UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
***CAMPUS* CERRO LARGO**
CURSO DE AGRONOMIA

MAURI ENGROFF SCHEEREN

DANO MECÂNICO IMEDIATO EM SEMENTES DE SOJA OBTIDAS COM COLHEDORA EQUIPADA COM SISTEMA COMBINE ADVISOR®

CERRO LARGO
2025

MAURI ENGROFF SCHEEREN

DANO MECÂNICO IMEDIATO EM SEMENTES DE SOJA OBTIDAS COM COLHEDORA EQUIPADA COM SISTEMA COMBINE ADVISOR®

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antonio Zambillo Palma

CERRO LARGO

2025

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Scheeren, Mauri Engroff
Dano mecânico imediato em sementes de soja obtidas com colhedora equipada com sistema Combine Advisor® / Mauri Engroff Scheeren. -- 2025.
53 f.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antonio Zambillo Palma

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo,RS, 2025.

1. Trabalho de conclusção de curso. 2. Colhedora com Combine Advisor. 3. Dano mecãnico em sementes. I. Palma, Marcos Antonio Zambillo, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MAURI ENGROFF SCHEEREN

DANO MECÂNICO IMEDIATO EM SEMENTES DE SOJA OBTIDAS COM COLHEDORA COM SISTEMA COMBINE ADVISOR®

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 26/11/2025.

BANCA EXAMINADORA

gov.br Documento assinado digitalmente
MARCOS ANTONIO ZAMBILLO PALMA
Data: 15/12/2025 16:34:44-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Marcos Antonio Zambillo Palma – UFFS
Orientador

gov.br Documento assinado digitalmente
ANA CRISTINA SCHERER SCALCO
Data: 15/12/2025 16:12:37-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Ana Cristina Scherer Scalco
Administradora – Alvorada Sistemas Agrícolas
Avaliadora

gov.br Documento assinado digitalmente
FLAVIO CASTRO DA SILVA
Data: 14/12/2025 09:31:04-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Flávio Castro da Silva - UFF
Avaliador

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo apoio constante e por nunca deixarem faltar incentivo.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar meus agradecimentos a meu orientador, Prof Marcos Antonio Zambillo Palma, por toda paciência e dedicação durante este trabalho. Sua orientação foi fundamental para transformar desafios em aprendizado e manter o foco durante todas as etapas.

Agradeço à Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) e ao curso de Agronomia, pela infraestrutura e suporte acadêmico que tornaram possível a realização deste estudo.

Minha maior gratidão vai para minha família: meus pais, que sempre me apoiaram e confiaram no meu potencial, e as minhas irmãs, pelo incentivo, apoio e companheirismo.

Também agradeço a Alvorada Sistemas Agrícolas e ao produtor que compartilharam experiências e permitiram o acesso às suas lavouras, tornando a pesquisa mais prática e próxima da realidade do campo.

Por fim, agradeço a todos os amigos e colegas que me apoiaram, me motivaram e contribuíram, de alguma forma, para a conclusão deste trabalho. Cada palavra e maneira de incentivo fez diferença nesta jornada.

“A vida é generosa com quem tem coragem. Quando o caminho é seguido com fé e decisão, mesmo os erros se transformam em lições e as perdas em direção”

(Paulo Coelho, O Alquimista, 1988).

RESUMO

A busca por maior eficiência e qualidade na colheita da soja tem impulsionado o uso de tecnologias automatizadas nas colhedoras. Entre elas, o sistema Combine Advisor®, presente nas colhedoras John Deere®, destaca-se por realizar ajustes automáticos nos mecanismos de trilha, separação e limpeza, visando reduzir perdas e preservar a integridade das sementes. A pesquisa teve como objetivo avaliar o impacto do uso do sistema Combine Advisor® na ocorrência de dano mecânico imediato em sementes de soja colhidas mecanicamente. O experimento foi conduzido no município de São Nicolau/RS, durante a safra 2024/2025, utilizando a cultivar Monsoy M 6202 I2X, em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2 (Combine Advisor® ligado e desligado) x 2 (dois dias de operação de colheita), com sete repetições. As variáveis analisadas incluíram conteúdo de dano mecânico imediato, umidade, impurezas e germinação. Os resultados mostraram que o uso do sistema Combine Advisor® reduziu significativamente o dano mecânico imediato nas sementes, sem alterar a porcentagem de impurezas e germinação.. Além disso, o uso do sistema Combine Advisor® contribui para a preservação da qualidade física das sementes, caracterizando uma ferramenta eficiente para ser utilizada na operação de colheita de sementes de soja.

Palavras-chave: Colheita mecanizada; máquinas agrícolas; qualidade de sementes; Combine Advisor ®.

ABSTRACT

The pursuit of greater efficiency and quality in soybean harvesting has driven the adoption of automated technologies in combine harvesters. Among these, the Combine Advisor® system, available in John Deere® harvesters, stands out for performing automatic adjustments in the threshing, separation, and cleaning mechanisms, aiming to reduce losses and preserve seed integrity. This study aimed to evaluate the impact of the Combine Advisor® system on the occurrence of immediate mechanical damage and on the presence of impurities in mechanically harvested soybean seeds. The experiment was carried out in the municipality of São Nicolau, Rio Grande do Sul, during the 2024/2025 growing season, using the Monsoy M 6202 I2X cultivar, in a completely randomized design (CRD) with a 2 × 2 factorial scheme (Combine Advisor® on and off × two harvesting days), with seven replications. The analyzed variables included moisture content, impurities, germination, and immediate mechanical damage. The results showed that the use of the Combine Advisor® system significantly reduced immediate mechanical damage to the seeds, without affecting impurity and germination percentages. It was also observed that the second harvest day presented lower levels of immediate damage, even with small variations in moisture content. It is concluded that the use of the Combine Advisor® system contributes to preserving the physical quality of seeds, representing an efficient tool for soybean seed harvesting operations.

Keywords: Mechanized harvesting; agricultural machinery; seed quality; Combine Advisor®.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Colhedora e seus componentes. 17

Figura 2: Sistema de trilha das colhedoras de grãos 18

Figura 3: Sistema de colhedora axial. 19

Figura 4: Morfologia interna da semente de soja com microfissuras no tegumento, evidenciadas por microtomografia computadorizada 3D (visões sagital, transaxial e coronal). As imagens mostram detalhes do tegumento danificado, do eixo embrionário e das fissuras naturais entre os cotilédones. 23

Figura 5: Alteração física que resulta na deterioração da semente de soja: variações sucessivas do volume em função da umidade da semente. 25

Figura 6: Colhedora utilizada na colheita dos dados. 31

Figura 7: Monitor de colheita da colhedora John Deere S540, mostrando as principais variáveis operacionais registradas durante a colheita da soja, com o sistema Combine Advisor® desativado. 32

Figura 8: Medidor utilizado para gerar a porcentagem de umidade das amostras. .. 33

Figura 9: Sementes de soja após o teste de hipoclorito de sódio (0,13%), evidenciando sementes sadias e sementes com danos mecânicos (tegumento rompido e aparência inchada).35

Figura 10: Processo de separação das impurezas com peneiras..... 36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultados do teste de germinação (A) e de vigor pelo tetrazólio (B), obtidos de sementes de soja da cultivar M 5917 IPRO oriundos da colheita mecanizada com velocidade do rotor trilhador, 500, 600, 700, 800, 900 RPM, e tratamento testemunha. 28

Gráfico 2: Dados pluviométricos registrados segundo estação do INMET em São Luiz Gonzaga, de 12/01/2025 a 13/05/2025.....38

Gráfico 3: Teor de impurezas (%) nas amostras de sementes de soja no primeiro dia de colheita (13/05), com o sistema Combine Advisor® ligado e desligado. 44

Gráfico 4: Teor de impurezas (%) nas amostras de sementes de soja no segundo dia de colheita (14/05), com o sistema Combine Advisor® ligado e desligado. 45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise de variância (ANOVA) para o dano mecânico imediato em sementes de soja, considerando os fatores “dias de colheita” e “condição do sistema Combine Advisor® (ligado/desligado)”. 39

Tabela 2: Médias de dano mecânico imediato nas sementes de soja colhidas em diferentes dias, em São Nicolau/RS..... 39

Tabela 3: Médias de dano mecânico imediato nas sementes de soja colhidas com CA ligado e CA desligado, em São Nicolau/RS. 41

Tabela 4: Quadro de análise de variância (ANOVA) da umidade das sementes de soja sob diferentes dias de avaliação e condições do Combine Advisor, em São Nicolau/RS.42

Tabela 5: Quadro de análise de variância (ANOVA) da impureza das sementes de soja sob diferentes dias de avaliação e condições do Combine Advisor ligado e desligado, em São Nicolau/RS. 43

Tabela 6: Análise de variância (ANOVA) do teste de germinação de sementes de soja colhidas em diferentes dias e com CA ligado e CA desligado, em São Luiz Gonzaga/RS. 46

Tabela 7: Médias de sementes de soja germinadas seguindo teste da Embrapa, contadas em diferentes dias, sementes colhidas em São Nicolau/RS. 47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
2 REVISÃO DA LITERATURA 15
2.1 CULTURA DA SOJA 15
2.2 COLHEITA MECANIZADA DE SEMENTES DE SOJA 15
2.2.1 Sistemas de trilha 16
2.2.1.1 Sistemas de trilha radial 18
2.2.1.2 Sistemas de trilha axial 19
2.2.2 Tecnologia Combine Advisor® (John Deere) 20
2.3 FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DAs SEMENTES DE SOJA 21
2.3.1 Danos mecânicos imediatos em semente de soja 21
2.3.2 Umidade 25
2.3.3 Ataque de pragas 26
2.3.4 Doenças 27
2.3.5 Avaliação da Germinação de Sementes 27
3 MATERIAL E MÉTODOS 30
3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO 30
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 30
3.3 COLHEDORA UTILIZADA E MONITORAMENTO DA COLHEITA 30
3.4 CULTIVAR UTILIZADA 33
3.5 AVALIAÇÕES 33
3.5.1 Umidade das sementes 33
3.5.2 Teste de dano mecânico imediato 34
3.5.3 Análise de impurezas 35
3.5.4 Teste de germinação 36
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA 37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 38
4.1 DADOS DE PRECIPITAÇÕES MUNICÍPIO DE SÃO LUIZ GONZAGA/RS 38
4.2 DANO MECÂNICO IMEDIATO 38
4.3 UMIDADE DAS SEMENTES DE SOJA 41
4.4 IMPUREZAS 43
4.5 GERMINAÇÃO 46
5 CONCLUSÕES 49

1 INTRODUÇÃO

Uma das oleaginosas de maior cultivo no mundo, a soja (*Glycine max* (L) Merril), originária do nordeste da China, é uma planta nativa de regiões com clima temperado e subtropical, cultivada há cerca de 5.000 anos para fins alimentícios, medicinais e de melhoria do solo. Sua domesticação pelos chineses tornou a soja uma das culturas mais importantes para a alimentação e economia regional. Introduzida no Ocidente no século XVIII, a soja foi levada para os Estados Unidos e, posteriormente, para outras regiões do mundo. No Brasil, sua comercialização teve início no século XX, e a partir da década de 1970, o país se consolidou como um dos maiores produtores de soja globalmente (Gazzoni, 2018).

Durante a colheita, as sementes ficam expostas a diferentes tipos de danos mecânicos, que podem ser classificados como visíveis ou imediatos, e invisíveis ou latentes. Os danos imediatos são aqueles que conseguimos enxergar facilmente, como tegumentos quebrados ou cotilédones rachados e separados (França Neto; Henning, 1984). Cada pequeno dano que ocorre na semente contribui cumulativamente no resultado final, e isso pode impactar diretamente a germinação, o vigor das plantas e o rendimento da lavoura (Jijon *et al*., 1983).

A constante busca por eficiência e qualidade na operação de colheita agrícola tem levado ao desenvolvimento de tecnologias de automação nas colhedoras. Nesse contexto, destaca-se o sistema Combine Advisor®, presente nas colhedoras John Deere® Série S700. Esse sistema integra sensores e câmeras para monitorar as condições da trilha, separação e limpeza, realizando ajustes automáticos que mantêm o desempenho ideal da máquina. Com isso, o Combine Advisor® reduz as perdas de grãos, melhora a qualidade do produto colhido e facilita o trabalho do operador, adaptando-se continuamente às variações de campo (John Deere, 2024).

A pesquisa teve como objetivo analisar a eficiência do sistema Combine Advisor® para minimizar a ocorrência de dano mecânico imediato e de impurezas em sementes de soja colhidas mecanicamente, caracterizando a contribuição dessa tecnologia na preservação da qualidade física das sementes. Para isso, busca-se quantificar a ocorrência de dano mecânico imediato nas sementes colhidas com o sistema, investigar a influência dos ajustes automáticos promovidos pelo Combine Advisor®

sobre a redução de danos, e contribuir com informações técnicas que auxiliem produtores e pesquisadores na adoção de práticas que melhorem a qualidade da produção de sementes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DA SOJA

Os primeiros materiais genéticos foram testados no estado da Bahia (BA) em 1882. Como esses germoplasmas oriundos dos Estados Unidos, não se adaptaram a baixas latitudes da região (12°S), apresentando insucesso no cultivo (Dall'agnol, 2011). Em 1891, novos materiais foram testados em São Paulo (SP), onde a latitude é de 23°S, assim, já obtiveram um relativo sucesso, especialmente para feno e grãos. Em 1900, foi testada no Rio Grande do Sul (latitude entre 28°S e 34°S) onde apresentou bons resultados, pois condições climáticas eram semelhantes às origens dos materiais (sul dos Estados Unidos) (Dall'Agnol, 2011).

A produtividade e as características agronômicas da soja variam de acordo com o genótipo, o manejo do solo, a competição entre plantas e a interação entre esses fatores, assim como em função da densidade de semeadura e dos diferentes hábitos de crescimento da cultura (Werner *et al*., 2016; Procópio *et al.*, 2013). Contudo, devido à sua plasticidade morfofisiológica, a soja apresenta uma grande capacidade de adaptação às condições ambientais, o que ajuda a explicar os resultados divergentes encontrados em pesquisas que envolveram distintos materiais genéticos em resposta à variação nas densidades populacionais (Petter *et al.,* 2016).

Produtores de semente de soja, tem como objetivo buscar a maior lucratividade da lavoura, procurando alta produtividade e qualidade das sementes (Marcos Filho, 2015).

2.2 COLHEITA MECANIZADA DE SEMENTES DE SOJA

Durante a colheita, a semente torna-se especialmente vulnerável aos danos mecânicos, que podem ser imediatos ou surgirem posteriormente (Paiva *et al*., 2000). Isso significa que os efeitos desses danos nem sempre são visíveis no momento da operação de colheita, mas podem comprometer a qualidade da semente.

A semente possui atributos de qualidade genética, física, fisiológica e sanitária que são fundamentais para garantir um bom desempenho agronômico, influenciando diretamente o sucesso da lavoura subsequente (França Neto; Krzyzanowski; Henning, 2010).

O dano mecânico é um fator limitante para a produção de semente de soja de alta qualidade (Krzyzanowski *et al*., 2023). Sementes de alta qualidade originam plântulas vigorosas e bem desenvolvidas, promovendo um estande uniforme de plantas, com crescimento e desenvolvimento rápidos, mesmo em diferentes condições de solo e clima, proporcionando assim maior segurança ao produtor (França Neto; Krzyzanowski; Henning, 2010).

A colheita representa a etapa mais crítica do processo de produção de sementes, uma vez que os impactos e atritos provocados pelos mecanismos de trilha sejam eles do tipo tangencial ou axial durante a operação, constituem a principal causa de danos mecânicos às sementes. (Krzyzanowski *et al*., 2023).

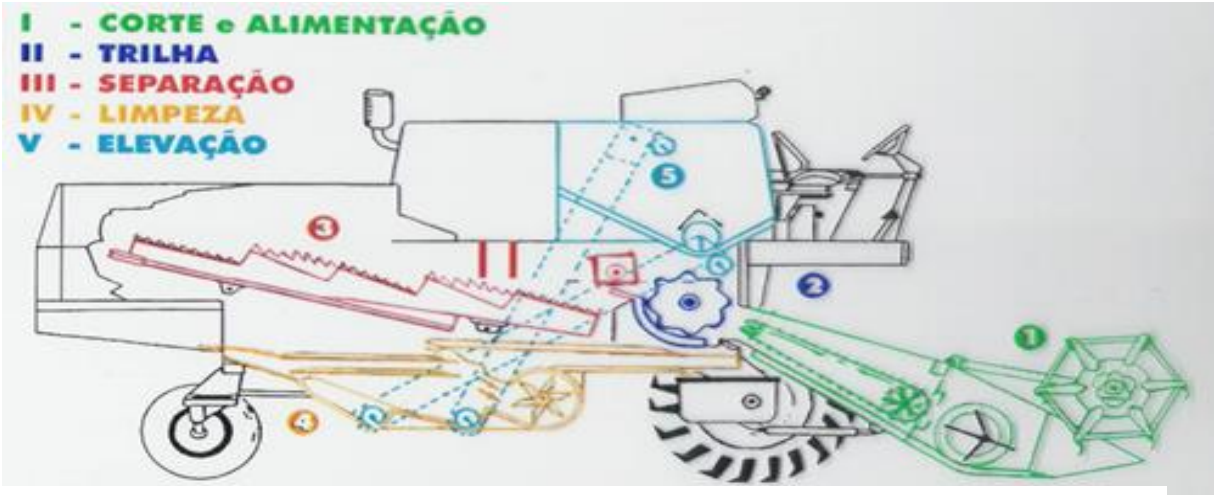
Muitos agricultores brasileiros têm adotado o uso das plataformas do tipo “draper” (Zandonadi *et al*., 2015). Essas plataformas se destacam por utilizar esteiras de borracha, responsáveis por alimentar o sistema de trilha de forma mais eficiente, contribuindo assim para a diminuição dos danos mecânicos às sementes (John Deere, 2015; Valtra, 2015).

2.2.1 Sistemas de trilha

Segundo Mesquita, Molin e Costa (1998), o sistema de trilha utilizado na colheita da soja pode provocar a quebra das sementes, e em muitas vezes, esses danos passam despercebidos por estarem misturados aos restos culturais ou não serem identificados nas medições de perdas.

Uma colhedora automotriz convencional, como a mostrada na Figura 1, é composta por alguns sistemas principais: o sistema de corte, recolhimento e alimentação, que juntos formam a barra de corte.

Figura 1: Colhedora e seus componentes.



Fonte: Conte, 2018.

A barra de corte tem a função de cortar as hastes das plantas, utilizando o movimento das navalhas. Nesse processo, o molinete ajuda tombando as plantas em direção à barra de corte. Depois de cortadas, as plantas são conduzidas por um cilindro com lâminas em formato helicoidal que leva a massa vegetal até o centro da plataforma onde a esteira transporta esse material para o sistema de trilha (Mesquita, 1999).

O sistema de trilha é responsável por separar os grãos do restante da planta e é constituído por um cilindro com barras estriadas que, ao girar, geram atrito entre a massa de plantas e o côncavo, o que promove a debulha e já começa a filtrar sementes, vagens e fragmentos. A maior parte das palhas segue para o sistema de separação, que tem como objetivo recuperar grãos que ainda não foram separados e eliminar o excesso de palha, que é então encaminhado ao picador. O picador fragmenta os resíduos em pedaços menores e os distribui uniformemente pela lavoura (Mesquita, 1999).

Enquanto isso, os grãos, junto com algumas vagens e fragmentos, passam pelos arames do côncavo e seguem para o sistema de limpeza. Esse sistema utiliza peneiras e correntes de ar para fazer a separação final. Há duas peneiras: a superior, que retém impurezas maiores e permite que grãos e vagens não completamente trilhadas passem para a peneira inferior, que tem a função de deixar passar apenas os grãos (Mesquita, 1999).

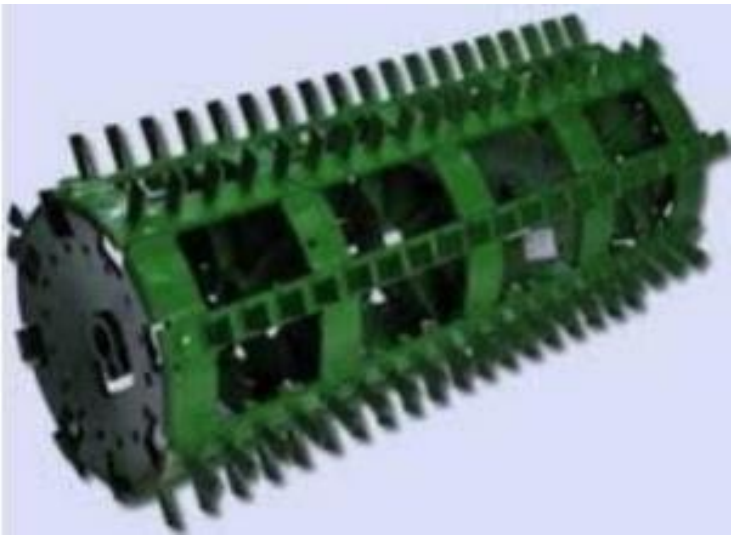
A regulagem da rotação do cilindro de trilha, bem como a distância entre este e o côncavo, são fatores cruciais para garantir a qualidade do produto e minimizar as perdas na unidade de trilha (Mesquita e Gaudêncio, 1997). Além disso, a velocidade de deslocamento da colhedora e a rotação do molinete influenciam diretamente as perdas que ocorrem na plataforma de corte. (Holtz *et al.,* 2013).

Segundo Camolese, Baio e Alves (2015), colhedoras com sistema de trilha axial apresentam desempenho superior em relação às radiais, especialmente quanto aos danos mecânicos causados aos grãos**,** à pureza do produto colhido e às perdas nas etapas de separação e limpeza. Os autores observaram que, sob teores adequados de umidade, o sistema axial promove um fluxo mais contínuo e suave, o que reduz atritos e impactos responsáveis pela quebra ou injúria das sementes. Em contraste, o sistema radial, por operar com fluxo tangencial e maior compressão entre cilindro e côncavo, tende a gerar maior nível de danos.

2.2.1.1 Sistemas de trilha radial

O sistema de trilha de fluxo transversal, de configuração radial, é composto por um cilindro giratório (Figura 2) envolto parcialmente por um côncavo perfurado.

Figura 2*:* Sistema de trilha das colhedoras de grãos.



Fonte: Mantoni (2020).

De acordo com Silva (2015), é nesse conjunto que ocorre a maior parte do processo de trilha do material colhido, esse que se desloca de forma perpendicular ao eixo do cilindro, sendo submetido ao processo de trilha por meio de atrito e impacto, promovidos, respectivamente, pela ação do cilindro de barras e do cilindro de dentes

Nesse estágio, o mecanismo não realiza a separação dos grãos, mas sim a debulha do material trilhado. Posteriormente, o produto segue, juntamente com os demais resíduos, para o saca-palhas, conduzido por outros dois cilindros (Molin, 2020).

2.2.1.2 Sistemas de trilha axial

A colhedora com sistema de trilha axial é composta por um rotor e um côncavo posicionados longitudinalmente em relação à máquina (Figura 3). Sua principal característica é o menor tempo de permanência do material na seção de trilha, o que reduz os danos mecânicos nas sementes. Nesse sistema, o material colhido desloca-se paralelamente ao eixo do rotor, permitindo maior tempo para a separação dos grãos da palha e, consequentemente, menores perdas (Pinheiro, 2014).

Figura 3: Sistema de colhedora axial.



Fonte: Farias (2015).

A trilha e a separação ocorrem simultaneamente em um único conjunto, priorizando a preservação da qualidade dos grãos e a eficiência na colheita. Por estarem

dispostos no sentido longitudinal da colhedora, o rotor e o côncavo favorecem a rápida saída dos grãos, reduzindo o atrito e minimizando quebras, enquanto a separação ocorre de forma gradual ao longo do côncavo até alcançar o sistema de limpeza (Lemos, 2018)

De acordo com Guimarães (2025), a comparação entre colhedoras de fluxo axial e tangencial demonstrou que ambos os sistemas apresentam desempenho satisfatório na colheita de grãos de soja, desde que operem com regulagens adequadas. No entanto, as colhedoras de fluxo axial mostraram melhor preservação da qualidade das sementes, sendo mais indicadas para produção de sementes.

2.2.2 Técnologia Combine Advisor® (John Deere)

Segundo a Deere & Company (2024), o sistema Combine Advisor® é uma tecnologia desenvolvida para reduzir perdas e manter a qualidade dos grãos durante a colheita.

A tecnologia apresenta um conjunto de sete recursos de automação, que auxiliam o operador a otimizar o desempenho da colhedora de acordo com as variações de operação e condições do campo.

Entre suas principais características, destacam-se:

- Presença de câmeras nos elevadores de grão limpo e da retrilha, permitindo o monitoramento visual contínuo do fluxo de grãos;
- Sensores de perdas localizados no separador e nas peneiras, que identificam a quantidade de material perdido;
- Regulagem automática dos mecanismos de trilha e separação, ajustando a velocidade do cilindro de debulha, a abertura do côncavo, as peneiras superior e inferior, e a velocidade do ventilador;
- Ajustes automáticos periódicos, realizados a cada três minutos, totalizando cerca de 160 regulagens automáticas por dia;
- Otimização do desempenho operacional, resultando em até 13% de redução nas perdas de grãos e melhora de até 17% na qualidade dos grãos colhidos;

- Maior flexibilidade operacional, permitindo que a colheita mantenha eficiência mesmo diante de variações nas condições de campo.

2.3 FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DAS SEMENTES DE SOJA

O aumento da demanda por sementes de soja de alta qualidade tem levado a indústria a adotar tecnologias mais modernas e eficientes, capazes de assegurar maior padronização e desempenho fisiológico (Sim et al., 2023). De forma a suprir essa exigência, testes têm sido realizados o mais breve possível como pureza física e varietal, umidade e índices de danos mecânicos (França-Neto *et al*., 1988).

Diversos testes ao longo dos anos foram desenvolvidos e realizados como observar a coloração, peso volumétrico, velocidade na embebição, porém sem precisão (França Neto; Krzyzanowski; Henning, 2010). Na colheita, a semente fica particularmente susceptível ao dano mecânico, imediato ou latente (Paiva *et al*., 2000).

2.3.1 Danos mecânicos imediatos em semente de soja

Além de ataque de pragas, tanto o dano mecânico imediato quanto o dano latente são originados no momento da debulha, o que geralmente acontece é quando forças consideráveis são aplicadas nas sementes com objetivos de separá-las das vagens (Carvalho e Nakagawa, 2000). Estes impactos ocorrem entre o cilindro de trilha e o côncavo. Na colhedora, as sementes permanecem entre um corpo metálico (as barras do cilindro trilhador) que se movimentam contra ela gerando atrito, uma vez que existe o côncavo no lado oposto. (Carvalho e Nakagawa, 2000).

A semente de soja possui um alto teor de proteínas que têm a capacidade de atrair e reter água por serem naturalmente hidrofílicas, da mesma forma, por isso que elas desempenham um papel tão importante no processo de absorção de água pela semente. (Krzyzanowski *et al*., 2023).

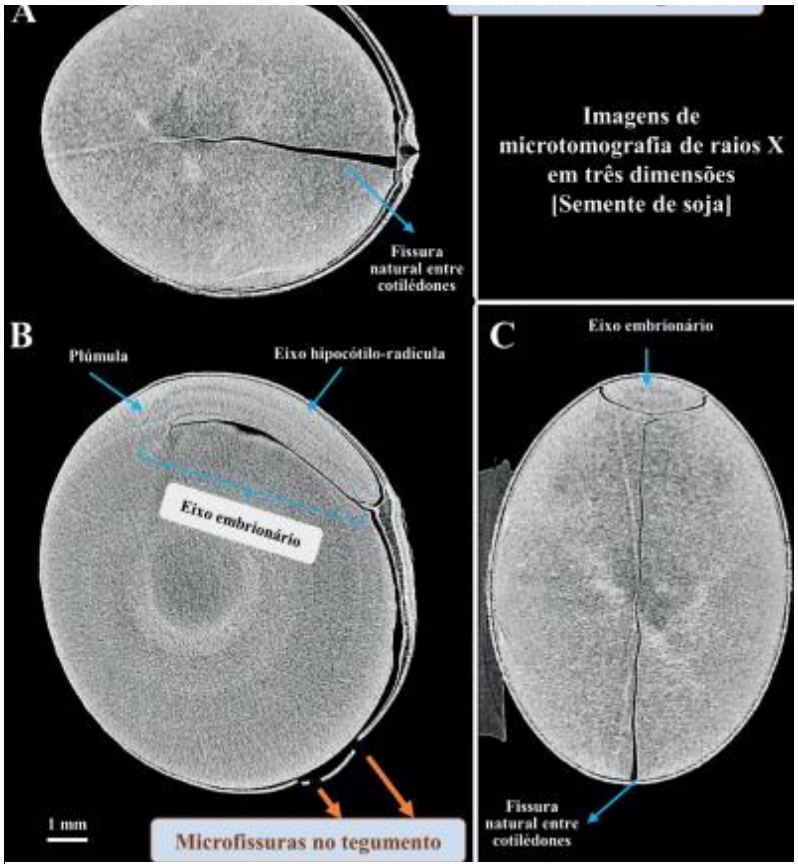
Assim, o teste com hipoclorito de sódio baseia-se na hidratação controlada da semente de soja, utilizando uma solução salina por um período determinado, o que proporciona maior precisão e reprodutibilidade nos resultados obtidos (Krzyzanowski *et al*., 2023). O teste do hipoclorito é utilizado para determinar, de forma rápida, o percentual de dano mecânico não visível a olho nu, também conhecido como dano mecânico não aparente, que causa microfissuras no tegumento da semente de soja (Krzyzanowski *et al*., 2023).

O tegumento intacto regula a taxa de hidratação dos componentes internos da semente, como os cotilédones e o eixo embrionário, prevenindo ou minimizando os estresses causados pela embebição, além de controlar a difusão de gases metabólicos, como oxigênio e dióxido de carbono (Krzyzanowski; França-Neto, 2017). Além de proteger, o tegumento também pode influenciar diretamente na germinação, chegando até a provocar a dormência da semente. É o que acontece, por exemplo, com algumas sementes duras de soja, onde o acúmulo de suberina durante a maturação forma uma barreira natural que dificulta a entrada de água e oxigênio. (Krzyzanowski; França-Neto, 2017).

Por isso, o tegumento que envolve a semente tem um papel essencial, ele protege a semente e ajuda a controlar quando e como a germinação vai acontecer (Krzyzanowski, 2016).

Quando a semente sofre um dano mecânico não aparente, como pequenas microfissuras no tegumento (Figura 4), indica que sua integridade física foi comprometida, algo que faz toda a diferença no desempenho da semente, especialmente durante a germinação e o armazenamento (Krzyzanowski; França-Neto, 2017).

Figura 4: Morfologia interna da semente de soja com microfissuras no tegumento, evidenciadas por microtomografia computadorizada 3D (visões sagital, transaxial e coronal). As imagens mostram detalhes do tegumento danificado, do eixo embrionário e das fissuras naturais entre os cotilédones.



Fonte: Krzyzanowski *et al*., 2023

Nos últimos anos, os programas de pesquisa e melhoramento genético da soja têm focado em diversas características, como resistência a doenças e pragas, além do aumento nos teores de óleo e proteína (Costa *et al*., 2001). Um dos avanços importantes tem sido o desenvolvimento de sementes com tegumento mais lignificado, o que contribui para melhorar as qualidades físicas e fisiológicas da cultura em diferentes regiões do Brasil (Costa *et al*., 2001). De acordo com Hunt (2015), cultivares com maior teor de lignina no tegumento são menos suscetíveis aos danos causados pela umidade (responsáveis por estresses relacionados à deterioração) e, também, ao dano mecânico simulado em testes como o do pêndulo. Como resultado, essas sementes tendem a originar plântulas normais no teste de germinação, demonstrando

um potencial fisiológico superior quando comparadas às cultivares com menor teor de lignina.

A integridade do tegumento da semente de soja desempenha um papel crucial durante o tratamento, especialmente no tratamento industrial de sementes (TIS). Quando há um alto número de microfissuras no tegumento, isso pode aumentar o risco de fitotoxicidade, que é um efeito tóxico para a planta, e ocorre durante a imersão das sementes em fungicidas e inseticidas e pode afetar negativamente a germinação e o crescimento das plântulas (Krzyzanowski; França-Neto, 2017).

Segundo a Embrapa (2004), o teste de hipoclorito é um método simples, rápido e de fácil interpretação, utilizado para avaliar danos mecânicos em sementes. Caso mais de 10% das sementes apresentem danos, recomenda-se revisar as regulagens da rotação do cilindro trilhador da colhedora, bem como inspecionar o estado de elevadores e correias transportadoras, cuja alta velocidade pode intensificar a quebra de sementes.

Ainda conforme a Embrapa (2004), outras adequações nas instalações também podem ser necessárias para minimizar os impactos físicos, como:

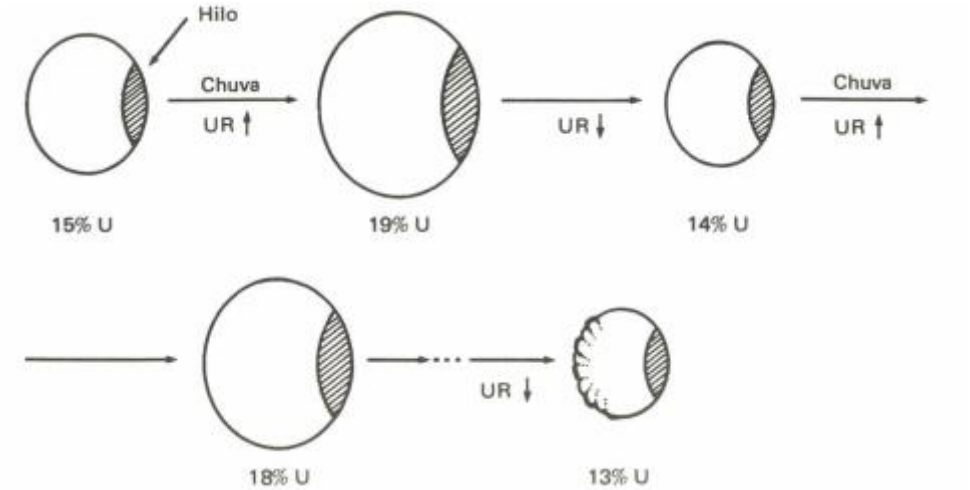
- redução da altura de queda entre os equipamentos de transporte e armazenamento;
- instalação de dutos ou calhas acolchoadas para amortecer o impacto das sementes;
- uso de transportadores do tipo “caneca” ou correias inclinadas em vez de roscas sem-fim, que causam maior atrito;
- manutenção preventiva de silos e moegas, garantindo superfícies internas lisas e livres de rebarbas;
- controle da velocidade de transporte e da vazão de descarga, evitando choques e compressões excessivas.

Essas medidas contribuem significativamente para preservar a qualidade física e fisiológica das sementes, reduzindo a ocorrência de fissuras e perdas de vigor durante o beneficiamento e armazenamento. Após a exposição ao hipoclorito de sódio, sementes de soja que apresentem mais de 10% danificação, devem ser descartadas (Krzyzanowski *et al.,* 2004).

2.3.2 Umidade

A semente de soja, por ser higroscópica, ajusta seu teor de umidade de acordo com o ambiente em que está (Figura 5), fazendo com que ela aumente ou diminua de volume conforme absorve ou perde água (França Neto; Henning, 1984).

Figura 5: Alteração física que resulta na deterioração da semente de soja: variações sucessivas do volume em função da umidade da semente.



Fonte: França Neto; Henning, 1984.

Esse processo pode levar à formação de rugas nos cotilédones, especialmente na região oposta ao hilo, provocando um desgaste físico nos tecidos, rompendo o tegumento e os tecidos embrionários, afetando o controle da permeabilidade das membranas, tanto em nível celular quanto subcelular (França Neto & Henning, 1984).

A deterioração por absorção ou perda de água (alteração da umidade) pode acontecer em qualquer momento durante a fase de maturação das sementes ou armazenamento, no entanto, de acordo com Mondragon e Potts (1974), seus efeitos negativos tendem a ser mais intensos quando o teor de umidade das sementes está abaixo de 25%.

Para preservar a qualidade do produto, a colheita da soja deve ser iniciada assim que a cultura atingir o estádio R8, correspondente à maturação fisiológica

(Embrapa, 2004), ainda segundo a Embrapa, nesse estágio, o teor de umidade das sementes deve estar entre 13% e 15%, faixa que contribui para a redução de danos mecânicos e perdas durante a colheita, dessa forma os danos mecânicos podem ser classificados como imediatos ou latentes. Os imediatos são facilmente observáveis, manifestando-se por sementes quebradas ou com tegumento rachado, resultando em perda imediata da viabilidade. Esses danos são mais frequentes em sementes colhidas ou manuseadas com teor de umidade inferior a 11%. Já os danos latentes ocorrem quando o teor de umidade é superior a 15%, sendo seus efeitos percebidos apenas após o armazenamento, com impacto negativo na germinação (Embrapa, 2004)

De acordo com Hamer e Peske (1997), o horário em que a colheita é realizada tem relação direta com a umidade das vagens. Eles observaram que, mesmo um pequeno aumento nessa umidade causado, por exemplo, por uma leve chuva ou pelo orvalho no começo da manhã ou no final da tarde já pode dificultar a ruptura das vagens, mesmo sem que essa umidade tenha passado para as sementes. Além disso, se houver aumento na umidade da palha, é essencial ajustar imediatamente a regulagem da colhedora para evitar perdas, como também destacam Costa et al. (1996).

2.3.3 Ataque de pragas

De acordo com Hoffman Campo (2004), a cultura da soja é atacada por insetos desde a germinação até a colheita. No início, pragas como o bicudo-da-soja (*Sternechus subsignatus*), a lagarta elasmo (*Elasmopalpus lignosellus*), os corós (superfamília *Scarabaeoidea*) e os percevejos-castanhos-da-raiz (*Scaptocoris castanea* e *Atarsocoris brachiariae*) danificam as plantas jovens. Durante as fases vegetativa e de floração, surgem desfolhadores como a lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatalis*) e a lagarta falsa-medideira (*Pseudoplusia includens*). Já na fase reprodutiva, percevejos sugadores como *Nezara viridula*, *Piezodorus guildinii* e *Euschistus heros* atacam as vagens e sementes. Outras pragas esporádicas também podem surgir, influenciadas pelo clima e pelos sistemas de produção de cada região (Hoffmann Campo, 2000).

Em estudo realizado por Belorte *et.a.l* (2003), concluiu-se que os danos causados por percevejos, acabam reduzindo significativamente o poder germinativo de sementes de soja.

2.3.4 Doenças

De acordo com Bizzeto e Homechin (1997), o inóculo primário no campo tem origem, principalmente, nas sementes infectadas ou nos restos culturais deixados da safra anterior, sendo as sementes um dos principais meios de disseminação do patógeno a longas distâncias, sementes contaminadas geralmente apresentam-se enrugadas, de tamanho reduzido, com tegumento rompido e, muitas vezes, cobertas por um micélio de coloração branco-suja. Mesmo quando os danos não são visíveis, sementes levemente afetadas podem causar problemas: durante a germinação, o tegumento pode manter os cotilédones unidos, o que leva à morte das plântulas logo após a emergência. Já as sementes com infecção severa, na maioria das vezes, nem chegam a germinar, apodrecendo no solo (Bizzeto e Homechin, 1997).

2.3.5 Avaliação da Germinação de Sementes

A germinação, a dormência e o vigor são atributos fisiológicos da qualidade das sementes e apresentam-se relacionados com o metabolismo destas estruturas (Peske *et al*., 2012). Para a manutenção desses atributos depende não apenas das condições fisiológicas internas, mas também das práticas adotadas antes, durante e após a colheita. Segundo Marcos Filho (2015), estresse físico como impactos e atritos podem alterar o potencial fisiológico das sementes, reduzindo germinação.

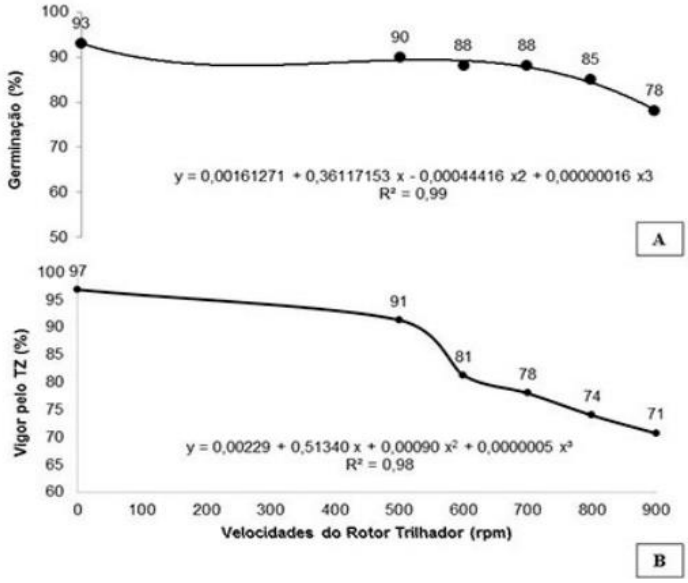
No contexto da colheita mecanizada, França-Neto, Krzyzanowski e Henning (2016) destacam que regulagens inadequadas da colhedora, especialmente na trilha e na separação, aumentam a ocorrência de danos mecânicos imediatos e latentes, que se manifestam posteriormente nos testes de germinação e vigor.

Para a colheita mecanizada de sementes, recomenda-se uma faixa de trabalho do rotor de 450 a 750 rpm para uma colhedora axial, pois facilita o processo operacional, mantendo uma boa germinação das sementes de soja (Herbek e Bitzer, 1997).

No entanto, conforme trabalhos realizados por Bonfim, Livai e Carvalho (2019), no estado do Paraná, em colhedora Jhon Deere S540, com 275 cv de potência, sis-

tema de trilha axial simples, Rotor Tri Stream™ e Sistema de limpeza DF4, com plataforma de 25 pés, verificou-se que a germinação das sementes tende a reduzir à medida que eleva a velocidade de trabalho do rotor (Gráfico 1).

Gráfico 1: Resultados do teste de germinação (A) e de vigor pelo tetrazólio (B), obtidos de sementes de soja da cultivar M 5917 IPRO oriundos da colheita mecanizada com velocidade do rotor trilhador, 500, 600, 700, 800, 900 RPM, e tratamento testemunha.



Fonte: Lima Bomfim (2019).

Observa-se que, a partir de 900 rpm no trabalho do rotor, ocorre uma redução da germinação das sementes de soja. Mesmo quando a colheita e a debulha foram realizadas manualmente, a taxa de germinação manteve-se acima de 85% para todas as velocidades do rotor testadas (500, 600, 700 e 800 rpm). Esse valor está acima do limite mínimo de 80% estabelecido pelos Padrões para Produção e Comercialização de Sementes de Soja (MAPA, 2018).

Lopes *et al*. (2011), observaram que as sementes de soja apresentam melhores índices de germinação quando a colheita é feita manualmente, em comparação com o processo mecanizado. Isso se deve, em grande parte, ao fato de que, na colheita mecanizada, as sementes são submetidas a impactos mais intensos durante a debulha. Esses choques podem causar danos nas regiões do embrião, estruturas essenciais para que a germinação ocorra de forma adequada (Marcos-Filho, 2015).

Além disso, quando o rotor trilhador operar em altas velocidades, como 900 rpm, o vigor das sementes tende a diminuir consideravelmente. Esse efeito é atribuído à intensidade dos choques, impactos e abrasões que as sementes sofrem durante o processo mecanizado, tornando-as mais vulneráveis a danos que comprometem sua qualidade fisiológica (França Neto e Henning, 1984).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O trabalho foi realizado no Rincão dos Teixeira, interior do município de São Nicolau no Rio Grande do Sul, na safra de soja 2024/2025. A lavoura foi implantada no dia 12 de janeiro de 2025 com espaçamento entre linhas de 0,45 m e população de 210.000 plantas por hectares (9,45 plantas por metro). As coordenadas geográficas do ponto central da área experimental são 28° 19’ 25” S 55° 03’ 53” W, com altitude média de 158 metros.

As análises de dano imediato (teste de hipoclorito), impureza e germinação realizadas nos Laboratórios da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Cerro Largo - Rio Grande do Sul, nos meses de maio e junho de 2025.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido utilizando o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em um esquema fatorial 2 (dois dias de operação de colheita 13/05/2025 e 14/05/2025) 2 (Combine Advisor® ligado e Combine Advisor® desligado), com 7 repetições. Dessa forma, foram totalizadas 28 unidades experimentais. Para cada tratamento, foram colhidos dois graneleiros, provenientes de três passadas consecutivas dentro do talhão.

3.3 COLHEDORA UTILIZADA E MONITORAMENTO DA COLHEITA

A colheita foi realizada nos dias 13 de maio de 2025 e dia 14 de maio de 2025, com uma colhedora de grãos John Deere, modelo S 780 (Figura 6), com barra de corte modelo 740 FD com 40 pés de corte. A colhedora possui um motor 13,5 litros de 480 cv de potência nominal, tanque de combustível de 1250 litros, capacidade de depósito de grãos de 14.100 litros e taxa de descarga de 135 segundo s^{-1} (Deere & Company, 2024).

Figura 6: Colhedora utilizada na colheita dos dados.



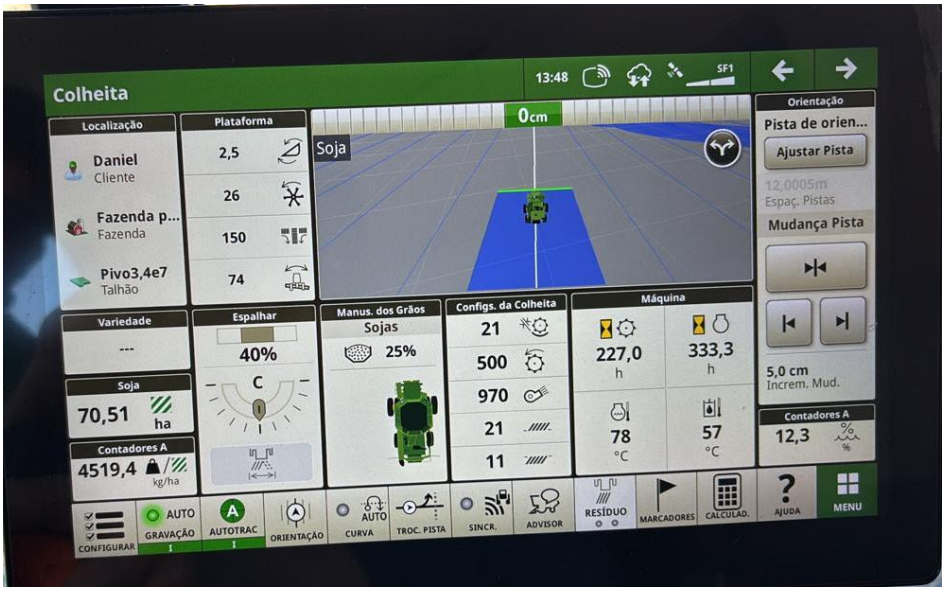
Fonte: Autor (2025).

Durante a colheita, foram registrados os parâmetros operacionais da colhedora por meio do monitor de desempenho a bordo (Figura 7), pertencente ao sistema de automação Combine Advisor®, da John Deere. O sistema permite acompanhar em tempo real o desempenho da máquina e realizar ajustes automáticos dos mecanismos de trilha, separação e limpeza, visando reduzir perdas e manter a qualidade das sementes.

Na tela do monitor é possível observar informações referentes à área colhida, produtividade, condições da máquina e configurações de colheita. No exemplo apresentado, o sistema indicava 25% de manuseio dos grãos, rotação do rotor trilhador de 500 rpm, velocidade do ventilador de 970 rpm, abertura do côncavo em 21 mm, peneira superior em 11 mm e inferior em 11 mm, com espalhamento de palha ajustado para 40%.

Esses dados foram utilizados para caracterizar as condições operacionais da colheita com o sistema Combine Advisor® Desligado e garantir a padronização entre os tratamentos avaliados, possibilitando a análise dos efeitos do sistema Combine Advisor® sobre os danos mecânicos e a qualidade das sementes colhidas.

Figura 7: Monitor de colheita da colhedora John Deere, mostrando as principais variáveis operacionais registradas durante a colheita da soja, com o sistema Combine Advisor® desativado.



Fonte: Ramos (2025).

Inicialmente, a colhedora percorreu seis passadas no talhão com o sistema Combine Advisor® desligado, a fim de evitar que os ajustes automáticos interferissem no tratamento “CA desligado”, resultando em dois tanques graneleiros descarregados em um reboque transbordo, onde as amostras de sementes foram coletadas usando um balde, antes da transferência final para um caminhão. Posteriormente, o Combine Advisor® foi ativado, então o mesmo procedimento foi repetido com o sistema ligado, percorrendo a mesma distância, em trajeto paralelo, para a coleta. Foram coletadas duas amostras, ou seja, duas unidades experimentais de aproximadamente 2 kg de sementes por cada carreta transbordo.

No dia seguinte, foram mantidas as mesmas condições de operação, a fim de simular um cenário equivalente ao do primeiro dia. Dessa forma, assegurou-se que os ajustes do sistema Combine Advisor não interferissem nos resultados obtidos no segundo dia.

3.4 CULTIVAR UTILIZADA

A cultivar Monsoy M 6202 I2X, da Bayer, combina alto desempenho agronômico com a biotecnologia Intacta2 Xtend® (Bayer, 2025). Pertencente ao grupo de maturação 6.2, com crescimento indeterminado e ciclo médio de 118 a 134 dias, destaca-se pela resistência a fitóftora**,** cancro da haste e mancha olho-de-rã, boa tolerância a estresses bióticos e abióticos, além de arquitetura de planta que favorece manejo e colheita, oferecendo produtividade e sustentabilidade.

A tecnologia Intacta2 Xtend® incorporada a cultivar também confere proteção contra as principais lagartas da soja e tolerância aos herbicidas dicamba e glifosato, o que contribui para um manejo mais eficiente de plantas daninhas, além de redução na aplicação de inseticidas, alinhando-se aos princípios da agricultura sustentável.

3.5 AVALIAÇÕES

3.5.1 Umidade das sementes

A análise da umidade das sementes foi realizada com o auxílio de um medidor de umidade de grãos de bancada da marca Gehaka, modelo G 939, conforme a Figura 8.

Figura 8: Medidor utilizado para gerar a porcentagem de umidade das amostras.



Fonte: Autor (2025).

3.5.2 Teste de dano mecânico imediato

As análises de qualidade das sementes foram realizadas no Laboratório de Sementes da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Cerro Largo, seguindo os procedimentos descritos por Krzyzanowski, França-Neto e Costa (2004), conforme a metodologia recomendada pela Embrapa. Para a condução do teste, utilizaram-se sementes oriundas das amostras homogêneas de 2 kg. A partir dessa amostra, foram separadas duas repetições de 100 sementes, totalizando 200 unidades isentas de danos visuais aparentes. As sementes foram imersas em uma solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 0,13% durante 10 minutos, com o objetivo de identificar danos mecânicos no tegumento.

Após esse período, a solução foi descartada e as sementes foram dispostas sobre papel absorvente para observação. As sementes sadias permaneceram com tegumento íntegro e coloração uniforme, enquanto as sementes danificadas apresentaram-se mais inchadas, com tegumento rompido ou áreas esbranquiçadas, características indicativas de danos mecânicos causados durante a colheita ou o manuseio (Figura 9).

Figura 9: Sementes de soja após o teste de hipoclorito de sódio (0,13%), evidenciando sementes sadias e sementes com danos mecânicos (tegumento rompido e aparência inchada).



Fonte: Autor (2025).

3.5.3 Análise de impurezas

A porcentagem de impurezas foi determinada a partir da pesagem inicial de cada amostra. Em seguida, realizou-se uma limpeza manual para a retirada de impurezas de maior tamanho, seguida de uma peneiração em peneira de 5 mm com

agitação para a separação das partículas menores (Figura 10). Após a separação, as impurezas foram pesadas, permitindo o cálculo de sua porcentagem em relação à massa inicial de cada amostra.

Figura 10: Processo de separação das impurezas com peneiras.



Fonte: Autor (2025).

3.5.4 Teste de germinação

O teste de germinação foi conduzido no Laboratório de Sementes da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Cerro Largo, RS, seguindo os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Foram utilizadas 400 sementes por unidade experimental, distribuídas em quatro repetições de 100 sementes cada. As sementes pertenciam à fração de semente pura, obtida previamente na análise de pureza, sendo amostradas aleatoriamente.

O método empregado foi o de rolo de papel, utilizando papel do tipo Germitest, umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco. Sobre cada folha foram dispostas 50 sementes, as quais foram cobertas com outra folha

e, em seguida, ambas foram enroladas formando um rolo. Os rolos foram acondicionados em sacos plásticos, sendo quatro rolos por saco, e colocados em câmara de germinação do tipo B.O.D., mantida a 25 ºC.

A primeira contagem foi realizada no 5º dia após a semeadura, contabilizando-se as sementes germinadas. No 8º dia, foi efetuada a avaliação final, com o registro das plântulas normais, plântulas anormais e sementes mortas, conforme os critérios estabelecidos pela legislação vigente.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

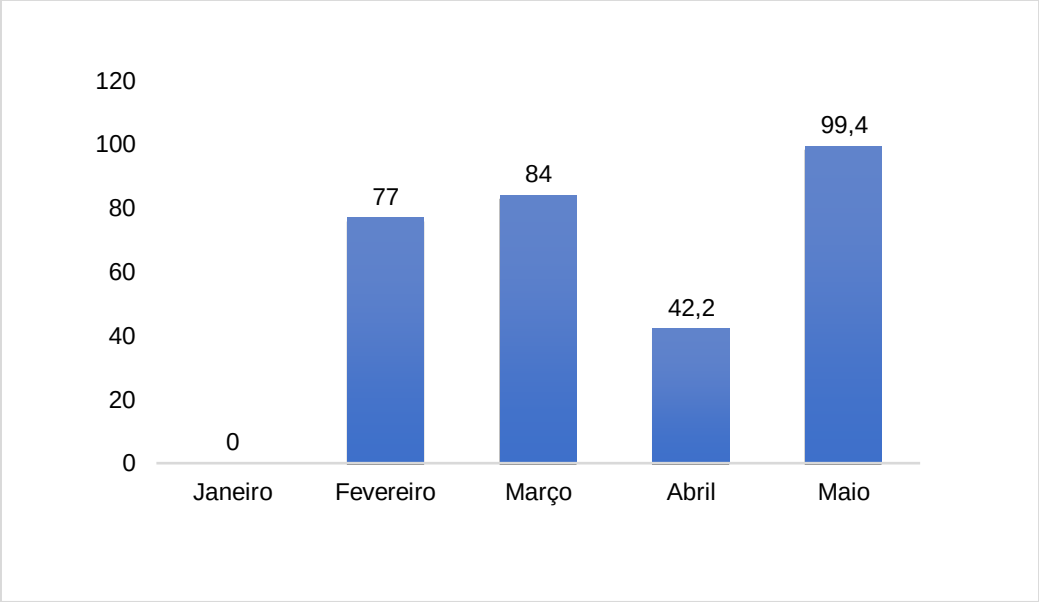
Os dados obtidos foram analisados por meio da ANOVA. Quando foram identificadas diferenças significativas entre os tratamentos, as médias foram comparadas utilizando o teste de Scott-Knott, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Para essas análises, utilizou-se o software SISVAR (Ferreira, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DADOS DE PRECIPITAÇÕES MUNICÍPIO DE SÃO LUIZ GONZAGA/RS

O total de água recebido pela cultura, considerando a precipitação pluviométrica e a irrigação suplementar, foi de 552 mm. Este valor foi obtido a partir dos 302 mm de chuva acumulada registrados pela estação do INMET em São Luiz Gonzaga (RS) durante o ciclo da cultura, somados aos 250 mm de irrigação aplicados (Gráfico 2).

Gráfico 2: Dados pluviométricos registrados segundo estação do INMET em São Luiz Gonzaga, de 12/01/2025 a 13/05/2025.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

4.2 DANO MECÂNICO IMEDIATO

Análise de Variância para o dano mecânico imediato (Tabela 1), demonstrou efeito significativo tanto para o Fator 1 (dias de colheita) quanto para o Fator 2 (condição de CA desligado / ligado), enquanto a interação entre os fatores não foi significativa (p = 0,7369), indicando que cada fator atual de forma independente.

Tabela 1: Análise de variância (ANOVA) para o dano mecânico imediato em sementes de soja, considerando os fatores “dias de colheita” e “condição do sistema Combine Advisor® (ligado/desligado)”.

FV	GL	SQ	QM	F
Fator 1:Diferentes dias (13/05 e 14/05	1	17,28571	17,28571	13,9615**
Fator 2: Combine Desl. e Lig.	1	14,28571	14,28571	11,5385**
Interação (Fator 1 x 2)	1	0,14286	0,14286	0,1154 ns
Tratamentos	3	31,71429	10,57143	8,5385**
Resíduo	24	29,71429	1,2381	
Total	27	61,42857		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
ns não significativo (p >= .05)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Conforme apresentado na Tabela 2, os danos mecânicos imediatos em sementes de soja foram influenciados significativamente pelo fator "dia de colheita".

Tabela 2: Médias de dano mecânico imediato nas sementes de soja colhidas em diferentes dias, em São Nicolau/RS.

Dano mecânico imediato (%)	Dano mecânico imediato (%)
1 (13/05)	5,92875 a
2 (14/05)	4,35714 b
MG	5,14286
CV	21,64

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott ao nível de 1% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A colheita no primeiro dia (13/05) apresentou uma média de 5,93% de danos, enquanto no segundo dia (14/05) observou-se média de 4,36**%**. Esse comportamento indica que o segundo dia esteve associado a menor intensidade de danos imediatos. Além disso, ao comparar com os resultados de germinação, nota-se uma tendencia semelhante, com melhores valores fisiológicos no segundo dia.

Diversos estudos apontam que a porcentagem da umidade das sementes influencia diretamente a intensidade dos danos mecânicos durante a colheita. Em geral, quanto menor o teor de água, maior a ocorrência de danos imediatos, uma vez que a redução da umidade provoca maior rigidez e fragilidade nos tecidos, tornando-os mais suscetíveis a fissuras e trincas (Baudet; Misra, 1993; Marcos Filho, 2015). Dessa forma, seria esperado que sementes colhidas com menor umidade apresentassem maior dano imediato.

No entanto, no presente trabalho a umidade foi semelhante entre os dois dias de operação de colheita, as sementes colhidas no segundo dia apresentaram menor incidência de danos. Essa divergência pode estar relacionada a fatores operacionais, como a atuação do sistema Combine Advisor®, que ajusta automaticamente elementos da trilha conforme detecta ocorrência de grãos quebrados. Outro ponto relevante é que a diferença de umidade entre os dias foi pequena, possivelmente insuficiente para alterar significativamente a resistência mecânica das sementes. Além disso, fatores ambientais (temperatura, insolação e umidade do ar) e sutis avanços de maturação fisiológica podem ter contribuído para maior resistência do tegumento no segundo dia.

Esses aspectos ajudam a explicar por que, apesar da umidade ser reconhecido como fator determinante do dano mecânico, outros fatores ambientais, fisiológicos e operacionais também interferem e devem ser considerados na interpretação dos resultados.

Na Tabela 3, observou- se resultados que evidenciam a utilização do sistema de Combine Advisor ligado contribuiu para a redução dos danos imediatos, apresentando valores menores em comparação ao desligado.

Tabela 3: Médias de dano mecânico imediato nas sementes de soja colhidas com CA ligado e CA desligado, em São Nicolau/RS.

Dano mecânico imediato (%)	
Combine Advisor DESLIGADO	5,85714 a
Combine Advisor LIGADO	4,42857 b
MG	5,14286
CV	21,64

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott ao nível de 1% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

O coeficiente de variação (CV%) foi de 21,64%, valor moderado, no entanto, autores como Costa, Seraphin & Zimmermann (2002) mostram que CVs nessa faixa podem ser aceitáveis dependendo da variável estudada e do delineamento experimental.

De forma integrada, os resultados mostram que tanto o dia de colheita quanto o uso do Combine Advisor® influenciaram a ocorrência de danos mecânicos imediatos. O primeiro dia de colheita esteve associado a maiores danos, enquanto o segundo dia apresentou valores menores. Da mesma forma, o uso do CA ligado contribuiu para a redução do dano. Esses padrões indicam que ajustes operacionais e condições do campo no momento da colheita desempenham papel importante na preservação da integridade física das sementes.

4.3 UMIDADE DAS SEMENTES DE SOJA

Conforme a análise de variância (Tabela 4), a variável umidade das sementes não apresentou efeito significativo para o fator dias de avaliação, para a condição do sistema Combine Advisor® (ligado ou desligado) ou para a interação entre esses fatores.

Tabela 4: Quadro de análise de variância (ANOVA) da umidade das sementes de soja sob diferentes dias de avaliação e condições do Combine Advisor, em São Nicolau/RS.

FV	GL	SQ	QM	F
Fator 1 (Dias)	1	0,24083	0,24083	2,2937 ns
Fator 2 (CA)	1	0,04083	0,04083	0,3889 ns
Interação F1 × F2	1	0,3675	0,3675	3,5 ns
Tratamentos	3	0,64917	0,21639	2,0608 ns
Resíduo	8	0,84	0,105	
Total	11	1,48917		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade
* significativo ao nível de 5% de probabilidade
ns não significativo

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Essa constância da umidade é fundamental para a interpretação dos danos mecânicos imediatos**,** uma vez que a variação nesse atributo pode interferir diretamente na resistência física das sementes**.**

A ausência de diferenças estatísticas sugere que os tratamentos testados não influenciaram o teor de água das sementes durante a colheita. Assim, a variação observada entre as repetições parece decorrer de oscilações naturais do material biológico, e não de efeitos associados ao uso do Combine Advisor® ou ao dia de operação. Essa estabilidade é especialmente relevante, uma vez que a umidade pode interferir de forma direta no comportamento físico das sementes sob impacto e compressão durante o processo de trilha e transporte interno da colhedora (Embrapa, 2005).

A literatura destaca que a umidade desempenha papel fundamental na suscetibilidade das sementes aos danos mecânicos. Marcondes, Miglioranza e Fonseca (2005) relatam que sementes colhidas com teores de água elevados tendem a apresentar maior incidência de danos latentes, os quais se manifestam posteriormente em reduções de germinação e vigor durante o armazenamento. Por outro lado, Pinto, Cícero e Forti (2007) apontam que valores muito baixos, abaixo de 12%, aumentam os danos imediatos devido à maior fragilidade dos tecidos, enquanto a faixa entre 12% e 14% é considerada ideal para preservar a qualidade física e fisiológica das sementes de soja.

No presente estudo, a umidade manteve-se dentro dessa faixa recomendada, o que contribuiu para condições mais uniformes de colheita e reduziu a influência desse fator sobre os danos mecânicos e impurezas observados. A estabilidade desse atributo possibilitou interpretar com maior clareza o efeito específico do sistema Combine Advisor®, uma vez que o teor de água das sementes não atuou como fonte de variação adicional entre os tratamentos.

4.4 IMPUREZAS

Os resultados da análise de variância para a porcentagem de impurezas (Tabela 5) indicaram ausência de efeito significativo tanto para o fator dias de colheita quanto para o fator condição do sistema Combine Advisor® (ligado/desligado)**.**

Tabela 5*:* Quadro de análise de variância (ANOVA) da impureza das sementes de soja sob diferentes dias de avaliação e condições do Combine Advisor® ligado e desligado, em São Nicolau/RS.

FV	GL	SQ	QM	F
Fator 1 (dias)	1	0,77705	0,77705	1,2471 ns
Fator 2 (CA lig. e desl.)	1	0,79348	0,79348	1,2735 ns
Interação F1 x F2	1	0,22406	0,22406	0,3596 ns
Tratamento	3	1,79459	0,5982	0,9601 ns
Resíduo	24	14,95393	0,62308	
Total	27	16,74852		

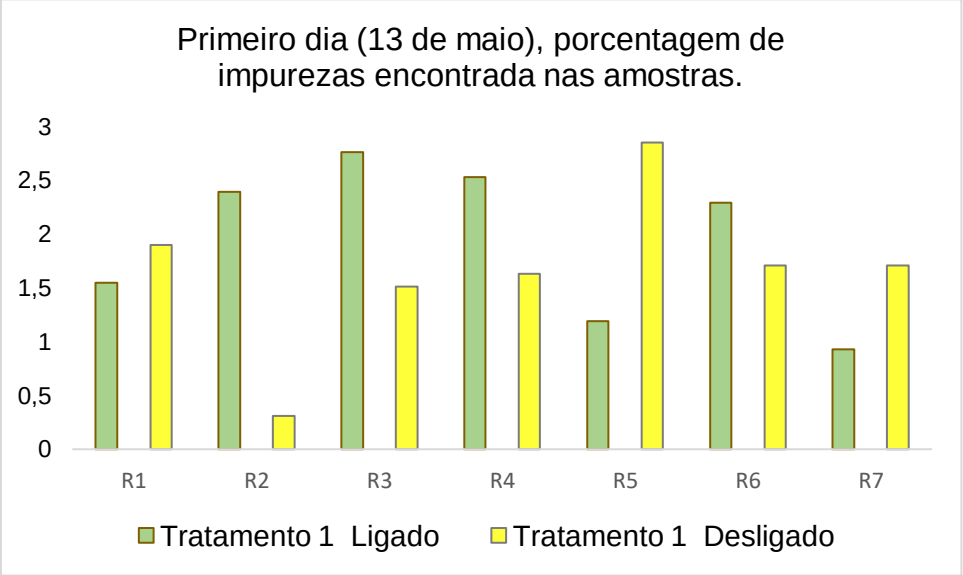
** significativo ao nível de 1% de probabilidade
* significativo ao nível de 5% de probabilidade
ns não significativo

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A interação entre esses fatores também não apresentou diferença significativa. Esse comportamento demonstra que, dentro das condições operacionais avaliadas, os tratamentos não exerceram influência detectável sobre o teor de impurezas presentes nas amostras de sementes.

Os Gráficos 3 e 4 indicam os valores de impurezas das unidades experimentais avaliadas. De forma geral, os Gráficos 3 e 4 demonstram que os teores de impurezas nas amostras de sementes de soja permaneceram baixos e estáveis durante os dois dias de avaliação, independentemente do uso do sistema Combine Advisor®. Tanto no primeiro dia (13/05) quanto no segundo (14/05), observa-se que a variação entre os tratamentos “ligado” e “desligado” é pequena, sem indicar um padrão consistente de aumento ou redução das impurezas em função do ajuste automático da máquina.

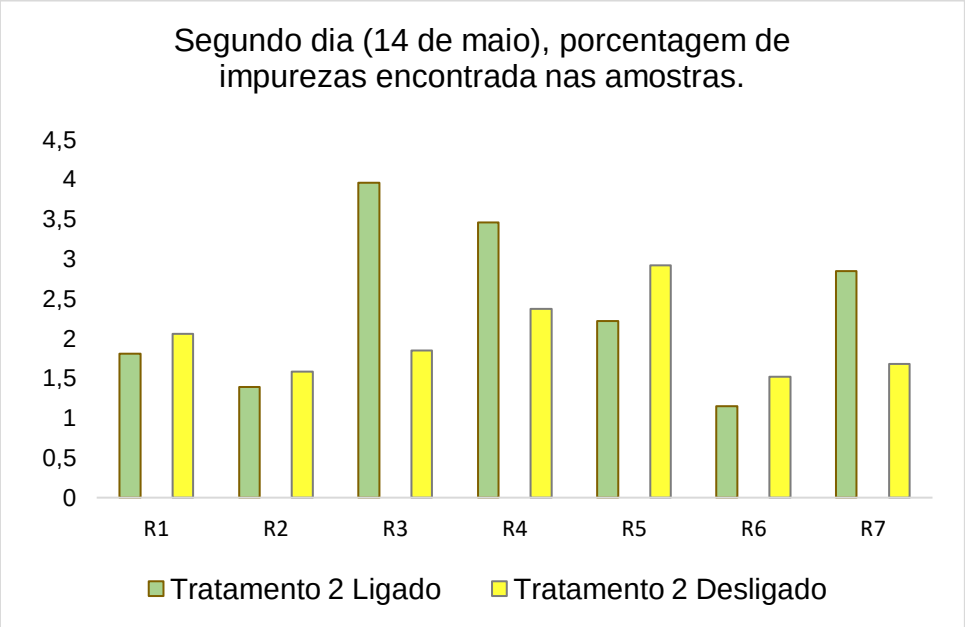
Gráfico 3: Teor de impurezas (%) nas amostras de sementes de soja no primeiro dia de colheita (13/05), com o sistema Combine Advisor® ligado e desligado.



Fonte: Autor (2025).

Observa-se que os percentuais permanecem baixos e com pouca variação, tanto com o sistema Combine Advisor ligado quanto desligado, nos dois dias avaliados. A pequena amplitude entre as médias indica que as diferenças observadas se deem mais à variabilidade natural do material biológico do que ao efeito das condições operacionais impostas.

Gráfico 4*:* Teor de impurezas (%) nas amostras de sementes de soja no segundo dia de colheita (14/05), com o sistema Combine Advisor® ligado e desligado.



Fonte: Autor (2025).

A manutenção de níveis reduzidos de impurezas é indicativa de que o conjunto de regulagens adotado para a colhedora independente do uso do Combine Advisor® proporcionou eficiência adequada no processo de limpeza das sementes. Isso está de acordo com o que destaca Molin (2020), ao afirmar que a eficiência do sistema de limpeza depende principalmente da regulagem do fluxo de ar e da abertura das peneiras, sendo pouco influenciada pelos sistemas automáticos de trilha e separação.

Assim, a estabilidade dos valores de impurezas nas amostras reforça que, nas condições operacionais deste estudo, o uso do sistema automático não alterou de maneira significativa a qualidade física do material colhido no que se refere à presença de impurezas. Isso permite interpretar os demais atributos avaliados como dano mecânico e germinação sem interferência relevante do teor de impurezas entre os tratamentos.

4.5 GERMINAÇÃO

Na análise de variância do teste de germinação (Tabela 6), verificou-se que apenas o fator “dias de contagem das sementes germinadas” que foram nos dias 4 e 8 após o início do teste de germinação, apresentou diferença significativa ($p < 0,01$), evidenciando diferença no número de plântulas normais entre o 4º e o 8º dia de avaliação, conforme previsto pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Tabela 6: Análise de variância (ANOVA) do teste de germinação de sementes de soja colhidas em diferentes dias e com CA ligado e CA desligado, em São Luiz Gonzaga/RS.

FV	GL	SQ	QM	F
Fator 1 (CA Desl. E Lig)	1	0,64286	0,64286	0,2345 ns
Fator 2 (Dias 4 e 8)	1	20,64286	20,6428	7,5291 **
Interação F1 x F2	1	0,64286	0,64286	0,2345 ns
Tratamento	3	21,92857	7,30952	2,6660 ns
Resíduo	52	142,5714	2,74176	
Total	55	164,5		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade
ns não significativo

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Por outro lado, tanto o fator Combine Advisor® (ligado ou desligado) quanto a interação entre os fatores não apresentaram significância ($p > 0,05$), indicando que o sistema não interferiu no desempenho germinativo das sementes.

Na comparação de médias, de acordo com a Tabela 7, observa-se que a germinação foi superior no oitavo dia de contagem de sementes germinadas. Esse resultado é esperado, uma vez que parte das sementes necessita de mais tempo para completar o processo germinativo, aumentando o percentual final no último dia de avaliação (Brasil, 2009).

Tabela 7*:* Médias de sementes de soja germinadas seguindo teste da Embrapa, contadas em diferentes dias, sementes colhidas em São Nicolau/RS.

Fator	% de germinação
Fator 2 (dia 4)	98,14286 b
Fator 2 (dia 8)	99,35714 a
MG	98,75
CV	1,68

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si a 1% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

De modo geral, os resultados mostram que o aumento da germinação no 8º dia reflete a continuidade natural do processo germinativo ao longo do teste, como previsto pelas RAS. Além disso, o uso do Combine Advisor® manteve a qualidade fisiológica das sementes, sem interferir negativamente na germinação, demonstrando consistência operacional nas condições avaliadas.

5 CONCLUSÕES

O sistema Combine Advisor® reduz significativamente a ocorrência de danos mecânicos imediatos em sementes de soja durante a colheita mecanizada.

Nas condições em que a pesquisa foi desenvolvida o percentual de impurezas permaneceu inalterado com o uso da tecnologia, demonstrando que seu principal benefício reside na preservação da integridade física das sementes.

A tecnologia Combine Advisor® configura-se como uma ferramenta eficaz para produtores que buscam maximizar a qualidade física das sementes de soja, assegurando maior integridade do produto colhido.

REFERÊNCIAS

AGNOL, A. D. A soja no Brasil: evolução, causas, impactos e perspectivas. *Anais do V*, 2011.

BAYER. *Soja Monsoy M 6202 I2X*. 2025. Disponível em: https://www.agro.bayer.com.br/d/soja-monsoy-m-6202-i2x-br. Acesso em: 3 jun. 2025.

BAUDET, L.; MISRA, M. K. Qualidade fisiológica e danos mecânicos em sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 15, n. 1, p. 115-121, 1993.

BELORTE, L. C.; RAMIRO, Z. A.; FARIA, A. M.; MARINO, C. A. B. Danos causados por percevejos (Hemiptera: Pentatomidae) em cinco cultivares de soja (Glycine max (L.) Merrill, 1917) no município de Araçatuba, SP. *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo, v. 70, n. 2, p. 169-175, Apr./Jun. 2003.

BRAUN, S. Desempenho operacional de colhedoras de grãos com sistemas de trilha axial e tangencial na cultura da soja. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023.

BRASIL. *Regras para Análise de Sementes.* Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p

BIZZETTO, A.; HOMECHIN, M. Efeito do período e da temperatura de armazenamento na qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja com altos índices de *Phomopsis sojae* (Leh.). *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v. 19, n. 2, p. 296-303, 1997.

BOMFIM, J. L.; LIVAI, J.; CARVALHO, T. C. de. *Interferência de diferentes velocidades do rotor trilhador, de uma colhedora axial no atributo físico e fisiológico de sementes de soja*. Applied Research & Agrotechnology, Guarapuava-PR, v. 12, n. 3, p. 31–38, set./dez. 2019.

CAMALESE, R.; BAIO, F. H. R.; ALVES, G. L. Quantitative and qualitative losses from harvesters with radial and axial threshing systems depending on grain moisture. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 12, p. 1179-1184, 2015.

CAMPOS, M. A. O. et al. Perdas na colheita mecanizada de soja no Estado de Minas Gerais. *Engenharia Agrícola*, v. 25, p. 207-213, 2005.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CONTE, O. *Dimensionamento de máquinas e regulagem de colhedoras*. 2018. Disponível em: https://www.embrapa.br/documents/1355202/1529289/Dimensionamento+de+m%C3%A1quinas+e+regulagens+de+colhedoras+-+Osmar+Conte.pdf. Acesso em: 14 abr. 2025.

Costa, N. H. de A. D., Seraphin, J. C., & Zimmermann, F. J. P. (2002). *Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 37(3), 243–249

COSTA, N. P. et al. Efeito da colheita mecânica sobre a qualidade de semente de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 18, n. 2, p. 232-237, 1996.

COSTA, N. P.; MESQUITA, C. M.; MAURINA, A. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; PEREIRA, J. E.; BORDINGNON, J. R.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. Efeito da colheita mecânica da soja nas características físicas, fisiológicas e químicas das sementes em três estados do Brasil. *Revista Brasileira de Sementes*, Curitiba-PR, v. 23, p. 140-145, 2001.

DA COSTA, N. P.; MESQUITA, C. de M.; OLIVEIRA, M. C. N. *Efeito da velocidade de deslocamento e do cilindro de trilha da colhedora sobre as perdas de sementes na colheita da soja*. 2014.

DE FRANÇA, E. E. *Características agronômicas, propriedades físicas e qualidade fisiológica de sementes de cultivares de soja em função do hábito de crescimento e populações de plantas*. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Goiás, Goiás, 2019.

DEERE & COMPANY. *Combine Advisor*. 2025. Disponível em: https://www.deere.com.br/pt/pe%C3%A7as-e-servi%C3%A7os/john-deere-upgrades/combine-advisor/. Acesso em: 31 mar. 2025.

EMBRAPA. *Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade*. Documento técnico, Embrapa, 2005

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. *Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade.* Londrina: Embrapa Soja, 2016. (Documentos 372).

FRANÇA NETO, J. de B. et al. Efeitos da colheita mecanizada na qualidade de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 6, n. 1, p. 44-50, 1984.

FRANÇA NETO, J. de B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. *Importância do uso de sementes de soja de alta qualidade*. Londrina: Embrapa Soja, 2010. v. 1, n. 1, p. 2.

FRANÇA-NETO, J. de B. et al. *Metodologia do teste de tetrazólio em semente de soja*. Londrina: Embrapa Soja, 1988.

GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 70, n. 3, p. 1-108, 15 set. 2018.

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

GUIMARÃES, Kaio Henrique Pereira. *Estudo dos sistemas tangencial e axial de colhedoras*. Urutaí - GO, janeiro de 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí, 2025. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/5186/1/tcc_Kaio%20Henrique%20Pereira%20Guimar%C3%A3es.pdf (acesso em: 03/11/2025).

HAMER, E.; PESKE, S. T. Colheita de sementes de soja com alto grau de umidade. I Qualidade física. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 19, n. 1, p. 106-110, 1997.

HERBEK, J. G.; BITZER, M. J. Efeito da velocidade do rotor na qualidade das sementes de soja. *Revista de Tecnologia Agrícola*, v. 15, n. 3, p. 110-115, 1997.

HOFFMANN-CAMPO, C. B. et al. *Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado*. Londrina: Embrapa Soja, 2000.

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

HUNT, C. *Lignina no tegumento de semente de soja: deterioração por umidade ou dano mecânico e tamanho da amostra para o teste de tetrazólio*. Santa Maria-RS: Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2015. p. 39-54.

JIJON, V. L. A.; BARROS, A. C. S. A.; LABRE, L. M. B. *Efeito dos danos mecânicos na semeadura sobre a qualidade de sementes de soja (Glycine max (L.) Merril)*. 1983.

JOHN DEERE. *Colheitadeiras Série S700*. 2024. Disponível em: https://www.deere.com.br/pt/colheitadeiras/s%C3%A9rie-s/s780/. Acesso em: 28 abr. 2025.

JOHN DEERE. *Esteiras de Borracha GreenSystem™ TA1091*. Disponível em: https://www.deere.com.br/pt/colheitadeiras/s%C3%A9rie-s/esteira/. Acesso em: 28 abr. 2025.

KRZYZANOWSKI, F. C. et al. *Teste do hipoclorito de sódio para determinação da ocorrência de microfissuras no tegumento da semente de soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2023.

LOPES, A. M. et al. Comparação entre colheita manual e mecanizada no desempenho de germinação de sementes de soja. *Revista Brasileira de Agricultura*, v. 28, n. 2, p. 78-85, 2011.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. *Padrões para produção e comercialização de sementes de soja*. Brasília: MAPA, 2018.

MARCONDES, M. C.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, I. C. B. *Danos mecânicos e qualidade fisiológica de sementes de soja colhida pelo sistema convencional e axial*. Revista Brasileira de Sementes, v. 27, n. 2, p. 125–129, 2005.

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

MARCO-FILHO, J. F. Germinação de sementes de soja: fatores que influenciam o processo. *Revista Científica de Agricultura*, v. 13, n. 4, p. 312-320, 2015.

MESQUITA, C. de M.; GAUDÊNCIO, C. de A. *Medidor de perdas na colheita de soja e trigo*. 1982.

MESQUITA, C. M.; MOLIN, J. P.; COSTA, N. P. Avaliação preliminar de perdas invisíveis na colheita da soja. *Anais*, 1998.

MESQUITA, C. M. *Colhedoras de grãos e a qualidade da soja*. [S. l.], 1 fev. 1999. Disponível em: https://seednews.com.br/artigos/2532-colhedoras-de-graos-e-a-colheita-da-soja-edicao-janeiro-1999. Acesso em: 13 abr. 2025.

MONDRAGON, R. L.; POTTS, H. C. Field deterioration of soybeans as affected by environment. In: *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts*. The Association of Official Seed Analysts, 1974. p. 63-71.

MOLIN, J. P. *Colheita mecanizada de grãos.* In: MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. (Org.). *Agricultura de precisão.* 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

MOLIN, J. P**.** Mecanização agrícola: colheita mecanizada de grãos. Piracicaba: ESALQ/USP, 2020.

PETTER, F. A. et al. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. *Bragantia*, v. 75, n. 2, p. 173-183, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1678-4499.447. Acesso em: 28 abr. 2025.

PINTO, T. L. F.; CICERO, S. M.; FORTI, V. A. *Avaliação de danos por umidade em sementes de soja*. Revista Brasileira de Sementes, v. 29, n. 1, p. 60–67, 2007.

PROCÓPIO, S. O. et al. Ecofisiologia da soja. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2541-2554, nov./dez. 2013.

SILVA, C. R. da. *Mecanização agrícola: colheita mecanizada de grãos.* Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

SIM, Y. S. et al. *Recent advances in the improvement of soybean seed traits by genome editing.* Frontiers in Plant Science, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1276425

VALTRA. *Produtos por Linha*. 2015. Disponível em: https://www.valtra.com.br/produtos.html. Acesso em: 13 abr. 2025.

WERNER, F. et al. Populações e espaçamentos de cultivares de soja com diferentes hábitos de crescimento. *Bragantia*, Campinas, v. 75, n. 3, p. 294-304, 2016.

ZANDONADI, R. S.; RUFFATO, S.; FIGUEIREDO, Z. N. Perdas na colheita mecanizada de soja na região Médio-Norte de Mato Grosso: safra 2012/2013. *Nativa*, v. 3, n. 1, p. 64-66, 2015.