TZ e EA expresso em porcentagem (%). CE expresso em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

Fonte: Do autor (2022).

APÊNDICE B

Apêndice B1 – Resumo da análise de variância dos resultados de umidade, massa específica aparente (MEA), danos mecânicos avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio (DM_{HIP.}), danos mecânicos avaliados pelo teste de tetrazólio: totais (DM_T) e letais (DM_L), deterioração por umidade avaliada pelo teste de tetrazólio: totais (DU_T) e letais (DU_L), germinação (Germ.), condutividade elétrica da solução de embebição das sementes (CE), vigor avaliado pelo teste de tetrazólio (Vig.-TZ) e vigor por envelhecimento acelerado (EA), em sementes de soja, cultivar FLX IPRO, classificadas em diferentes tamanhos (5,5 e 6,5 mm) (T), obtidas de amostras coletadas em 5 diferentes pontos do fluxo de beneficiamento (P).

FV	GL	Quadrados médios										
		Umidade	MEA	DM _{HIP.}	DM _T	DM _L	DU _T	DU _L ¹	Germ.	CE	Vig.-TZ	EA
Tamanho (T)	1	0,08	971,28*	407,01*	32,03*	17,63*	4,80	1,99*	40,83*	36,34	50,70*	367,50*
Pontos (P)	4	0,01	354,91*	153,63*	176,70*	50,28*	8,38	0,13	40,72*	763,18*	78,92*	116,13*
T*P	4	0,05	1,79	13,01*	1,03	0,72	7,38	0,01	1,08	8,53	1,78	2,67
Resíduo	20	0,05	18,23	1,06	3,30	1,83	12,50	0,19	4,37	37,57	4,20	6,23
CV (%)		2,27	0,59	8,96	8,27	20,21	8,05	23,16	2,41	6,62	2,51	3,65
Média ²		9,82	728,30	11,48	21,97	6,70	43,93	2,80	86,77	92,58	81,50	68,43

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F (p<0,05). ¹Dados transformados em $(x + 1)^{1/2}$.

²Média original. Umidade, DM_{HIP.}, DM_T, DM_L, DU_T, DU_L, Germ., Vig.-TZ e EA expressos em porcentagem. CE expresso em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$. MEA expresso em Kg m^{-3} .

Fonte: Do autor (2022).

Apêndice B2 – Resumo da análise de variância dos resultados de umidade, massa específica aparente (MEA), danos mecânicos avaliados pelo teste de hipoclorito de sódio (DM_{HIP}), danos mecânicos avaliados pelo teste de tetrazólio: totais (DM_T) e letais (DM_L), deterioração por umidade avaliada pelo teste de tetrazólio: totais (DU_T) e letais (DU_L), germinação (Germ.), condutividade elétrica da solução de embebição das sementes (CE), vigor avaliado pelo teste de tetrazólio (Vig.-TZ) e vigor por envelhecimento acelerado (EA), em sementes de soja, cultivar M6410IPRO, classificadas em diferentes tamanhos (5,5 e 6,5 mm) (T), obtidas de amostras coletadas em 5 diferentes pontos do fluxo de beneficiamento (P).

FV	GL	Quadrados médios										
		Umidade	MEA	DM _{HIP} ¹	DM _T	DM _L ¹	DU _T	DU _L ¹	Germ.	CE	Vig.-TZ	EA
Tamanho (T)	1	0,01	214,78*	2,5441*	240,83*	2,52*	0,30	0,01	0,03	27,55	104,53*	218,70*
Pontos (P)	4	0,01	293,97*	2,8205*	66,78*	1,32*	21,88	0,08	44,38*	208,65*	45,80*	247,72*
T*P	4	0,04	20,29	0,9341*	2,08	0,19	27,38	0,43	13,12	82,32*	3,53	4,62
Resíduo	20	0,06	11,99	0,0609	3,13	0,09	24,60	0,22	5,07	17,47	8,10	11,57
CV (%)		2,33	0,48	11,60	15,57	15,25	11,60	31,70	2,41	6,49	3,15	4,34
Média ²		10,06	728,06	4,15	11,37	3,20	42,77	1,43	93,43	64,36	90,27	78,43

*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F ($p < 0,05$). ¹Dados transformados em $(x + 1)^{1/2}$.

²Média original. Umidade, DM_{HIP}, DM_T, DM_L, DU_T, DU_L, Germ., Vig.-TZ e EA expressos em porcentagem. CE expresso em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$. MEA expresso em Kg m^{-3} .

Fonte: Do autor (2022).