

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

**Dissertação**



**Separador de Espiral Rotativo no Beneficiamento de Sementes de Soja**

**Thiago Antonio da Silva**

**Pelotas, 2023**

**Thiago Antonio da Silva**

**Separador de Espiral Rotativo 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.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Amaral Villela

Co-Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Gizele Ingrid Gadotti

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas Catalogação na Publicação

S586s Silva, Thiago Antonio da

Separador de espiral rotativo no beneficiamento de sementes de soja / Thiago Antonio da Silva ; Francisco Amaral Villela, orientador ; Gizele Ingrid Gadotti, coorientadora. — Pelotas, 2023.

52 f. : il.

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

1. *Glycine max*. 2. Eficiência. 3. Limpeza de sementes. 4. Eficácia. 5. Qualidade de sementes. I. Villela, Francisco Amaral, orient. II. Gadotti, Gizele Ingrid, coorient. III. Título.

CDD : 633.34

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

Thiago Antonio da Silva

Separador de Espiral Rotativo 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: 31 de julho de 2023.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Francisco Amaral Villela (Orientador). Doutor em Fitotecnia pela Universidade de São Paulo (USP).

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gizele Ingrid Gadotti. Doutora em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

---

Eng. Agr. Dr. Geri Eduardo Meneghello. Doutor em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

---

Eng. Agr. Dr. André Oliveira de Mendonça. Doutor em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

Dedico este trabalho a Deus, pelo dom da vida e pela bênção de alcançar mais uma conquista.

A minha querida Mãe por todo seu amor, carinho, por sempre estar ao meu lado e por ter me dado todo o suporte para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao meu Pai (*In Memoriam*), pelo exemplo de homem, por nos ter dado tanto amor e carinho enquanto esteve presente entre nós.

Aos meus irmãos Munique Angélica e Paulo Henrique, pelo exemplo de caráter, honestidade, companheirismo, por todo incentivo e apoio.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco Amaral Villela, pela atenção e disposição durante a realização deste curso, pela paciência, pelos ensinamentos transmitidos na realização deste trabalho e pela contribuição em minha formação profissional.

A Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Gizele Ingrid Gadotti e ao Engenheiro Agrônomo Dr. Geri Eduardo Meneghello, pela amizade e pelos esclarecimentos e empenho em transmitir seus conhecimentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes pela oportunidade de realizar o curso de mestrado e a todo o corpo docente pelo aprendizado oportunizado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

A Petrovina Sementes e toda a sua equipe por toda contribuição direta na realização deste trabalho e demais atividades.

A Grazielle Ferreira Posser, Marjana Schellin Pieper, Mateus Schneider Bruinsma, Mariana Salbego Franco e Natália Alves Nogueira, pela amizade e pela colaboração durante a execução dos trabalhos laboratoriais.

Ao professor Dr. Tiago Pedó, Aline Ferraz, Andréa Bicca Noguez Martins, Aline Flores Vilke, Cristina Rossetti, Carem Rosane Coutinho Saraiva, Francine Bonemann Madruga, Ireni Leitzke e Moisés Ortemar Rehbein pela amizade e por todo apoio durante o curso.

A todos os estagiários envolvidos, pelo auxílio, comprometimento e dedicação.

A toda a minha família pelo apoio e amor.

Ao Roberto Heiden, por toda paciência, amor, carinho, pelos sábios conselhos, e ao seu indispensável e decisivo apoio.

A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho.

Carinhosamente, meu Muito Obrigado!

## RESUMO

SILVA, Thiago Antonio da. **Separador de Espiral Rotativo no Beneficiamento de Sementes de Soja**. Francisco Amaral Villela: 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.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o separador de espiral rotativo identificando a adequada regulação visando minimizar o descarte de sementes de soja de qualidade; determinar a eficiência quanto a remoção de sementes menos densas e estabelecer a influência da passagem das sementes de soja no separador de espiral rotativo na qualidade física e fisiológica. O equipamento separador de espiral rotativo analisado estava instalado no laboratório de análises de sementes da empresa Petrovina Sementes, composto por uma espiral com capacidade estática para uma tonelada por hora. Utilizou-se um lote de sementes de soja de 1200kg, sem classificação, o experimento foi composto por 27 unidades experimentais, cada uma com 30kg, sendo os tratamentos constituídos por dois fatores: velocidades de rotação (zero, 5 e 10rpm) e fluxo de alimentação (aberturas de diâmetro 32,0; 38,5 e 47,6 mm, correspondentes a 0,3; 0,6 e 1,2t/h) e três repetições. A quantidade (30kg) de sementes de cada repetição de tratamento foi colocada no depósito de alimentação e coletadas as frações descarregadas na saída da fração aproveitamento e da descarte, pesadas e posteriormente foi determinado o desempenho do equipamento, e expresso em porcentagem, de cada fração foi retirada uma amostra de 1kg para as análises de avaliação da qualidade física e fisiológica. O procedimento experimental foi em blocos ao acaso, em fatorial 3x3 (velocidade de rotação x fluxo de alimentação). Concluiu-se que para o desempenho do equipamento, os maiores descartes de sementes foram obtidos na velocidade de rotação zero, nos três fluxos de alimentação. Se teve um melhor aproveitamento de sementes de soja utilizando a maior velocidade de rotação, porém, com relação à qualidade física e fisiológica, estas frações podem apresentar misturas com sementes de menor qualidade. Os resultados dos testes de qualidade fisiológicas das sementes para a fração aproveitamento se manteve elevado para os valores de germinação e vigor, tanto para a velocidade de rotação, quanto para os fluxos de alimentação. A velocidade de rotação de 10rpm e os fluxos de alimentação de 0,3 e 0,6t/h tiveram um melhor desempenho, dado que houve um menor descarte de sementes de qualidade.

**Palavras-chave:** *Glycine max*; limpeza de sementes; eficiência; eficácia; qualidade de sementes.

## ABSTRACT

SILVA, Thiago Antonio da. **Rotating Spiral Separator in Soybean Seed Processing.** Francisco Amaral Villela: 2023. 52f. Dissertation (Master in Seed Science and Technology) - Graduate Program in Seed Science and Technology, Eliseu Maciel School of Agronomy, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

The present work aimed to evaluate the rotary spiral separator by identifying the appropriate regulation in order to minimize the discarding of quality soybean seeds; determine the efficiency regarding the removal of less dense seeds and establish the influence of the passage of soybean seeds in the rotary spiral separator on physical and physiological quality. The rotary spiral separator equipment analyzed was installed in the seed analysis laboratory of the Petrovina Sementes company, composed of a spiral with a static capacity of one ton per hour. A batch of soybean seeds of 1200kg was used, without classification, the experiment was composed of 27 experimental units, each with 30kg, with the treatments consisting of two factors: rotation speeds (zero, 5 and 10rpm) and feed flow (openings of diameter 32.0; 38.5 and 47.6 mm, corresponding to 0.3; 0.6 and 1.2t/h) and three repetitions. The quantity (30kg) of seeds from each treatment repetition was placed in the feeding tank and the fractions discharged at the exit of the utilization fraction and the discard fraction were collected, weighed and subsequently the performance of the equipment was determined, and expressed in percentage, from each fraction a sample of 1kg was taken for the analysis of physical and physiological quality evaluation. The experimental procedure was in randomized blocks, in factorial 3x3 (rotation speed x feed flow). It was concluded that for the performance of the equipment, the highest seed discards were obtained at zero rotation speed, in the three feed flows. There was a better utilization of soybean seeds using the highest rotation speed, however, with regard to physical and physiological quality, these fractions may present mixtures with seeds of lower quality. The results of the physiological quality tests of the seeds for the utilization fraction remained high for the germination and vigor values, both for the rotation speed and for the feed flows. The rotation speed of 10rpm and the feed flows of 0.3 and 0.6t/h had a better performance, since there was a lower discard of quality seeds.

**Keywords:** *Glycine max*; seed cleaning; efficiency; efficacy; seed quality

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Sequência de uma unidade de beneficiamento de soja..... 17
- Figura 2 - Valores médios ( $\text{kg.hL}^{-1}$ ) do peso hectolitro das frações aproveitamento e descarte do lote de sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração velocidade de rotação. Pedra Preta, MT, 2023. ....31
- Figura 3 - Valores médios (%) do Teste de Envelhecimento Acelerado (E.A), das frações aproveitamento e descarte, do lote de sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração velocidade de rotação e fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023.....33
- Figura 4 - Valores médios (%) do Teste de Germinação (G) das frações aproveitamento e descarte do lote de sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração velocidade de rotação e fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023. ....34
- Figura 5 - Valores médios (%) do Teste de Emergência de Plântulas (EP) da fração aproveitamento do lote de sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração velocidade de rotação e fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023. ....35
- Figura 6 - Valores médios (%) do Teste de Emergência de Plântulas (EP) da fração descarte do lote sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração velocidade de rotação e o fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023. ....36

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Resumo da análise de variância da qualidade física das sementes de soja para as variáveis peso hectolitro do aproveitamento (PHAP); peso hectolitro do descarte (PHD); peso de mil sementes do aproveitamento (PMSAP); peso de mil sementes do descarte (PMSD); porcentagem da fração do aproveitamento (AP) e porcentagem da fração do descarte (DES). .....27
- Tabela 2 - Valores médios (%) do desempenho do separador de espiral rotativo das frações aproveitamento e descarte do lote de sementes de soja, levando em consideração velocidade de rotação e fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023.....28
- Tabela 3 - Valores médios (g) do peso de mil sementes (PMS), da fração aproveitamento, do lote de sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração velocidade de rotação e fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023.....29
- Tabela 4 - Valores médios (g) do peso de mil sementes (PMS), da fração descarte, do lote de sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração velocidade de rotação e fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023. ....30
- Tabela 5 - Valores médios (kg.hL-1) do peso hectolitro (PH), da fração aproveitamento, do lote de sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração o fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023. ....31
- Tabela 6 - Resumo da análise de variância para a qualidade fisiológica das sementes de soja para as variáveis envelhecimento acelerado (EAAP); envelhecimento acelerado do descarte (EAD); germinação do aproveitamento (GA); germinação do descarte (GD); emergência de plântulas do aproveitamento (EPAP) e a emergência de plântulas do descarte (EPD). .....32

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
2.1. O beneficiamento de sementes.....	14
2.2. O Separador de Espiral.....	18
2.3. O Separador de Espiral Rotativo.....	22
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
4.1. Avaliação da qualidade física das sementes de soja .....	27
4.2. Avaliação da qualidade fisiológica das sementes de soja.....	32
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>45</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de soja no mundo na safra 2022/23 atingiu 370,42 milhões de toneladas com uma área semeada de 127,84 milhões de hectares (USDA, 2023). Nos últimos anos, o agronegócio tem ocupado um papel cada vez mais importante no PIB nacional. O Brasil se destaca sendo o maior produtor mundial de soja com uma produção de 155,74 milhões de toneladas em uma área de 44,03 milhões de hectares, com uma produtividade média de 3,54 toneladas por hectare, 24% superior à da safra anterior 2021/22 (CONAB, 2023).

O estado do Mato Grosso é atualmente o maior produtor nacional de soja com uma produção de 45,32 milhões de toneladas, safra 2022/23, em uma área cultivada de 12,12 milhões de hectares. As boas condições climáticas registradas durante o desenvolvimento das lavouras, aliadas aos investimentos dos produtores, resultaram em uma produtividade de 3,77 toneladas por hectare, safra recorde para o estado (IMEA, 2023).

O crescimento da população mundial traz consigo a necessidade de incrementar a produção de alimentos e dois fatores são extremamente importantes para elevar a produtividade das culturas, as variedades geneticamente melhoradas e sementes de qualidade. Considerada o mais importante insumo agrícola, a semente é responsável por conduzir ao campo as características genéticas determinantes do desempenho das culturas, ao mesmo tempo é responsável pelo estabelecimento do estande desejado de plantas, fornecendo base para que altas produtividades sejam alcançadas (AUMONDE et al., 2019).

A cultura da soja detém atualmente, intensa atividade de pesquisa dirigida para a obtenção de informações, a utilização de sementes de qualidade é de suma importância, fator primordial no sucesso em uma lavoura. A produção de sementes que garanta esse desempenho depende da adoção de técnicas tradicionais associadas a tecnologias modificadas, adaptadas e aprimoradas, bem como a incorporação de inovações em todo o processo, envolvendo fases de campo, pós-colheita e gestão da qualidade, não sendo justificável descartar semente na Unidade de Beneficiamento de Sementes (FRANÇA NETO, 2016).

Para que esse propósito seja alcançado, o beneficiamento de sementes constitui-se na parte essencial da tecnologia envolvida na produção de sementes de

alta qualidade, a partir do material produzido pelo melhorista e mantido pelo produtor de sementes, tem papel fundamental na manutenção da qualidade de sementes de soja, por aprimorar as características físicas e fisiológicas de um lote de sementes, e representa em um programa de produção a etapa final no processo de beneficiamento, eliminando impurezas, sementes de outras espécies, por fim, classificando as sementes em frações uniformes, possibilitando sua definição nos padrões pré-estabelecidos (PESKE et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2021). Essas informações complementam-se com a afirmação de Baudet e Villela (2007) ao colocarem que “A qualidade do lote de sementes é finalmente consolidada após seu beneficiamento, que compreende todas as etapas pelas quais as sementes passam até ficarem prontas para a semeadura”.

O beneficiamento de sementes é realizado baseando-se nas diferenças entre as características físicas existentes entre a semente e os materiais indesejáveis, sendo somente possível a separação entre materiais que apresentem uma ou mais características diferenciais que possam ser detectadas pelos equipamentos durante o processo (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

A forma das sementes varia amplamente entre as espécies botânicas: há sementes esféricas, achatadas, oblongas, triangulares, de formato irregular, dentre outras. Um equipamento comumente utilizado durante o beneficiamento de sementes de soja é o separador de espiral, especialmente desenvolvido para separar por diferença quanto à forma, as sementes mais esféricas das menos esféricas. Esta característica diferencial possibilita a obtenção de melhor resultado para a classificação e a separação daquelas com melhor qualidade física, como também no que se refere aos aspectos fisiológicos dos lotes, pela separação das sementes defeituosas, atacadas por insetos e patógenos e mecanicamente danificadas (PESKE et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2021).

Quanto ao funcionamento, em um separador de espiral convencional destacam-se determinadas características: equipamento estático, simples, sem partes móveis e sem motor. O equipamento funciona com a utilização da força gravitacional. A reduzida flexibilidade na regulagem e a baixa capacidade operacional para beneficiamento constituem-se em limitações. Deve-se levar em consideração que durante seu uso há um considerável descarte de sementes de qualidade por lote. Também pode ocorrer que a indevida utilização do equipamento, sem sua adequada

regulagem, poderá provocar danos mecânicos nas sementes (VILLELA e PESKE, 1988).

Atualmente, observam-se avanços tecnológicos no setor sementeiro e inovações no separador de espiral, que recebeu a denominação de separador de espiral rotativo, equipamento este de estrutura simples, que também utiliza as forças centrífuga e gravitacional para realizar a separação das sementes. Este equipamento possui vantagens comparativamente ao separador de espiral convencional, tais como: a possibilidade de ajustes na seleção do sentido da rotação (horário e anti-horário), na intensidade da velocidade de rotação, que faculta o controle de velocidade e a possibilidade de troca dos discos dos orifícios, que permite o controle do fluxo de alimentação da entrada de sementes no equipamento.

Tem sido afirmado que com essas mudanças pode se ter a redução do custo com a mão de obra, a melhoria do rendimento e a elevação da eficiência no processo de beneficiamento. Também reduzindo consideravelmente o percentual de descarte de sementes de qualidade juntamente com o material rejeitado, ficando em média de 3 a 4%, dependendo do cultivar e do lote, diferença apreciável do descarte médio dos separadores de espiral tradicionais, sem a possibilidade de ajuste, que pode atingir 6 a 8%. A questão de manuseio também merece destaque, sendo mais fácil operar e ajustar do que a espiral tradicional.

Considerando o exposto anteriormente, o objetivo deste trabalho foi avaliar o separador de espiral rotativo, considerando identificar a adequada regulagem visando minimizar o descarte de sementes de soja de qualidade; determinar a eficiência quanto a remoção de sementes menos densas e estabelecer a influência da passagem das sementes de soja no separador de espiral rotativo na qualidade física e fisiológica de sementes de soja.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. O beneficiamento de sementes

De acordo com Oliveira et al. (2021) “A máxima qualidade de um lote de sementes é função direta das condições de produção no campo, ou seja, sementes de qualidade são obtidas no campo”. No entanto, deve-se considerar que, segundo Villela e Peske (1988) “A colheita de sementes, seja mecânica ou manual, geralmente não fornece material em condições de ser diretamente distribuído aos produtores, muitos materiais indesejáveis necessitam ser removidos após a colheita, antes que as sementes estejam em condições de comercialização e semeadura”.

Além dos aspectos genéticos e de cultivo, a qualidade da semente pode ser afetada por operações decorrentes da colheita, secagem, beneficiamento, armazenagem e semeadura (FERREIRA e SÁ, 2010). O beneficiamento de sementes é uma prática que tem o objetivo de manter certos atributos de qualidade das sementes, tais como os físicos e fisiológicos em seus respectivos lotes, de modo que a espécie tenha condições de se perpetuar (PERES et al., 2015).

O adequado beneficiamento, partindo de matéria prima de boa qualidade, tem influência direta no rendimento final de sementes, conforme destaca Zago (2012). O rendimento de sementes de soja na década de 1980 era em torno de 500 kg/ha, passou para 900 kg/ha, após duas décadas, segundo Gasparini (2004). Esse fato é resultado de um conjunto de medidas adotadas ao longo do tempo, técnicas de colheita, adequação de equipamentos modernos para o beneficiamento e a genética de materiais.

De acordo com Oliveira et al. (2021) e Peres et al. (2015), o beneficiamento de sementes é uma das principais etapas para a obtenção de sementes de alta qualidade. Consiste no conjunto das operações a que as sementes são submetidas desde a colheita e após a recepção, na unidade de beneficiamento de sementes (UBS) até a embalagem, para o posterior armazenamento ou distribuição. A separação e a classificação durante o processo somente são possíveis entre materiais que apresentem uma ou mais características físicas diferenciais que possam ser detectadas pelos equipamentos, bem como operações preliminares à industrialização.

A uniformização do tamanho das sementes também é um dos fatores importantes no beneficiamento, o que possibilita melhorias na semeadura e facilita a operação da mesa densimétrica, além de favorecer a comercialização. O material proveniente do campo, na maioria das vezes, deve ser conduzido através de diversos equipamentos, para que cada um remova determinadas impurezas, antes das mesmas se acharem em condições de comercialização e semeadura.

Impurezas como material inerte e sementes fora do tamanho não são danosas em si mesmas, porém, exerce grande influência sobre o fluxo de sementes nas máquinas, inclusive nas semeadoras, sobre a infestação de insetos e sobre a conservação no armazenamento. Outras impurezas, como sementes de plantas invasoras e de outras plantas cultivadas, podem afetar a colheita, caso não sejam removidas. As sementes são beneficiadas para remover deterioradas e quebradas, para classificar e para aplicar produtos químicos, objetivos exigidos pelos produtores e que precisam ser alcançados com eficiência e com o mínimo de danos às sementes (VAUGHAN et al., 1976).

Alguns fatores devem ser considerados na seleção e na sequência das máquinas de beneficiamento de sementes, destacando-se: a espécie de semente a ser beneficiada, a natureza, a espécie e a quantidade de sementes de plantas silvestres e de outras plantas cultivadas, o material inerte presente no lote e os padrões de sementes que deverão ser obedecidos (Villela e Peske, 1988). Ressaltam ainda que as sementes de uma mesma cultura diferem basicamente em uma ou mais características físicas, muitas vezes mesmo dentro de uma mesma espécie. Para que seja possível a separação, a semente deve diferir do material indesejável em alguma característica física. Como muitas vezes existem diferenças múltiplas entre os materiais a serem separados, o beneficiador deve escolher aquela característica que, por ser mais pronunciada, permita uma separação de um volume razoável e com mais alto grau de eficiência.

Os operadores de uma determinada unidade de beneficiamento precisam conhecer os padrões das sementes, suas características físicas e os princípios de funcionamento de cada equipamento do beneficiamento. Devem também ser capacitados para a realização do exame de lotes após a colheita, a determinação das máquinas necessárias e o estabelecimento da sequência de beneficiamento a ser aplicada para que o lote se enquadre em padrões pré-estabelecidos (OLIVEIRA et al., 2021).

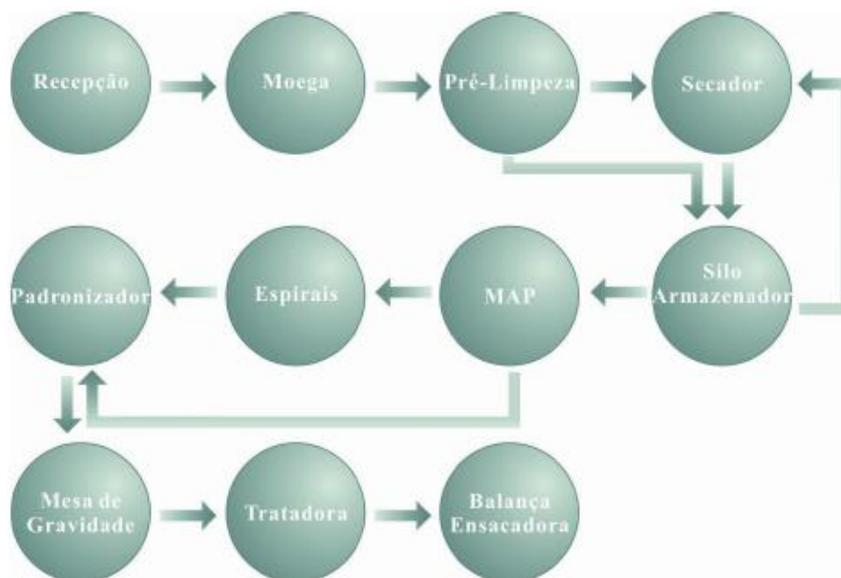
Os princípios básicos utilizados para a separação dos materiais indesejáveis das sementes são: tamanho (largura, espessura e comprimento), densidade, forma, textura superficial, condutividade elétrica, afinidade por líquidos e cor (PESKE et al., 2019).

As características físicas das sementes e as máquinas e os equipamentos correspondentes usados no beneficiamento de sementes, podem ser listados conforme estabelecido por Vaughan et al. (1976): a) comprimento (separador de cilindro; separador de discos); b) largura (máquina de ar e peneira, peneira de perfuração redonda; classificador por largura); c) espessura (máquina de ar e peneira, peneira de perfuração oblonga; classificador por espessura); d) peso e massa específica (máquina de ar e peneira, sistema de ventilação; mesa de gravidade; separador de coluna de ar; separador pneumático); e) forma (separador de espiral; separador vibratório; separador de correia inclinada; separador por fricção); f) textura superficial (separador de rolos; separador de correia inclinada); g) cor (separador eletrônico por cores) e h) condutividade elétrica (separador eletrostático).

Problemas como dano mecânico, que afetam a qualidade das sementes e que é relacionado com o beneficiamento pode ser reduzido ou evitado com o planejamento e o manejo adequado da unidade de beneficiamento de sementes (FRANÇA-NETO et al. 2016). O dano mecânico ocorrido pelo beneficiamento inadequado pode acarretar redução na germinação da ordem de 20% a 30%.

Segundo Baudet e Villela (2007), existe uma sequência adequada das máquinas na unidade de beneficiamento de sementes de soja, representada na Figura 1. Nesse sentido, informam que a distribuição dos equipamentos de transporte, secagem, limpeza e classificação devem ser de modo que o processo venha a ter fluxo contínuo desde a recepção até o local de embarque para distribuição. Para não afetar o fluxo e a qualidade das sementes, o arranjo dos equipamentos deve ser flexível, possibilitando desviar de qualquer equipamento desnecessário. Deve-se planejar um sistema para minimização do pó e dos materiais indesejáveis, retirados nas diversas operações utilizadas na limpeza e classificação das sementes.

Figura 1 - Sequência de uma unidade de beneficiamento de soja



Fonte: Baudet e Villela (2007)

Em complementação ao fluxograma apresentado acima, França-Neto et al. (2016) acredita que para determinadas situações esta sequência também é adequada para o processamento de sementes de soja em uma operação de beneficiamento, seguindo a ordem: máquina de ar e peneira (MAP), separador em espiral, padronizador por tamanho, mesa de gravidade, tratador de semente (se necessário) e embaladora. O sistema de separação por ar dessa máquina deve ser ajustado, removendo assim toda impureza leve. A má limpeza pode acarretar acúmulo de impurezas no centro das espirais, comprometendo a função do equipamento.

Ainda França Neto et al. (2016) justifica a alteração no fluxo para algumas cultivares de soja que geram alta taxa de descarte de sementes, acima de 10%, no separador de espiral, ficando então o padronizador antes do separador em espiral. Em casos específicos de grandes volumes de sementes, verifica-se que as sementes maiores provocam a retenção de sementes menores de boa qualidade nas espirais internas do separador de espiral e o percentual de descarte desse material ultrapassa 5%.

Atualmente, há equipamentos modulares que fazem a limpeza e a classificação em um mesmo equipamento possuindo esse dois módulos. Com isso o fluxograma dessas unidades deverão ter as espirais após esses módulos (PETKUS, 2023), corroborando em parte com França Neto (2016).

Considerando os elementos citados dos equipamentos utilizados em uma unidade de beneficiamento de sementes, destaca-se que o presente trabalho trata com ênfase o beneficiamento de sementes de soja, mais precisamente no separador de espiral.

## 2.2. O Separador de Espiral

O separador de espiral é um equipamento que opera pela ação da força gravitacional, separa as sementes pela forma (grau de esfericidade), pelo peso específico e pela capacidade de rolar e também separa as sementes esféricas de seus contaminantes com outros formatos, bem como, sementes quebradas, trincadas, com má formação, atacadas por insetos e patógenos e de plantas silvestres (PERES et al., 2015).

Dentre os estudos realizados com esse equipamento destacam-se alguns que apresentam prós e contras, potencialidades e restrições para sua utilização. Originalmente, o separador de espiral foi desenvolvido para a separação de sementes de *Vicia* spp. de sementes de trigo e aveia, entretanto, atualmente não é mais utilizado para tal propósito. Foi posteriormente adaptado para o beneficiamento de sementes de soja na separação de sementes ovaladas como o feijão miúdo (*Vigna unguiculata* L.) e sementes contaminadas por escleródios de esclerotinia (*Sclerotinia sclerotiorum*). Nos Estados Unidos da América, o separador de espiral era também utilizado para separação de *Ipomea turbinata* de sementes de soja. Também pode ser empregado para a separação de *Plantago* spp. e *Rumex* spp. de sementes de cornichão (HESSE e PESKE, 1981; VILLELA e PESKE, 1988; PERES et al., 2015; PESKE et al., 2019).

Vaughan et al. (1976) e Boyd (1969) obtiveram resultados na remoção de sementes de *Ipomoea* spp em sementes de soja, algumas leguminosas forrageiras de sementes de mostarda, e sementes inteiras de quebradas. Welch (1974) ressalta que o separador de espiral foi muito útil na separação de *Vicia* spp do trigo, e sementes de formato triangular ou partículas de terra da soja. Jarrin (1979), no entanto, evidenciou a necessidade do prosseguimento das pesquisas no sentido de estudar, dentre outros aspectos, a probabilidade de repetição (precisão) dos resultados obtidos

com a utilização dos diferentes modelos do separador. Krzyzanowski et al. (1992) citam que o separador de espiral pode ser utilizado na remoção de torrões que acompanham a semente e é uma forma de reduzir as chances de disseminação do nematóide de cisto. Villela (1985) verificou a importância da inclusão de um separador de espiral na linha de beneficiamento de cornichão, com adaptação para trevo branco e alfafa, visto que aumentou a pureza e a qualidade fisiológica dos lotes destas sementes. Em síntese, diversos autores apontam vários aspectos benéficos obtidos pelo uso do separador de espiral no beneficiamento de sementes.

Quanto à estrutura e modo de funcionamento, o separador de espiral é um equipamento modular, que consiste basicamente em uma série de chapas de metal construídas em forma de espirais internas, em torno de um tubo central disposto verticalmente e sem partes móveis (VILLELA e PESKE, 1988), como o separador de espiral dupla de Krussow (Anexo 1). Segundo Peske et al. (2019) e Villela (1985) existem vários tipos de separadores de espiral e esses equipamentos são de fácil construção, eles podem diferir entre si quanto à altura da espiral, o passo, a largura da espiral interna e a existência da espiral externa. Sua fabricação pode ser feita em qualquer funilaria e a um custo bastante acessível, ao contrário do que acontece com outras máquinas dentro de uma unidade de beneficiamento.

Em outra abordagem, Villela e Peske (1988) apresentam três partes principais como elementos que constituem um separador de espiral: moega de alimentação, cone divisor e espiral. A moega de alimentação é um depósito no topo do equipamento, semelhante a um tronco de cone invertido, que recebe as sementes que serão separadas. As sementes passam às espirais através de aberturas no fundo da moega. Um disco com uma série de orifícios circulares de vários tamanhos é instalado sob a moega e sobre a abertura, de tal forma que pode ser girado manualmente. O tamanho do orifício do disco que está alinhado com a abertura da moega determina o fluxo de alimentação. O cone divisor é um mecanismo localizado abaixo do alimentador que serve para distribuir as sementes uniformemente às várias lâminas internas da espiral. A espiral é a parte efetiva do equipamento. A largura e os ângulos de declive e de inclinação lateral das espirais são fixos e pré-determinados pelo fabricante.

Esta falta de flexibilidade na regulagem das espirais acaba sendo uma desvantagem para o equipamento, pois uma espiral desenhada para sementes pequenas não pode ser utilizada efetivamente para sementes grandes. Sementes

grandes exigem espirais mais largas que as pequenas, requerendo-se espirais de várias dimensões para beneficiar sementes de espécies que variam de grandes a pequenas (VAUGHAN et al, 1976).

O equipamento uma vez ajustado, não requer supervisão, a não ser uma revisão periódica para ver se o espaço entre as espirais não ficou entupido com impurezas, principalmente se as sementes não tenham sido limpas antes de passar pelo separador de espiral (WELCH, 1974). No entanto, os separadores de espiral não são adequados para a limpeza grosseira.

Quanto ao funcionamento de um separador de espiral, a mistura de sementes é colocada pelo alimentador da moega na parte superior das espirais internas e, naturalmente, por seu peso, esse material se move para baixo ao longo das espirais internas. Para maior rendimento, são utilizadas várias espirais internas que possuem cada uma a capacidade média de 100 kg/hora. Requerem-se de 16 a 20 espirais por linha de beneficiamento (PESKE et al., 2019).

Conforme Villela e Peske (1988), o processo de separação das sementes vai depender do grau de esfericidade e da capacidade para rolar. As sementes deslizam ou rolam nas partes internas, ao caírem, as mais esféricas rolam com maior facilidade, adquirindo maior velocidade, aumentando a órbita das sementes nas espirais internas, ao redor do eixo central. Com isso, as sementes rolam sobre a bordadura das espirais internas, indo cair na espiral externa, devido ao aumento da força centrífuga, e continuam nesse percurso até que são descarregadas por uma bica na parte inferior do separador. As sementes menos esféricas, menores, quebradas, deformadas e outros materiais deslizam ou rolam com menor facilidade e não atingem a velocidade necessária para ultrapassar a bordadura da espiral interna e continuam nela até que são descarregados por outra bica.

Fatores como a altura inicial da queda, o diâmetro do tubo central, o grau de atrito entre a semente e o material da espiral, a forma e a natureza da semente, a taxa de alimentação e a umidade da semente são determinantes na velocidade que a semente desenvolve na saída da espiral interna. A largura, o ângulo de inclinação lateral e o ângulo de declive da espiral são fatores que determinam se essa semente ficará ou não retida na espiral interna (VILLELA, 1985).

Dentro de uma unidade de beneficiamento de sementes, o separador de espiral é o equipamento que causa mais ruído durante a operação. Oliveira et al. (2016) reafirmam que o equipamento pode chegar a emitir até 98 dB, ultrapassando o limite

de 85dB, regulamentado pelo Ministério do Trabalho. Ainda, conforme Oliveira et al. (2016) durante a etapa de funcionamento, o equipamento apresenta variações de nível de pressão sonora, no abastecimento e esvaziamento dos separadores de espiral, os níveis de pressão sonora se aproximam de 84 dB.

Para diminuir este inconveniente, Peske et al. (2019) relatam que, alguns fabricantes retiram a espiral externa e colocam as espirais dentro de uma “caixa”, diminuindo acentuadamente o barulho. Atualmente, este equipamento pode ser adquirido com sistema fechado e com emborrachamento interno. Analisando a eficácia da utilização de materiais com compensado de madeira ou chapa metálica na diminuição do ruído emitido pelo separador de espiral, considerando o não uso de EPIs, Franchini et al. (2020) constataram que a distância segura, sem material atenuante, é de 13,7 a 30,6 metros, com compensado de madeira, é de 11 a 21,1 metros, e utilizando a chapa metálica, varia entre 10,7 e 18,9 metros. O estudo mostrou que mesmo utilizando dois diferentes materiais atenuantes não foi possível diminuir o ruído abaixo dos limites especificados pelo Ministério do Trabalho.

Estudos destacam o descarte de sementes de boa qualidade física, por exemplo, Zago (2012) analisou os dados do descarte nas etapas do beneficiamento de sementes de soja, cujo resultado chegou a um aproveitamento de 51% nas safras e cultivares analisadas. Concluiu também que o separador de espiral foi o equipamento que apresentou maior descarte de sementes, sendo responsável por 49,2% de descarte. Para Peske et al. (2019), o descarte de sementes de soja pode chegar a 30%, dependendo do lote de sementes. De acordo com Jarrin (1979), além da remoção do material indesejável, a eficiência do separador de espiral também está relacionada ao descarte de boas sementes de soja junto à descarga de impurezas.

Por outro lado, Peske et al. (2019) explicam que o equipamento com espirais de maior largura haverá a possibilidade de mistura das sementes de soja com as de feijão miúdo (*Vigna unguiculata* Walp) devido à reduzida diferença de forma entre os materiais. O percentual de descarte chega a atingir de 30 a 40%, caso as sementes tenham características ovais ou pequenas. Ainda afirmam que para evitar esse prejuízo podem ser utilizadas espirais internas de menor largura e outra alternativa para diminuir o descarte de sementes no separador de espiral é classificar as sementes por tamanho, antes de passar pelo equipamento, assim haverá menos sementes sofrendo choque entre si e alterando sua velocidade.

### 2.3. O Separador de Espiral Rotativo

O espiral rotativo tem como diferencial possuir um eixo que rotaciona tanto no sentido horário para o anti-horário podendo ter controle de velocidade e como o espiral tradicional de alimentação (Anexo 4). Não há trabalhos científicos até a presente data que detalhes este equipamento.

O processo de separação das sementes mais esféricas das menos esféricas no separador de espiral rotativo é similar ao do separador tradicional, a velocidade de rotação, determinada pelo inversor de frequência (Anexo 5) exerce grande influência na separação, com o aumento da velocidade, mais sementes esféricas sairão para parte externa das espirais, assim como as menos esféricas, porém, ao reduzir lentamente a velocidade as sementes menos esféricas deixem de sair para a parte externa. Caso a velocidade de rotação diminua, menos sementes esféricas sairão para a parte externa das espirais, terminando na descarga de sementes menos esféricas (PROFILE, 2023).

Para as linhas de produção em uma unidade de beneficiamento, os separadores são compostos por quatro espirais, com capacidade de cinco toneladas por hora (Anexo 2A/B). Para o laboratório, o separador de espiral rotativo, foi desenvolvido para as análises de pré-colheita, composto por uma espiral e com capacidade operacional de uma tonelada por hora (Anexo 3A/B). Este equipamento também pode ser usado para beneficiar sementes de outras espécies, além das sementes de soja, como as de hortaliças, com uma espiral de menor largura, a altura entre uma espiral e outra (passo) é também modificada (PROFILE, 2023).

Marco Rocha comenta que como no separador de espiral tradicional, o operador que vai trabalhar com o espiral rotativo também precisa entender as diferentes formas e características dos diferentes produtos a serem separados. Os separadores de espiral rotativos têm melhor desempenho caso as matérias-primas estejam pré-limpas. Após a pré-limpeza do material, é necessário fazer os ajustes adequados no controle de velocidade e a seleção do tamanho do orifício para garantir um melhor resultado. A velocidade de rotação indicada no beneficiamento de

sementes de soja é de 30 a 50 rpm, dependendo do tamanho da semente (Informação verbal)<sup>1</sup> (LAB\_AGROTEC, 2022).

O tamanho do orifício do disco afetará a capacidade de beneficiamento por hora (fluxo de alimentação). O maior tamanho do orifício, permite maior vazão e, em algum momento com um tamanho de orifício suficientemente grande, acarretará maiores quantidades de sementes esféricas entrando na calha de descarga das menos esféricas e também mais sementes terminando na descarga de sementes esféricas (PROFILE, 2023).

Do ponto de vista de funcionamento, a inadequada separação é causada, na maioria dos casos, pela indevida de velocidade de rotação ou pelo inapropriado tamanho do disco que controla a vazão de sementes que entra no equipamento. Dependendo do tamanho das sementes que se deseja separar, o sentido da rotação necessita ser alterado (PROFILE, 2023).

A estrutura do equipamento pesa 150 kg, a caixa inferior é confeccionada de chapa galvanizada, de tamanho 1,30 x 1,30 e 2,30 de altura, possui duas janelas de acrílico nas laterais, de fácil instalação, com mínimo de ruídos e impede que as sementes saltem para fora no momento do beneficiamento. Cortinas de Etileno Acetato de Vinila (EVA) são instaladas internamente, projetadas para diminuir os danos mecânicos, sendo também penduradas verticalmente na montagem para impedir que as sementes pulem de um núcleo (em geral, quatro núcleos por equipamento) para o outro (Anexo 2B). A potência do motor de acionamento do separador de espiral é de 400W, o que assegura um baixo consumo de energia, para um equipamento dentro de uma linha de beneficiamento de sementes (PROFILE, 2023).

O separador de espiral rotativo também pode ser usado sem rotação do eixo central (estático). Ressalta que sem o disco no fluxo de alimentação, sendo a maior capacidade estática do separador de espiral, o descarte é maior, em torno de 30%, porém, com o disco o descarte pode ser reduzido, chegando a 12% (Informação verbal)<sup>2</sup> (LAB\_AGROTEC, 2022).

---

<sup>1</sup> Informação fornecida por Marco Rocha, diretor de vendas da Profile Industries de Minneapolis, Minnesota, EUA, para o canal do Youtube Lab\_Agrotec, em Pelotas, em fevereiro de 2022.

<sup>2</sup> Informação fornecida por Marco Rocha, diretor de vendas da Profile Industries de Minneapolis, Minnesota, EUA, para o canal do Youtube Lab\_Agrotec, em Pelotas, em fevereiro de 2022.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho foi utilizado um separador de espiral rotativo, instalado no Laboratório de Análise de Sementes, da empresa Petrovina Sementes, localizada às margens da rodovia BR 364, km 119, Serra da Petrovina, no município de Pedra Preta/MT, sul do estado do Mato Grosso.

O separador de espiral rotativo possuía capacidade estática de uma tonelada por hora, com estrutura do equipamento de 150kg, caixa inferior confeccionada de chapa galvanizada, de tamanho 1,30x1,30 e 2,30m de altura, composto por uma espiral, com um conjunto de 3 espirais distanciados a 5cm com 8 espirais, de largura de 18 cm, passo de 2,5cm (distância entre espirais).

Foi utilizada uma fração de 1200kg de um lote de sementes de soja, com umidade de 11,4%, sem classificação por tamanho, acondicionada em embalagem (big bag), de polipropileno trançado, com diferenças quanto à esfericidade (mais e menos esféricas) e ao tamanho (maiores e menores), oriunda de campo de produção, colhido na safra 2023.

O experimento foi constituído por 27 unidades experimentais, cada uma de 30kg, sendo os tratamentos constituídos por dois fatores, velocidades de rotação, expressa em rpm, (nula, 5 e 10rpm) e fluxos de alimentação (aberturas de diâmetro 32,0; 38,5 e 47,6mm (sem disco), correspondente a áreas de 8,04; 11,6 e 17,8cm<sup>2</sup>, portanto 0,3; 0,6 e 1,2t/h e três repetições.

A quantidade (30kg) de sementes de cada repetição de tratamento (combinação dos níveis dos fatores) foi colocada no depósito de alimentação e foram coletadas as frações descarregadas na saída chamada aproveitamento (sementes que saíram das espirais em rotação) e da fração descarte (sementes que se moveram sobre as espirais em rotação), sendo posteriormente pesadas, empregando uma balança com escala em gramas (Anexo 3D1/D2).

**Porcentagem de aproveitamento:** massa resultante em quilos sobre a massa inicial da repetição (30kg) sendo posteriormente pesadas, empregando uma balança com escala em gramas, em porcentagem.

**Porcentagem do descarte:** massa resultante em quilos sobre a massa inicial da repetição (30kg) sendo posteriormente pesadas, empregando uma balança com escala em gramas, em porcentagem.

De cada fração, foi retirada uma amostra para as análises de avaliação da qualidade física e fisiológica. As amostras de aproveitamento e descarte foram coletadas de forma manual com a utilização de um recipiente de capacidade 1,0kg de sementes. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e mantidas em local sem exposição direta à umidade e aos raios solares, armazenadas em câmara fria e seca, a uma temperatura de 15°C e umidade relativa do ar de 45%.

As amostras deram entrada no Laboratório Didático de Análise de Sementes pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), sendo, a seguir, conduzidos os testes laboratoriais. Para avaliação da qualidade física e fisiológica, foram conduzidos os seguintes testes:

**Grau de umidade:** realizado pelo método da estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  por 24 horas, utilizando-se duas subamostras, com cerca de 5g por amostra, segundo as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009).

**Peso de 1000 sementes:** o peso de mil sementes de uma amostra varia de acordo com o teor de água das sementes, logo, foi realizado primeiro a determinação do grau de umidade. A metodologia da avaliação do peso de sementes foi composta por oito repetições de 100 sementes contadas manualmente ao acaso, sendo cada repetição pesada com o auxílio de uma balança de precisão (em gramas) de acordo com as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009), posteriormente foi realizado o cálculo da variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

**Peso hectolitro (Peso volumétrico):** a metodologia utilizada seguiu a descrição das Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009). Utilizou-se uma balança hectolétrica com capacidade de um quarto de litro (250ml) da marca Dallemolle. O teste foi realizado em duas repetições e a interpretação contou com o auxílio de tabelas de conversão. Após a pesagem, a diferença entre as duas repetições não excedeu a  $0,5 \text{ kg.hL}^{-1}$ , o resultado foi a média das pesagens e expresso em  $\text{kg.hL}^{-1}$ .

**Envelhecimento acelerado:** foram utilizadas caixas plásticas transparentes do tipo gerbox (11,5 x 11,5 x 3,5cm) como compartimentos individuais (minicâmaras), possuindo em seu interior suportes para apoio de uma tela metálica. As sementes (250) foram espalhadas sobre a tela metálica, bem distribuídas formando uma camada uniforme sem sobreposição. Foi adicionado ao fundo de cada caixa plástica, 40ml de água destilada. As caixas foram tampadas e mantidas em câmara do tipo BOD por 48

horas a uma temperatura de 41°C (MARCOS FILHO, 2020). Após esse período as três repetições de cada tratamento foram submetidas ao teste de germinação conforme as Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009). As contagens foram aos cinco dias da sementeira, computando-se a percentagem de plântulas normais por repetição.

**Germinação:** a metodologia utilizada foi adaptada das Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009). Utilizaram-se quatro repetições de 50 sementes, distribuídas aleatoriamente em papel tipo germitest® em forma de rolo. Foram utilizadas para a sementeira três folhas de papel (duas folhas na base e uma terceira cobrindo as sementes), previamente umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato seco. As repetições foram acondicionadas na posição e a avaliação realizada aos cinco (primeira contagem) e aos oito dias após a sementeira, computando-se a percentagem de plântulas normais.

**Emergência de plântulas:** realizada com 200 sementes por repetição, com a sementeira realizada em bandejas contendo substrato areia esterilizada, sendo distribuídas em linhas, em sulcos espaçados de 0,01m. As perfurações no substrato foram realizadas com furador de 0,02m de profundidade, alocando as sementes nestes furos, cobrindo-as com uma fina camada de areia. Para a irrigação, foi feito o cálculo da determinação da capacidade de campo estimando o volume de armazenagem de água, sendo mantido 70% da capacidade de campo. As bandejas foram mantidas à temperatura constante de 20°C. A avaliação foi realizada em uma contagem aos dez dias após a sementeira, determinando o número de plântulas emergidas e expressando os resultados em porcentagem.

**Procedimento experimental:** as análises foram realizadas com o auxílio do software R version 4.2.1 (R CORE TEAM, 2022) e a normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. O ensaio foi conduzido em fatorial 3x3 (velocidade de rotação x fluxo de alimentação), em blocos ao acaso, com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e havendo significância para a interação entre fatores foram realizados os respectivos desdobramentos, com as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey, em nível de probabilidade de 5%.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Avaliação da qualidade física das sementes de soja

O resumo da análise de variância dos resultados dos testes de avaliação da qualidade física do lote das sementes de soja (Tabela 1), permite verificar que a interação entre os fatores velocidade de rotação e fluxo de alimentação com significância para as variáveis peso de mil sementes da fração aproveitada (PMSAP), porcentagem da fração do aproveitamento (AP) e porcentagem da fração do descarte (DES).

Para os resultados de peso hectolitro da fração descarte (PHD) houve significância apenas para o fator velocidade de rotação. A variável peso hectolitro da fração aproveitada (PHAP) apresentou significância apenas para o fator fluxo de alimentação. Para a variável peso de mil sementes da fração descarte (PMSD) ocorreu significância para os fatores isolados velocidade de rotação e fluxo de alimentação.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância da qualidade física das sementes de soja para as variáveis peso hectolitro do aproveitamento (PHAP); peso hectolitro do descarte (PHD); peso de mil sementes do aproveitamento (PMSAP); peso de mil sementes do descarte (PMSD); porcentagem da fração do aproveitamento (AP) e porcentagem da fração do descarte (DES).

FV	GL	PHAP	PHD	PMSAP	PMSD	AP	DES
		QM					
<b>Bloco</b>	<b>2</b>	0,34	1,26	2,48	22,90	0,30	1,80
<b>Velocidade</b>	<b>2</b>	0,48 <sup>ns</sup>	5,83 <sup>*</sup>	11,15 <sup>ns</sup>	618,50 <sup>**</sup>	941,10 <sup>**</sup>	967,40 <sup>**</sup>
<b>Alimentação</b>	<b>2</b>	1,36 <sup>*</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	43,26 <sup>ns</sup>	244,10 <sup>**</sup>	696,50 <sup>**</sup>	644,80 <sup>**</sup>
<b>V x A</b>	<b>4</b>	0,72 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	63,70 <sup>*</sup>	24,60 <sup>ns</sup>	126,4 <sup>**</sup>	140,00 <sup>**</sup>
<b>Resíduo</b>	<b>16</b>	0,31	1,35	15,31	19,20	2,80	2,00
<b>CV%</b>		0,79	1,65	1,88	2,20	1,92	11,13

Não significativo (ns), significativo a 5% (\*) e 1% (\*\*) de probabilidade.

Os dados das médias de teores de água (%) do lote de sementes de soja, conforme a velocidade de rotação e o fluxo de alimentação obteve variação inferior a

um ponto percentual, situando-se entre 10,1 e 10,9%, tanto para as frações aproveitadas como para as frações descartadas após a passagem pelo separador de espiral rotativo, estes resultados não foram analisados estatisticamente, servindo apenas para a caracterização e o monitoramento para a execução dos testes.

Os resultados das avaliações referentes ao desempenho do equipamento separador de espiral rotativo (Tabela 2) demonstraram que na velocidade nula houve redução da fração aproveitamento com o aumento do fluxo de alimentação de 1,2t/h, enquanto nas velocidades 5 e 10rpm, houve incremento menos expressivo da fração descarte com a elevação do fluxo de alimentação, sobretudo na maior velocidade. O separador operando estático apresentou aumento no descarte de 27 pontos percentuais (13 para 40%), ao elevar o fluxo de alimentação correspondente de 0,3t/h para 1,2t/h. Na velocidade de 5rpm, o mesmo incremento de alimentação ocasionou um acréscimo de descarte de 18 pontos percentuais (de 4 para 22%). No menor fluxo de alimentação de 0,3t/h, o descarte empregando a velocidade nula foi 9 e 11 pontos percentuais superior, respectivamente, em relação às velocidades de rotação de 5 e 10rpm e no maior fluxo de alimentação, alcançou 18 e 36 pontos percentuais maior do que nas referidas velocidades de rotação. Vale destacar que na velocidade de 10rpm, o aproveitamento não diferiu entre os fluxos de alimentação, atingindo pelo menos 96%, ou seja, um descarte não superior a 4%.

Tabela 2 - Valores médios (%) do desempenho do separador de espiral rotativo das frações aproveitamento e descarte do lote de sementes de soja, levando em consideração velocidade de rotação e fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023.

<b>Velocidades (rpm)</b>	<b>Fluxos de Alimentação (t/h)</b>	<b>Aproveitamento (%)</b>	<b>Descarte (%)</b>
<b>0</b>	<b>0,3</b>	87 bA	13 aB
	<b>0,6</b>	83 cB	17 aC
	<b>1,2</b>	60 cC	40 aA
<b>5</b>	<b>0,3</b>	96 aA	4 bB
	<b>0,6</b>	94 bA	6 bB
	<b>1,2</b>	78 bB	22 bA
<b>10</b>	<b>0,3</b>	98 aA	2 cA
	<b>0,6</b>	98 aA	2 cA
	<b>1,2</b>	96 aA	4 cA

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Observou-se na Tabela 3 que os valores do peso médio de mil sementes obtidos das amostras coletadas na fração aproveitamento com o uso de velocidade nula e fluxo de alimentação correspondente à 1,2t/h ficou abaixo, se comparado com os demais, o que indica uma possível precariedade na qualidade das sementes, ou sementes menos densas e desuniformes. Todavia, para a fração das amostras na velocidade nula e com alimentação correspondente às aberturas com 0,3 e 0,6t/h, as médias do peso de mil sementes evidenciaram um aproveitamento de sementes mais densas, ou seja, maiores e com mais qualidade (Anexo 9). Vaughan et al. (1976) reforçaram que o separador de espiral separa as sementes na mistura de acordo com seu formato e peso específico, desde sementes achatadas de menor peso específico na espiral interna, até sementes esféricas de maior peso específica.

Tabela 3 - Valores médios (g) do peso de mil sementes (PMS), da fração aproveitamento, do lote de sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração velocidade de rotação e fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023.

Velocidades (rpm)	PMS (g)		
	Fluxos de Alimentação (t/h)		
	0,3	0,6	1,2
0	210 aA	212 aA	199 bB
5	208 aA	210 aA	210 aA
10	210 aA	206 aA	208 aA

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Na fração descarte (Tabela 4), empregando a maior velocidade de rotação, as sementes apresentaram menor peso de mil sementes, podendo estas serem sementes de qualidade inferior (Anexo 10). A redução do peso específico também pode estar ligada à ação parasitária de microrganismos que consomem a matéria seca das sementes (AMARAL et al., 1984), visto que houve incidência de chuva no período de colheita do cultivar, o que pode ter favorecido o desenvolvimento de fungos.

Os resultados também mostraram que utilizando velocidade nula ou de 5rpm, gerou-se o descarte de sementes mais pesadas, o que indica que este tipo de regulagem pode estar favorecendo a saída de sementes de qualidade juntamente com a fração descarte (Anexo11).

Tabela 4 - Valores médios (g) do peso de mil sementes (PMS), da fração descarte, do lote de sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração velocidade de rotação e fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023.

<b>PMS (g)</b>			
<b>Velocidades (rpm)</b>	<b>Descarte</b>	<b>Fluxos de Alimentação (t/h)</b>	<b>Descarte</b>
<b>0</b>	206 a	<b>0,3</b>	195 b
<b>5</b>	201 a	<b>0,6</b>	196 b
<b>10</b>	190 b	<b>1,2</b>	205 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

O peso de mil sementes da fração descarte foi menor nos fluxos de alimentação correspondentes a 0,3 e 0,6t/h, chegando a 10g de diferença, o que corresponde a uma diferença de 50kg, num big bag contendo cinco milhões de sementes.

O peso hectolitro (PH) é influenciado pelo tamanho, forma, densidade e grau de umidade das sementes. Mantendo-se outras características semelhantes, quanto menor for a semente, maior será o peso volumétrico. Em relação à umidade, a mesma varia conforme o tipo de semente, ou seja, em soja, quanto maior o grau de umidade da semente, menor será o peso volumétrico (PESKE et al., 2019).

No que se refere ao peso hectolitro (Figura 2), os resultados demonstraram uma amplitude de  $0,40\text{kg.hL}^{-1}$  entre os valores, não existindo diferença significativa entre as velocidades de rotação na fração aproveitada, o que leva a considerar que na fração aproveitamento, em todas as velocidades empregadas, as sementes apresentaram similaridade de qualidade. Na fração descarte, observou-se que na velocidade 10rpm o peso hectolitro foi inferior ao apresentado na velocidade nula (diferença de  $1,3\text{kg.hL}^{-1}$ ).

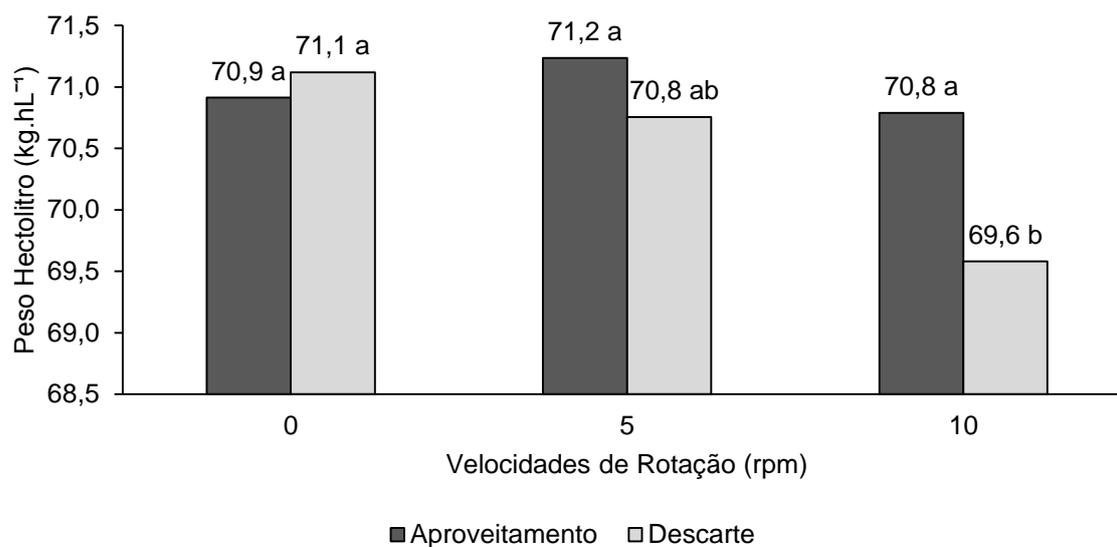


Figura 2 - Valores médios (kg.hL<sup>-1</sup>) do peso hectolitro das frações aproveitamento e descarte do lote de sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração velocidade de rotação. Pedra Preta, MT, 2023.

O uso de fluxo de alimentação, correspondente a 0,6t/h gerou um melhor aproveitamento de sementes de soja em comparação ao de 1,2t/h (diferença de 0,8kg hL<sup>-1</sup>), como pode ser visto na Tabela 5. Um lote formado por sementes maduras, bem granadas, apresenta um peso volumétrico maior do que outro lote com a presença de sementes imaturas, malformadas e chochas (PESKE et al., 2019).

Tabela 5 - Valores médios (kg.hL<sup>-1</sup>) do peso hectolitro (PH), da fração aproveitamento, do lote de sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração o fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023.

Fluxos de Alimentação (t/h)	PH (kg/hL <sup>-1</sup> )
	Aproveitamento
0,3	70,9 ab
0,6	71,4 a
1,2	70,6 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

## 4.2. Avaliação da qualidade fisiológica das sementes de soja

Os resultados das análises da qualidade fisiológica (Tabela 6) mostram para o teste de emergência de plântulas da fração aproveitamento (EPAP) e emergência de plântulas da fração descarte (EPD) que houve efeito significativo para a interação velocidade de rotação e fluxo de alimentação.

Ocorreu significância para o fator isolado fluxo de alimentação para envelhecimento acelerado da fração aproveitamento (EAAP), para o envelhecimento acelerado da fração descarte (EAD) e para a germinação da fração do descarte (GD). Por outro lado, o envelhecimento acelerado da fração descarte (EAD), a germinação da fração aproveitamento (GAP) e para a germinação da fração do descarte (GD) verificou-se significância para o fator isolado velocidade de rotação.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para a qualidade fisiológica das sementes de soja para as variáveis envelhecimento acelerado (EAAP); envelhecimento acelerado do descarte (EAD); germinação do aproveitamento (GA); germinação do descarte (GD); emergência de plântulas do aproveitamento (EPAP) e a emergência de plântulas do descarte (EPD).

FV	GL	EAAP	EAD	GAP	GD	EPAP	EPD
		QM					
<b>Bloco</b>	2	198,00	141,00	16,93	36,00	1,45	0,34
<b>Velocidade (V)</b>	2	100,00 <sup>ns</sup>	936,80 <sup>**</sup>	75,95 <sup>**</sup>	1600,60 <sup>**</sup>	93,04 <sup>**</sup>	310,01 <sup>**</sup>
<b>Fluxo (F)</b>	2	132,23 <sup>*</sup>	715,60 <sup>**</sup>	1,95 <sup>ns</sup>	161,20 <sup>**</sup>	39,81 <sup>**</sup>	117,40 <sup>**</sup>
<b>V x F</b>	4	92,00 <sup>ns</sup>	73,00 <sup>ns</sup>	9,13 <sup>ns</sup>	18,60 <sup>ns</sup>	94,18 <sup>**</sup>	13,70 <sup>*</sup>
<b>Resíduo</b>	16	35,00	31,00	5,32	14,70	5,68	3,45
<b>CV (%)</b>		8,13	11,72	2,66	5,84	2,91	3,04

Não significativo (ns), significativo a 5% (\*) e 1% (\*\*) de probabilidade.

O teste de vigor envelhecimento acelerado (Figura 3) revelou que não existem diferenças significativas na fração aproveitamento para os tratamentos velocidades e fluxos de alimentação, dado que o equipamento foi eficiente no aproveitamento de sementes mais vigorosas (Anexo 6a). Para Hossen et al. (2014), sementes vigorosas originam plântulas com maior taxa de crescimento, em função de apresentarem maior capacidade de transformação do suprimento de reserva dos tecidos de armazenamento e maior incorporação deste pelo eixo embrionário.

Ainda na Figura 3, o resultado do teste de envelhecimento acelerado da fração descarte mostraram diferenças significativas para os tratamentos velocidades e fluxo de alimentação, dado que o equipamento foi eficiente no descarte de sementes menos vigorosas (Anexo 6b), especialmente da maior velocidade de rotação de 10rpm em que houve descarte de sementes com vigor médio de 37%.

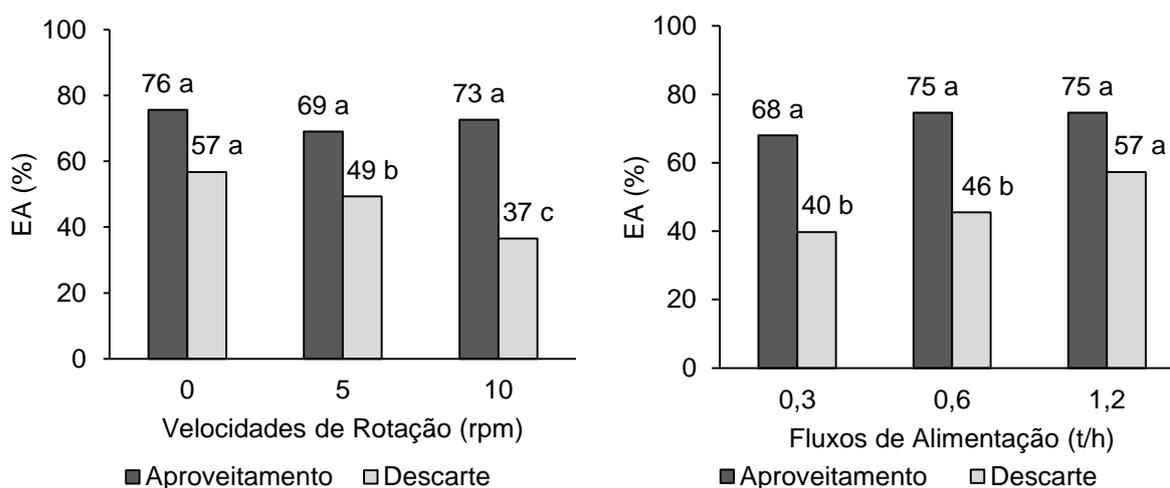


Figura 3 - Valores médios (%) do Teste de Envelhecimento Acelerado (E.A), das frações aproveitamento e descarte, do lote de sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração velocidade de rotação e fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023.

As sementes com menor vigor podem provocar reduções na velocidade de emergência, na uniformidade, na emergência total, no tamanho inicial e no estabelecimento de estandes adequados (VANZOLIN e CARVALHO, 2002), fatores esses que podem influenciar a acumulação de matéria seca, e assim afetar o rendimento (KOLCHINSKI et al., 2005).

De um modo generalizado, as frações com menor peso de mil sementes e mais baixo peso hectolitro (Tabela 3 e 4 e Figura 2) corresponderam às de menor vigor no teste de teste de envelhecimento acelerado.

Os resultados da avaliação dos testes de germinação das sementes de soja (Figura 4) evidenciaram que houve manutenção da germinação acima de 80%, não havendo diferenças significativas para os tratamentos velocidade de rotação e fluxo de alimentação, na fração aproveitamento (Anexo 7a). Para Peske et al. (2019), a germinação é considerada um processo fisiológico, onde a semente pode expressar o seu potencial; em tecnologia de sementes, ela é definida como a emergência e o desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião. Conforme Marcos Filho

(2020), valores elevados de germinação não refletem, necessariamente, no alto vigor, uma vez que o teste de germinação é conduzido em condições favoráveis de ambiente, permitindo ao genótipo, expressar o máximo desempenho na produção de plântulas normais.

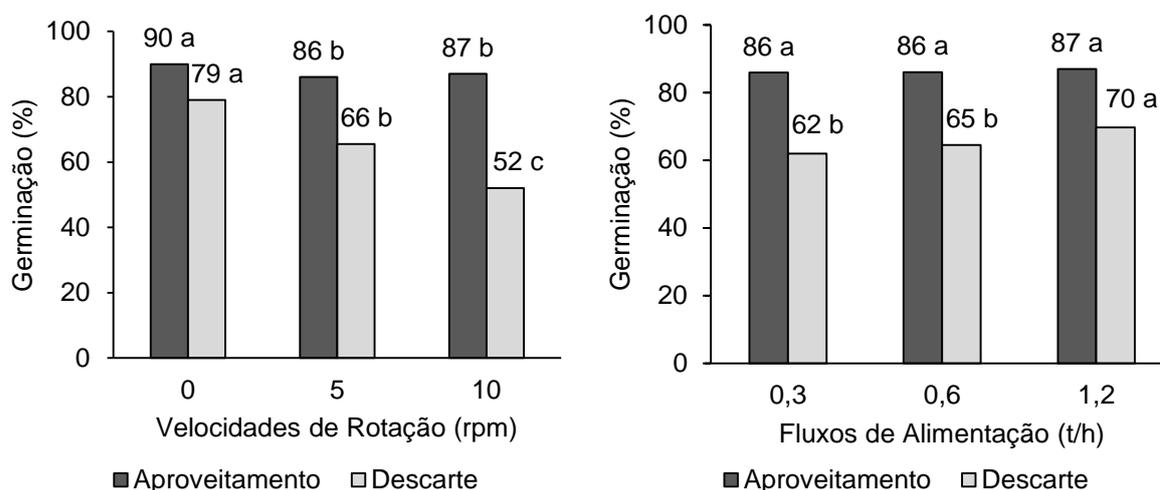


Figura 4 - Valores médios (%) do Teste de Germinação (G) das frações aproveitamento e descarte do lote de sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração velocidade de rotação e fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023.

Comparando com os resultados do peso de mil sementes da fração aproveitamento (Tabela 3 e Figura 2) para os tratamentos velocidades e fluxo de alimentação, as sementes que tiveram maior peso de mil sementes apresentaram maior peso hectolitro. Estes resultados têm relação com os apresentados nos testes de germinação ao mostrar superioridade das sementes com maior massa em relação às de menor peso de mil sementes (mais densas), conforme afirmação de Baudet e Misra (1991) em sementes de milho e Lollato e Silva (1984) em sementes de feijão. Da mesma forma, em relação ao peso hectolitro (Figura 3 e Tabela 5) para as frações aproveitadas, os resultados apresentam associação direta com a germinação e vigor de sementes.

Entre as frações descarte houve diferença tanto para o tratamento velocidade de rotação, quanto para o fluxo de alimentação (Figura 4), acarretando diminuição da germinação com o aumento da rotação, à semelhança do observado no vigor (Figura 3), por favorecer o movimento das sementes mais esféricas para fora das espirais, pelo incremento da força centrípeta. Esses resultados provavelmente estejam associados a um aumento do descarte de sementes de menor vigor (Anexo 7b). Por

outro lado, a tendência de aumento da germinação (Figura 4) e elevação do vigor (Figura 2) com o aumento do fluxo de alimentação (maior diâmetro da abertura), o que dificulta a movimentação das sementes mais esféricas para fora das espirais, incrementando o descarte de sementes de maior qualidade fisiológica.

Os resultados da Figura 2 permitem observar que a velocidade de 10 rpm forneceu frações com menores pesos pelo teste do peso de mil sementes, paralelamente com os testes de germinação (Figura 4) e de envelhecimento acelerado (Figura 3), possibilitando a separação de frações com sementes de qualidade fisiológica inferior.

O teste de emergência de plântulas mostrou, de forma geral, tendências similares às dos demais testes de avaliação da qualidade fisiológica. Na Figura 5, observa-se que na velocidade nula houve redução na emergência com o aumento do fluxo de alimentação de 0,6t/h, sendo de 13 pontos percentuais entre o fluxo de alimentação correspondente a 1,2t/h. Na velocidade de 5rpm não houve diferença significativa entre os fluxos de alimentação mantendo a germinação acima de 80% (Anexo 8a). Ao incrementar a velocidade de rotação de 5 para 10rpm, houve elevação da emergência de plântulas nos fluxos de alimentação correspondentes de 0,3 e 1,2t/h, enquanto na maior velocidade verificou-se decréscimo de 9 pontos percentuais entre os fluxos de alimentação de 0,3 e 1,2t/h.

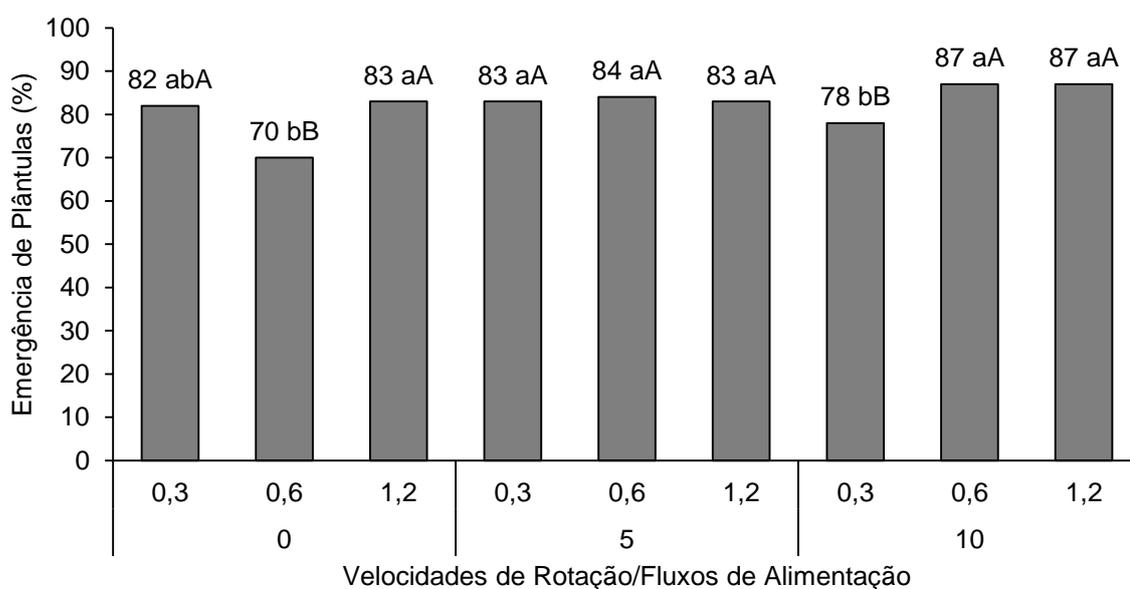


Figura 5 - Valores médios (%) do Teste de Emergência de Plântulas (EP) da fração aproveitamento do lote de sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração velocidade de rotação e fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023.

De modo geral, os resultados alcançados concordam com Oliveira e Krzyzanowski (1997) ao afirmarem que o beneficiamento de sementes de soja pode aprimorar a qualidade de um lote em termos de vigor, dependendo da qualidade inicial e do cultivar.

Na fração descarte, o resultado evidencia que ocorreu redução na emergência de plântulas com o aumento da velocidade de rotação (Figura 6) e decréscimo com o aumento do fluxo de alimentação (Anexo 8b). Empregando a velocidade nula, o descarte de sementes de maior qualidade foi expressivo, com uma diferença de 10 pontos percentuais entre o fluxo de alimentação de 0,3 e 0,6t/h.

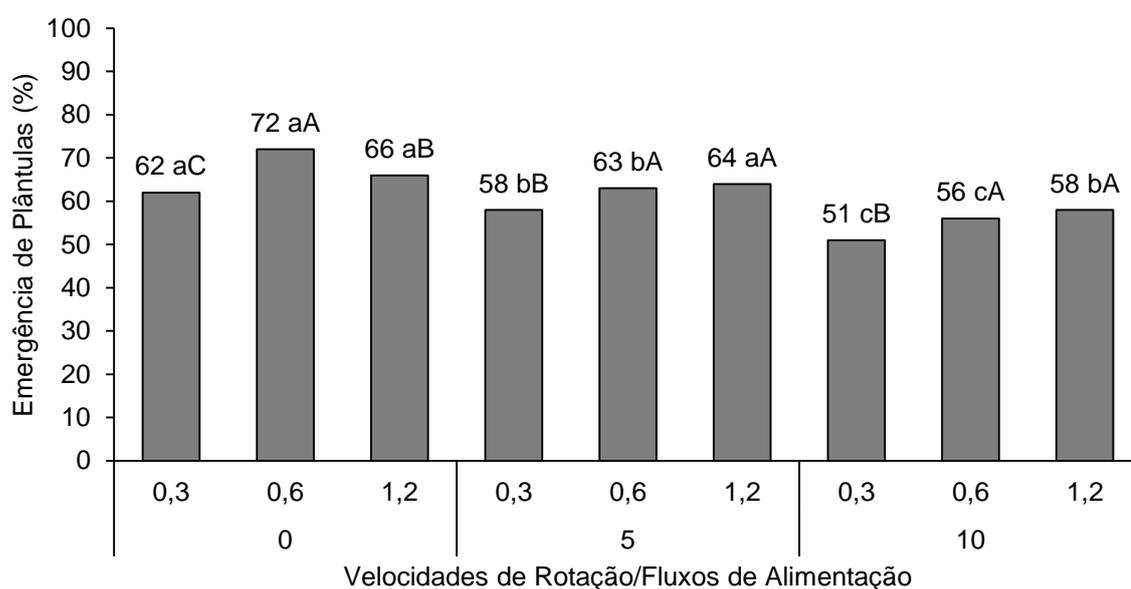


Figura 6 - Valores médios (%) do Teste de Emergência de Plântulas (E.P) da fração descarte do lote sementes de soja, em separador de espiral rotativo, levando em consideração velocidade de rotação e o fluxo de alimentação. Pedra Preta, MT, 2023.

Perry (1972) apud Popinigis (1985) definiu vigor como uma característica fisiológica determinada pelo genótipo e modificada pelo ambiente, que direciona a capacidade de uma semente produzir rapidamente uma plântula no solo e o limite ao qual a semente tolera os fatores ambientais. Ainda, segundo Carvalho e Nakagawa (2000), o vigor é afetado por fatores genéticos, desenvolvimento e maturidade da semente, danos mecânicos, ocorrência e incidência de microrganismos e insetos, condições de armazenamento, densidade e tamanho da semente, idade da semente e das baixas temperaturas durante a embebição.

De maneira geral, os resultados da avaliação do desempenho do separador de espiral rotativo mostraram que os maiores descartes de sementes foram obtidos na velocidade de rotação nula, para três fluxos de alimentação testados, sendo o maior

(40%) alcançado no maior fluxo de alimentação. Além disso, na velocidade de rotação de 5rpm e maior fluxo de alimentação também resultou em elevado descarte (22%).

Levando em consideração o resultado do peso de mil sementes, o pior desempenho alcançado foi para a fração aproveitada, sem rotação e mais alto fluxo de alimentação. O emprego da velocidade de rotação 10 rpm obteve melhor resultado junto com os fluxos de alimentação correspondentes 0,3 e 0,6t/h, eliminando-se sementes menos densas. Os mesmos tratamentos também obtiveram resultados favoráveis para o peso hectolitro.

Elevadas frações de aproveitamento foram alcançadas empregando a velocidade de rotação 10 rpm, para os três fluxos de alimentação avaliados. Isso evidencia que, quanto maior a velocidade, maior é o aproveitamento de sementes, evidenciando a maior eficiência do equipamento (Anexo 12). No entanto, em relação à qualidade física e fisiológica das sementes, estas frações podem apresentar misturas com sementes de menor qualidade (Anexo 13).

Nos testes de envelhecimento acelerado, germinação e emergência de plântulas para a fração aproveitada, as velocidades de rotação e os fluxos de alimentação não obtiveram efeitos significativos, mantendo relativamente elevados os valores de germinação e vigor. Na fração descarte, os resultados obtidos para velocidade nula foram significativos e com tendência semelhante para todos os testes, pois apresentaram maior descarte de sementes de qualidade. A velocidade de rotação 10rpm obteve melhor desempenho, dado que houve um menor descarte de sementes de qualidade em todas as avaliações. O fluxo de alimentação correspondente a 1,2t/h obteve um menor desempenho, descartando uma maior quantidade de sementes de qualidade. Os fluxos de alimentação correspondentes a 0,3 e 0,6t/h tiveram um melhor desempenho dado que geraram menor descarte de sementes de qualidade.

Os resultados dessa pesquisa, além de evidenciar a adequada regulação visando minimizar o descarte de sementes de soja de qualidade e estabelecer a influência da passagem das sementes de soja no separador de espiral rotativo na qualidade física, também evidenciaram o potencial para a realização de novas pesquisas visando aprimorar a qualidade fisiológica de sementes. Para tanto, é possível conduzir testes para avaliação de danos mecânicos e de qualidade sanitária, a fim de identificar e quantificar sua relação com os resultados obtidos nas determinações de peso de mil sementes e peso hectolitro e nos testes de germinação, envelhecimento acelerado e emergência de plântulas.

## 5. CONCLUSÕES

O separador de espiral rotativo manifesta redução no descarte e aumento na qualidade fisiológica do lote de sementes de soja da fração aproveitada com o incremento da velocidade de rotação.

O separador de espiral rotativo mostra aumento no descarte e diminuição na qualidade fisiológica do lote de sementes de soja da fração aproveitada com o acréscimo do fluxo de alimentação.

O separador de espiral rotativo apresenta eficiência na remoção de sementes menos esféricas, impactando positivamente na qualidade física e fisiológica do lote de sementes de soja.

## REFERÊNCIAS

AHRENS, D. C.; KRZYZANOWSKI, F. C. O separador em espiral e a mesa de gravidade na melhoria da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Informativo: ABRATES**, Londrina, v. 4, n. 3, 1994, p.14-18. Disponível em: <[https://www.conferencebr.com/conteudo/biblioteca/012\\_1994v4-n3-1643679243.pdf](https://www.conferencebr.com/conteudo/biblioteca/012_1994v4-n3-1643679243.pdf)> Acesso em: 10 jun. 2023.

AUMONDE Z. T.; PEDO T. A semente na estratégia ecofisiológica para alto rendimento. Sua semente tem valor ou tem preço? **Revista Seed News**. Pelotas, v. 23, p.10-18, ago. 2019.

AMARAL, A.S.; BICA, L.H.F; WOBETO, L.A. Classificação de sementes de ervilha. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 37, n. 348, 1984, p.32-35. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbs/a/4GtXvWPkwydQ4RHwbxYgBcp/?format=pdf&lang=pt>> Acesso em: 10 jun. 2023.

BAUDET, L.L & MISRA, K.M. Atributos de qualidade de sementes de milho beneficiadas em mesa de gravidade. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 13, n. 2, p.91-97, 1991. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/38933136.pdf>> Acesso em: 10 jul. 2023.

BAUDET, L.; VILLELA, F. Unidades de beneficiamento de sementes. **Revista Seed News**. Pelotas, v. 11, 2007. Disponível em: <<https://seednews.com.br/artigos/418-unidades-de-beneficiamento-de-sementes-edicao-marco-2007>> Acesso em: 11 jul. 2022.

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, 2009, 399p. Disponível em: <[https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivospublicacoes-insumos/2946\\_regras\\_analise\\_\\_sementes.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivospublicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf)> Acesso em: 11 jun. 2023.

BOYD, A.H. Fundamentals Seed Processing. Seed Tech. Lab. Mississippi State University. **Journal**, n.1624. 1969, 13p. Disponível em: <<https://scholarsjunction.msstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1067&context=seedseedtechp>> Acesso em: 10 jul. 2022.

CABRERA, E. R., "Special Purpose Separators". **Proceedings of the Short Course for Seedsmen**. v.401, 1982, 20p. Disponível em: <<https://scholarsjunction.msstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1400&context=seedsmen-short-course>> Acesso em: 19 jun. 2023.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira. Grãos - Safra 2022/23**, Brasília, v.1, n.61, 2023, p.78. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, 2023. Disponível em: <[www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos](http://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos)> Acesso em: 16 jun. 2023.

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, 2010, p.99-100. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbs/a/4GtXvWPkwydQ4RHwbxYgBcp/?format=pdf&lang=pt>> Acesso em: 05 jun. 2023.

FRANÇA NETO, J.; KRZYZANOWSKI, F.; PÁDUA, G.; COSTA, N.; HENNING, A. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade. (Circular Técnica n. 380). **Londrina: Embrapa Soja**, 2016, 84p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151223/1/Documentos-380-OL1.pdf>> Acesso em 10 jun. 2022.

FRANÇA NETO, J. Evolução do conceito da qualidade de sementes. **Revista Seed News**. Pelotas, v.20, p. 5, set. 2016. Disponível em: <<https://seednews.com.br/artigos/710-evolucao-do-conceito-da-qualidade-das-sementes-edicao-setembro-2016>> Acesso em: 18 ago. 2022.

FRANCHINI, D.; GADOTTI, G., I.; OLIVEIRA, A. L.; VILLELA, F. A.; ARAUJO, A. S. Análise do nível de pressão sonora emitido por conjunto separador espiral para semente de soja. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n.5, 2020, p.1-15. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/9708/8148>> Acesso em: 10 jun. 2022.

HESSE, S.; PESKE, S. Separador em espiral para remoção de sementes de feijão miúdo em sementes de soja. **Tecnologia de Sementes**. Pelotas, v.1-2, 1981, p.1-18.

HOSSEN, D.C. et al. Tratamento químico de sementes de trigo. Nota Técnica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.44, n.1, 2014, p.104 – 109. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/pat/article/view/23117/16313>> Acesso em: 26 jun. 2023.

IMEA – INSTITUTO MATOGROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA.  
**Boletim semanal soja**. nº 747. 3p. Disponível em: <[imea.com.br/imea-site/arquivo-externo?categoria=relatorio-de-mercado&arquivo=bs-soja&numeropublicacao=747&\\_gl=1\\*crgcvf\\*\\_ga\\*MjgxODA1OTA1LjE2ODgzMjQ0NzE.\\*\\_ga\\_243H7NMKPD\\*MTY4OTc3NzM3MC4yLjEuMTY4OTc3NzM4OS40MS4wLjA](http://imea.com.br/imea-site/arquivo-externo?categoria=relatorio-de-mercado&arquivo=bs-soja&numeropublicacao=747&_gl=1*crgcvf*_ga*MjgxODA1OTA1LjE2ODgzMjQ0NzE.*_ga_243H7NMKPD*MTY4OTc3NzM3MC4yLjEuMTY4OTc3NzM4OS40MS4wLjA)> Acesso em: 16 jun. 2023.

JARRIN, J.A.O. **Some characteristics of the spiral separation of soybean seed**. (Thesis MS). Mississippi State, Mississippi, 1979, 63p.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, 2005, p.1248-1256. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/MhVDQDFRztNrrXtSLnnWZLm/?format=pdf&lang=pt>> Acesso em: 15 jun. 2023.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; GOMES JUNIOR, F. G.; NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B.; MARCOS-FILHO, J. (Org.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2ed. Londrina: ABRATES, v. 1, 2020. p. 79-140.

KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; FRANÇA NETO, J. B.; MENDES, M. L. Remoção de torrões de lotes de sementes de soja para prevenir a disseminação do nematóide de cisto. Londrina: **Embrapa Soja**. (Circular Técnica n. 50), 1992. p.1-4. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/53970/1/50.pdf>> Acesso em: 15 jun. 2022.

LAB\_AGROTEC. **Inovação nos separadores em espiral**. YouTube, 11 fev. 2022. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=2N-Ab0o-ots>> Acesso em: 10 mar. 2023

LOLLATO, M.A & SILVA, W.R. Efeitos da utilização da mesa gravitacional na qualidade de sementes do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 19(12): 1984, p. 1483-1496. Disponível em: <<file:///C:/Users/hp.user/Downloads/16245-70751-1-SM.pdf>> Acesso em: 20 jun. 2023.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999, p.1-21.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; Vieira, R.D.; França-Neto, J.B.; Marcos-Filho, J. (Org.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2ed. Londrina: ABRATES, v. 1, 1999, p.185-246.

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

OLIVEIRA, A. L.; ARAUJO, A. S.; GADOTTI, G. I.; VILLELA, F. A.; BAUDET, L. Internal environmental conditions of soybean processing plants and safety in workplace. **Engenharia Agrícola (Online)**, v. 36, 2016, p.673-683.

OLIVEIRA, A. L. **Ruído emitido por separador de espiral: mensuração, convivência e requisitos de atenuação**. Tese (Doutor em Ciências) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2016, 100p. Disponível em: <[https://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/handle/prefix/4045/ALEX\\_LEAL\\_DE\\_OLIVEIRA\\_TTES\\_PPGCTS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/handle/prefix/4045/ALEX_LEAL_DE_OLIVEIRA_TTES_PPGCTS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)> Acesso em: 20 jun. 2022.

OLIVEIRA, A.; KRZYZANOWSKI, F.C. **Influencia de danos mecânicos ocorridos no beneficiamento sobre a qualidade fisiológica, sanitária e potencial de armazenamento de sementes de soja**. Dissertação (Mestrado). Jaboticabal: UNESP, 1997, 90p.

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, 2015, p.77-78.

PESKE, S. T.; LABBÉ, L. M. B.; PANOZZO, L. E. Beneficiamento de sementes. In: PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 4.ed. Pelotas: UFPel, 2019, p.407-46.

PESKE, S. T.; BARROS, A. C. S. A.; SCHUCH, L. O. B. Produção de sementes. In: PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 4.ed. Pelotas: UFPel, 2019, p.32-36.

PETKUS. **Involved Intelligence – Seed Cleaner S**. Disponível em: <<http://www.petkus.com/products/-/info/sorting/cleaners/s-cleaner>>. Acesso em: 02 ago. 2023.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da Semente**. Brasília, AGIPLAN, 289p, 1985. Disponível em: <[https://www.conferencebr.com/conteudo/biblioteca/012\\_flavio-popinigisfisiologiaportugues-1684359074.pdf](https://www.conferencebr.com/conteudo/biblioteca/012_flavio-popinigisfisiologiaportugues-1684359074.pdf)> Acesso em: 10 jun. 2023.

PROFILE INDUSTRIES. **Rotary Sorter**. Disponível em: <<https://www.profile-ind.com/espiral-vs-classificador/?lang=pt-br>> Acesso em: 05 jun. 2022.

R CORE TEAM (2016). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna. Disponível em: <<https://www.R-project.org>> Acesso em: 29 junho 2023.

SCHEEREN B. R.; PESKE S.T.; SCHUCH L.O.B; BARROS A.C.A, Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, 2010, 7p. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbs/a/3T8MXrBj7RhsWQtznXdLkS/?format=pdf&lang=pt>> Acesso em: 20 jun. 2023.

USDA - **Departamento de Agricultura dos Estados Unidos**, 2023. Disponível em: <[www.fas.usda.gov](http://www.fas.usda.gov)> Acesso em: 11 jun. 2023.

VANZOLINI, S.; CARVALHO, N.M. Efeito do vigor de sementes de soja sobre o seu desempenho em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v.24, n.1, 2022, p.33-41. Disponível em <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/3621/S0101-31222002000100006.pdf?sequence=1>> Acesso em 15 jun. 2023.

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

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, 1988, p. 9-20. Disponível em: <[https://www.conferencebr.com/conteudo/revistaartigo/file/58984bf6b5f232.13959040\\_artiga01.pdf](https://www.conferencebr.com/conteudo/revistaartigo/file/58984bf6b5f232.13959040_artiga01.pdf)> Acesso em: 18 jun. 2022.

VILLELA, F.A. Secagem de sementes: Alicerces, nuances e inovações. **Revista Seed News**. Pelotas, edição especial, p. 14-18, set. 2022.

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, 79f, 1985.

WELCH, G.B. **Beneficiamento de Sementes no Brasil.** Publicado sob o Contrato AID/1<sup>a</sup> 165 entre a Agência Norte Americana para o Desenvolvimento Internacional e a Universidade do Estado do Mississippi como atividade do Projeto IV.3 – Apoio ao Plano Nacional de Sementes do Ministério da Agricultura do Brasil. Fevereiro, 1974. 205 p.

ZAGO, E. **Descarte nas etapas do beneficiamento de sementes de soja.** 2012. 41f. Dissertação (Mestrado Profissional) Ciência e Tecnologia de Sementes. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012. Disponível em:  
<[https://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/handle/123456789/1390/dissertacao\\_eduardo\\_zago.ppd?sequence=1&isAllowed=y](https://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/handle/123456789/1390/dissertacao_eduardo_zago.ppd?sequence=1&isAllowed=y)> Acesso em: 20 jun. 2022.

## **ANEXOS**



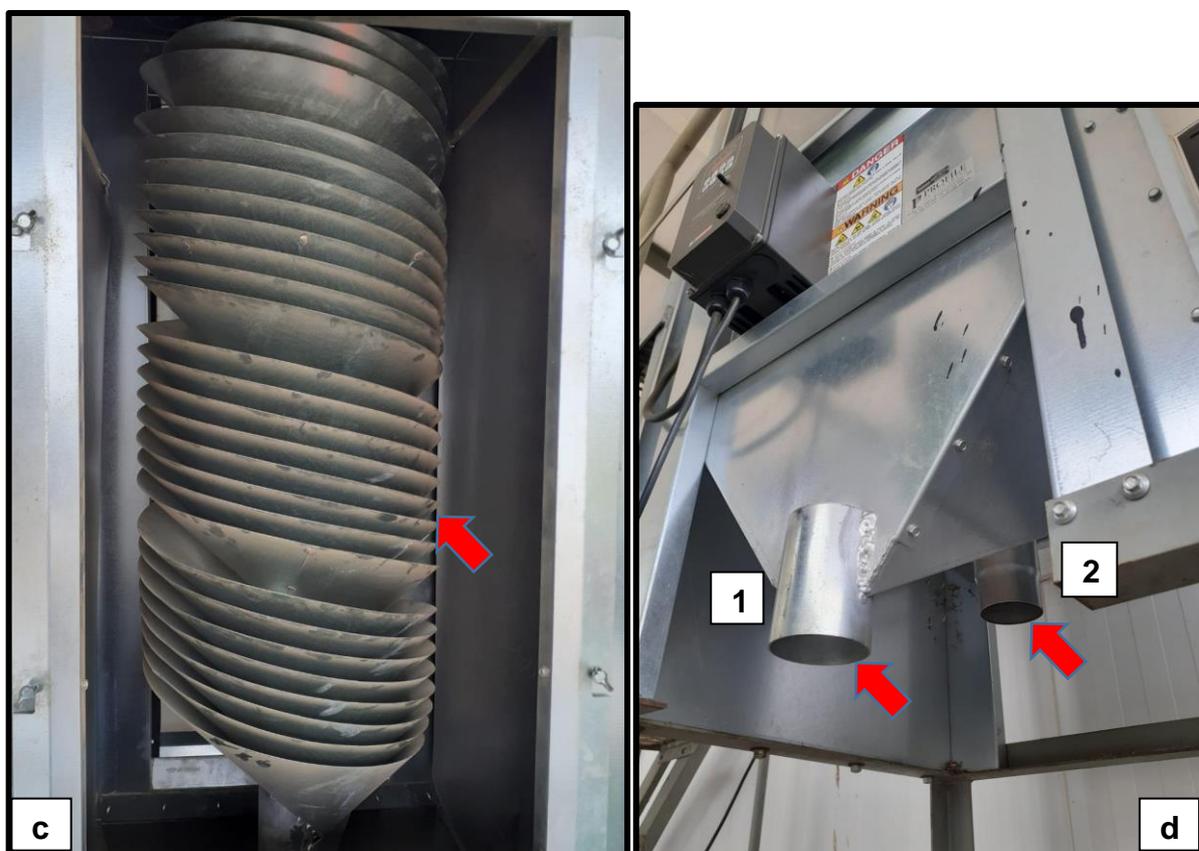
**Anexo 1:** Separador de Espiral dupla de Krussow

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

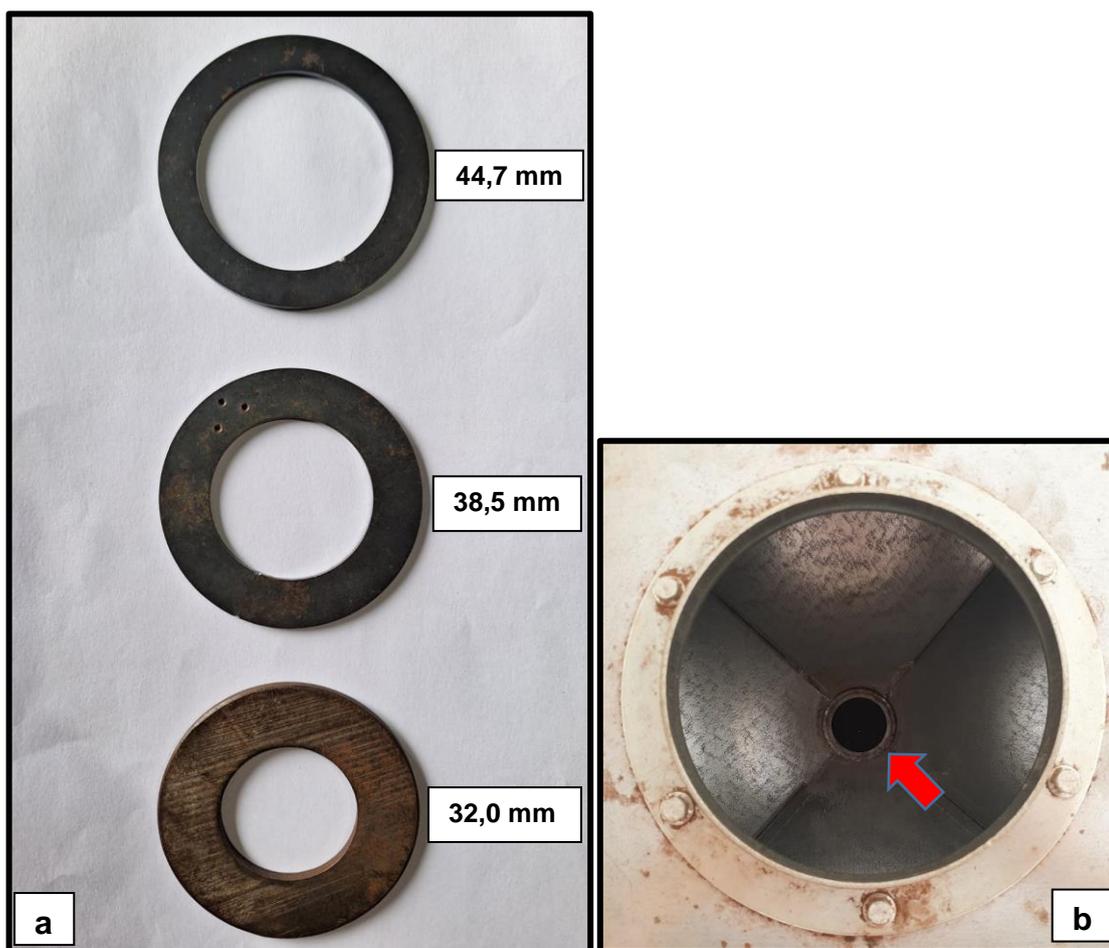


**Anexo 2:** **a** - Separador de Espiral Rotativo Profile Industries® desenvolvido para uso em uma Unidade de Beneficiamento de Sementes; **b** - Cortinas de Etileno Acetato de Vinila (EVA)

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)



**Anexo 3: a/b** - Separador de Espiral Rotativo Profile Industries® desenvolvido para uso em laboratório;  
**c** – espirais; **d1** – Saída fração aproveitamento; **d2** – Saída fração descarte  
**Fonte:** Elaborado pelo autor (2023)



**Anexo 4:** a – Discos para controle do fluxo de alimentação (aberturas de diâmetro - mm); b – Orifício para alimentação de um Separador de Espiral Rotativo Profile Industries® desenvolvido para uso em laboratório.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)



**Anexo 5:** a – Inversor de velocidade do Separador de Espiral Rotativo Profile Industries® desenvolvido para uso em laboratório; b - Inversor de velocidade do Separador de Espiral Rotativo Profile Industries® desenvolvido para uso em uma unidade de beneficiamento de sementes.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)



**Anexo 6:** Detalhes dos resultados do Teste de Envelhecimento Acelerado (E.A) em sementes do lote de soja, após a passagem pelo Separador de Espiral Rotativo. **a** - Aproveitamento (Plântulas normais) **b** - Descarte (Plântulas anormais, sementes mortas)

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2023)



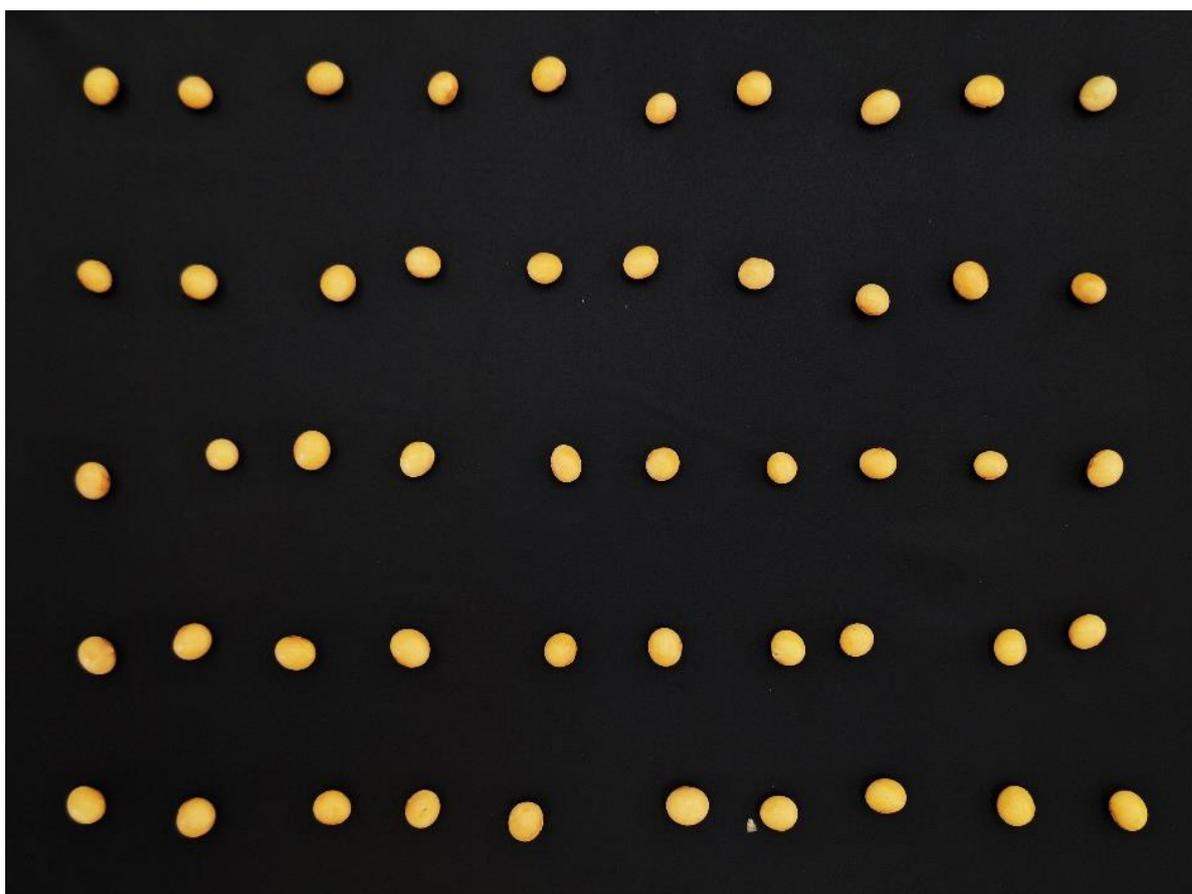
**Anexo 7:** Detalhes dos resultados do Teste de Germinação em sementes do lote de soja, após a passagem pelo Separador de Espiral Rotativo. **a** - Aproveitamento (Plântulas normais) **b** - Descarte (Plântulas anormais)

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2023)



**Anexo 8:** Detalhes dos resultados do Teste de Emergência de plântulas em areia em sementes do lote de soja, após a passagem pelo Separador de Espiral Rotativo. **a** – Aproveitamento (Uniformidade de emergência) **b** – Descarte (Desuniformidade de emergência).

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2023)



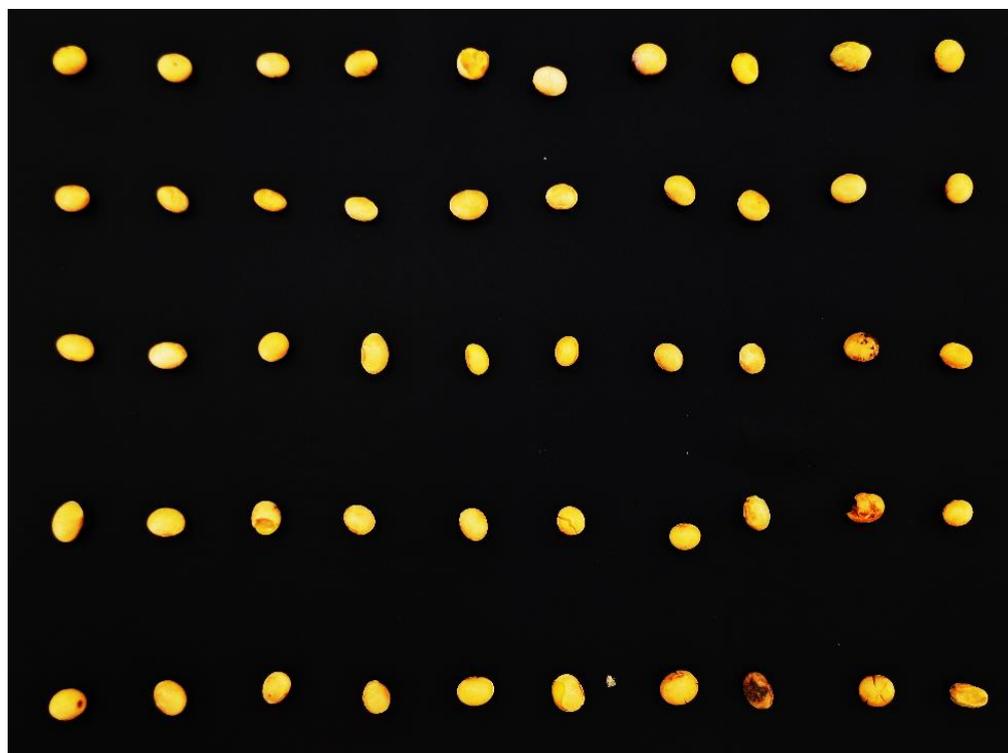
**Anexo 9:** Detalhes das sementes do lote de soja, da fração aproveitada, após a passagem pelo Separador de Espiral Rotativo. (Sementes Inteiras, esféricas, sem defeitos).

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2023)



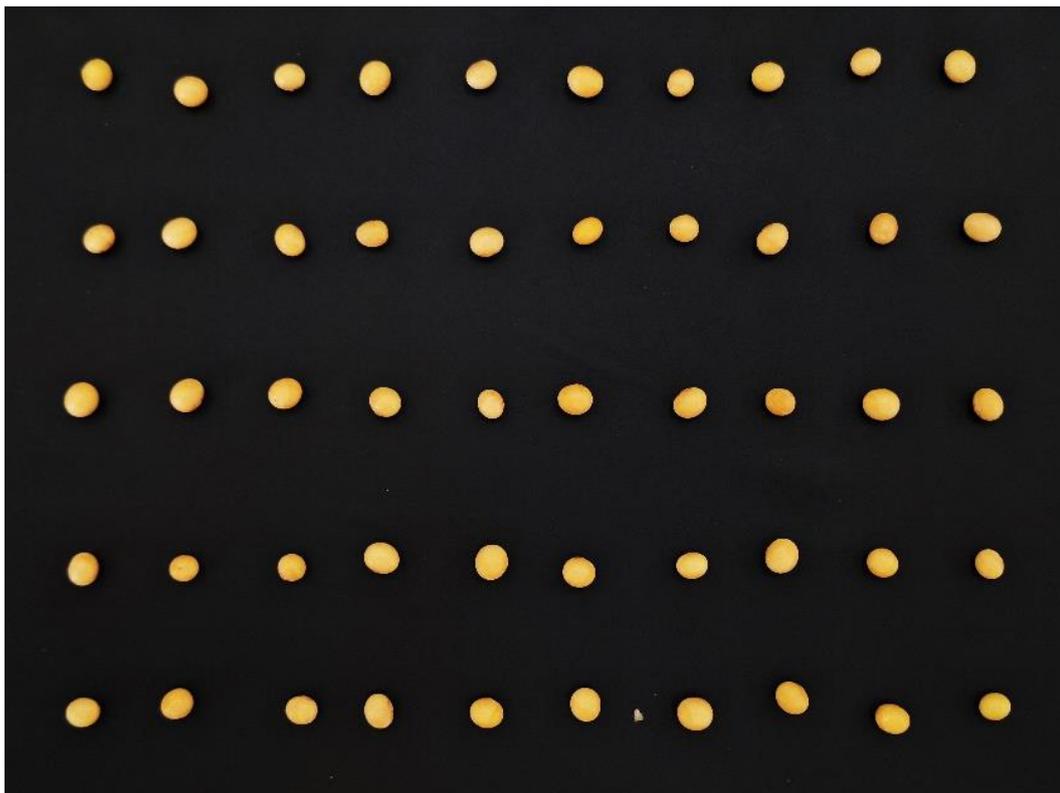
**Anexo 10:** Detalhes das sementes do lote de soja, da fração descarte, após a passagem pelo Separador de Espiral Rotativo. (Sementes de formato irregular, oblongas, achatadas, triangulares, defeituosas, atacadas por insetos, patógenos e danificadas mecanicamente).

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2023)



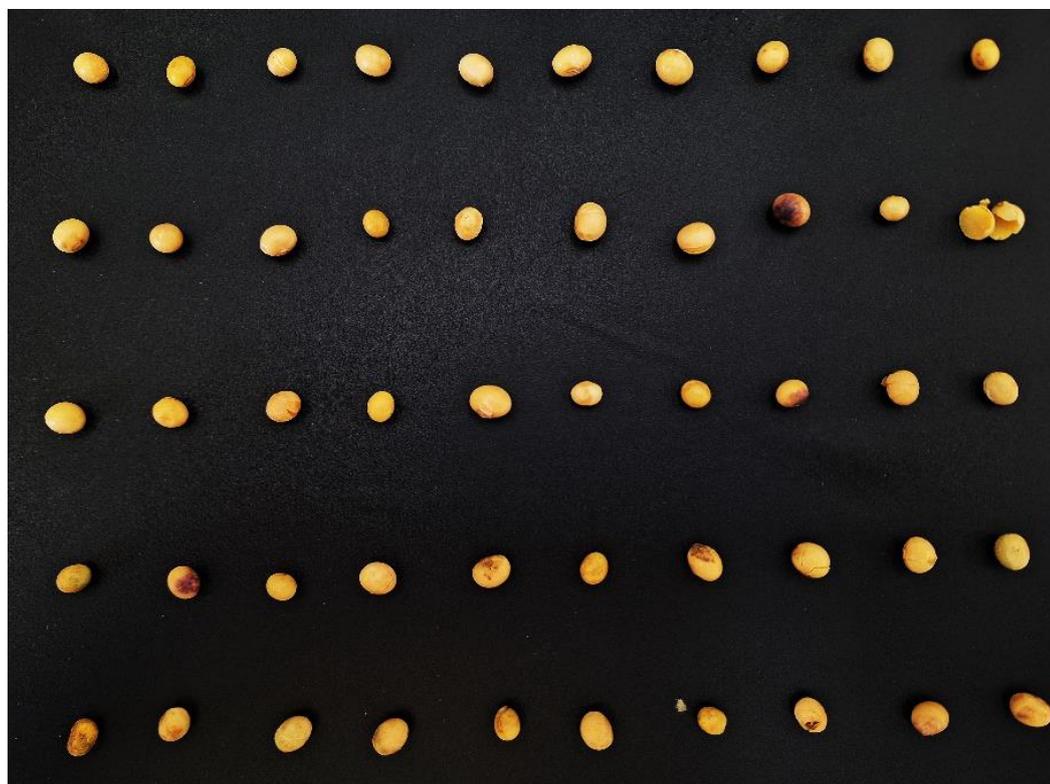
**Anexo11:** Detalhes das sementes do lote de soja, da fração descarte, após a passagem pelo Separador de Espiral Rotativo. (Sementes Inteiras, esféricas, sem defeitos e defeituosas, de formato irregular, oblongas, achatadas, triangulares, atacadas por insetos, patógenos e danificadas mecanicamente).

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2023)



**Anexo 12:** Detalhes das sementes do lote de soja, da fração aproveitada, após a passagem pelo Separador de Espiral Rotativo (Sementes Inteiras, esféricas, sem defeitos).

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2023)



**Anexo 13:** Detalhes das sementes do lote de soja, da fração aproveitada, após a passagem pelo Separador de Espiral Rotativo. (Sementes Inteiras, esféricas, sem defeitos e defeituosas, de formato irregular, oblongas, achatadas, triangulares, atacadas por insetos, patógenos e danificadas mecanicamente).

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2023)