

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes

Dissertação



**Eficiência de Separadores de Espiral Rotativo e Fixo no Beneficiamento de
Sementes de Soja**

Graciela Buck

Pelotas, 2025

Graciela Buck

Eficiência de Separadores de Espiral Rotativo e Fixo no Beneficiamento de Sementes de Soja

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Gizele Ingrid Gadotti

Co-Orientador (es): Prof. Dr. Francisco Amaral Villela
Eng. Agr., Dr. Geri Eduardo Meneghello

Pelotas, 2025

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

B922e Buck, Graciela

Eficiência de separadores de espiral rotativo e fixo no beneficiamento de sementes de soja [recurso eletrônico] / Graciela Buck ; Gizele Ingrid Gadotti, orientadora ; Francisco Amaral Villela, Geri Eduardo Meneghello, coorientadores. — Pelotas, 2025.
47 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2025.

1. *Glycine max*. 2. Qualidade fisiológica. 3. Qualidade física. 4. Separação. 5. Pós-colheita. I. Gadotti, Gizele Ingrid, orient. II. Villela, Francisco Amaral, coorient. III. Meneghello, Geri Eduardo, coorient. IV. Título.

CDD 633.346

Graciela Buck

Eficiência de Separadores de Espiral Rotativo e Fixo no Beneficiamento de
Sementes de Soja

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

Data da Defesa: 19/03/2025

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Gizele Ingrid Gadotti (Orientadora). Doutora em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas – UFPEL.

Prof. Dr. Francisco Amaral Villela. Doutor em Fitotecnia pela Universidade Estadual de São Paulo – USP.

Eng. Agr., Dr. Geri Eduardo Meneghello. Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas.

Prof. Dr. Ádamo de Sousa Araújo. Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes. pela Universidade Federal de Pelotas.

Dedico este trabalho à Deus, fonte de minha vida, sabedoria e força, para me guiar em cada passo desta jornada e tornar possível a realização deste sonho.

Aos meus pais, cuja dedicação, amor e apoio incondicional me sustentaram ao longo de toda a caminhada acadêmica e pessoal. Vocês são minha inspiração e meu alicerce.

Ao meu noivo, meu companheiro de vida, pelo seu amor, paciência e incentivo constante. Obrigada por estar ao meu lado em cada momento, celebrando as conquistas e oferecendo sua força nos desafios.

A todos (as) agricultores (as) e profissionais

A cada um de vocês, com toda minha gratidão e amor.

*“O conhecimento é a base sólida sobre a qual
construímos nossos sonhos”.*

Walt Disney

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pela sabedoria, discernimento e forças concedidas ao longo dessa jornada de estudos, que culminou na realização do sonho do mestrado.

Aos meus pais, sou profundamente grata pelo carinho, cuidado e apoio constantes que me fortaleceram em cada etapa desta trajetória.

Ao meu noivo, que foi meu maior incentivador, amigo e parceiro, minha eterna gratidão pela paciência, pelo amor, pelos conselhos e pelo apoio em cada desafio.

À Thalia Strelow dos Santos e Thiago Antonio da Silva, pela amizade e parceria incansável durante a execução de cada experimento, minha gratidão por todo o apoio prestado. À equipe do Laboratório de Agrotecnologia e aos estagiários do projeto, sou grata por toda a ajuda e comprometimento.

Minha eterna gratidão à minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Gizele Ingrid Gadotti, pela orientação, dedicação, incentivo constante e pelos preciosos ensinamentos transmitidos que foram fundamentais para a concretização deste trabalho. Aos coorientadores, Prof. Dr. Francisco Amaral Villela e Eng. Agr. Dr. Geri Eduardo Meneghello, agradeço pela valiosa contribuição, apoio e pela generosidade em compartilhar seus conhecimentos.

À empresa Sementes Cambaí e sua equipe, registro minha gratidão pela disponibilização de amostras essenciais para o desenvolvimento deste estudo. À Profile Industries, sou grata pelo financiamento, incluindo o apoio às bolsas dos estagiários, fundamentais para a execução desta pesquisa.

À Universidade Federal de Pelotas, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, aos professores e funcionários, agradeço por contribuírem para o meu crescimento pessoal e pela construção de conhecimentos valiosos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), meu reconhecimento pelo apoio financeiro, que possibilitou a realização dos experimentos.

Finalmente, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste projeto, deixo minha sincera gratidão.

Muito obrigada a todos!

Resumo

BUCK, Graciela. **Eficiência de Separadores de Espiral Rotativo e Fixo no Beneficiamento de Sementes de Soja**. Orientadora: Gizele Ingrid Gadotti. 2025. 47f. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2025.

A soja é uma das culturas agrícolas mais relevantes globalmente, sendo fundamental para a produção de óleo vegetal, alimentação animal e biocombustíveis. O beneficiamento de sementes é uma etapa essencial para garantir a qualidade do lote, e os separadores de espiral, fixo e rotativo, desempenham um papel crucial na seleção das sementes por forma, removendo principalmente as malformadas e chochas. No entanto, diferenças no desempenho desses equipamentos podem impactar a eficiência do processo. Este estudo teve como objetivo comparar a eficiência dos separadores espirais fixo e rotativo no beneficiamento de sementes de soja, avaliando seu impacto na qualidade física e fisiológica das sementes. O experimento foi realizado com as cultivares 54IX57 e FIBRA IPRO, em dois tamanhos de peneiras. Foram analisados parâmetros como pureza, peso de mil sementes, germinação, vigor, desenvolvimento de plântulas e fluxo de sementes. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, e os dados foram submetidos à análise de variância, com as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software Speed Stat 3.4®. Os resultados indicaram que o separador espiral rotativo proporcionou maior aproveitamento de sementes e menor taxa de descarte, sem comprometer a qualidade fisiológica do lote processado. Além disso, apresentou maior fluxo operacional, otimizando o beneficiamento. O separador fixo, embora eficiente, reteve mais sementes, reduzindo o fluxo e aumentando o descarte. O separador espiral rotativo é mais eficiente no beneficiamento de sementes de soja, promovendo melhor aproveitamento das sementes e maior qualidade final do lote, tornando-se uma alternativa promissora para a indústria de sementes.

Palavras-chave: *Glycine max*; qualidade fisiológica; qualidade física; separação; pós-colheita.

Abstract

BUCK, Graciela. **Efficiency of Rotary and Fixed Spiral Separators in Soybean Seed Processing**. Advisor: Gizele Ingrid Gadotti. 2025. 47f. Dissertation (Masters in Seed Science and Technology) - Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2025.

Soybean is one of the most important agricultural crops worldwide, being essential for the production of vegetable oil, animal feed and biofuels. Seed processing is an essential step to ensure lot quality, and fixed and rotary spiral separators play a crucial role in seed shape selection, mainly removing malformed and clean seeds. However, differences in the performance of these equipments can impact the efficiency of the process. This study aimed to compare the efficiency of fixed and rotary spiral separators in soybean seed processing, evaluating their impact on the physical and physiological quality of the seeds. The experiment was carried out with cultivars 54IX57 and FIBRA IPRO, in two sieve sizes. Parameters such as purity, thousand-seed weight, germination, vigor, seedling development and seed flow were analyzed. The experimental design was completely randomized, and the data were subjected to analysis of variance, with the means compared by Tukey's test at 5% probability, using the Speed Stat 3.4® software. The results indicated that the rotary spiral separator provided greater seed utilization and lower discard rate, without compromising the physiological quality of the processed lot. In addition, it presented greater operational flow, optimizing processing. The fixed separator, although efficient, retained more seeds, reducing flow and increasing discard. The rotary spiral separator is more efficient in processing soybean seeds, promoting better seed utilization and higher final lot quality, making it a promising alternative for the seed industry.

Keywords: *Glycine max*; physiological quality; physical quality; separation; post-harvest.

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Comparação de médias do fluxo no equipamento, porcentagem de aproveitamento e descarte de sementes, de duas cultivares (FIBRA IPRO e 54IX57) e dois tamanhos (P1 e P2) beneficiadas em separador de espiral fixo (EF) e rotativo (ER).	28
Tabela 2 – Comparação de médias da qualidade física das sementes – pureza física e peso de mil sementes (PMS), de duas cultivares (FIBRA IPRO e 54IX57) e dois tamanhos (P1 e P2) beneficiadas em separador de espiral fixo e rotativo	32
Tabela 3 – Comparação de médias da qualidade fisiológica das sementes – Primeira contagem de germinação (PCG) e germinação - de duas cultivares (FIBRA IPRO e 54IX57) e dois tamanhos (P1 e P2), beneficiadas em separador de espiral fixo e rotativo.	34
Tabela 4 – Comparação de médias do vigor das sementes – Envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica, de duas cultivares (FIBRA IPRO e 54IX57) e dois tamanhos (P1 e P2) beneficiadas em separador de espiral fixo e rotativo	36
Tabela 5 – Comparação de médias do desempenho de plântulas – Comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR), de duas cultivares (FIBRA IPRO e 54IX57) e dois tamanhos (P1 e P2) beneficiadas em separador de espiral fixo e rotativo.	38
Tabela 6 – Comparação de médias do desempenho de plântulas – Massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), de duas cultivares (FIBRA IPRO e 54IX57) e dois tamanhos (P1 e P2) beneficiadas em separador de espiral fixo e rotativo.	39

Sumário

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. PRODUÇÃO DE SOJA	15
2.2. IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DE SEMENTES DE SOJA DE QUALIDADE	16
2.3. BENEFICIAMENTO DE SEMENTES DE SOJA.....	18
2.4. SEPARADOR DE ESPIRAL FIXO	20
2.5. SEPARADOR DE ESPIRAL ROTATIVO	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 Procedimento experimental	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5 CONCLUSÕES	41
6 REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) na safra 2023/24 atingiu a marca de 394,71 milhões de toneladas, cultivadas em uma área de aproximadamente 139,74 milhões de hectares (USDA, 2024). Reconhecida como uma das culturas agrícolas mais relevantes globalmente, a soja desempenha um papel estratégico tanto na segurança alimentar quanto nos setores industrial e energético, sendo amplamente utilizada na produção de óleo vegetal, alimentação animal e biocombustíveis. No Brasil, país que atualmente lidera a produção mundial de soja, os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) indicam uma produção de 147,38 milhões de toneladas na safra 2023/24, cultivada em uma área de 46,03 milhões de hectares e apresentando uma produtividade média de 3,20 toneladas por hectare. Essa produtividade, embora significativa, representa uma queda de 8,7% em comparação com a safra anterior, reflexo das adversidades climáticas enfrentadas nos estados produtores em diferentes estágios de desenvolvimento da cultura (CONAB, 2024).

Apesar dos desafios enfrentados, o Brasil se destaca como o maior produtor mundial de soja, desempenhando papel fundamental no abastecimento global. Esse cenário reforça a importância de estratégias eficazes para maximizar a produtividade, especialmente por meio de avanços no beneficiamento de sementes, que impactam diretamente a uniformidade e vigor das sementes, fatores essenciais para uma boa germinação e desenvolvimento vigorosos no campo.

Dada a relevância econômica da soja para o Brasil e o aumento da demanda do mercado, é crucial garantir a produção de sementes de alta qualidade. Essas sementes, como principal insumo agrícola, devem apresentar atributos essenciais, como elevado vigor, alta taxa de germinação, sanidade e pureza genética e física, características que contribuem para promover um estande uniforme e saudável, maximizando o potencial produtivo das plantas (PELISSARI & COIMBRA, 2023).

Para alcançar esses altos padrões de qualidade, a condução cuidadosa de etapas como escolha da área, espécie, cultivar e manejo do campo é imprescindível. Problemas nessas etapas podem levar à presença de sementes de outras cultivares, que são difíceis de eliminar completamente no processo de beneficiamento, comprometendo a pureza e qualidade final das sementes (SOUZA, 2022).

O beneficiamento de sementes é uma etapa fundamental para garantir a eficiência na produção agrícola, ocorrendo logo após a colheita e se estendendo até a embalagem e distribuição das sementes (PESKE, et al., 2019b). O beneficiamento de sementes de soja é projetado para aprimorar tanto as características físicas quanto fisiológicas dos lotes de sementes, promovendo uniformidade e alta qualidade no produto final (TROGELLO et al., 2013; MELO et al., 2016).

Esse processo consiste em um conjunto de operações que visa realizar a remoção de impurezas e a seleção de sementes com base em atributos físicos como tamanho, densidade, forma e peso, características que permitem uma separação eficiente dos materiais indesejados (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000). Os equipamentos na linha de beneficiamento utilizam essas diferenças físicas para garantir que as sementes selecionadas sejam de alta qualidade, com pureza física e uniformidade. Com essa qualidade aprimorada, as sementes apresentam desempenho superior durante a germinação e o desenvolvimento, contribuindo diretamente para uma produtividade mais inovadora e produtiva (SILVA et al., 2011; PEREIRA et al., 2012; MOREANO et al., 2013).

O separador de espiral é um equipamento de grande importância dentro da linha de beneficiamento, pois realiza a separação de sementes de soja pelo princípio da diferença quanto à forma física, o equipamento realiza a separação de sementes esféricas sadias de seus contaminantes que apresentam outro formato, como sementes partidas, defeituosas, atacadas por insetos e patógenos (PERES et al., 2015; PESKE et al., 2019b; PEDÓ et al., 2022). Mesmo o separador de espiral convencional apresentando resultados satisfatórios na separação de sementes de soja a partir de diferentes formas, ele apresenta alta taxa de descarte de sementes de qualidade por lote (ZAGUI; NERES, 2018). Também é possível ocorrer a utilização incorreta do equipamento, podendo ocasionar danos mecânicos as sementes que passam pelo equipamento (VILLELA e PESKE, 1988).

O setor sementeiro tem avançado continuamente com a incorporação de novas tecnologias que aprimoram a eficiência no beneficiamento de sementes. Um exemplo é o separador de espiral rotativo, que, assim como o modelo convencional, utiliza forças centrífuga e gravitacional para a separação das sementes. No entanto, destaca-se a apresentação de ajustes adicionais, como controle de velocidade de rotação, regulação do fluxo de alimentação e um eixo com capacidade de rotação nos sentidos horário e anti-horário. Essas características permitem que as sementes

sejam aceleradas ou desaceleradas conforme a configuração e a qualidade física do lote, otimizando o processo de separação e promovendo maior precisão na separação (PERES et al., 2015; PROFILE, 2023).

Apesar dos avanços tecnológicos no beneficiamento de sementes, ainda há uma lacuna na literatura referente à quantificação do desempenho das novas máquinas e equipamentos em comparação com aqueles tradicionalmente utilizados nas unidades de beneficiamento. No contexto da soja, essa lacuna se torna ainda mais evidente quando se considera o uso de separadores de espiral, uma tecnologia relativamente recente no Brasil. A escassez de estudos sobre esses equipamentos reforça a necessidade de investigações mais aprofundadas, tanto para validar as informações disponíveis quanto para avaliar sua eficiência e impacto na qualidade das sementes processadas.

A relevância dessa pesquisa justifica-se pelo impacto direto do beneficiamento de sementes na produtividade agrícola. O separador de espiral fixo, amplamente utilizado, pode resultar em um maior descarte de sementes viáveis, enquanto o separador de espiral rotativo permite ajustes que potencialmente otimizam a separação, reduzindo perdas e aumentando a eficiência do processo. Além disso, a ausência de estudos comparativos entre esses dois equipamentos evidencia a necessidade de avaliar suas performances, contribuindo para a inovação tecnológica e a economia no setor sementeiro. Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo principal comparar a eficiência dos separadores de espiral fixo e rotativo no beneficiamento de sementes de soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Produção de soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é uma espécie da família Fabaceae, originária da China, onde foi domesticada há milhares de anos. Sua composição nutricional rica em proteínas de alta qualidade e óleo vegetal fez com que essa cultura se tornasse essencial na alimentação humana e animal ao longo da história, além de ser amplamente utilizada em diversos setores industriais (GAZZONI; DALL'AGNOL, 2018; HIRAKURI et al., 2021). Atualmente, a soja desempenha papel estratégico na segurança alimentar global, sendo um dos pilares no fornecimento de proteína acessível e em larga escala.

No cenário econômico, a soja é um motor de crescimento para os principais países produtores, com destaque para o Brasil, Estados Unidos e Argentina. O Brasil, em particular, é o maior exportador mundial e figura como líder em produtividade, sendo peça-chave no mercado global da aleuro-oleaginosa (USDA, 2024). A cultura da soja também é essencial para o desenvolvimento econômico e social, promovendo sustentabilidade e melhoria na qualidade de vida tanto para grandes quanto para pequenos produtores (PEREIRA, 2022).

Além de atender à demanda crescente por alimentos, a soja tem impacto direto nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), principalmente no combate à fome e no incentivo à agricultura sustentável. Sua produção tem contribuído para a modernização do agronegócio brasileiro, viabilizando avanços tecnológicos, expansão de áreas produtivas no Cerrado e interiorização de polos econômicos no país (DE FARIAS; ZAMBERLAN, 2013).

Nos últimos 50 anos, a cultura da soja registrou o maior crescimento entre as principais *commodities* agrícolas no Brasil. Entre 1976 e 2024, a produção passou de 12,145 milhões para cerca de 167,370 milhões de toneladas, representando um aumento de aproximadamente 13,8 vezes. Durante o mesmo período, a área plantada cresceu cerca de 6,8 vezes, de 6,95 milhões para aproximadamente 47,451 milhões de hectares (CONAB, 2025). Nesse contexto, a soja não só fortaleceu a agroindústria nacional, especialmente no setor de carnes, como também expandiu seu uso para aplicações não convencionais, como

biocombustíveis, cosméticos e produtos farmacêuticos, aumentando sua relevância econômica e ambiental (GAZZONI; DALL'AGNOL, 2018).

Esse crescimento está diretamente ligado à qualidade das sementes utilizadas. Sementes de qualidade superior são consideradas essenciais para elevar a produtividade, garantir sustentabilidade no setor agrícola e atender à demanda por alimentos e insumos industriais (PESKE et al., 2019a; ABRASEM, 2020).

2.2.Importância da utilização de sementes de soja de qualidade

Entre os principais fatores que contribuem para o sucesso das lavouras, a qualidade das sementes ocupa um papel central, especialmente no que diz respeito à germinação, vigor e pureza genética (EMBRAPA, 2000; FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI, 2018). As sementes também desempenham um papel essencial na transferência de inovações tecnológicas e no aproveitamento dos ganhos genéticos provenientes de programas de melhoramento. A análise da qualidade fisiológica de sementes de soja tem sido uma preocupação constante entre produtores e pesquisadores, dada a relevância desse aspecto para alcançar altos níveis de desempenho nos lotes comercializados. Essa atenção reflete os desafios enfrentados na obtenção de resultados consistentes, que garantam o estabelecimento inicial adequado das culturas e, conseqüentemente, o aumento da produtividade no campo (FERRAZZA et al., 2020).

As sementes apresentam atributos relacionados à qualidade genética, física, fisiológica e sanitária, os quais favorecem um elevado potencial de desempenho agrônômico, elemento essencial para o bom estabelecimento de uma lavoura. No caso específico da soja, para que uma semente seja considerada de alta qualidade, é necessário que possua características físicas e sanitárias superiores, como elevado vigor, alta germinação e sanidade, além de garantir pureza física e varietal, e sem a presença de sementes de plantas daninhas. Esses fatores desempenham um papel importante no desempenho da semente em campo, permitindo o estabelecimento adequado da densidade populacional da cultivar, requisito primordial para alcançar altos índices de produtividade (FRANÇA NETO et al., 2010).

Em conformidade com a Instrução Normativa nº 45, emitida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) em 17 de setembro de 2013,

foram definidos os padrões mínimos necessários para a produção e comercialização de sementes de soja no Brasil. Esses critérios incluem pureza física mínima de 99% e uma germinação de pelo menos 80%. No entanto, ainda não há uma regulamentação oficial que estipule padrões mínimos relacionados ao vigor das sementes. No entanto, para maximizar o potencial produtivo, é essencial utilizar sementes com qualidade fisiológica superior a 80% de germinação, conforme demonstrado por Bagateli et al., (2019), que destaca a importância de altos índices de vigor para um melhor estabelecimento da lavoura.

A qualidade das sementes de soja é impactada por uma ampla gama de fatores, que podem ocorrer desde a fase de produção no campo até as etapas pós-colheita, como secagem, beneficiamento, armazenamento, transporte e semeadura (FRANÇA NETO et al., 2016). Entre os principais fatores estão condições climáticas adversas durante a maturação, como temperaturas extremas e oscilações na umidade do ambiente, incluindo períodos de seca, além de deficiências nutricionais nas plantas, ataque de insetos e o uso de técnicas inadequadas em processos como colheita, secagem e armazenamento (POPINIGIS, 1985). Assim, todo o ciclo produtivo, desde a semeadura até a colheita, pode impactar a qualidade das sementes, sendo necessária a aplicação de um controle de qualidade rigoroso, incluindo análise e certificação das sementes, para garantir lotes com alta pureza e elevado vigor (FRANÇA NETO, 2019).

Portanto, para o sucesso no cultivo da soja é indispensável a produção e a utilização de sementes de alta qualidade. Além dos fatores genéticos e de manejo no campo, a qualidade das sementes também é impactada por etapas como colheita, secagem, beneficiamento, armazenamento e semeadura (FERREIRA; SÁ, 2010). O beneficiamento, em particular, desempenha um papel crucial na preservação dos atributos fisiológicos das sementes dentro de seus lotes, garantindo a continuidade reprodutiva da espécie (PERES et al., 2015). Assim, a adoção de um programa de controle de qualidade eficiente, adaptável e confiável é indispensável para garantir resultados precisos e consistentes (FRANÇA NETO; KRZYZANOWSKI, 2018).

2.3. Beneficiamento de sementes de soja

Para garantir a produção de sementes de alta qualidade, é fundamental adotar práticas rigorosas ao longo de todo o ciclo produtivo (PESKE et al., 2019a). Esse processo começa com o manejo adequado da lavoura, incluindo a seleção de cultivares, controle de pragas e doenças, e monitoramento das condições climáticas. Na colheita, é essencial minimizar danos mecânicos que possam comprometer a viabilidade das sementes. As etapas pós-colheita, como o beneficiamento, a secagem e o armazenamento, desempenham um papel crucial na preservação do vigor e da germinação das sementes, garantindo que mantenham seu potencial produtivo até o momento da semeadura (OLIVEIRA et al., 2021). Nesse contexto, o beneficiamento de sementes é essencial para a obtenção de lotes de alta qualidade, englobando uma série de operações que se iniciam na colheita e se estendem até a embalagem e distribuição, assegurando a uniformidade, pureza física e sanidade das sementes para um melhor desempenho no campo (PESKE; BAUDET, 2006).

O beneficiamento de sementes é uma das etapas mais importantes para garantir a obtenção de sementes de alta qualidade, proporcionando diversas vantagens, como o realce das boas características do lote, a melhoria na uniformidade e qualidade das sementes, além de facilitar a comercialização, permitindo ao produtor obter preços mais elevados e ao agricultor adquirir um produto padronizado e de melhor desempenho (TOLEDO; MARCOS FILHO, 1977). O beneficiamento visa, sobretudo, aprimorar as características físicas e fisiológicas do lote, promovendo sua uniformização e elevando sua qualidade, o que resulta em maior vigor e potencial germinativo (TROGELLO et al., 2013; PERES et al., 2015; MELO et al., 2016).

A etapa inicial do beneficiamento tem como principal objetivo eliminar impurezas e materiais indesejados que possam estar presentes nas sementes desde a colheita até sua chegada à Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS). Nesse processo, são removidos resíduos vegetais, sementes malformadas ou danificadas, torrões de solo, sementes de outras espécies e aquelas contaminadas por patógenos, além de fragmentos como vagens, ramos e insetos. A retirada desses contaminantes é fundamental para assegurar a pureza física do lote, reduzindo a presença de sementes de plantas invasoras e melhorando a

qualidade final das sementes, o que contribui diretamente para seu potencial produtivo (PEREIRA et al., 2012).

Conforme as sementes passam pelas diferentes máquinas e etapas do beneficiamento, os materiais indesejados são removidos com base em determinadas características físicas diferenciais, por exemplo, densidade, tamanho, formato e massa específica (MOREANO et al., 2013). O funcionamento das máquinas de beneficiamento é fundamentado nessas diferenças físicas entre as sementes e as impurezas, permitindo a separação eficiente dos componentes indesejados. A escolha dos equipamentos e a sequência das operações variam de acordo com o tipo e a espécie da semente, a natureza e quantidade de impurezas presentes, além das características desejadas do lote beneficiado. Dessa forma, nem todos os lotes seguem a mesma ordem durante o beneficiamento, sendo necessário ajustar o processo conforme as particularidades de cada material recebido (FERREIRA; SÁ, 2010; LOPES et al., 2011).

Dentre as principais etapas do beneficiamento das sementes, a padronização do tamanho se destaca como um dos focos principais, pois facilita a operação das máquinas, melhora a semeadura e contribui para a qualidade da semeadura, tornando-o mais eficiente e agregando valor ao produto (VAUGHAN et al., 1976). Além disso, esse processo envolve a remoção de sementes danificadas ou deterioradas, a aplicação de produtos químicos, como fungicidas e inseticidas quando necessário, e a embalagem adequada para comercialização (FRANÇA NETO et al., 2016). A eliminação de sementes comprometidas por pragas, patógenos ou danos mecânicos também desempenha um papel essencial, garantindo um lote mais homogêneo e com maior potencial produtivo (PESKE et al., 2019b; OLIVEIRA et al., 2021). Dessa forma, ao assegurar uniformidade, sanidade e viabilidade, a padronização do tamanho das sementes se torna um fator indispensável para a eficiência do beneficiamento e o sucesso da produção agrícola.

A produção de sementes de soja de alta qualidade enfrenta diversos desafios, sendo os principais o dano mecânico causado pelo uso de máquinas e equipamentos, a exposição à umidade devido à colheita em períodos inadequados, como durante chuvas, e os prejuízos provocados por microrganismos e insetos (BAUDET et al., 1978; CRUZ et al., 2022). A soja apresenta alta sensibilidade a danos mecânicos, pois suas estruturas vitais, como radícula, hipocótilo e plúmula,

encontram-se sob um tegumento bastante fino, oferecendo pouca proteção contra impactos (FRANÇA-NETO; HENNING, 1984).

Durante o beneficiamento, as sementes podem sofrer danos mecânicos ao entrarem em contato com superfícies rígidas nos diferentes equipamentos da Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS), resultando em quebras, fissuras e abrasões que comprometem sua qualidade (BAUDET et al., 1978). Esses impactos mecânicos afetam negativamente a germinação e o vigor, além de dificultarem as etapas subsequentes do beneficiamento, tornando o dano mecânico um dos principais desafios para a obtenção de sementes de alta qualidade (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA NETO, 1999). A severidade desses danos está diretamente ligada à velocidade do impacto e ao tipo de equipamento utilizado, tanto na colheita quanto no beneficiamento. Sementes submetidas a impactos de alta velocidade tendem a sofrer maior comprometimento da integridade física, o que reduz sua qualidade e potencial produtivo (ROCHA, 2023).

Para garantir a produção de sementes com alta qualidade, é essencial um planejamento eficiente das operações, reduzindo os impactos físicos que possam comprometer sua integridade e desempenho (OLIVEIRA, 1997). Desta forma, a adoção de técnicas e padrões adequados torna-se necessária para garantir sementes com elevados índices de vigor e germinação, além de minimizar danos que possam afetar seu potencial produtivo (ROCHA, 2023).

2.4. Separador de espiral fixo

Na linha de beneficiamento de sementes de soja, um dos equipamentos utilizados para a separação é o separador de espiral, que opera de forma estática (não há partes móveis) e depende da força gravitacional para separar as sementes com base em seu formato e densidade (VILLELA e PESKE, 1988; PESKE et al., 2019b).

O separador de espiral fixo é um equipamento que opera com base na força gravitacional e na diferença de esfericidade entre as sementes. Sua estrutura é composta por duas chapas metálicas espiraladas e concêntricas, dispostas verticalmente em um ângulo específico em relação a um eixo central fixo, com um espaçamento definido pelo fabricante, envolvendo as espirais internas (VILLELA e PESKE, 1988; CARVALHO e NAKAGAWA, 2000; FRANCO, 2023). O sistema de alimentação do equipamento está localizado na parte superior, onde as sementes

são despejadas na espiral interna. Conforme a massa de sementes se desloca para baixo pela ação da gravidade, inicia-se o processo de separação. O equipamento permite a distinção das sementes por seu formato, peso específico e capacidade de rolagem, eliminando impurezas e sementes defeituosas, como as quebradas, trincadas, malformadas ou atacadas por insetos e patógenos (PERES et al., 2015).

O funcionamento do separador ocorre à medida que as sementes percorrem a estrutura espiralada. As que possuem formato mais arredondado adquirem maior velocidade e, devido à força centrífuga, deslocam-se da espiral interna para a externa, sendo posteriormente descarregadas em uma saída específica direcionadas para o próximo equipamento. Já as sementes de formato irregular, com menores velocidades de rolagem, permanecem na espiral interna e são direcionadas para o descarte (CARVALHO; NAKAGAWA, 2020). Esse processo permite a separação das sementes com base em sua esfericidade, garantindo que aquelas com melhor conformação sejam selecionadas para a comercialização, enquanto sementes verdes, malformadas ou danificadas por insetos são separadas (VAUGHAN et al., 1976; CONRAD, 2016).

Um dos principais desafios no uso do separador de espiral fixo no beneficiamento de sementes de soja é reduzir o descarte de sementes com qualidade superior. De acordo com Risse et al. (1991), embora esse equipamento seja eficiente na seleção do lote com base em características físicas e fisiológicas, pode resultar em um percentual significativo de descarte. Jarrin (1979) também aponta que, além da remoção de impurezas, a eficiência do separador de espiral está diretamente ligada à possibilidade de eliminação de sementes viáveis junto aos materiais indesejáveis. E ainda, com o uso inadequado do equipamento é possível causar danos mecânicos, especialmente em cultivares com sementes mais esféricas, que tendem a atingir maiores velocidades dentro do equipamento. Esse aumento de velocidade pode fazer com que as sementes colidam com a estrutura do separador, resultando em impactos que comprometem sua qualidade e vigor (VILLELA; PESKE, 1988).

2.5. Separador de espiral rotativo

Nos últimos anos, o setor de sementes tem passado por uma grande transformação devido à incorporação de tecnologias avançadas, resultando em

melhorias significativas nos processos de beneficiamento. Investimentos em inovação têm impulsionado o desenvolvimento de embalagens aprimoradas, sistemas eficientes de resfriamento e secagem, além da comercialização baseada no número de sementes, certificação, rastreabilidade e tratamento industrial. Esses avanços refletem o esforço contínuo em otimizar a qualidade e eficiência dos processos, contribuindo para maior produtividade agrícola e sustentabilidade do setor (ABRASEM, 2020).

Entre as inovações mais relevantes está a automação do beneficiamento, que integra sistemas automatizados, sensores de alta precisão e softwares de controle para monitoramento das operações em tempo real. Essa modernização possibilita um acompanhamento detalhado desde a limpeza inicial até a classificação final das sementes, reduzindo falhas operacionais e garantindo maior eficiência no beneficiamento (VIEIRA, 2007). Além disso, equipamentos foram aprimorados para minimizar o descarte de sementes viáveis, como no caso do separador espiral rotativo, que representa uma alternativa para reduzir o descarte excessivo e otimizar a limpeza (PESKE, 2021).

O principal diferencial do separador de espiral rotativo é a presença de um eixo que pode girar tanto no sentido horário quanto no anti-horário, que ainda permite o ajuste da velocidade de rotação conforme a necessidade do processo. Além disso, é possível ajustar sua alimentação, modificando os discos (com diferentes tamanhos de orifício) na entrada do equipamento. Outra característica desse equipamento é a possibilidade de operação sem a rotação do eixo central, funcionando de maneira estática, caso necessário (PROFILE, 2023).

Os separadores de espiral rotativo utilizados na linha de produção de uma Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS) possuem quatro espirais e uma capacidade operacional de até cinco toneladas por hora. A estrutura do equipamento tem um peso de 150 kg e sua base inferior é fabricada em chapa galvanizada, com dimensões de 1,30 x 1,30 m e altura de 2,30 m. Para facilitar a observação do processo, o equipamento conta com duas janelas laterais fixas de acrílico, além de um design que permite uma instalação simples, funcionamento silencioso e evita a projeção das sementes para fora do equipamento durante o beneficiamento (PROFILE, 2023).

Internamente, o separador é equipado com cortinas de Etileno Acetato de Vinila (EVA), estrategicamente posicionadas para minimizar os danos mecânicos e

restringir o deslocamento das sementes entre os diferentes núcleos do equipamento, que geralmente contém quatro unidades. O motor de acionamento possui uma potência de 400W, proporcionando baixo consumo energético e garantindo eficiência no processamento dentro da UBS (PROFILE, 2023).

O separador de espiral rotativo se destaca por permitir o ajuste da velocidade de rotação do eixo central, o que possibilita um controle mais preciso sobre a separação das sementes. Esse mecanismo faz com que as sementes de menor velocidade permaneçam no interior do espiral, independentemente do seu tamanho. Comparado ao modelo fixo, que cujo descarte pode ser muito superior ao modelo rotativo (PESKE, 2021). Além disso, sua ampla gama de regulagens, como o controle variável de velocidade de rotação, o ajuste do sentido de giro e a possibilidade de modulação do fluxo, contribuem para um beneficiamento mais eficiente. (SEED NEWS, 2023).

O princípio de separação no espiral rotativo é semelhante ao do modelo tradicional, diferenciando-se pelo impacto direto da velocidade de rotação, ajustável por um inversor de frequência. Quando a rotação é aumentada, mais sementes esféricas, bem como algumas menos esféricas, são direcionadas para a parte externa das espirais. Por outro lado, ao reduzir gradualmente a velocidade, as sementes menos esféricas deixam de migrar para a extremidade e permanecem na parte interna. Essa regulagem fina permite um controle preciso do fluxo de sementes e da qualidade da separação (PROFILE, 2023). A variação da velocidade do eixo central é gerenciada por um inversor de frequência variável (VFD), um dispositivo eletrônico que controla o motor elétrico ao ajustar a frequência da corrente elétrica e a tensão da fonte de alimentação. Esse sistema não apenas permite o ajuste da velocidade de rotação do motor, mas também contribui para a eficiência energética e a otimização do consumo de potência (FRANCO, 2023).

Do ponto de vista operacional, a ineficiência na separação das sementes geralmente ocorre devido a uma velocidade de rotação inadequada ou à escolha incorreta do tamanho do disco responsável pelo controle da vazão de entrada no equipamento (SILVA, 2023). Para garantir uma separação eficiente, é essencial ajustar corretamente esses parâmetros, considerando o tamanho das sementes a serem classificadas. Além disso, em alguns casos, pode ser necessário modificar o sentido de rotação para otimizar o desempenho do processo (PROFILE, 2023).

3 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de sementes para a realização do experimento foram coletadas em um separador de espiral rotativo produzido pela Profile®, nas dependências da linha de beneficiamento da Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS) da empresa Cambaí Sementes®, localizada no município de São Luiz Gonzaga/RS. As análises laboratoriais e o experimento com o separador de espiral fixo de laboratório foram realizados no Laboratório de Agrotecnologia e Laboratório Didático de Análise de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, localizados no município de Capão do Leão, no estado do Rio Grande do Sul.

Foram utilizadas sementes de soja das cultivares 54IX57® e FIBRA IPRO®, que anteriormente já tinham passado pelos equipamentos, da marca PETKUS®, de pré-limpeza, limpeza e classificadas em dois tamanhos de perfuração da peneira (P1: 5,0 – 6,0 mm e P2: 6,0 – 7,0 mm). O separador de espiral rotativo foi utilizado nas velocidades correspondentes às frequências de 28 Hz para a cultivar FIBRA IPRO® e 19,5 Hz para a cultivar 54IX57® e a alimentação de sementes de soja no equipamento com a utilização de arruelas de diâmetro 41 mm. As velocidades e o tamanho das arruelas utilizadas foram definidos a partir de ensaios preliminares, em que houve maior eficiência do equipamento com essas configurações. As análises de fluxo, aproveitamento e descarte de sementes, foram realizadas em um separador de espiral rotativo de laboratório da marca Profile® no laboratório de Agrotecnologia.

Para as análises laboratoriais do separador de espiral fixo, foram coletados 40 kg de sementes de cada uma das duas cultivares, que também passaram pelos equipamentos de pré-limpeza, limpeza e classificação na UBS Cambaí Sementes®. No Laboratório de Agrotecnologia da UFPEL, essas sementes foram beneficiadas em um separador de espiral fixo de laboratório, que foi projetado para operar com capacidade operacional de 1 tonelada por hora, embora não existam registros da época que confirmem esse valor. Suas dimensões são 1,0 x 1,0 m de largura e 1,09 m de altura, sendo composto por uma espiral de 48 cm de largura e 25 cm de passo (distância entre espirais), os 40 kg de sementes de soja de cada cultivar

foram colocados em uma tulha acima do separador de espiral fixo, e foram passados pelo separador de espiral três vezes, gerando as amostras de alimentação, aproveitamento e descarte necessárias para os testes e análises.

Para avaliação da qualidade física e fisiológica das sementes de soja, foram conduzidos os seguintes testes:

Aproveitamento e descarte de sementes: o aproveitamento de sementes foi obtido através da divisão da massa do material recuperado na fração de sementes descarregadas da espiral e, o descarte, da fração de sementes que permaneceu na espiral, pela massa da fração colocada no depósito de alimentação, convertendo em percentual de aproveitamento e de descarte, respectivamente.

Fluxo de sementes: foi determinado calculando-se a razão entre a massa inicial de sementes inserida no separador de espiral e o tempo necessário para que essa massa atravessasse completamente o equipamento. O resultado foi expresso em quilogramas por hora (kg/h).

Análise de pureza física: foi realizado conforme as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009), sendo cada amostra separada em sementes puras, material inerte e outras sementes, indicadas em porcentagem por peso da amostra de trabalho (500g) de cada etapa.

Peso de mil sementes: foram utilizadas oito sub amostras de 100 sementes, em umidade padrão de 13%. Os procedimentos foram realizados conforme descrito nas RAS (BRASIL, 2009).

Germinação: foram realizadas com quatro subamostras de 50 sementes, dispostas em substrato de papel Germitest®, umedecido com água destilada, utilizando-se 2,5 vezes o peso do papel seco e mantidas em BOD à temperatura de 25°C. As avaliações foram efetuadas ao 5º (Primeira Contagem de Germinação) e 8º dia após a semeadura, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme RAS (BRASIL, 2009).

Comprimento de parte aérea e raízes: a determinação foi adaptada de Krzyzanowski et al. (1999) e Brunet et al. (2019), sendo avaliadas no 5º dia após a montagem do teste de germinação. Para cada repetição de germinação, foram medidos os comprimentos de parte aérea e raiz de quinze plântulas normais, selecionadas aleatoriamente, para cada tratamento. Para realizar a medição das plântulas, utilizou-se o sistema de análise de imagens GroundEye®, desenvolvido

pela empresa Tbit Tecnologia S.A. Esse equipamento é composto por um módulo de captura de imagens que conta com duas câmeras de alta resolução posicionadas estrategicamente, uma acima e outra abaixo de uma bandeja central de acrílico. Além disso, o sistema possui um software integrado responsável pelo processamento e avaliação das imagens capturadas. Os resultados foram expressos em centímetros.

Massa seca de parte aérea e raízes: as 15 plântulas normais do teste de germinação (4x50) foram removidas do substrato e contabilizadas após o período de permanência no germinador. Em seguida, as plântulas, já desprovidas de cotilédones, foram cortadas, divididas em parte aérea e raízes e foram acondicionadas em sacos de papel, separadas por repetição, e submetidas à secagem em estufa a 80°C por 24 horas. Após o processo de secagem, o material foi pesado, e o peso da biomassa seca foi calculado dividindo-se o peso total pelo número de plântulas normais.

Envelhecimento acelerado: duzentas e cinquenta sementes foram dispostas em camada única sobre uma tela de aço inox, acoplada no interior de caixas plásticas transparentes do tipo gerbox (11,5 x 11,5 x 3,5 cm), contendo 40 mL de água destilada (MARCOS FILHO, 2020). Posteriormente, as caixas foram tampadas e transferidas para BOD a 41°C por 48 horas. Após esse intervalo, cada tratamento, em três repetições, foi avaliado por meio do teste de germinação, seguindo as diretrizes estabelecidas pelas Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009). A contagem de plântulas normais foi realizada no quinto dia após a semeadura, determinando-se a porcentagem correspondente em cada repetição.

Condutividade elétrica: foram utilizadas 25 sementes por subunidade, para cada repetição. As sementes foram pesadas, imersas em recipientes contendo 80mL de água deionizada e, mantidas por um período de 24 horas em BOD à temperatura de 25°C. Após, realizou-se a leitura da condutividade elétrica da solução com o auxílio de um condutivímetro digital. Os resultados foram expressos em $\mu\text{Sm}^{-1}\text{g}^{-1}$ de sementes, conforme metodologia adaptada de Krzyzanowski et al. (2020a).

3.1 Procedimento experimental

Foi utilizado delineamento inteiramente ao acaso (DIC) e esquema fatorial 2 x 2 x 3, correspondendo a dois tamanhos de perfuração da peneira (5,0 – 6,0 mm e 6,0 – 7,0 mm), dois tipos de espiral (fixo e rotativo) e três pontos de coleta de amostras (alimentação, aproveitamento e descarte), respectivamente, com três repetições por tratamento. Nas análises de fluxo, aproveitamento e descarte de sementes também foi utilizado o delineamento inteiramente ao acaso (DIC) em esquema fatorial 2 x 2 x 2, correspondendo a duas cultivares (FIBRA IPRO e 54IX57), dois tamanhos de perfuração da peneira (5,0 – 6,0 mm e 6,0 – 7,0 mm), dois tipos de espiral (fixo e rotativo), respectivamente, com três repetições por tratamento.

Os dados foram avaliados quanto à normalidade dos erros e homogeneidade da variância e, posteriormente, foram submetidos à análise de variância. E as médias foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de probabilidade de 5%. A análise estatística foi realizada usando o programa estatístico Speed Stat 3.4® (CARVALHO et al., 2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A eficiência do processo de separação das sementes é fundamental para garantir a qualidade do lote e maximizar o aproveitamento do material com elevado potencial fisiológico. A Tabela 1 apresenta os dados referentes ao fluxo de sementes no equipamento, bem como os percentuais de aproveitamento e descarte nos separadores de espiral fixo e rotativo para as cultivares FIBRA IPRO e 54IX57.

Tabela 1 - Comparação de médias do fluxo no equipamento, porcentagem de aproveitamento e descarte de sementes, de duas cultivares (FIBRA IPRO e 54IX57) e dois tamanhos (P1 e P2) beneficiadas em separador de espiral fixo (EF) e rotativo (ER).

	Fluxo de Sementes (kg/h)				Aproveitamento de Sementes (%)				Descarte de Sementes (%)			
	Fixo											
	FIBRA IPRO		54IX57		FIBRA IPRO		54IX57		FIBRA IPRO		54IX57	
P1	481,40	aBβ	481,40	aBβ	90,85	aAβ	88,96	aAβ	9,08	aAα	10,87	aAα
P2	561,90	aAβ	568,80	aAα	91,28	aAβ	94,10	aAα	8,55	aAα	3,86	aBα
	Rotativo											
	FIBRA IPRO		54IX57		FIBRA IPRO		54IX57		FIBRA IPRO		54IX57	
P1	748,18	aAα	642,74	bAα	96,73	aAα	97,04	aAα	2,81	aAβ	2,67	aAβ
P2	655,40	aBα	607,59	aAα	97,74	aAα	97,92	aAα	2,26	aAβ	2,08	aAα
	CV (%) 5,58				CV (%) 3,15				CV (%) 60,25			

Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha (em cada variável resposta), maiúscula na coluna (em cada fração de sementes) e grega entre quadros (em cada tipo de separador), não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Observa-se que o fluxo de sementes no separador de espiral rotativo foi superior ao registrado no separador de espiral fixo, particularmente para a cultivar FIBRA IPRO, na qual o fluxo atingiu 748,18 kg/h em P1 e 655,40 kg/h em P2. Um acréscimo de fluxo de 35,7% em P1 e 14,3% em P2. Já para a cultivar 54IX57, os valores foram inferiores, mas ainda assim ligeiramente mais elevados no separador de espiral rotativo. Um aumento de fluxo de 25,1% em P1 e 6,3% em P2. Esse incremento no fluxo pode estar relacionado à dinâmica do movimento das sementes no equipamento, visto que a rotação do eixo da espiral pode reduzir o atrito e facilitar a passagem das sementes, aumentando a capacidade operacional do sistema (FRANCO, 2023).

No que se refere ao percentual de aproveitamento das sementes, verifica-se que o separador de espiral rotativo resultou em valores superiores aos do separador de espiral fixo, com destaque para a cultivar FIBRA IPRO, que apresentou 96,73% e 97,74% de aproveitamento para P1 e P2, respectivamente. A

cultivar 54IX57 também seguiu essa tendência, com valores próximos de 97%. Essa maior taxa de aproveitamento está associada à menor retenção de sementes viáveis em regiões de descarte, característica que confere ao separador de espiral rotativo um melhor desempenho na separação de sementes de alta qualidade.

O aproveitamento das sementes, na cultivar FIBRA IPRO, para os dois separadores de espiral não se observou diferença significativa entre os tamanhos de sementes, perfazendo 91,1% no separador de espiral fixo e 97,2% no separador de espiral rotativo, sendo a diferença de 6,1 pontos percentuais. Na cultivar 54IX57, o aproveitamento médio de sementes, para os dois tamanhos de sementes (P1 e P2), no separador de espiral fixo totalizou 91,5% e no separador de espiral rotativo 97,4%, com uma diferença de 5,9 pontos percentuais.

Em relação ao descarte, nota-se uma redução significativa ao utilizar o separador de espiral rotativo, especialmente para a cultivar FIBRA IPRO, com valores de apenas 2,81% em P1 e 2,26% em P2. A cultivar 54IX57 apresentou comportamento semelhante, evidenciando que o sistema rotativo tem maior eficiência na separação e minimiza o descarte de sementes potencialmente vigorosas. Essa diferença significativa reforça que o mecanismo rotativo pode ser mais eficiente na segregação de sementes, evitando que materiais de boa qualidade sejam descartados indevidamente.

Na cultivar FIBRA IPRO, o descarte médio, para os dois tamanhos de sementes (P1 e P2), atingiu 8,9% no separador de espiral fixo e 2,7% no separador de espiral rotativo, ou seja, uma diferença de 6,2 pontos percentuais. Na cultivar 54IX57, o descarte médio, para os dois tamanhos de sementes (P1 e P2), alcançou 8,4% no separador de espiral fixo e 2,4% no separador de espiral rotativo, representando, uma diferença de 6,0 pontos percentuais.

A Tabela 2 apresenta os resultados referentes à qualidade física das sementes de soja, avaliadas por meio da pureza física e do peso de mil sementes (PMS), para duas cultivares (FIBRA IPRO e 54IX57), em dois tipos de separadores de espiral (fixo e rotativo), considerando três pontos de coleta no equipamento (alimentação, aproveitamento e descarte) e dois tamanhos de perfuração da peneira.

Os valores de pureza física das sementes indicam que, para ambas as cultivares, os lotes analisados apresentaram elevados índices na alimentação e no aproveitamento, sempre superiores a 98% em todas as condições analisadas.

Entretanto, no descarte, observou-se uma redução significativa nesses valores, especialmente para a cultivar 54IX57, caracterizada por sementes mais esféricas. Nessa cultivar, o separador de espiral rotativo apresentou os menores índices de pureza física no descarte, atingindo 93,8% em P1 e 87,7% em P2, enquanto o separador de espiral fixo registrou valores superiores, variando entre 95,9% (P1) e 93,9% (P2).

Para a cultivar FIBRA IPRO, a pureza física das sementes descartadas pelo separador de espiral rotativo manteve-se constante em 97,8% para ambos os tamanhos (P1 e P2), enquanto no separador de espiral fixo houve uma variação entre 97,8% (P1) e 96,5% (P2). Esses resultados indicam que o separador de espiral fixo reteve uma maior quantidade de impurezas na fração de aproveitamento, enquanto o separador de espiral rotativo demonstrou maior seletividade ao direcionar sementes de menor qualidade para o descarte. A mesma tendência foi observada na cultivar 54IX57, em que o separador de espiral rotativo apresentou menores valores de pureza física no descarte em comparação ao fixo, reforçando sua eficiência na remoção de sementes de menor qualidade.

O melhor desempenho do separador de espiral rotativo na análise de pureza física, principalmente em sementes caracterizadas mais esféricas (cultivar 54IX57), pode ser atribuído à interação entre a forma das sementes e a força centrífuga gerada pelo movimento na calha espiralada (VILLELA, 1985). Sementes mais esféricas possuem menor coeficiente de atrito, rolando de maneira mais previsível e facilitando sua correta separação. Em contrapartida, sementes alongadas ou irregulares apresentam trajetórias menos previsíveis, podendo sofrer desvios que comprometem a precisão da separação. Estudos demonstram que a eficiência dos equipamentos gravitacionais depende diretamente de características como forma, densidade e coeficiente de atrito (MARCOS-FILHO, 2015; SILVA et al., 2024b). Além disso, França-Neto et al. (2016) e Franco (2023) apontam que espirais rotativas aprimoram a separação de sementes com alta esfericidade, minimizando a retenção indevida de sementes viáveis no descarte e justificando sua aplicação em beneficiamento de sementes.

O peso de mil sementes apresentou variações entre os diferentes tratamentos. Na cultivar FIBRA IPRO, verificou-se uma maior diferença significativa entre os pontos de coleta, especialmente no descarte, onde o separador de espiral rotativo apresentou um PMS maior (141,74g em P1 e 185,59g em P2) em

comparação com o fixo (138,80g em P1 e 183,19g em P2). A variável PMS apresenta limitações na comparação entre P1 e P2, uma vez que houve uma separação prévia com base no tamanho das sementes, o que pode influenciar os resultados obtidos.

A análise do peso de mil sementes indicou que o uso do separador de espiral rotativo não exerceu influência significativa na comparação com o separador de espiral fixo. As diferenças identificadas entre as cultivares podem ser atribuídas às suas características morfológicas, bem como ao tamanho das sementes após a classificação em peneiras de perfurações de diferentes dimensões. Resultados semelhantes foram reportados para essa análise por Franco (2023).

Esse comportamento pode estar relacionado a maior força centrífuga exercida, que desloca sementes mais pesadas para a fração de descarte. Estudos sobre separação gravitacional indicam que equipamentos centrífugos separam sementes não apenas por densidade, mas também por forma e textura da superfície (PESKE et al., 2019b). Assim, os resultados reforçam que o separador de espiral rotativo pode ser mais eficiente na segregação de sementes, destacando a importância de considerar as características físicas das sementes na escolha do método de separação mais adequado, considerando que o separador de espiral rotativo também pode operar de forma estática.

Tabela 2 – Comparação de médias da qualidade física das sementes – pureza física e peso de mil sementes (PMS), de duas cultivares (FIBRA IPRO e 54IX57) e dois tamanhos (P1 e P2) beneficiadas em separador de espiral fixo e rotativo

		Pureza física (%)		PMS (g)	
Cultivar	Tipo de Espiral	Alimentação			
FIBRA IPRO		P1	P2	P1	P2
	Fixo	99,4 aBα	99,3 aBα	140,18 Aα	183,49 Aα
	Rotativo	99,8 aAα	99,9 aAα	136,91 Bβ	184,22 Aα
	Aproveitamento				
		P1	P2	P1	P2
	Fixo	98,8 bBβ	99,6 aAα	136,27 Aβ	183,78 Aα
	Rotativo	99,9 aAα	99,9 aAα	134,64 Aβ	184,18 Aα
	Descarte				
		P1	P2	P1	P2
	Fixo	97,8 aAγ	96,5 bBβ	138,80 Bαβ	183,19 Bα
Rotativo	97,8 aAβ	97,8 aAβ	141,74 Aα	185,59 Aα	
		CV (%) 0,26		CV (%) 0,81	
54IX57		Alimentação			
		P1	P2	P1	P2
	Fixo	99,0 aAα	99,2 aAα	156,70 Aα	208,80 Aα
	Rotativo	99,1 aAα	99,4 aAα	155,41 Aα	204,58 Bβ
	Aproveitamento				
		P1	P2	P1	P2
	Fixo	99,3 aAα	99,3 aAα	157,07 Aα	207,09 Aα
	Rotativo	99,9 aAα	99,7 aAα	156,51 Aα	210,02 Aα
	Descarte				
		P1	P2	P1	P2
Fixo	95,9 aAβ	93,9 aAβ	156,53 Aα	202,90 Aβ	
Rotativo	93,8 aAβ	87,7 bBβ	157,58 Aα	204,50 Aβ	
		CV (%) 1,56		CV (%) 1,06	

Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha (em cada variável resposta), maiúscula na coluna (em cada fração de sementes) e grega entre quadros (em cada tipo de separador), não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A qualidade fisiológica das sementes foi verificada a partir das análises de primeira contagem de germinação (PCG) e germinação (Tabela 3). Observaram-se diferenças significativas entre os separadores de espiral fixo e rotativo, especialmente no descarte. Para a cultivar FIBRA IPRO, os valores de PCG e germinação foram semelhantes na alimentação e no aproveitamento entre os separadores, indicando que ambos os equipamentos mantiveram sementes fisiologicamente viáveis nessas frações. No entanto, no descarte, o separador de espiral rotativo apresentou redução expressiva na PCG (34% em P1 e 57% em P2) e na germinação (46% em P1 e 58% em P2), principalmente nas sementes de

tamanho menor, em relação ao separador fixo (PCG de 84% em P1 e 79% em P2; germinação de 89% em ambos os tamanhos).

Na cultivar 54IX57, os resultados foram semelhantes, mas com diferenças menores. Na alimentação e no aproveitamento, não houve diferenças significativas entre os separadores, confirmando que ambos os equipamentos preservaram sementes viáveis nessas frações. No descarte, o separador de espiral rotativo apresentou redução significativa na PCG (41% em P1 e 46% em P2) e na germinação (49% em P1 e 48% em P2), em comparação ao separador de espiral fixo (PCG de 81% em P1 e 78% em P2; germinação de 82% em P1 e 81% em P2).

Sementes com menor qualidade fisiológica geralmente apresentam menor massa específica, deformações, rugosidades ou superfícies irregulares devido a danos mecânicos, presença de fungos, ataque de pragas, afetando sua capacidade de germinação (SILVA et al., 2024a). Essas características influenciam diretamente sua movimentação em equipamentos de beneficiamento, como o separador de espiral, que utiliza essas diferenças físicas, como o peso, a densidade e formato para separar sementes de melhor qualidade.

A maior eficiência do separador de espiral rotativo na remoção de sementes com menor qualidade fisiológica pode ser atribuída à influência da velocidade de rotação no fluxo das sementes dentro do equipamento e à presença de cortinas de Etileno Acetato de Vinila (EVA), posicionadas no interior do equipamento para minimizar os danos mecânicos e restringir o deslocamento das sementes entre os diferentes núcleos. A força centrífuga gerada pelo movimento rotativo promove uma separação mais seletiva, permitindo que sementes de menor densidade sigam trajetórias diferenciadas, facilitando seu descarte. Além disso, a interação entre o formato das sementes e o fluxo helicoidal na espiral rotativa melhora a eficiência da separação, superando o desempenho do separador de espiral fixo, que opera predominantemente com base na gravidade e na fluidez do material beneficiado.

A germinação, conforme Peske et al. (2019a), é um processo fisiológico no qual a semente expressa seu potencial de desenvolvimento, sendo definido, na tecnologia de sementes, pela emergência e formação das estruturas essenciais do embrião. No entanto, Marcos-Filho (2020) destaca que altos índices de germinação nem sempre indicam vigor elevado, pois o teste de germinação é realizado em condições ideais, permitindo que o genótipo expresse seu desempenho máximo na formação de plântulas normais.

Tabela 3 – Comparação de médias da qualidade fisiológica das sementes – Primeira contagem de germinação (PCG) e germinação - de duas cultivares (FIBRA IPRO e 54IX57) e dois tamanhos (P1 e P2), beneficiadas em separador de espiral fixo e rotativo.

		PCG (%)		Germinação (%)	
Cultivar	Tipo de Espiral	Alimentação			
FIBRA IPRO		P1	P2	P1	P2
	Fixo	85 aAα	85 aAα	90 aAα	91 aAα
	Rotativo	84 aAα	79 aAα	85 aAα	81 aBα
	Aproveitamento				
		P1	P2	P1	P2
	Fixo	87 aAα	85 aAα	92 aAα	91 aAα
	Rotativo	83 aAα	79 aAα	85 aAα	83 aAα
	Descarte				
		P1	P2	P1	P2
	Fixo	84 aAα	79 aAα	89 aAα	89 aAα
Rotativo	34 bBβ	57 aBβ	46 aBβ	58 aBβ	
CV (%) 7,51			CV (%) 7,24		
54IX57		Alimentação			
		P1	P2	P1	P2
	Fixo	89 aAα	86 aAα	91 aAαβ	91 aAα
	Rotativo	88 aAα	82 bAα	89 aAα	85 aAα
	Aproveitamento				
		P1	P2	P1	P2
	Fixo	88 aAα	84 aAαβ	92 aAα	91 aAα
	Rotativo	86 aAα	86 aAα	89 aAα	87 aAα
	Descarte				
		P1	P2	P1	P2
Fixo	81 aAβ	78 aAβ	82 aAβ	81 aAβ	
Rotativo	41 aBβ	46 aBβ	49 aBβ	49 aBβ	
CV (%) 4,42			CV (%) 6,13		

Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha (em cada variável resposta), maiúscula na coluna (em cada fração de sementes) e grega entre quadros (em cada tipo de separador), não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O vigor, avaliado pelos testes de envelhecimento acelerado (EA) e pela condutividade elétrica (Tabela 4), é um fator determinante para o estabelecimento inicial das plântulas no campo, sendo que sementes de alto vigor são potencialmente capazes de apresentar um bom desempenho, mesmo em condições menos favoráveis ao crescimento da espécie (TILLMANN et al., 2019).

O teste de envelhecimento acelerado avalia a capacidade das sementes de manter seu potencial fisiológico após serem expostas a condições de estresse térmico e alta umidade, simulando o envelhecimento natural e permitindo a diferenciação do vigor entre lotes (MARCOS-FILHO, 2020). Nas frações de alimentação e aproveitamento o teste não apresentou diferença significativa entre

os dois tipos de separadores de espiral. Já na fração de descarte, os valores de envelhecimento acelerado foram significativamente menores no separador de espiral rotativo em comparação com o fixo em ambas as cultivares, especialmente em sementes de tamanho maior (P2), onde os valores reduziram de 73% no fixo, para 32% no rotativo na cultivar FIBRA IPRO, e 73% no espiral fixo, para 34% no separador de espiral rotativo na cultivar 54IX57.

No teste de condutividade elétrica, que avalia a integridade das membranas celulares das sementes, os resultados demonstram que na fração de descarte, o separador de espiral rotativo apresentou valores significativamente mais elevados inferiores de condutividade elétrica em relação ao fixo, especialmente para a cultivar 54IX57. A combinação dos testes de envelhecimento acelerado e condutividade elétrica demonstra que o separador de espiral rotativo proporciona uma separação mais rigorosa na remoção de sementes fisiologicamente inferiores, favorecendo a obtenção de lotes com maior vigor e qualidade fisiológica.

Tabela 4 – Comparação de médias do vigor das sementes – Envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica, de duas cultivares (FIBRA IPRO e 54IX57) e dois tamanhos (P1 e P2) beneficiadas em separador de espiral fixo e rotativo

		EA (%)		Condutividade Elétrica (mS cm ⁻¹ g ⁻¹)					
Cultivar	Tipo de Espiral	Alimentação							
FIBRA IPRO		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	84	aAα	88	aAα	61,19	aAα	49,39	bAβ
	Rotativo	84	aAα	78	aAα	33,99	aBβ	44,65	aAα
		Aproveitamento							
		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	82	aAα	85	aAα	52,53	bAα	64,56	aAα
	Rotativo	84	aAα	79	aAα	29,78	bBβ	45,44	aBα
		Descarte							
		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	77	aAα	73	aAα	53,66	aAα	31,78	bBγ
Rotativo	43	aBβ	32	aBβ	64,40	aAα	56,24	aAα	
CV (%) 10,68				CV (%) 13,1					
54IX57		Alimentação							
		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	84	aAα	86	aAα	52,28	aAα	49,60	aAα
	Rotativo	73	aAα	79	aAα	35,81	bAβ	59,65	aAβ
		Aproveitamento							
		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	85	aAα	87	aAα	56,40	aAα	42,32	aAα
	Rotativo	80	aAα	79	aAα	48,67	aAβ	54,93	aAβ
		Descarte							
		P1		P2		P1		P2	
Fixo	79	aAα	73	aAα	49,72	aBα	44,29	aBα	
Rotativo	42	aBβ	34	aBβ	81,20	bAα	104,31	aAα	
CV (%) 9,83				CV (%) 23,26					

Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha (em cada variável resposta), maiúscula na coluna (em cada fração de sementes) e grega entre quadros (em cada tipo de separador), não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

A avaliação do desempenho das plântulas, incluindo o comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), a massa seca da parte aérea (MSPA) e a massa seca da raiz (MSR) constituem um parâmetro fundamental para avaliar a qualidade fisiológica das sementes. De acordo com Marcos Filho (2015), a análise do crescimento das plântulas é um indicativo do potencial fisiológico das sementes, visto que reflete a habilidade destas em originar plantas vigorosas e uniformes.

A Tabela 5 apresenta os dados referentes ao comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR), características diretamente relacionadas ao crescimento inicial das plântulas e, conseqüentemente, à sua capacidade de absorção de água e nutrientes (KRZYZANOWSKI et al., 2020b). Observa-se que,

para a cultivar FIBRA IPRO, as sementes classificadas no aproveitamento do separador de espiral rotativo apresentaram maior comprimento de raiz em comparação ao sistema fixo, sugerindo que este método de separação favoreceu a obtenção de plântulas com maior desenvolvimento radicular. Essa característica é essencial para a adaptação inicial no campo, especialmente sob condições adversas (TILLMANN et al., 2019).

Já na cultivar 54IX57, as diferenças entre os separadores não foram tão expressivas, com pequenas variações nos valores de comprimento de plântula e raiz entre os métodos de separação. No entanto, é relevante destacar que o comprimento da raiz no aproveitamento do separador de espiral rotativo apresentou uma tendência a valores superiores, o que pode indicar uma melhor seleção de sementes com maior potencial de crescimento radicular. Destaca-se também que em ambas cultivares houve diferença significativa na fração descarte, onde o separador de espiral rotativo apresentou valores menores de comprimento de plântula e raiz, indicando maior eficiência no descarte de sementes com menor desenvolvimento de plântulas e raízes.

Tabela 5 – Comparação de médias do desempenho de plântulas – Comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR), de duas cultivares (FIBRA IPRO e 54IX57) e dois tamanhos (P1 e P2) beneficiadas em separador de espiral fixo e rotativo.

		CPA (cm)				CR (cm)			
Cultivar	Tipo de Espiral	Alimentação							
FIBRA IPRO		P2				P1		P2	
	Fixo	7,86	aAα	5,50	bBα	15,91	aAα	12,39	bAα
	Rotativo	8,15	aAα	6,65	bAαβ	13,19	aAαβ	10,68	aAαβ
		Aproveitamento							
		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	7,25	aBα	5,63	bBα	15,24	aAα	9,43	bBα
	Rotativo	9,33	aAα	7,97	bAα	15,61	aAα	13,81	aAα
		Descarte							
		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	6,60	aAα	5,43	bBα	14,23	aAα	10,08	bAα
	Rotativo	6,29	aAβ	6,54	aAβ	10,44	aBβ	10,02	aAβ
CV (%) 9,42				CV (%) 13,95					
54IX57		Alimentação							
		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	5,22	aBα	5,22	aAα	12,00	aBα	13,51	aAα
	Rotativo	6,62	aAα	4,86	bAα	15,35	aAα	13,21	aAα
		Aproveitamento							
		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	5,45	aBα	5,03	aAα	11,75	aBα	13,04	aAα
	Rotativo	6,52	aAα	5,61	bAα	14,90	aAα	14,50	aAα
		Descarte							
		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	5,60	aAα	5,81	aAα	13,64	aAα	12,98	aAα
Rotativo	5,23	aAβ	5,16	aAα	9,25	aBβ	9,90	aBβ	
CV (%) 7,33				CV (%) 11,31					

Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha (em cada variável resposta), maiúscula na coluna (em cada fração de sementes) e grega entre quadros (em cada tipo de separador), não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Na Tabela 6, observam-se variações na massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) entre os tratamentos. Para a cultivar FIBRA IPRO, verifica-se que o descarte do separador de espiral rotativo apresentou menores valores de massa seca da raiz em comparação ao separador de espiral fixo, evidenciando que as sementes classificadas como descarte nesse sistema possuíam menor vigor. Já na cultivar 54IX57, não foram observadas diferenças significativas para a maioria dos parâmetros entre os tipos de separadores, indicando que ambos os métodos apresentaram eficiência similar na separação das sementes.

Tabela 6 – Comparação de médias do desempenho de plântulas – Massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), de duas cultivares (FIBRA IPRO e 54IX57) e dois tamanhos (P1 e P2) beneficiadas em separador de espiral fixo e rotativo.

		MSPA (mg/plântula)				MSR (mg/plântula)			
Cultivar	Tipo de Espiral	Alimentação							
FIBRA IPRO		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	99,34	bAα	135,50	aAα	9,95	aAα	9,88	aAα
	Rotativo	92,53	bAα	131,16	aAα	9,13	bAαβ	11,07	aAαβ
		Aproveitamento							
		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	98,13	bAα	135,48	aAα	9,42	aAα	7,58	bBβ
	Rotativo	95,30	bAα	130,62	aAα	10,49	aAα	12,05	aAα
		Descarte							
		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	96,88	bAα	137,64	aAα	8,60	aAα	8,02	aBαβ
Rotativo	96,23	bAα	125,75	aBα	7,37	bAβ	9,96	aAβ	
CV (%) 4,34				CV (%) 10,07					
54IX57		Alimentação							
		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	111,00	bAα	155,02	aAα	9,04	bBα	12,34	aAα
	Rotativo	107,98	bAα	153,91	aAα	10,91	bAα	12,07	aAα
		Aproveitamento							
		P1		P2		P1		P2	
	Fixo	114,64	bAα	149,39	aAα	9,26	bBα	11,61	aAα
	Rotativo	113,01	bAα	154,44	aAα	11,14	bAα	12,30	aAα
		Descarte							
		P1		P2		P1		P2	
Fixo	110,50	bAα	150,50	aAα	9,30	bAα	11,67	aAα	
Rotativo	114,11	bAα	148,78	aAα	8,93	aAβ	9,99	aBβ	
CV (%) 3,92				CV (%) 6,35					

Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha (em cada variável resposta), maiúscula na coluna (em cada fração de sementes) e grega entre quadros (em cada tipo de separador), não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Estudo recente corroboram os resultados obtidos nessa pesquisa, Bagatelli et al. (2024) analisaram os separadores de espiral rotativa e fixa na separação de sementes de soja e observaram que o separador de espiral rotativo proporciona melhorias significativas na qualidade dos lotes das sementes beneficiados. Esses resultados são consistentes com esse estudo, reforçando a eficácia do separador de espiral rotativo na limpeza de sementes de soja.

Dessa forma, os resultados obtidos corroboram com a hipótese de que o separador de espiral rotativo apresenta maior eficiência na separação das sementes em comparação ao modelo fixo. A maior capacidade de fluxo, aliada ao menor percentual de descarte e ao elevado aproveitamento das sementes, sugere

que esse sistema pode ser uma alternativa mais vantajosa para a indústria de beneficiamento de sementes, contribuindo para a obtenção de lotes mais uniformes e com potencial fisiológico superior.

5 CONCLUSÕES

O aproveitamento de sementes no separador de espiral rotativo pode ser seis pontos percentuais superior em relação ao separador de espiral fixo, ou seja, o descarte de sementes no separador de espiral rotativo pode alcançar seis pontos percentuais inferior ao verificado no separador de espiral fixo.

O separador de espiral rotativo possui eficiência superior na fração de descarte em relação ao separador de espiral fixo, apresentando menor incidência de sementes vigorosas no material removido.

Para a cultivar oblonga (FIBRA IPRO), o separador de espiral rotativo foi mais eficiente em ambos os tamanhos de sementes.

A cultivar redonda (54IX57) apresentou menor diferença no desempenho entre os separadores, mas o separador de espiral rotativo ainda apresentou melhor eficiência na separação das sementes de soja.

Os resultados confirmaram a hipótese de que o separador de espiral rotativo aprimorou o processo de beneficiamento de sementes, aumentando o fluxo e reduzindo o descarte de sementes de maior qualidade.

O separador de espiral fixo apresentou retenção de maior quantidade de sementes, resultando em um menor fluxo em comparação ao separador de espiral rotativo. No entanto, essa retenção incluiu sementes viáveis que poderiam ter sido aproveitadas, melhorando a eficiência na separação de sementes de alta qualidade.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES E MUDAS – ABRASEM. **Anuário 2019/2020: sementes no Brasil**. Brasília, DF: Abrasem, 2020.

BAGATELI, J. R.; DORR, C. S.; SCHUCH, L. O. B.; MENEGHELLO, G. E. Productive performance of soybean plants originated from seed lots with increasing vigor levels. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 2, p. 151-159, 2019.

BAGATELI, J. R.; FRANCO, J. J.; CAVALCANTE, J. A.; SILVA, T. A. DA.; BORGES, C. T.; GADOTTI, G. I.; MENEGHELLO, G. E.; VILLELA, F. A. Physical and physiological quality of soybean seeds processed in a static spiral separator. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, n. 12, e285169, 2024. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n12e285169>

BAUDET, L.; POPINIGIS, F.; PESKE, S. Danificações mecânicas em sementes de soja (glycine max (L.) Merrill) transportadas por um sistema elevador-secador. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 3, n. 4, p. 29-38, 1978.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013**. Brasília, DF: Mapa, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. - Brasília: Mapa/ACS, 399p, 2009.

BRUNES, A. P.; ARAÚJO, A. S.; DIAS, L. W.; ANTONIOLLI, J.; GADOTTI, G. I.; VILLELA, F. A. Rice seeds vigor through image processing of seedlings. **Ciência Rural**, Pelotas, v. 49, n. 8, 2019.

CARVALHO, A.M.X.; MENDES, F.Q.; MENDES, F.Q.; TAVARES, L.F. SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 20(3): e327420312, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332020v20n3s46>

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Campinas: FUNEP, p 520-521, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira. Grãos - Safra 2023/24**, Brasília, v.11, n.12, p.116, 2023. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, 2024. Disponível em: <www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos> Acesso em: 29 out. 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Séries históricas de área plantada, produtividade e produção, relativas às safras 1976/77 a 2024/25 de grãos de soja**. Conab - Companhia Nacional de Abastecimento, 2025.

Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>>. Acesso em: 28 fev. 2025.

CONRAD, V. A. D. **Atributos físicos e fisiológicos em sementes de soja no beneficiamento**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

CRUZ, M. D. C., SOARES, J. N., SOARES, L. H. Avaliação da qualidade física e fisiológica de sementes de soja durante o beneficiamento. **Cerrado Agrociências** - ISSN 2178-7662, p. 57-65, 2022.

DE FARIAS, G. M.; ZAMBERLAN, C. O. Expansão da fronteira agrícola: impacto das políticas de desenvolvimento regional no centro-oeste brasileiro. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 2, n. 2, p. 58-68, 2013.
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **A cultura da soja no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2000, 179p.

EMBRAPA. **Embrapa Soja: ciência e inovação para o campo**. 4. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2024. 11p.

FERRAZZA, F. L. F.; JACOBOSKI, D. T. K.; WYREPKOWSKI, A.; RODRIGUES, L.; FIGUEIRO, A. G.; PARAGINSKI, R. T. Qualidade de sementes e parâmetros produtivos de sementes de soja submetidas a diferentes tratamentos de sementes antes da semeadura. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e47996232-e47996232, 2020.

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**, v.32, n.4, p.99-100, 2010.

FRANCO, Jader Job. **Separador de espiral estático e rotativo no beneficiamento de sementes de soja**. 2023. 78 f. Tese (Doutorado em Ciência) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. **Qualidade fisiológica da semente**. Londrina: EMBRAPA CNPSo, p.5-24, 1984. (CircularTécnica,9).

FRANÇA-NETO, J. D. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; DE PÁDUA, G. P.; LORINI, I.; HENNING, F. A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Embrapa Soja, Londrina, n. 380, p. 82, 2016.

FRANÇA NETO, J. de B.; KRZYZANOWSKI, Francisco Carlos; HENNING, Ademir Assis. **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.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. Embrapa soja, Londrina, n. 406, p. 108, 2018.

FRANÇA-NETO, J. B. Evolução do conceito de qualidade de sementes. Seed Point. O mundo da Semente. **Revista Atuarante Atualizada Agrícola**. AGRANIA. Abril/2019, nº 844, ano 74, p. 56.

GAZZONI, D. L.; DALL'AGNOL, A. **A saga da soja: de 1050 a.C. a 2050 d.C.** Brasília, DF: Embrapa, 2018. 199 p.

HIRAKURI, M. H.; PRANDO, A. M.; DE OLIVEIRA, A. B.; CONCENÇO, G. (2021). Análise de viabilidade econômico-financeira da rotação arroz-soja, com o sistema sulco-camalhão, em terras baixas do Rio Grande do Sul. **Embrapa Soja-Circular Técnica** (INFOTECA-E). Londrina, PR: Embrapa, n. 171, p. 14, 2021.

JARRIN, J. A. O. **Some characteristics of the spiral separation of soybean seed**. 1979. 63 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Mississippi State University, Mississippi State, 1979.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, 1999.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; GOMES-JUNIOR, F. G.; NAKAGAWA, J. Teste de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 2020b. cap. 2. p. 79-140.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO. J. B.; MARCOS FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2 ed. Londrina: ABRATES. 2020a. 601 p.

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, n. 2, p. 230-238, 2011.

MARCOS-FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2. ed. Londrina: **ABRATES**, 2015. 659 p.

MARCOS-FILHO, J. Envelhecimento acelerado. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. de B.; MARCOS-FILHO, J. (ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2. ed. Londrina: Abrates, 2020. p. 185-246.

MELO, L.F.; MARTINS, C. C.; SILVA, G. Z.; BONETI, J. E. B.; VIEIRA, R. D. Beneficiamento na qualidade física e fisiológica de sementes de capim Mombaça. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 4, p. 667-674, 2016.

MOREANO, T.B.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; FRANÇA-NETO, J. DE B.; KRZYŻANOWSKI, F. C.; MARQUES, O. J. Evolução da qualidade física de sementes de soja durante o beneficiamento. **Informativo Abrates**, v. 23, n. 3, p. 25-31, 2013.

OLIVEIRA, A. de. **Influência de danos mecânicos ocorridos no beneficiamento sobre a qualidade fisiológica, sanitária e potencial de armazenamento de sementes de soja**. Jaboticabal, 1997, 90p. (Tese Doutorado).

OLIVEIRA, J. A.; DA ROSA, S. D. V. F.; CARVALHO, E. R. Secagem de Sementes. In: **Processamento pós-colheita de sementes: abordagem agrônômica visando aprimorar a qualidade**. Cap. 01. 1.ed. Lavras: UFLA. p.40-41, 2021.

PEDÓ, T.; ROSSETTI, C.; TUNES, L. V. M.; AUMONDE, T. Z. Qualidade de Sementes de Soja durante o Beneficiamento. In: TOMAZETTI, M. B.; ROSSETTI, C.; AUMONDE, T. Z.; PEDÓ T. **Prospecção da ciência e tecnologia de sementes nas Regiões Sul e Planalto Central do Brasil**. 1th ed. Nova Xavantina: Pantanal Editora, 2022. p. 64-80.

PELISSARI, Fabieli; COIMBRA, Rogério de Andrade. Sementes de soja esverdeadas: causas e consequências na qualidade fisiológica. **Scientific Electronic Archives**, [S. l.], v. 16, n. 4, 2023. DOI: 10.36560/16420231686. Disponível em: <https://sea.ufr.edu.br/index.php/SEA/article/view/1686>. Acesso em: 30 out. 2024.

PEREIRA, C. E.; ALBURQUERQUE, 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. 2995-3002, 2012.

PEREIRA, João Eduardo Souza. **Evolução das políticas agropecuárias 2000-2020 e a sustentabilidade ambiental**. 2022. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Econômicas) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, SP, 2022.

PERES, W. B.; LUZ, C. A. S.; LUZ, M. L. G. S.; GADOTTI, G. I. **Beneficiamento de grãos e sementes**. 1.ed. Pelotas: Gráfica Santa Cruz, p.77-78, 2015.

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. **Revista Vivências**, v. 15, n. 29, p. 267-277, 2019.

PESKE, S. T. Os recentes impactos das tecnologias no negócio de sementes. **Seed News**, Pelotas, v. 3, p. 20-24, jun. 2021.

PESKE, S. T.; BARROS, A. C. S. A.; SCHUCH, L. O. B. Produção de Sementes. In: PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGUELLO, G. E. (eds.). **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 4th ed. Pelotas: Becker e Peske, 2019a. p. 13–104.

PESKE, S. T.; BAUDET, L. Beneficiamento de Sementes. In: PESKE, S.T. et al. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 2. ed. Pelotas, RS: Editora Universitária – UFPEL, Cap. 6, p. 373-326, 2006.

PESKE, S. T.; LABBÉ, L. M. B.; PANOZZO, L. E. Beneficiamento de Sementes. In:

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGUELLO, G. E. (eds.). **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 4th ed. Pelotas: Becker e Peske, 2019b. p. 407–464.

PROFILE INDUSTRIES. **Rotary Sorter**. Disponível em: <<https://www.profile-ind.com/espisal-vs-classificador/?lang=pt-br>> Acesso em: 25 nov. 2024.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília, Agiplan, 2.ed., 1985. 289p.

RISSE, J.; MISRA, M.; KNAPP, A.; BERN, C. Conditioning shriveled soybean seed. Part II. Correlation of physiological characteristics with physical properties. **Transactions of ASAE. St. Josephv**, v. 34, n. 2, p. 487-491, 1991.

ROCHA, M. M. O. **Danos mecânicos em sementes de algodão**. 2023. 21f. Trabalho de Conclusão de Curso – (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual de Goiás, Posse, 2023.

SEED NEWS. Os produtos mais inovadores do século XXI no ramo sementeiro. **Seed News**, Pelotas, v. 1, n. 27, p. 10-15, fev. 2023.

SILVA, Carla Michelle da; SILVA, Antonio Veimar da; CORTEZ, Luis Carlos dos Anjos; FREITAS, Bruno Antonio Lemos de; SILVA Jorge Luís Carvalho. **Patógenos de Sementes: como identificar, controlar e prevenir**. Formiga (MG): Editora MultiAtual, 2024a. 92 p.

SILVA, R. P. et al. Qualidade fisiológica de sementes de soja (*Glycine max*. L.) durante o beneficiamento. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p.1219-1230, 2011.

SILVA, T. A. D., NOGUEIRA, N. A., POSSER, G. F., GADOTTI, G. I., MENEGHELLO, G. E.; VILLELA, F. A. (2024). Rotary spiral separator in soybean seed processing. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 29, n. 3, p. e280070, 2024b.

SILVA, Thiago Antonio da. **Separador de Espiral Rotativo no Beneficiamento de Sementes de Soja**. 2023. 52f. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

SOUZA, Alan Ricardo Valdanha de. **Processo de produção e beneficiamento de sementes de soja**. 2022. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Rondonópolis, Rondonópolis, 2022.

TILLMANN, M. A. A.; TUNES, L. M. D.; ALMEIDA, A. D. S. Análise de Sementes. In: PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGUELLO, G. E. (eds.). **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 4th ed. Pelotas: Becker e Peske, 2019. p. 147–257.

TOLEDO, F.F.; MARCOS FILHO, J. Embalagens das sementes. In: **Manual das**

sementes, tecnologia da produção. São Paulo: Agronômica Ceres, cap. 14, p.187-193. 1977.

TROGELLO, E.; NOBRE, D. A. C; KOLLING, E. M.; MODOLO, A. J.; TROGELLO, A. Acompanhamento de uma unidade beneficiadora de sementes de milho – Estudo de caso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p.193-201, 2013.

USDA - **Departamento de Agricultura dos Estados Unidos**, 2024. Disponível em: <www.fas.usda.gov> Acesso em: 29 out. 2024.

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

VIEIRA, D. A. **Método de implementação do controle de sistemas a eventos discretos com aplicação da teoria de controle supervísório.** 2007. 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica – Área em Controle e Automação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

VILLELA, F. A. **Adaptação de Separador de espiral para remover sementes de plantago e rumex das de alfafa, cornichão e trevo branco.** Dissertação (Mestrado em Ciências). Ciência e Tecnologia de Sementes. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 79 f, 1985.

VILLELA, F. A.; PESKE, S. T. Adaptação de separador de espiral para sementes de cornichão. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília-DF, v. 10, n.2, p. 9-20, 1988. Disponível em: <https://www.conferencebr.com/conteudo/revistaartigo/file/58984bf6b5f232.13959040_artiga01.pdf> Acesso em: 22 nov. 2024.

ZAGUI, G.; NERES, D. C. D. C. Danos mecânicos e qualidade fisiológica no beneficiamento de sementes de soja, TMG 1180 RR. **Connection Line**, v. 18, p. 118–132, 63.