

**RUPTURA FISIOLÓGICA NO TEGUMENTO E TRATAMENTO DE
SEMENTES DE SOJA: INFLUÊNCIA NA QUALIDADE FISIOLÓGICA**

Por

RAÍNER KÉSLEY MACIEL SANTANA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Bioenergia e Grãos

Rio Verde, GO

2026

**RUPTURA FISIOLÓGICA NO TEGUMENTO E TRATAMENTO DE
SEMENTES DE SOJA: INFLUÊNCIA NA QUALIDADE FISIOLÓGICA**

por

RAÍNER KÉSLEY MACIEL SANTANA

Orientação:

Prof. Dr.^a Silvia Sanielle Costa de Oliveira, IF Goiano – Campus Rio Verde

Rio Verde, GO

2026

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

S232r Santana, Rainer Késley Maciel
Ruptura Fisiológica no Tegumento e Tratamento de Sementes de
Soja: Influência na Qualidade Fisiológica / Rainer Késley Maciel
Santana. Rio Verde 2026.
41f. il.
Orientadora: Prof^a. Dra. Silvia Sanielle Costa de Oliveira.
Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de
0233154 - Mestrado Profissional em Bioenergia e Grãos -
Integral (Campus Rio Verde).
1. Glycine max (L.) Merrill. 2. Morfologia do tegumento. 3.
Fissuras. 4. Germinação. 5. Vigor. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Rainer Késley Maciel Santana

Matrícula:

2024102331540002

Título do trabalho:

Ruptura Fisiológica no Tegumento e Tratamento de Sementes de Soja: Influência na Qualidade Fisiológica

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 27 / 04 / 2026


O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
 RAINER KESLEY MACIEL SANTANA
Data: 10/04/2026 17:17:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rio Verde


Local

10 / 04 / 2026

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Documento assinado digitalmente
 SILVIA SANIELLE COSTA DE OLIVEIRA
Data: 10/04/2026 17:21:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 4/2026 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

ATA Nº 121 (CENTO E VINTE E UM) BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e sete dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e seis, às 15h00min (quinze horas), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **RAÍNER KÉSLEY MACIEL SANTANA**, discente do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pela presidente da Banca Examinadora, Prof.^a Dr.^a Silvia Sanielle Costa de Oliveira, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Dissertação que, em 30 min, procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIOENERGIA E GRÃOS**, na área de concentração Agroenergia, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBG da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Silvia Sanielle Costa de Oliveira	IF Goiano – Campus Iporá	Presidente
Daline Benites Bottega	IF Goiano – Campus Iporá	Membro externo
Amanda Abdallah Chaibub	IF Goiano – Campus Iporá	Membro interno

Documento assinado eletronicamente por:

- **Silvia Sanielle Costa de Oliveira**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 27/02/2026 16:00:20.
- **Amanda Abdallah Chaibub**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 27/02/2026 16:05:05.
- **Daline Benites Bottega**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 27/02/2026 16:27:40.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/02/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 793822
Código de Autenticação: cf83183fb7



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 1/2026 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

RUPTURA FISIOLÓGICA NO TEGUMENTO E TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA: INFLUÊNCIA NA QUALIDADE FISIOLÓGICA

Autor: Raíner Késley Maciel Santana
Orientadora: Sílvia Sanielle Costa de Oliveira

TITULAÇÃO: Mestre em Bioenergia e Grãos - Área de Concentração Agroenergia

APROVADA em 27 de fevereiro de 2026.

Assinado eletronicamente
Prof.^a Dr.^a Daline Benites Bottega
Avaliadora externa - IF Goiano Campus
Iporá

Assinado eletronicamente
Prof.^a Dr.^a Amanda Abdallah Chaibub
Avaliadora interna - IF Goiano Campus
Iporá

Assinado eletronicamente
Prof.^a Dr.^a Sílvia Sanielle Costa de Oliveira
Presidente da Banca - IF Goiano Campus Iporá

Documento assinado eletronicamente por:

- **Silvia Sanielle Costa de Oliveira**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 27/02/2026 16:27:08.
- **Amanda Abdallah Chaibub**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 27/02/2026 16:27:59.
- **Daline Benites Bottega**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 27/02/2026 16:28:12.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/02/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 793823
Código de Autenticação: e4b381b4ac



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

Dedicatória

Dedico este trabalho às pessoas que foram base de tudo na minha vida, minha mãe, Maria Maciel (*in memoriam*) e meus avós, Benicio Maciel e Juraci Costa, (*in memoriam*), por todo apoio, amor e incentivo. Sem vocês, nada disso seria possível. Por todos os exemplos e ensinamentos compartilhados ao longo de toda minha vida, que me deram a base de formação para a pessoa que me tornei hoje. A presença de vocês continua viva em minhas lembranças e conquistas. A vocês, meu amor e a minha eterna gratidão.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus, pelo dom da vida e por me permitir ser resiliente nos momentos cruciais da minha vida.

Ao meu companheiro, Rodrigo Schneider, pelo apoio, paciência e amor, durante toda esta jornada.

À minha orientadora, Dr.^a Silvia Sanielle, pela paciência, dedicação e confiança no desenvolvimento deste trabalho, e pelas contribuições valiosas que enriqueceram minha formação acadêmica e profissional.

Ao Dr. Jerffeson Cavalcante, por ter sido um incentivador constante nesta caminhada, oferecendo ajuda, apoio e orientação nos momentos mais desafiadores.

Aos professores e funcionários do Programa do Mestrado Profissional em Bioenergia e Grãos – IF Goiano – Campus Rio Verde, pela acolhida, pelas aulas, e pela disponibilidade em compartilhar conhecimento.

Aos amigos, com um carinho especial à Mithyely Araújo, pelo companheirismo e pelas conversas de sempre. Agradeço também à Railane Silva e aos colegas que me acompanharam nessa caminhada, por todo o apoio que tornou esta jornada mais leve.

Por fim, a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta etapa da minha vida: meu sincero e profundo agradecimento.

*"Liberdade é pouco. O que eu desejo ainda não tem
nome."*

Clarice Lispector

RUPTURA FISIOLÓGICA NO TEGUMENTO E TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA: INFLUÊNCIA NA QUALIDADE FISIOLÓGICA

RESUMO: A soja é uma das principais culturas responsáveis pelo aumento da área e produção de grãos no Brasil. Diante desta magnitude, torna-se primordial o uso de sementes de qualidade superior. A ruptura fisiológica no tegumento, caracterizada por fissuras, tem gerado preocupações quanto ao impacto na qualidade fisiológica das sementes de soja. Objetivou-se avaliar sementes com ruptura fisiológica (CRF) e sem ruptura fisiológica (SRF) no tegumento, a interação com tratamentos químicos + Votivo® e a influência na qualidade fisiológica. As análises foram realizadas em laboratório credenciado pelo MAPA, no município de Rondonópolis - MT, utilizando o cultivar 80I82RSF IPRO (Olimpo), em esquema bifatorial 3×3, correspondendo a sementes CRF, SRF e lote original (LO), combinadas com três tratamentos (sem tratamento, Fortenza® Elite e Standak Top® + Votivo). As sementes foram separadas visualmente conforme a integridade do tegumento, tratadas com os produtos químicos e submetidas aos testes de germinação, envelhecimento acelerado, emergência em canteiro e curva de embebição. Sementes CRF apresentaram germinação inferior (75%) sementes SRF (86%) e ao LO (81%). Fortenza® Elite reduziu vigor em SRF, mas demonstrou efeito protetor CRF sob envelhecimento acelerado. Standak Top® + Votivo proporcionou maior emergência em canteiro (93%), independentemente da condição do tegumento. Conclui-se que a integridade do tegumento determina a qualidade fisiológica da semente de soja, e o tratamento com Standak Top® + Votivo representa a estratégia mais eficaz para garantir o estabelecimento da lavoura, mesmo em lotes com ruptura fisiológica no tegumento.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max* (L.) Merrill.; morfologia do tegumento; fissuras; rasgo vigor; germinação.

PHYSIOLOGICAL RUPTURE IN THE SEED COAT AND SOYBEAN SEED TREATMENT: INFLUENCE ON PHYSIOLOGICAL QUALITY

ABSTRACT: Soybean is one of the main crops responsible for the increase in cultivated area and grain production in Brazil. Given this magnitude, the use of superior quality seeds becomes paramount. Physiological rupture in the seed coat, characterized by fissures, has generated concerns regarding its impact on the physiological quality of soybean seeds. This study aimed to evaluate seeds with physiological rupture (PR) and no physiological rupture (NPR) in the seed coat, as well as their interaction with chemical and biological treatments, and their influence on physiological quality. The analyses were carried out in a laboratory accredited by MAPA in the municipality of Rondonópolis - MT, using the cultivar 80I82RSF IPRO (Olimpo), in a 3×3 two-factor scheme, corresponding to PR seeds, NPR seeds, and the original batch (OB), combined with three treatments (no treatment, Fortenza® Elite, and Standak Top® + Votivo). The seeds were visually separated according to seed coat integrity, treated with the chemical products, and subjected to germination, accelerated aging, seedbed emergence, and imbibition curve tests. PR seeds showed lower germination (75%) compared to NPR seeds (86%) and the OB (81%). Fortenza® Elite reduced vigor in NPR seeds but demonstrated a protective effect on PR seeds under accelerated aging. Standak Top® + Votivo provided greater seedling emergence in the seedbed (93%), regardless of the seed coat condition. It is concluded that seed coat integrity determines the physiological quality of soybean seeds, and the treatment with Standak Top® + Votivo represents the most effective strategy to ensure crop establishment, even in seed batches with physiological rupture in the seed coat.

KEYWORDS: *Glycine max* (L.) Merrill.; seed coat morphology; seed treatment; fissures; vigor; germination.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização da qualidade física e fisiológica inicial do lote de sementes de soja do cultivar 80I82RSF IPRO.	28
Tabela 2 - Produtos comerciais, ingredientes ativos, classificação e dosagem de aplicação utilizados no tratamento de sementes de soja.	31
Tabela 3 - Valores médios de germinação (%) de sementes de soja do cultivar 80I82RSF IPRO (Olimpo), provenientes de três lotes (LO, CRF no tegumento e SRF no tegumento), submetidas a três tratamentos químicos + biológico (Sem tratamento, Standak Top® + Votivo e Fortenza® Elite).	37
Tabela 4 - Porcentagem de vigor pelo teste de envelhecimento acelerado (EA) de sementes de soja do cultivar 80I82RSF IPRO (Olimpo), provenientes de três lotes (LO, CRF no tegumento e SRF no tegumento), submetidas a três tratamentos químicos + biológico (Sem tratamento, Standak Top® + Votivo e Fortenza® Elite), após exposição a 41 °C por 48 horas.	38
Tabela 5 - Porcentagem de emergência de plântulas em canteiro (EPC) de sementes de soja do cultivar 80I82RSF IPRO (Olimpo), provenientes de três lotes (LO, CRF no tegumento e SRF no tegumento), submetidas a três tratamentos químicos + biológico (Sem tratamento, Standak Top® + Votivo e Fortenza® Elite), avaliada aos 7 dias após a semeadura.	39
Tabela 6 - Porcentagem de viabilidade e vigor pelo teste de tetrazólio de diferentes lotes de sementes de soja, apresentado ou não ruptura fisiológica no tegumento e tratadas quimicamente + biológico.	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ruptura fisiológica no tegumento da soja durante o enchimento dos grãos. Fonte: Teixeira (2021).	29
Figura 2 - Aparência das sementes CRF no tegumento. Fonte: Teixeira (2021).	29
Figura 3 - A) Anatomia do tegumento com CFR (corte transversal microscópico); B) Aparência visual da semente com ruptura fisiológica no tegumento. Fonte: Teixeira (2021).	30
Figura 4 – Curva de embebição de sementes de soja do cultivar 80I82RSF IPRO (Olimpo), demonstrando o padrão trifásico de absorção de água ao longo de 28 horas: Fase I (0-8h) – absorção rápida inicial; Fase II (8-20h) – estabilização metabólica; Fase III (após 20h) – retomada da absorção associada à protrusão radicular. LO (A), sementes com CRF no tegumento (B) e sementes SRF no tegumento (C).	34
Figura 5 - A) Acúmulo de produto químico na região da ruptura fisiológica; B) Deterioração visualizada pelo teste de tetrazólio; C) Deterioração na germinação. Fonte: Autor (2025)	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
3 OBJETIVOS	20
3.1 Objetivo Geral	20
3.2 Objetivos Específicos	20
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 Qualidade de Sementes de Soja	22
2.2 Rupturas Fisiológicas no Tegumento de Sementes de Soja	23
2.3 Tratamento Químico de Sementes.....	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 Testes de Qualidade Fisiológica	32
4.2 Análise Estatística.....	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
6 CONCLUSÃO	43
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura típica do continente asiático, porém com inserção mundial na economia de muitos países, é um dos principais pilares da economia global, estratégica para a segurança alimentar e energética. Pelo alto teor proteico e lipídico, é essencial na alimentação, rações e biocombustíveis. O Brasil destaca-se na produção mundial, evidenciando a relevância da cultura para o desenvolvimento industrial e a sustentabilidade das cadeias produtivas (Corbellini *et al.*, 2024).

Por causa da previsão do aumento populacional, a demanda por alimentos tem crescido de maneira expressiva, sendo imprescindível que a produção agrícola aumente significativamente a produção até o ano de 2050. Perante este cenário, o Brasil tem se tornado referência internacional na produção de sementes pelas práticas e avanços tecnológicos na produção, com fornecimento de sementes de qualidade superior, desenvolvimento de novos cultivares, tecnologias de adubação com alta precisão, de colheita e pós-colheita (Cavalcante *et al.*, 2022; ABRASEM, 2022; Cipriano *et al.*, 2024).

Para alcançar resultados de tal magnitude, a utilização de sementes de qualidade superior torna-se crucial. Essas sementes vêm acompanhadas de um pacote tecnológico que confere alta qualidade genética, física, fisiológica e sanitária. A intensificação do uso de sementes de qualidade superior resultou no crescimento e na diversificação da produção de sementes, proporcionados, principalmente, pela evolução do melhoramento genético, do uso da biotecnologia e da incorporação de novas tecnologias ao processo de produção de sementes (ABRASEM, 2014; Veiga *et al.*, 2020).

O sucesso da safra depende fundamentalmente da qualidade da semente, sendo fator determinante para o alcance da produtividade esperada. Lotes com qualidade superior asseguram a formação de plântulas mais vigorosas, com emergência rápida e alta uniformidade no estabelecimento do estande da lavoura. Todas as fases da produção, desde a semeadura no campo até o armazenamento final, exercem influência direta, sendo a colheita e os processos subsequentes importantes para a obtenção e preservação das sementes de soja com qualidade superior (Santos *et al.*, 2024).

Apesar dos conhecidos benefícios do uso de sementes de qualidade superior no estabelecimento inicial de uma lavoura de soja, é comum o surgimento de novos desafios

mediante as inúmeras características genéticas dos novos cultivares que são lançados safra após safra, sendo uma delas a ruptura fisiológica no tegumento. De acordo com Lemes e Catão (2024) a ruptura fisiológica do tegumento da semente de soja tem início geralmente entre o final do estágio R6 e o início do R7, fases em que as sementes atingem o peso máximo, pouco antes da maturidade fisiológica. Esse processo resulta da contração irregular do parênquima ou de tecidos subjacentes que provocam a separação dos tecidos epidérmicos e hipodérmicos das camadas internas do tegumento.

Nesse contexto, a estrutura da semente de soja é composta principalmente por um embrião grande e um tegumento fino, que funciona como órgão de proteção contra patógenos e danos mecânicos, além de atuar na absorção e perda de água. Essa função evidencia a importância na conservação da qualidade da semente, sendo que rupturas fisiológicas no tegumento têm gerado preocupações sobre o impacto na qualidade fisiológica da semente de soja (Teixeira *et al.*, 2019).

Dada a relevância das características morfológicas na proteção e conservação da qualidade fisiológica de sementes de soja, é de suma importância destacar que o rompimento de duas das três camadas que compõem o tegumento da semente de soja poderá ser uma porta de entrada para patógenos e, além disso, possibilitar contato mais próximo do tratamento químico com tecidos vivos, os cotilédones e o eixo embrionário. Logo, de acordo com Galvão *et al.* (2024), a presença de rupturas fisiológicas no tegumento das sementes de soja pode comprometer a eficácia dos tratamentos de sementes e o posterior armazenamento.

Para assegurar a proteção contra patógenos e pragas iniciais, o Tratamento Industrial de Sementes (TIS) utiliza químicos e biológicos de alta performance. Entre as tecnologias amplamente adotadas no cenário nacional, destaca-se a combinação de Standak Top® e Votivo®. O Standak Top®, composto pelos fungicidas piraclostrobina e tiofanato-metílico integrados ao inseticida fipronil, atua no controle de fungos de solo e pragas mastigadoras, enquanto o Votivo®, um bionematicida à base de *Bacillus firmus*, cria barreira biológica contra nematoides, promovendo o desenvolvimento radicular (Menten *et al.*, 2022).

Já o Fortenza® Elite representa o avanço na proteção sistêmica de amplo espectro. Este pacote tecnológico integra o princípio ativo ciantraniliprole a um conjunto de fungicidas, visando o controle robusto de pragas subterrâneas e foliares iniciais, como a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*). Assim como no uso de outras misturas comerciais, a integridade do tegumento permanece como o principal fator de segurança para que a aplicação do Fortenza®

Elite cumpra o papel defensivo sem causar fitotoxicidade ao embrião, garantindo que o potencial produtivo do cultivar seja preservado desde a sementeira (França-Neto *et al.*, 2023).

Diante desse contexto, hipotetiza-se que sementes de soja com ruptura fisiológica no tegumento apresentam maior sensibilidade aos tratamentos químicos, pelo aumento da permeabilidade tegumentar, que favorece a interação dos produtos com os tecidos internos podendo comprometer a qualidade fisiológica.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar sementes de soja com e sem a presença de rupturas fisiológicas do tipo fissuras no tegumento, bem como a interação dos tratamentos químicos + biológico na qualidade fisiológica das sementes.

3.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar a curva de embebição de sementes de soja com e sem ruptura fisiológica no tegumento, identificando diferenças nas fases de absorção de água;

2. Avaliar o efeito de ruptura fisiológica do tipo fissuras sobre a qualidade fisiológica de sementes de soja por meio de testes de germinação, emergência de plântula em canteiro e envelhecimento acelerado;

3. Determinar o efeito de diferentes tratamentos químicos + biológico de sementes (Fortenza® Elite e Standak Top® + Votivo) sobre a qualidade fisiológica de sementes com e sem ruptura fisiológica do tipo fissuras no tegumento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] tem sido considerada como o principal produto agrícola das exportações brasileiras e a maior responsável pelo aumento da colheita nacional de grãos. A cadeia produtiva da soja encontra-se entre as principais da agricultura de grande escala no Brasil (Siqueira *et al.*, 2024).

A soja é uma oleaginosa que apresenta grande importância econômica para agricultura brasileira, além de ser uma cultura versátil que se adapta bem nas condições edafoclimáticas presentes no país (Campagnaro, 2025). Diante dessas características, a efetivação de sua trajetória de sucesso, com produção comercial, teve início marcado no Estado do Rio Grande do Sul entre os anos de 1920 e 1940. Entretanto, foi a partir da década de 1970 que a cultura ganhou novas e expressivas dimensões produtivas, impulsionada pela expansão da fronteira agrícola em direção ao Centro-Oeste (Farias, 2022).

Além disso, após a consolidação da expansão nas demais regiões do Brasil, a soja tornou-se fundamental para o setor agroindustrial brasileiro e para a segurança alimentar global, sendo fonte principal de proteína em alimentos, rações e outros derivados. Com o aumento populacional e da demanda por carne, o Brasil destaca-se como principal fornecedor mundial, pela capacidade produtiva e limitação de concorrentes (Dall'agnol, 2016).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), (2025), na safra 2024/25, o Brasil apresentou aumento na área semeada de 2,98% em relação à safra 2023/24, quando foram cultivados 47.7 milhões de hectares, alcançando a produtividade de 3.508 kg/ha, sendo 9,56% maior que a safra anterior. E a produção total no país de 166.2 milhões de toneladas, representando o aumento de 12,82% em relação à safra anterior (CONAB, 2025).

É importante destacar que a expansão da soja no Brasil impulsionou o mercado de sementes, promovendo a exploração econômica em áreas que antes eram cobertas apenas por matas e cerrados. Assim, a cadeia produtiva da soja contribuiu e ainda contribui para o crescimento econômico do país, com a implantação do cultivo em novas áreas e o desenvolvimento de variedades mais adaptadas e produtivas (Nuthalapat *et al.*, 2024).

2.1 Qualidade de Sementes de Soja

A semente não é um grão que apenas germina, ela deve ser tratada como um insumo vivo que possui atributos de qualidade genética, física, fisiológica e sanitária, que conferem elevado desempenho econômico, sendo base fundamental para que se obtenha sucesso em lavoura tecnicamente implantada (Krzyzanowski *et al.*, 2018).

A utilização de sementes de soja de qualidade superior é um pré-requisito para o sucesso dos cultivos. No entanto, obter sementes com esse padrão é um desafio complexo em regiões tropicais, pois as condições edafoclimáticas adversas aceleram o processo de deterioração. Para contornar esse cenário, não basta apenas produzir; é indispensável adotar estratégias rigorosas de manejo, especialmente durante a colheita e o armazenamento, a fim de mitigar as perdas de vigor e assegurar a longevidade da semente (Santorio, 2024).

Nos diversos processos de produção, a qualidade da semente de soja é influenciada por complexa interação de fatores bióticos e abióticos. Tais fatores abrangem desde extremos de temperatura e flutuações de umidade durante a maturação, até a ocorrência de doenças e pragas. Além disso, o vigor é severamente impactado pelas etapas de manejo pós-colheita: a adoção de técnicas inadequadas de colheita e secagem, danos mecânicos por beneficiamento, condições impróprias de armazenamento e, inclusive, o tratamento de sementes com doses químicas excessivas ou caldas volumosas, que podem causar fitotoxidez (Belniaki *et al.*, 2023).

Dentre os fatores que afetam a qualidade fisiológica da semente de soja, as características morfológicas dos cultivares modernos têm sido pauta de debate na produção de sementes com qualidade superior, sendo a ruptura fisiológica do tegumento da semente de soja uma das modificações morfológicas e citogenéticas que tem mais chamado a atenção do setor.

Nesse âmbito, a integridade física das sementes de soja é crucial para o desempenho eficaz no campo, influenciando diretamente na germinação e na emergência das plântulas. Assim, a obtenção de sementes com qualidade fisiológica, capazes de gerar plantas vigorosas e em quantidade adequada, é um requisito fundamental para o sucesso da lavoura (Krzyzanowski *et al.*, 2020; Macêdo *et al.*, 2024).

2.2 Rupturas Fisiológicas no Tegumento de Sementes de Soja

O tegumento da semente é proveniente dos integumentos do óvulo e o integumento externo, ou primina, origina a testa, enquanto o integumento interno, ou secundina, origina o tégmen. Em um corte transversal da testa de uma semente de soja, podem ser distinguidas quatro camadas a partir da superfície: cutícula, epiderme (células paliçádicas ou macroesclerídeos), hipoderme (células em ampulheta ou células pilares ou osteoesclerídeos) e células parenquimatosas. Essas características são constantes em cada cultivar e são controladas geneticamente (Menezes *et al.*, 2009).

Diversas características das sementes, que estão sob controle genético, como tamanho da semente, percentagem de sementes duras, permeabilidade e teor de óleo estão associados à qualidade das sementes de soja, o tegumento da semente é o principal órgão de proteção da semente contra condições ambientais adversas, é o mediador entre interações e a estrutura interna da semente e o ambiente externo (Gowda *et al.*, 2025).

O tegumento da semente de soja origina-se, na maior parte, dos tegumentos do óvulo fertilizado, sendo, portanto, composto por tecido de origem materna, refletindo diretamente o genótipo da planta-mãe. Nos estágios iniciais após a fertilização, o tegumento representa a maior fração da massa da semente, atuando como fonte de nutrientes para o embrião em formação (Teixeira *et al.*, 2024).

Além disso, as camadas do tegumento são compostas por substâncias como lignina e suberina. Esses compostos ajudam a prevenir a perda excessiva de água, mantendo a hidratação adequada necessária para a preservação da dormência ou para a promoção da germinação em condições favoráveis. Além disso, o tegumento atua como intermediário na recepção de sinais ambientais, como umidade, temperatura e luz que podem ativar processos fisiológicos internos na semente (Galvão *et al.*, 2024)

As sementes de soja podem apresentar tegumentos com diferentes graus de permeabilidade, que influencia diretamente a capacidade de intumescimento e a qualidade. Portanto, informações sobre as características do tegumento e a relação com a qualidade e longevidade das sementes têm importância crescente para os programas de melhoramento no desenvolvimento de novos cultivares de soja (Abati, *et al.*, 2022).

A integridade do tegumento da semente reflete diretamente sobre a qualidade da semente, especialmente na presença de sementes que possuem no tegumento fendas, trincas,

fissuras ou cicatrizes, que permitem maior permeabilidade de água, reduzindo o potencial fisiológico (Souza *et al.*, 2025).

Nota-se que a presença de rupturas fisiológicas no tegumento pode ter implicações no processo de absorção de água durante a fase inicial de germinação (Amaro *et al.*, 2020). O tegumento intacto regula a absorção de água de maneira a promover o intumescimento uniforme da semente, que ativa o rompimento do tegumento pela protrusão da radícula. Danos a essa estrutura afetam o desenvolvimento inicial da plântula e conseqüentemente reduzem o vigor e o desempenho da planta nos estágios fenológicos (Melo; Martins, 2023).

A ruptura fisiológica do tegumento da semente de soja tem início, geralmente entre o final do estágio R6 e o início do R7, fases em que as sementes atingem o peso máximo, pouco antes da maturidade fisiológica. Esse processo ocorre pela contração irregular do parênquima ou de tecidos subjacentes, e provoca a separação dos tecidos epidérmicos e hipodérmicos das camadas internas do tegumento. Como resultado, surgem rupturas fisiológicas que podem aparecer em uma ou várias regiões da semente, em qualquer posição (Lemes; Catão, 2024).

De acordo com Marinho *et al.* (2024), a ruptura fisiológica no tegumento reduz a qualidade fisiológica dos lotes em todos os testes avaliados, sendo este efeito mais pronunciado quando as sementes são armazenadas em temperaturas elevadas. Os autores verificaram que sementes com ruptura fisiológica apresentaram maior deterioração durante o armazenamento, evidenciando a importância da integridade tegumentar para a conservação da qualidade das sementes.

Teixeira *et al.* (2024) identificaram que a ruptura fisiológica inicia entre as células paliçádicas e pode estender-se, criando bolsões de ar que acumulam água e produtos químicos. Logo, a ruptura fisiológica no tegumento das sementes de soja está relacionada aos conteúdos de fósforo, cálcio e magnésio, com variações na espessura do tegumento contribuindo para a ocorrência. A ruptura fisiológica afeta a permeabilidade e pode reduzir a qualidade das sementes.

Por essa razão, a ruptura fisiológica no tegumento das sementes de soja pode ter origem genética ou resultar da ação de diversos estresses abióticos e bióticos. Destaca-se o calor seco durante a maturação das sementes e a alternância entre períodos chuvosos e secos na fase de pré-colheita, que contribuem significativamente para a formação dessas fissuras (Bahry *et al.*, 2015). Além disso, temperaturas baixas, após a floração, podem comprometer a integridade

do tegumento, estando associadas ao acúmulo de proantocianidinas e à deposição subsequente de lignina. Independentemente da causa, as rupturas fisiológicas afetam de forma severa os atributos físicos e fisiológicos das sementes de soja (Senda *et al.*, 2018).

De acordo com Galvão *et al.* (2024), a presença de rupturas fisiológicas no tegumento das sementes de soja pode comprometer a eficácia dos tratamentos de sementes. Tratamentos convencionais, como a aplicação de fungicidas e inseticidas, dependem da integridade do tegumento para a distribuição uniforme dos produtos químicos na superfície da semente. Com o tegumento danificado, essa distribuição pode ser desigual, comprometendo a qualidade do revestimento.

Podridões de órgãos de reserva causam redução na qualidade dos órgãos de armazenamento, como frutos, sementes e tubérculos. Em virtude da grande diversidade de agentes causais, incluindo bactérias, fungos e oomicetos, a colonização é tipicamente necrotrófica, com infecção por aberturas naturais, direta ou por ferimentos" (Santos *et al.*, 2020).

Portanto, compreender as características do tegumento e a relação com a qualidade e longevidade das sementes torna-se cada vez mais relevante para os programas de melhoramento genético voltados ao desenvolvimento de novos cultivares de soja. Essas informações não apenas auxiliam na seleção de genótipos mais tolerantes às rupturas fisiológicas, mas também contribuem significativamente para o planejamento adequado das etapas de armazenamento e comercialização das sementes, garantindo maior segurança na manutenção da qualidade ao longo do tempo (Abati *et al.*, 2022).

2.3 Tratamento Químico de Sementes

O tratamento de sementes com produtos químicos, tais como fungicidas e inseticidas, é recomendado quando se objetiva melhor aproveitamento do potencial produtivo das plantas, proporcionando melhor estabelecimento das populações de plantas ao controlar patógenos importantes transmitidos pelas sementes (Henning, 2018). O tratamento de sementes representa estratégia eficiente e alternativa no controle de diversas pragas de solo que atacam as plantas nos estágios iniciais do desenvolvimento (Jean-Baptiste *et al.*, 2025).

Medina *et al.* (2021) demonstraram que o aumento progressivo de danos mecânicos, especialmente aqueles que causam fissuras no tegumento, reduz o potencial fisiológico das

sementes de soja e aumenta a sensibilidade ao efeito fitotóxico do tratamento químico. A integridade física do tegumento é crucial para o sucesso das tecnologias utilizadas no tratamento químico de sementes.

O controle químico de doenças de plantas baseia-se no uso de substâncias químicas que atuam sobre o patógeno, inibindo o crescimento ou desenvolvimento, sendo o tratamento de sementes uma das estratégias mais eficientes para proteção das culturas nos estádios iniciais (Amorim; Rezende; Bergamin Filho, 2018).

Dada a importância do tratamento químico de sementes, algumas características morfológicas da semente de soja devem ser consideradas, e, entre elas, a ruptura fisiológica no tegumento encontra-se em destaque. Sementes com ruptura fisiológica no tegumento tornam-se suscetíveis ao ataque de insetos, fungos e outros patógenos, reforçando o uso do tratamento de sementes para a proteção, resguardando o tecido de reserva e ao eixo embrionário, garantindo vigor para o desenvolvimento e estabelecimento da cultura (Mariano-da-Silva *et al.*, 2023).

Para elevar os ganhos produtivos, os produtores têm buscado alternativas disponíveis no mercado, recorrendo ao tratamento químico de sementes que ofereça proteção durante o estabelecimento da lavoura. As sementes são frequentemente tratadas industrialmente e, em alguns casos, armazenadas até o período de semeadura. O plantio pode ser realizado logo após o tratamento das sementes ou, dependendo das condições climáticas e operacionais, quando o solo estiver em condições adequadas (Sant'ana *et al.*, 2022).

Apesar de o uso de inseticidas no tratamento de sementes ser considerado uma das formas mais eficazes de aplicação desses defensivos, estudos têm demonstrado que determinados produtos, ao serem aplicados às sementes, podem provocar, em certas condições, redução na germinação e na sobrevivência das plântulas, em função de efeitos fitotóxicos (Dan *et al.*, 2010).

A mobilização de reservas pode ser comprometida em sementes tratadas com inseticidas, uma vez que esses produtos podem reduzir a eficiência na conversão de reservas em matéria seca, prejudicando o desenvolvimento inicial das plântulas. Nesse contexto, torna-se essencial investigar como os produtos utilizados no tratamento de sementes afetam a qualidade fisiológica, visando compreender os impactos sobre o vigor e o desempenho das sementes durante a germinação e o estabelecimento das plantas (Catão, 2024).

No âmbito das tecnologias de ponta para o Tratamento Industrial de Sementes (TIS), a associação entre o Standak Top® e o Votivo® destaca-se por promover defesa de amplo espectro. O Standak Top® integra o inseticida fipronil (classe dos Pirazóis), que atua no sistema nervoso central das pragas, aos fungicidas piraclostrobina (Estrobirulina) e tiofanato-metílico (Benzimidazol), que conferem proteção sistêmica e de contato contra fungos como *Rhizoctonia solani* e *Fusarium oxysporum*. Integrado a este complexo, o Votivo®, composto por *Bacillus firmus* I-1582, atua como um bionemático que coloniza a rizosfera, formando um biofilme protetor que impede o reconhecimento das raízes pelos nematoides e estimula o desenvolvimento radicular (PEREIRA *et al.*, 2018; MENTEN *et al.*, 2022).

O tratamento com Fortenza® Elite representa evolução na proteção contra pragas de solo e mastigadoras iniciais, utilizando como base o princípio ativo ciantraniliprole. Esta molécula, pertencente à classe das diamidas antranílicas, atua nos receptores de rianodina dos insetos, provocando a paralisia muscular rápida e a interrupção da alimentação. O complexo "Elite" geralmente é potencializado pela combinação robusta de fungicidas e outros inseticidas sistêmicos (como o tiametoxam), visando amplo espectro de controle que inclui desde lagartas do gênero *Spodoptera* até pragas sugadoras. (DAN *et al.*, 2012; FRANÇA-NETO *et al.*, 2023).

A interação entre esses complexos químicos + biológicos e sementes que apresentam rupturas fisiológicas no tegumento é particularmente crítica durante o armazenamento. Estudos indicam que a penetração excessiva de fungicidas e inseticidas em tecidos internos pode causar a peroxidação de lipídios e danos às membranas celulares, resultando em plântulas anormais ou com vigor reduzido (ABATI *et al.*, 2020). Portanto, a compreensão de como o Standak Top®, Votivo® e Fortenza® Elite interagem especificamente com as fissuras fisiológicas é fundamental para definir a segurança do tratamento industrial e a longevidade dos lotes de sementes (MAZZUCHELLI *et al.*, 2014; CATÃO, 2024).

No entanto, apesar da ampla utilização do tratamento químico de sementes, são limitadas as informações sobre o comportamento fisiológico de sementes com ruptura fisiológica no tegumento submetidas ao Tratamento de Sementes (TS), especialmente após o armazenamento. A ausência de dados conclusivos sobre os efeitos dessa interação representa uma lacuna relevante para o setor sementeiro e para os programas de melhoramento.

Diante do exposto, estudos que avaliem a influência do tratamento químico em sementes com rupturas fisiológicas são essenciais para compreender os limites de tolerância

dos cultivares, otimizar protocolos de tratamento e garantir a manutenção da qualidade fisiológica das sementes até o momento da semeadura.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nas dependências de um Laboratório de Análise de Sementes, credenciado pelo MAPA, de uma empresa produtora de sementes de soja, localizada no município de Rondonópolis, Mato Grosso, durante os meses de junho a novembro de 2024. Foram utilizadas sementes do cultivar 80I82RSF IPRO, sendo um lote oriundo da safra 2023/2024.

Previamente, foi realizada a caracterização física e fisiológica inicial das sementes de soja do lote escolhido, com os testes de: Peso de mil sementes - PMS (Brasil, 2009), Ruptura fisiológica de tegumento, Grau de umidade - GU, Germinação - GER (BRASIL, 2009), Envelhecimento acelerado - EA (Marcos Filho, 2001), Tetrázólio - TZ (França Neto; Krzyzanowski, 2019) e Emergência em canteiro - EC (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização da qualidade física e fisiológica inicial do lote de sementes de soja do cultivar 80I82RSF IPRO.

Cultivar	PMS (g)	Ruptura fisiológica (%)	GU (%)	GER (%)	EA(%)	TZ via (%)	TZ vig (%)	EC (%)
80I82RSF IPRO	203,8	35	10	87	85	92	87	90

Fonte: Autor, (2025).

Após a avaliação da qualidade fisiológica inicial do lote, foi feita a caracterização e seleção das sementes para compor os lotes CRF e SRF, realizada através de procedimento de análise visual e segregação manual daquelas sementes com fissuras. Considerou-se ruptura qualquer lesão > 1 mm, visto que a literatura (Ma *et al.*, 2004) classifica como 'microfissuras' aquelas na escala de micrômetros (0,2 mm), invisíveis a olho nu (Fig. 1). As figuras 1 e 2 demonstram sementes ainda na vagem com ruptura fisiológica visível permitindo a melhor compreensão da ruptura e a identificação.



Figura 1 - Ruptura fisiológica no tegumento da soja durante o enchimento dos grãos. Fonte: Teixeira (2021).



Figura 2 - Aparência das sementes CRF no tegumento. Fonte: Autor (2024).

O LO foi disposto em uma mesa de análise de pureza e cada semente foi avaliada individualmente, adotando como critério a presença de ruptura fisiológica no revestimento dorsal. O padrão visual para a segregação considerou apenas as rupturas fisiológicas que afetavam as camadas externas e rígidas do tegumento (epiderme e hipoderme), mantendo a camada interna de parênquima íntegra sobre o cotilédone. Visualmente, observa-se uma fenda (linear ou ramificada) com o fundo de aspecto esbranquiçado ou fosco, ao invés da exposição direta da cor amarela do tecido cotiledonar

As sementes foram visualmente classificadas quanto à presença ou ausência de ruptura fisiológica no tegumento. A ruptura fisiológica caracteriza-se pelo rompimento das camadas externas do tegumento, resultando em uma área mais clara e delgada que expõe as camadas internas (Figura 2). Este defeito morfológico, conforme descrito por Teixeira *et al.* (2024),

compromete a função protetora do tegumento e pode predispor a semente a danos durante a embebição e maior suscetibilidade a patógenos. A segregação foi realizada manualmente, semente por semente, sob condições de luz adequada, separando os lotes em três categorias: LO(sem segregação), sementes SRF e sementes CRF no tegumento.

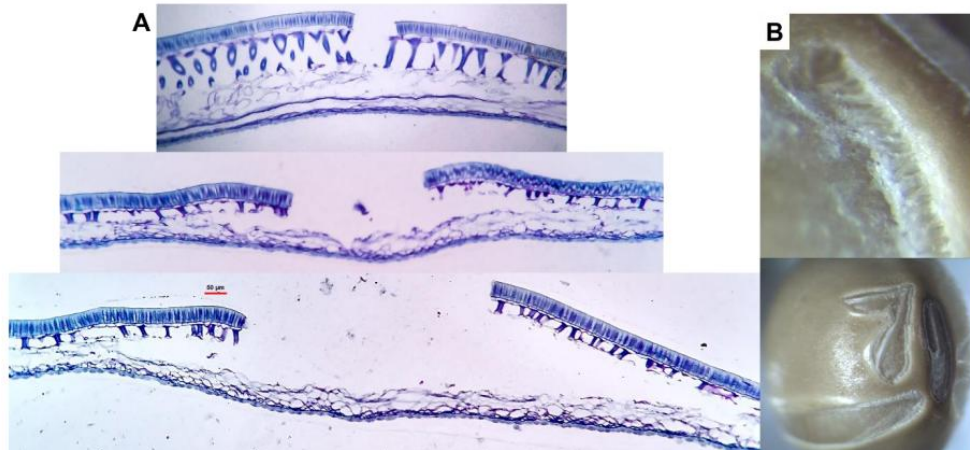


Figura 3 - A) Anatomia do tegumento com presença de ruptura fisiológica (corte transversal microscópico); B) Aparência visual da semente CRF no tegumento. Fonte: Teixeira (2021).

A curva de embebição foi determinada conforme metodologia descrita por Marcos-Filho (2015), utilizando 4 repetições de 25 sementes para cada característica do tegumento (CRF e SRF). As sementes foram dispostas em rolo de papel germitest[®] umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco, e pesadas em balança digital com precisão de 0,001 g a cada hora até ocorrer a protrusão da radícula, totalizando o período de 28 horas.

O experimento foi conduzido em sob Delineamento Inteiramente ao Acaso (DIC), em bifatorial 3×3 , correspondendo a três caracterizações físicas (LO, sementes CRF e sementes SRF no tegumento) e três combinações de tratamento químico de sementes (Sementes sem tratamento, Sementes tratadas com Fortenza[®] Elite e sementes tratadas com Standak Top[®] + Votivo), utilizando quatro repetições para todas as variáveis analisadas (Conforme a Tabela 2).

Tabela 2 - Produtos comerciais, ingredientes ativos, classificação e dosagem de aplicação utilizados no tratamento de sementes de soja.

Nome Comercial	Ingrediente Ativo (Concentração %)	Classificação	Dose / 100 Kg de sementes
Sementes Nua	Testemunha sem tratamento	-	-
Fortenza® Elite	Fortenza® 600 (Ciantraniliprole 60) + Avicta (Abamectina 50,0) + Cruiser 600 Fs (Tiametoxan 60) + Maxim Quatro (Azoxistrobina 1,5 + Tiabendazol 30 + Fludioxonil 3,75 + Metalaxil-M 3,0)	Fungicida + Nematicida	Fortenza® 600: 60 mL + Cruiser 600FS: 150 mL + Maxim Quatro: 30 mL; Avicta: 100 mL.
Standak Top® + Votivo Prime	Piraclostrobina (2,5) / Tiofanato Metílico (22,5) / Fipronil (25,0) + <i>Bacillus firmus</i>	Fungicida / Inseticida + Bionematicida	200 mL + 100mL

Fonte: Autor, (2025).

O tratamento químico de sementes foi realizado manualmente em sacos plásticos, mediante agitação constante e vigorosa, até a cobertura completa das sementes pela calda, de acordo com Nunes (2005). A dosagem utilizada para o preparo da calda seguiu as orientações específicas na bula de cada produto. Nenhum polímero ou pó secante foi adicionado.

4.1 Testes de Qualidade Fisiológica

Germinação: foi realizada com 200 sementes, sendo quatro repetições, cada uma composta por quatro subamostras de 50 sementes, semeadas em substrato de papel (germitest[®]), previamente umedecido com água destilada, utilizando 2,5 vezes o peso do papel seco, e mantidas em germinador à temperatura de 25°C. As avaliações foram efetuadas 7 dias após a semeadura, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Envelhecimento acelerado: foi conduzido com 200 sementes, sendo quatro repetições, com quatro subamostras de 50 sementes por repetição, as quais foram dispostas em camada única sobre uma tela de aço inox inserido no interior de caixas gerbox, contendo 40 mL de água destilada (Marcos Filho, 2020). Posteriormente, as caixas foram transferidas para câmara de germinação tipo BOD a 41°C por 48 horas (Marcos Filho, 2001). Após esse período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme descrito anteriormente. A avaliação foi realizada no quinto dia após a semeadura, computando-se as plântulas consideradas normais (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Teste de tetrazólio: foi realizado utilizando 100 sementes por repetição, sendo 4 repetições, divididas em duas subamostras de 50 sementes, sendo estas acondicionadas entre papel por 16 horas à temperatura de 25°C. Passado o tempo necessário ao acondicionamento, as sementes foram totalmente submersas na solução de 0,075% de sal de tetrazólio, e colocadas em estufa à temperatura de 40°C por um período de 2,5 horas, sendo posteriormente lavadas e analisadas individualmente quanto à viabilidade e vigor, com os resultados expressos em porcentagem (França Neto; Krzyzanowski, 2019).

Emergência de plântulas em canteiro: foi realizada utilizando 50 sementes por repetição, sendo 4 repetições, sendo estas acondicionadas em canteiro elevado previamente nivelado e gradeado, nas dimensões de 1,0 m × 1,0 m × 10,0 m (altura × largura × comprimento). Após a semeadura, foram realizadas contagens aos 7 dias após a semeadura (DAS), e foi contabilizado o número de plântulas emergidas, sendo os resultados expressos em porcentagem.

4.2 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância a 1% de significância pelo teste F e, quando significativo, foi aplicado o teste de Tukey a 1% de probabilidade para a comparação das médias. Os resultados foram avaliados por meio do programa estatístico R® versão 3.1.1 (R Core Team, 2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva de embebição de água em substrato papel, umedecido na proporção de 2,5 vezes seu peso em água, das sementes dos LO, CRF e SRF no tegumento, revelou que as três categorias de sementes apresentaram o padrão trifásico característico de embebição está apresentada na Figura 4, conforme descrito por Bewley *et al.* (2013) e Marcos-Filho (2015), porém com diferenças significativas na velocidade e na dinâmica de absorção de água entre os lotes, especialmente nas sementes CRF no tegumento, evidenciando alterações no comportamento hidráulico dessas sementes.

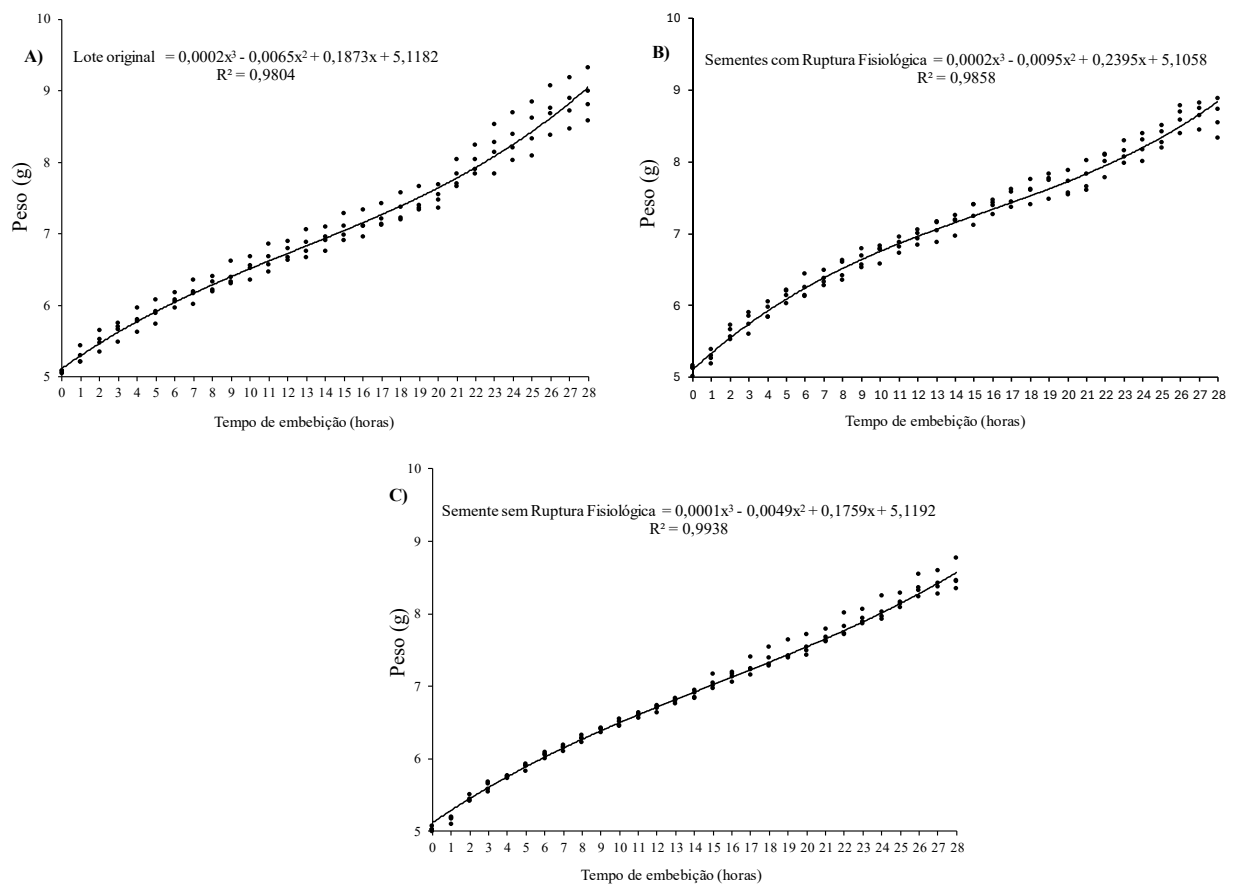


Figura 4 – Curva de embebição de sementes de soja do cultivar 80I82RSF IPRO (Olimpo), demonstrando o padrão trifásico de absorção de água ao longo de 28 horas: Fase I (0-8h) – absorção rápida inicial; Fase II (8-20h) – estabilização metabólica; Fase III (após 20h) – retomada da absorção associada à protrusão radicular. LO (A), sementes CRF no tegumento (B) e sementes SRF no tegumento (C).

Fonte: Autor, (2025).

Na Fase I, compreendida entre 0 e 8 horas e caracterizada pela rápida absorção inicial de água em virtude da grande diferença de potencial hídrico entre as sementes e o substrato, as sementes CRF no tegumento apresentaram taxa de absorção superior às sementes SRF e ao LO. Esse comportamento pode ser atribuído à perda da integridade estrutural do tegumento, que compromete a função como barreira semipermeável, permitindo a entrada rápida e descontrolada de água nos tecidos internos.

Este comportamento corrobora com os achados de Marinho *et al.* (2024), que demonstraram que a ruptura fisiológica no tegumento compromete a função de barreira semipermeável, permitindo a entrada de água mais acelerada. Além disso, a absorção excessivamente rápida pode ocasionar danos por embebição, decorrentes da desorganização das membranas celulares e extravasamento de solutos, comprometendo o metabolismo inicial da semente, conforme descrito por Menezes *et al.* (2009).

A Fase II, período entre 8 e 20 horas de estabilização metabólica em que ocorre a reativação enzimática e mobilização de reservas, foi mais curta para as sementes CRF. Esta diferença pode estar relacionada à maior permeabilidade do tegumento danificado, que permite trocas gasosas mais intensas e antecipa os processos metabólicos preparatórios para a germinação. Entretanto, essa aceleração ocorre de forma desorganizada, podendo comprometer a eficiência metabólica e o desempenho fisiológico das sementes.

Na Fase III, marcada pelo reinício da absorção de água, após 20 horas associada à protrusão radicular, as sementes CRF no tegumento apresentaram emissão da radícula antecipada. Contudo, essa antecipação não se traduziu em maior desempenho fisiológico, indicando que a velocidade de germinação não está necessariamente associada à qualidade da plântula.

Conforme Teixeira *et al.* (2024), esta absorção acelerada pode criar bolsões de ar entre as camadas do tegumento, favorecendo a entrada de patógenos e produtos químicos em contato direto com os tecidos embrionários. Dessa forma, a ruptura fisiológica altera significativamente a cinética de embebição, de maneira prejudicial à qualidade fisiológica das sementes.

Estes resultados evidenciam que a ruptura fisiológica no tegumento altera significativamente o comportamento hidráulico da semente, antecipando todas as fases do processo germinativo. Entretanto, esta antecipação não necessariamente se traduz em vantagem agrônômica, uma vez que a absorção demasiadamente rápida pode ocasionar danos por

embebição, conforme demonstrado por Menezes *et al.* (2009), e aumentar a vulnerabilidade aos estresses bióticos e abióticos durante o estabelecimento da plântula.

Quanto à germinação das sementes, houve interação significativa entre os fatores lote e tratamento (Tabela 3). Para as sementes sem tratamento químico, observou-se que o lote de sementes CRF no tegumento apresentou germinação inferior ao LO e ao lote SRF no tegumento, os quais não apresentaram diferença significativa entre si. Além disso, as sementes do lote CRF no tegumento apresentaram germinação inferior ao padrão mínimo de 80% exigido para comercialização pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (Instrução Normativa nº 45/2013 do MAPA).

Este achado está em acordo com Marinho *et al.* (2024), que verificaram redução na qualidade fisiológica de lotes com presença de ruptura fisiológica em todos os testes avaliados pela maior exposição dos tecidos internos, como cotilédones e eixo embrionário, estresses físicos, químicos e biológicos, em função da perda da integridade tegumentar. A integridade do tegumento desempenha papel fundamental na proteção da semente, regulando a absorção de água e impedindo o contato direto com agentes externos.

Já em relação ao tratamento químico com Fortenza® Elite, observou-se que as sementes SRF no tegumento apresentaram germinação superior àquelas CRF no tegumento (Tabela 3). Esse comportamento pode ser atribuído ao aumento da permeabilidade tegumentar em sementes com ruptura, permitindo maior penetração dos ingredientes ativos nos tecidos internos. Esse contato direto pode desencadear processos de fitotoxicidade, como danos às membranas celulares e comprometimento do metabolismo, conforme relatado por Abati *et al.* (2020) e Medina *et al.* (2021).

Tabela 3 - Valores médios de germinação (%) de sementes de soja do cultivar 80I82RSF IPRO (Olimpo), provenientes de três lotes (LO, CRF no tegumento e SRF no tegumento), submetidas a três tratamentos químicos + biológico (Sem tratamento, Standak Top® + Votivo e Fortenza® Elite).

Lote	Tratamento		
	Sem tratamento	Standak Top® + Votivo	Fortenza® Elite
LO	85,0 A a	77,8 B b	80,3 B b
CRF	78,8 B ab	79,8 B a	74,3 C c
SRF	84,3 A a	86,3 A a	86,0 A a
F para Lote (L)			**
F para Tratamento (T)			ns
F para (LxT)			**
CV (%)			3,25

**médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.; ns: não significativo; CV: coeficiente de variação.

Nesse contexto, a integridade do tegumento é determinante para a segurança do tratamento de sementes, atuando como barreira protetora contra efeitos negativos dos produtos químicos. Assim, sementes com ruptura fisiológica tornam-se mais suscetíveis a danos decorrentes do tratamento, e pode comprometer a qualidade fisiológica.

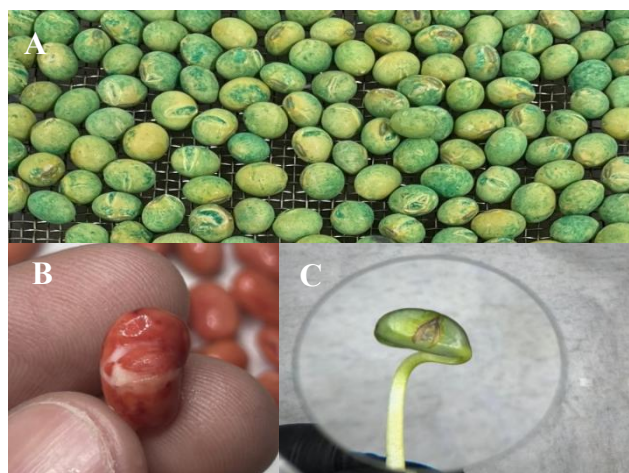


Figura 5 - A) Acúmulo de produto químico na região da ruptura fisiológica; B) Deterioração visualizada pelo teste de tetrazólio; C) Deterioração na germinação. Fonte: Autor, (2025)

Para a variável envelhecimento acelerado, observou-se que o lote de sementes SRF no tegumento e sem nenhum tratamento químico aplicado apresentou vigor superior aos demais lotes estudados. Este mesmo comportamento foi constatado quando as sementes do lote SRF foram tratadas quimicamente com Standak Top® + Votivo (Tabela 4). Isso confirma que a integridade tegumentar é fundamental para a tolerância ao estresse, atuando como o principal

moderador das trocas gasosas e da velocidade de absorção de água, retardando o processo de deterioração sob condições adversas.

Tabela 4 - Porcentagem de vigor pelo teste de envelhecimento acelerado (EA) de sementes de soja do cultivar 80I82RSF IPRO (Olimpo), provenientes de três lotes (LO, CRF no tegumento e SRF no tegumento), submetidas a três tratamentos químicos + biológico (Sem tratamento, Standak Top® + Votivo e Fortenza® Elite), após exposição a 41 °C por 48 horas.

Lote	Tratamento		
	Sem tratamento	Standak Top® + Votivo	Fortenza® Elite
LO	62,8 B a	52,6 B b	41,8 C c
CRF	61,3 B a	54,3 B b	56,8 B b
SRF	77,5 A a	66,8 A b	69,3 A a
F para Lote (L)			**
F para Tratamento (T)			**
F para (LxT)			**
CV (%)			7,43

**médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey; CV: coeficiente de variação.

O resultado divergente observado para as sementes do lote CRF tratadas com Fortenza® Elite, que apresentaram superioridade estatística no teste de envelhecimento acelerado (69%), merece análise aprofundada. Conforme Piccinin *et al.* (2021), em condições de estresse elevado, certos componentes das formulações químicas podem atuar como "selantes" sobre áreas danificadas, conferindo proteção temporária contra a proliferação de fungos de armazenamento. Sob as condições de alta umidade e temperatura do teste de envelhecimento acelerado (41°C/48h), essa barreira física pode ter protegido o embrião exposto pela ruptura fisiológica, resultando em vantagem competitiva em relação às sementes danificadas não tratadas.

Em se tratando da variável emergência de plântulas em canteiro (Tabela 5), observou-se que as sementes tratadas com Standak Top® + Votivo apresentaram a maior porcentagem de emergência, independentemente de haver a presença ou não de ruptura fisiológica no tegumento das sementes. É importante destacar que o solo no qual é conduzido o teste de canteiro, ao contrário do ambiente estéril do laboratório, pode conter inóculo de fungos causadores de tombamento (*damping-off*), como *Rhizoctonia*, *Fusarium* e *Pythium*, além de pragas iniciais.

Verifica-se que o tratamento químico com Fortenza® Elite demonstrou potencial fitotóxico nos testes que apresentaram algum tipo de estresse (Tabela 4), porém, não diferiu da

testemunha não tratada em condições de canteiro (Tabela 5). Com este comportamento infere-se que, no ambiente de campo, o benefício da proteção contra pragas e doenças, mesmo que parcial, foi suficiente para contrapor qualquer efeito fitotóxico, resultando em desempenho estável.

Esta dinâmica de compensação em ambiente não estéril é sustentada por Goulart (2008), que demonstra que a eficácia do tratamento químico no bloqueio de patógenos de solo garante a manutenção e o estabelecimento do estande, sobrepondo-se aos estresses fisiológicos iniciais sofridos pela semente. A superioridade do Standak Top + Votivo indica, portanto, maior eficácia de espectro de controle contra os desafios bióticos presentes no experimento.

Tabela 5 - Porcentagem de emergência de plântulas em canteiro (EPC) de sementes de soja do cultivar 80I82RSF IPRO (Olimpo), provenientes de três lotes (LO, CRF no tegumento e SRF no tegumento), submetidas a três tratamentos químicos + biológico (Sem tratamento, Standak Top® + Votivo e Fortenza® Elite), avaliada aos 7 dias após a semeadura.

Lote	Tratamento		
	Sem tratamento	Standak Top® + Votivo	Fortenza® Elite
LO	80,0 B b	94,0 A a	81,3 B b
CRF	80,8 B b	91,5 A a	81,8 B b
SRF	88,3 A a	93,8 A a	88,8 A a
F para Lote (L)			**
F para Tratamento (T)			**
F para (LxT)			**
CV (%)			4,15

**médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey; CV: coeficiente de variação.

O amplo espectro de controle do Standak Top® + Votivo, que combina fungicidas, inseticida e bionematicida, conferiu proteção eficaz à semente durante o processo germinativo, permitindo que maior número de plântulas completasse a emergência com sucesso, independentemente das características físicas do lote. Ainda sobre esta variável, observou-se que as sementes SRF no tegumento apresentaram porcentagem de emergência superior aos demais lotes (com e sem tratamento), (Tabela 5). As sementes com tegumento íntegro, que apresentaram maior viabilidade e superior tolerância ao estresse abiótico, converteram esse potencial em maior número de plântulas estabelecidas.

Tabela 6 - Porcentagem de vigor pelo teste de tetrazólio (TZ Vigor) de sementes de soja do cultivar 80I82RSF IPRO (Olimpo), provenientes de três lotes (LO, CRF no tegumento e SRF no tegumento), submetidas a três tratamentos químicos + biológico (Sem tratamento, Standak Top® + Votivo e Fortenza® Elite).

Lote	TZ Vigor (%)
LO	84,2 b
CRF	84,0 b
SRF	88,8 a
Tratamento	
Sem tratamento	83,9 a
Standak Top® + Votivo	86,0 a
Fortenza® Elite	87,0 a
F para Lote (L)	**
F para Tratamento (T)	ns
F para (LxT)	ns
CV (%)	3,75

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p > 0,01$).

**médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey; ns: não significativo; CV: coeficiente de variação.

Quando avaliado o vigor (Tabela 6) e a viabilidade (Tabela 7) das sementes pelo teste de tetrazólio, constatou-se que não houve influência significativa do tratamento químico sobre a qualidade fisiológica dos lotes estudados. Contudo, a presença de sementes com ruptura fisiológica resultou em viabilidade inferior em comparação ao lote original e ao lote SRF (que não diferiram estatisticamente entre si).

Tabela 7 - Porcentagem de viabilidade pelo teste de tetrazólio (TZ Viabilidade) de sementes de soja do cultivar 80I82RSF IPRO (Olimpo), provenientes de três lotes (LO, CRF no tegumento e SRF no tegumento), submetidas a três tratamentos químicos + biológico (Sem tratamento, Standak Top® + Votivo e Fortenza® Elite).

Lote	TZ Viabilidade (%)
LO	94,7 a
CRF	91,4 b
SRF	96,1 a
Tratamento	
Sem tratamento	95,3 a
Standak Top® + Votivo	93,1 a
Fortenza® Elite	93,8 a
F para Lote (L)	**
F para Tratamento (T)	ns
F para (LxT)	ns
CV (%)	3,16

**médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey; ns: não significativo; CV: coeficiente de variação.

Notavelmente, a não influência entre os tratamentos químicos + biológico de sementes na viabilidade e vigor das sementes, avaliados pelo teste de tetrazólio, entende-se que estes resultados são coerentes com a fisiologia da semente de soja, pois o teste de tetrazólio avalia a atividade respiratória dos tecidos vivos em determinado momento, refletindo o estado fisiológico da semente, e não a eficácia da proteção química + biológica ao longo do armazenamento ou semeadura. O teste de tetrazólio não é sensível à detecção de efeitos fitotóxicos indiretos que se manifestam durante a germinação ou emergência, conforme destacado por Medeiros e Sousa (2022).

Por fim, a aditividade dos efeitos implica que o benefício proporcionado pelo tratamento Standak Top® + Votivo foi consistente em todos os lotes, elevando a emergência tanto das sementes de alta qualidade quanto das de qualidade inferior.

De forma geral, isso significa que, embora a aquisição de um lote de sementes de alta qualidade física e fisiológica seja necessária para um estande de alta performance, a aplicação de um tratamento de sementes de amplo espectro e alta eficácia é uma estratégia de mitigação de risco indispensável para assegurar o estabelecimento da lavoura sob condições reais de campo.

Os resultados confirmam que sementes com ruptura fisiológica no tegumento apresentam maior sensibilidade aos tratamentos químicos, devido à maior permeabilidade e exposição dos tecidos internos. Além disso, evidenciam que a integridade do tegumento é fator central na determinação da qualidade fisiológica e na resposta ao tratamento de sementes.

Do ponto de vista prático, os resultados reforçam a importância da seleção de lotes com baixa incidência de ruptura fisiológica e da adoção de tecnologias de tratamento eficientes, visando reduzir riscos e garantir o estabelecimento adequado da lavoura.

6 CONCLUSÃO

A ruptura fisiológica no tegumento compromete a qualidade fisiológica das sementes de soja, reduzindo germinação, vigor e viabilidade. A interação entre a condição do tegumento e o tratamento de sementes mostrou-se determinante, evidenciando que sementes com ruptura fisiológica apresentam maior sensibilidade a determinados produtos químicos. O tratamento com Standak Top® + Votivo proporcionou emergência superior, independentemente da condição do tegumento, representando a estratégia mais eficaz para garantir o estabelecimento adequado da lavoura. Recomenda-se a aquisição de lotes com baixa incidência de ruptura fisiológica e alguns princípios ativos devem ser utilizados com mais atenção, pois podem reduzir a qualidade fisiológica das sementes com a presença de ruptura fisiológica.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATI, J.; CASTRO, G. Z.; ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C. R.; HENNING, F. A. Treatment of soybean seeds with mechanical damage: effects on their physiological potential. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 42, e202042010, 2020.

ABATI, J. et al. Water absorption and storage tolerance of soybean seeds with contrasting seed coat characteristics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 44, p. e53096, 2022.

ABRASEM. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES E MUDAS. **Anuário Brasileiro de Sementes 2014**. Brasília: ABRASEM, 2014.

ABRASEM. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES E MUDAS. **Anuário 2019/20 ABRASEM**. Brasília: ABRASEM, 2022.

AMARO, H. T. R. et al. Tecnologia de produção de sementes de crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst) de alta qualidade: avanços e perspectivas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 26, n. 1, p. 149-172, 2020.

AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. 5. ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2018. v. 1. 573 p.

BAHRY, C. A. et al. Chemical composition and structural characterization of contrasting colors of soybean seed coats. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1913, 2015.

BELNIAKI, A. C. et al. Systematic Review - State of the Art: strategies for vigor evaluation and production of high-vigor soybean seeds. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 45, e202345022, 2023.

BEWLEY, J. D. et al. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013. 392 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 395 p.

CAMPAGNARO, N. et al. A produtividade da soja e seu resultado associado às condições ambientais: revisão de literatura. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 1, p. e8807, 2025.

CAVALCANTE, J. A. et al. Vigor and anaerobic metabolism of soybean seeds evaluated by ethanol test. **Journal of Seed Science**, v. 45, e202345007, 2022.

CIPRIANO, P. E. et al. **Biofortificação genética e biofortificação agrônômica**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2024. (Circular Técnica EPAMIG, n. 406). Disponível em: <https://www.livrariaepamig.com.br/wp-content/uploads/2024/08/CT-406.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Perspectivas para a agropecuária: safra 2024/2025**. v. 12. Brasília, DF: CONAB, 2025.

CORBELLINI, M. et al. Geographical adaptability for optimizing the recommendation of soybean cultivars in the Brazilian Cerrado. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 13076, 2024.

DALL'AGNOL, A. **A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2016.

DAN, L. G. M. et al. Desempenho de sementes de soja tratadas com inseticidas e submetidas a diferentes períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 2, p. 215-222, 2010.

FARIAS, L. F. F. C. Expansão da soja e políticas de reforma agrária no Mato Grosso, Brasil. **PatryTer – Revista Latinoamericana de Geografia e Humanidades**, v. 5, n. 9, p. 54-72, 2022.

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. Tetrazolium: an important test for physiological seed quality evaluation. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 41, n. 3, p. 359-366, 2019.

FRANÇA-NETO, J. B. et al. **A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2023. (Circular Técnica, 186).

GALVÃO, A. S. et al. **Qualidade física e fisiológica de sementes de soja com e sem rasgo no tegumento**. 2024.

GOULART, A. C. P. **Tratamento de sementes de soja com fungicidas: garantia de estabelecimento do estande e de altos rendimentos**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 20 p. (Circular Técnica, 15).

GOWDA, A. et al. Physiological and transcriptomic responses in the seed coat of field-grown soybean (*Glycine max* L. Merr.) to abiotic stress. **BMC Plant Biology**, v. 17, 2025.

HENNING, A. A. **Tratamento de sementes de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. Disponível em: <http://radar.cnpso.embrapa.br>. Acesso em: 22 ago. 2025.

JEAN-BAPTISTE, M. C. et al. Efficacy of insecticides and fungicides for treatment of soybean seeds against adults of *Myochrous armatus* (Baly, 1865) (Coleoptera: Chrysomelidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 85, p. e293782, 2025.

KRZYZANOWSKI, F. C. et al. **A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, 2018.

KRZYZANOWSKI, F. C. et al. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2020.

LEMES, E. M.; CATÃO, H. C. R. M. Soybean Seed Coat Cracks and Green Seeds—Predisposing Conditions, Identification and Management. **Seeds**, v. 3, n. 1, p. 133-148, 2024.

MA, F. et al. Cracks in the palisade cuticle of soybean seed coats correlate with their permeability to water. **Annals of Botany**, v. 94, n. 2, p. 213-228, 2004.

MACÊDO, D. B. et al. Análise de qualidade fisiológica em cultivares de soja submetidas a testes de vigor. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 16, n. 2, p. e3109, 2024.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C. et al. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2001.

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

MARCOS FILHO, J. **Envelhecimento acelerado em sementes de soja**. Londrina: ABRATES, 2020.

MARIANO-DA-SILVA, S. et al. Qualidade de sementes de soja (*Glycine max* L.) tratadas e submetidas ao armazenamento. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 4, p. 13049-13056, 2023.

MARINHO, J. L. et al. Implications of seed coat cracking on soybean seed quality. **Journal of Seed Science**, v. 46, e202446288842, 2024.

MAZZUCHELLI, R. C.; CAVARIANI, C.; LEONEL, M. Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com inseticidas e fungicidas durante o armazenamento. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 148-156, 2014.

MEDEIROS, A. D.; SOUSA, R. M. Avanços na tecnologia de sementes de soja: fisiologia, tratamento e produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, e02854, 2022.

MEDINA, P. F. et al. Treatment of soybean seeds with mechanical damage: effects on their physiological potential. **Journal of Seed Science**, v. 43, e202143029, 2021.

MELO, L. C.; MARTINS, K. V. Influência de extrato de algas (*Ascophyllum/Kappaphycus*) em soja. **Perquirere**, v. 20, n. 2, p. 61-77, 2023.

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

MENTEN, J. O. M.; MORAES, M. H. D.; SADER, R. Tratamento de sementes: fungicidas, inseticidas e biológicos. In: **Pesquisa e Tecnologia em Sementes**. Piracicaba: FEALQ, 2022.

NUNES, J. C. **Tratamento de semente: qualidade e fatores que podem afetar a sua performance em laboratório**. Londrina: Syngenta Proteção de Cultivos, 2005. 16 p.

PEREIRA, T. F.; MENTEN, J. O. M.; SADER, R.; SILVA, J. B. Compatibilidade de tratamentos biológicos e químicos em sementes de soja e seus efeitos nas plântulas. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 44, n. 1, p. 55-61, 2018.

PICCININ, G. G. et al. Computerized analysis of seedling performance in evaluating the phytotoxicity of chemical treatment of soybean seeds. **Journal of Seed Science**, v. 43, e202143025, 2021.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014.

SANT'ANA, C. R. et al. Tratamento de sementes de soja durante períodos de armazenamento. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 27722-27740, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n4-324.

SANTORIO, H. S. Revisão sobre os aspectos da produção de sementes de soja: produção, manejo e armazenamento. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 28., 2024, São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: UNIVAP, 2024.

SANTOS, J. B. et al. Qualidade de Sementes de Soja. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2024.

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

SIQUEIRA, J. F. et al. Qualidade sanitária e fisiológica de sementes salvas de soja submetidas a diferentes tratamentos. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 12, p. e8369, 2024.

SOUZA, J. M. et al. Ajuste Metodológico do Índigo Carmim na Viabilidade de Sementes de Soja. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 16, n. 5, p. e4940, 2025. DOI: 10.7769/gesec.v16i5.4940. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4940>. Acesso em: 31 jul. 2025.

TEIXEIRA, S. B. et al. Effect of tear/crack on soybean (*Glycine max*) seed coat, physiological quality and pathology of the seed. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 6, p. 988-994, 2019.

TEIXEIRA, S. B. **Rasgo no tegumento em sementes de soja suas causas e consequências**. 2021. 103 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

TEIXEIRA, S. B. et al. Chemical and anatomical characterization of soybean seed coats with the presence of cracks. **Journal of Seed Science**, v. 46, e202446034, 2024.

VEIGA, J. S. B.; HENNIPMAN, P. S.; CARVALHO, T. C. Comparison of viability and vigor tests in soybean seeds (*Glycine max* (L.) Merrill.). **Applied Research & Agrotechnology**, Guarapuava, v. 13, e6063, 2020. DOI: 10.5935/PAeT.V13.e6063.