

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
PRO-REITORIA DE GRADUAÇÃO
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES
CURSO DE AGRONOMIA

ARTHUR VIEIRA REZENDE

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO BIOLÓGICO COM
Trichoderma asperellum **NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES**
DE SOJA (*Glycine max*)

GOIÂNIA

2025

ARTHUR VIEIRA REZENDE

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO BIOLÓGICO COM
Trichoderma asperellum **NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES**
DE SOJA (*Glycine max*)

Manografia apresentada como requisito parcial
para composição de média final na disciplina de
Trabalho de Conclusão de curso de graduação em
Agronomia, da Pontifícia Universidade Católica
de Goiás, PUC-Goiás.

Orientador: Profa. Dra. Roberta Paula de Jesus

GOIÂNIA

2025

ARTHUR VIEIRA REZENDE

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO BIOLÓGICO COM
Trichoderma asperellum **NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES**
DE SOJA (*Glycine max*)

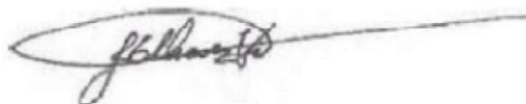
BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ROBERTA PAULA DE JESUS**
Data: 18/12/2025 12:59:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Presidente (Prof^ª. Dr^ª. Roberta Paula de Jesus)
PUC-Goiás

Documento assinado digitalmente
 **LEANDRA REGINA SEMENSATO**
Data: 18/12/2025 17:37:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro I (Prof^ª. Dr^ª. Leandra Regina Semensato)
PUC-Goiás



Membro II (Prof. Dr. Jales Teixeira Chaves Filho)
PUC-Goiás

Aprovada em 06/12/2025.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de concluir esta e acadêmica e pelo fortalecimento constante durante toda a trajetória do curso. Agradeço também à minha orientadora, professora Roberta Paula, pela dedicação, paciência e orientação segura em todas as fases da construção deste trabalho. Seu apoio técnico e científico foi essencial para que este estudo fosse desenvolvido com responsabilidade e qualidade.

Expresso minha gratidão aos meus pais, João Rezende Neto e Marinaria Vieira, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Agradeço à Nicolly Brito, minha namorada, pela compreensão, pela presença constante e por todo apoio emocional e prático durante a elaboração deste trabalho. Estendo meus agradecimentos à Kadine Maria, que contribuiu diretamente para o desenvolvimento do TCC e ofereceu auxílio fundamental nos momentos de maior necessidade.

Agradeço também a todos que fizeram parte da minha experiência de estágio e que contribuíram para minha formação profissional e pessoal. Entre eles, registro minha gratidão à doutora Eliane Quintela, Valdeir Santos Junior, Lidiane Queiros, Heloiza Boaventura, Ewellyn Spirandelli, João Pedro Onohara, Deraldo Cerqueira, Eliza Argenta, Lucas Guimarães, Yara Jessie e Wendel Gabriel. Cada um colaborou de forma significativa para meu aprendizado e crescimento dentro da agronomia.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a execução deste trabalho e para minha formação acadêmica, deixo o meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVO	9
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1 A cultura da soja	9
3.2 Germinação e vigor de sementes	10
3.3 Bioestimulantes e microrganismos promotores de crescimento.....	10
3.4 O gênero <i>Trichoderma</i>	11
4 MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1 Delineamento experimental e tratamentos	14
4.2 Instalação do teste de germinação	15
4.3 Avaliações	15
4.4 Análise estatística	15
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
6 CONCLUSÃO.....	18
REFERÊNCIAS	18

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO BIOLÓGICO COM
Trichoderma asperellum **NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES**
DE SOJA (*Glycine max*)

INFLUENCE OF BIOLOGICAL TREATMENT WITH
Trichoderma asperellum **ON THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SOYBEAN**
(*Glycine max*) SEEDS

Arthur Vieira Rezende ¹

Dr^a. Roberta Paula de Jesus²

¹ PUC-Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

² PUC-Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

RESUMO

O tratamento biológico de sementes tem adquirido importância crescente na agricultura devido ao seu potencial em favorecer o desempenho inicial das culturas, especialmente com o uso de microrganismos benéficos como *Trichoderma asperellum*. A qualidade fisiológica das sementes de soja está diretamente relacionada às fases iniciais de desenvolvimento e pode ser influenciada por práticas como a microbiolização e o biopriming. Neste estudo, avaliaram-se diferentes doses de *T. asperellum* aplicadas a sementes de soja da cultivar ST711 I2X, com o objetivo de verificar seus efeitos sobre a germinação, a formação de plântulas normais e a ocorrência de anormalidades. Cinco tratamentos foram conduzidos em condições controladas de laboratório, seguindo metodologias padronizadas para análise de sementes. Os resultados indicaram que a germinação permaneceu elevada em todos os tratamentos, variando entre 88% e 92%, sem diferenças estatísticas significativas entre as doses avaliadas. Embora a dose intermediária (50%) tenha apresentado tendência de melhor equilíbrio entre germinação, vigor e menor ocorrência de plântulas anormais, doses mais elevadas mostraram tendência de aumento de anormalidades. Esses resultados indicam que *T. asperellum* não compromete a qualidade fisiológica das sementes nas condições estudadas, reforçando seu uso seguro no tratamento de sementes de soja, ao mesmo tempo em que evidenciam a importância da adequação de doses para evitar possíveis efeitos fisiológicos indesejados.

Palavras-chave: Microbiolização, Vigor, Germinação, Inoculante Microbiano

ABSTRACT

Biological seed treatment has gained increasing importance in agriculture due to its potential to enhance early crop performance, particularly through the use of beneficial microorganisms such as *Trichoderma asperellum*. The physiological quality of soybean seeds is directly associated with early developmental stages and may be influenced by practices such as microbiolization and biopriming. This study evaluated different doses of *T. asperellum* applied to soybean seeds of the cultivar ST711 I2X, aiming to assess their effects on germination, normal seedling formation, and the occurrence of abnormalities. Five treatments were conducted under controlled laboratory conditions, following standardized seed analysis methodologies. Results showed that germination remained high across all treatments, ranging from 88% to 92%, with no statistically significant differences among the evaluated doses. Although the intermediate dose (50%) showed a trend toward better balance in germination and seedling development, higher doses tended to increase the incidence of abnormal seedlings. These findings indicate that *T. asperellum* does not negatively affect the physiological quality of soybean seeds under the studied conditions, supporting its safe use in seed treatment, while highlighting the importance of appropriate dose selection to avoid potential undesirable physiological responses.

Keywords: Seed Microbiolization, Vigor, Germination, Microbial Inoculant.

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* (L) Merrill) ocupa papel de destaque entre as culturas agrícolas no Brasil e no mundo dada sua importância econômica, abrangendo a produção de grãos e óleo vegetal e a contribuição para cadeias produtivas diversas. A qualidade fisiológica das sementes de soja é determinante para garantir bom estabelecimento da lavoura, uma vez que interfere diretamente nos processos de germinação, no vigor inicial das plântulas e, por consequência, no rendimento final da cultura. Dessa forma, práticas de tratamento de sementes têm sido amplamente investigadas como forma de melhorar a performance inicial das plantas.

Entre as alternativas de tratamento, o uso de microrganismos promotores de crescimento, especialmente fungos do gênero *Trichoderma*, tem despertado grande interesse. Esses fungos são reconhecidos por sua dupla função: atuar no controle biológico de patógenos e promover o crescimento vegetal. Estudos com sementes de soja indicam que alguns isolados de *Trichoderma* podem favorecer a germinação, o desenvolvimento radicular e o vigor das plântulas (Tancic *et al.*, 2013). Em condições de casa de vegetação, formulações comerciais à base de *T. asperellum* aplicadas no tratamento de sementes resultaram em incremento no crescimento vegetativo da parte aérea e radicular, reforçando o potencial desses bioinsumos para o manejo de sementes (Moreira *et al.*, 2025).

Apesar dos resultados promissores, a eficácia da inoculação com *Trichoderma* em sementes de soja não é sempre consistente. Variações entre cepas fúngicas, formulações, doses aplicadas e condições de semeadura influenciam os resultados. Em alguns casos, tratamentos com *Trichoderma* não alteraram significativamente a germinação ou vigor das sementes, indicando que os efeitos podem ser contextuais (Mesquita, 2023). Ademais, a presença de tratamento químico prévio nas sementes pode interferir na viabilidade do fungo e reduzir sua eficácia, o que amplia a necessidade de avaliar cuidadosamente a compatibilidade entre fungicidas e bioinoculantes (Branco *et al.*, 2025).

Diante desse panorama, torna-se essencial investigar sistematicamente o efeito de diferentes doses de *T. asperellum* aplicadas a sementes de soja, considerando cultivar, condições de semeadura e possíveis interações com tratamentos prévios. Tal investigação pode revelar doses que promovam melhora da qualidade fisiológica sem causar efeitos adversos, contribuindo para o uso eficaz e sustentável de bioinsumos na produção de soja.

2 OBJETIVO

Avaliar o efeito de diferentes doses de *Trichoderma asperellum* aplicadas às sementes de soja (*Glycine max* (L) Merrill) sobre a germinação e o vigor, em condições controladas de laboratório.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A cultura da soja

A soja é uma das culturas agrícolas de maior importância econômica no mundo devido à sua elevada produtividade e ao amplo uso de seus grãos para alimentação humana, nutrição animal e produção industrial. No Brasil, o cultivo de soja ocupa posição estratégica na economia agrícola e é responsável por grande parcela das exportações do país, consolidando-se como uma das principais commodities do agronegócio nacional. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento, o país permanece entre os maiores produtores e exportadores mundiais, resultado da expansão de áreas cultivadas e do avanço tecnológico observado nas últimas décadas (CONAB, 2023).

O ciclo de desenvolvimento da soja compreende fases distintas que se dividem em estádios vegetativos e reprodutivos. Entre essas etapas, as fases iniciais de germinação e emergência apresentam grande relevância para o estabelecimento adequado da lavoura, uma vez que influenciam diretamente a uniformidade populacional e o potencial produtivo final. Conforme descrito por Embrapa, a emergência rápida e vigorosa está associada à formação de plantas mais resistentes ao estresse e capazes de expressar melhor sua produtividade (EMBRAPA, 2022).

A qualidade fisiológica das sementes é um dos fatores que mais influenciam o desempenho inicial da cultura, pois determina a capacidade de germinação e de formação de plântulas normais sob diferentes condições ambientais. Sementes de alta qualidade favorecem a uniformidade da lavoura e aumentam a eficiência no uso de recursos como água, luz e nutrientes. De acordo com as Regras para Análise de Sementes, a qualidade fisiológica está diretamente relacionada à integridade estrutural, ao vigor e à sanidade das sementes, fatores essenciais para garantir boa emergência em campo (BRASIL, 2009).

3.2 Germinação e vigor de sementes

A germinação é definida como o conjunto de eventos fisiológicos e bioquímicos que resultam na emissão da radícula e na formação de uma plântula normal. Segundo as Regras para Análise de Sementes, plântulas normais são aquelas que apresentam estruturas essenciais completamente desenvolvidas e capazes de originar plantas viáveis em condições favoráveis (BRASIL, 2009). Esse processo é influenciado por fatores internos da semente e por condições ambientais que podem acelerar ou limitar o desenvolvimento inicial.

Entre os principais fatores que afetam a germinação estão a disponibilidade de água, a temperatura, o oxigênio e a sanidade das sementes. A umidade adequada permite a hidratação dos tecidos e o reinício do metabolismo, enquanto a temperatura controla a velocidade das reações fisiológicas e enzimáticas. A presença de oxigênio é fundamental para a respiração celular, e a sanidade influi diretamente na capacidade da semente de germinar sem interferência de patógenos. A Embrapa destaca que ambientes favoráveis favorecem maior velocidade e uniformidade da germinação, contribuindo para a emergência eficiente das plantas em campo (EMBRAPA, 2021).

Os testes de vigor de sementes complementam a avaliação da germinação, pois medem a capacidade das sementes de emergir e se desenvolver sob condições adversas. Esses testes incluem o índice de velocidade de germinação, primeira contagem, comprimento de plântulas e outros parâmetros que refletem o desempenho fisiológico da semente. Segundo Paparella *et al.* (2015), sementes vigorosas apresentam maior resistência ao estresse ambiental e tendem a formar plântulas mais robustas, o que beneficia o estabelecimento da cultura em campo.

3.3 Bioestimulantes e microrganismos promotores de crescimento

Bioestimulantes são substâncias, misturas ou microrganismos aplicados às plantas ou sementes que visam melhorar a eficiência fisiológica, o crescimento ou a tolerância a estresses, sem se enquadrar necessariamente como fertilizantes ou pesticidas. A literatura contemporânea classifica bioestimulantes em grupos tais como extratos vegetais, aminoácidos, substâncias húmicas e microrganismos promotores de crescimento (PGPM), e destaca que a sua ação ocorre por mecanismos fisiológicos e bioquímicos que modulam respostas da semente ou da plântula (Paparella *et al.*, 2015).

O termo “biopriming” refere-se a um subconjunto de tratamentos priming em que microrganismos benéficos são inoculados sobre sementes antes da semeadura, promovendo a ativação do metabolismo pré-germinativo, reparo de DNA e fortalecimento das defesas iniciais da plântula. Revisões sobre priming descritas na literatura apontam que o biopriming pode conferir maior sincronismo na emergência, maior tolerância a estresses e melhora do vigor, embora a resposta seja dependente de espécie, método e condições de ensaio (Singh; Tandon; Srivastav, 2014).

Os microrganismos promotores de crescimento mais utilizados em biopriming incluem bactérias do tipo *Bacillus* e *Azospirillum* e fungos como *Trichoderma*; estes agentes podem atuar por fixação ou solubilização de nutrientes, produção de hormônios ou compostos bioativos, indução de resistência e proteção contra patógenos. Em avaliações aplicadas, o uso de produtos biológicos em tratamento de sementes tem mostrado benefícios em situações de estresse ou quando o lote apresenta vigor subótimo; no entanto, a eficácia é variável e depende da compatibilidade com o tratamento industrial da semente, da cepa microbiana, da formulação e das condições ambientais (Gava, 2006).

Na prática agrícola moderna, o uso de bioestimulantes e biopriming tem sido apontado como estratégia complementar para reduzir insumos químicos e aumentar a sustentabilidade produtiva. Entretanto, normas e recomendações para aplicação em sementes exigem avaliação de compatibilidade com fungicidas e inseticidas industriais, além de testes de estabilidade e armazenamento, de modo a assegurar que a inoculação não reduza a viabilidade ou a qualidade fisiológica do lote. (MAPA RAS, 2009).

3.4 O gênero *Trichoderma*

O gênero *Trichoderma* compreende fungos filamentosos amplamente distribuídos no solo e reconhecidos por sua elevada capacidade de adaptação, rápido crescimento e habilidade competitiva em ambientes rizosféricos. Esses microrganismos colonizam raízes de forma eficiente, produzem compostos bioativos e se destacam como antagonistas naturais de diversos fitopatógenos de solo. A literatura descreve que o sucesso agrônomo de espécies do gênero está relacionado à sua habilidade de se estabelecer rapidamente, utilizar fontes de carbono disponíveis e competir por espaço e nutrientes, o que lhes confere papel ecologicamente relevante em sistemas de manejo integrado (Harman, 2006).

Diversas espécies de *Trichoderma* têm uso agrícola consolidado, destacando-se *T. harzianum*, *T. viride* e *T. asperellum*, que apresentam mecanismos de ação complementares e variam conforme cepa e formulação. Esses mecanismos incluem micoparasitismo, produção de enzimas hidrolíticas, competição por substrato, antibiose e ativação de respostas fisiológicas nas plantas hospedeiras. O micoparasitismo, por exemplo, envolve a identificação do patógeno pelo fungo, seguido da produção de enzimas como quitinases e glucanases que degradam a parede celular do organismo alvo. Já a antibiose ocorre pela liberação de metabólitos secundários com efeito inibitório sobre fitopatógenos. A amplitude desses mecanismos confere ao gênero grande versatilidade em condições de campo e laboratório (Benítez *et al.*, 2004).

Além do efeito antagonista, *Trichoderma* também atua como promotor de crescimento vegetal. Estudos mostram que o fungo pode estimular o desenvolvimento radicular, aumentar a absorção de nutrientes e promover respostas relacionadas à tolerância a estresses abióticos, como seca e salinidade. Esses benefícios estão ligados à produção de compostos semelhantes a fitohormônios e à capacidade de modular rotas metabólicas nas plantas tratadas. Dessa forma, *Trichoderma* atua simultaneamente como agente de biocontrole e bioestimulante, ampliando seu potencial de uso em sistemas sustentáveis de produção agrícola (Harman, 2006).

Do ponto de vista tecnológico, o uso de *Trichoderma* em sementes exige atenção quanto à formulação e compatibilidade com produtos químicos aplicados previamente ao tratamento, como fungicidas e inseticidas industriais. A literatura relata casos em que determinados princípios ativos reduzem a viabilidade do microrganismo ou inibem seu crescimento, o que compromete o desempenho do inoculante no campo. Relatórios técnicos indicam que formulações à base de conídios tendem a apresentar maior resistência a algumas moléculas químicas, enquanto formulações líquidas ou muito diluídas podem ser mais sensíveis, exigindo validação prévia de mistura, tempo de exposição e condições de armazenamento (Gava, 2006).

A adoção de *Trichoderma* na agricultura moderna vem crescendo, principalmente devido à busca por alternativas sustentáveis que reduzam o uso de insumos químicos e aumentem a resiliência das plantas. No entanto, para alcançar resultados consistentes, é fundamental que o microrganismo seja aplicado de forma correta, avaliando-se dose, cepa, condições ambientais e estratégias de manejo em conjunto com práticas agronômicas adequadas. Essa abordagem integrada é essencial para aproveitar o potencial completo desse fungo como aliado no manejo de doenças e na promoção do vigor inicial das plantas (Harman, 2006; Gava, 2006).

3.5 Uso de *Trichoderma asperellum* no tratamento de sementes e promoção de crescimento

O uso de *T. asperellum* em sementes de soja tem sido estudado como estratégia para aumentar o vigor inicial, melhorar a emergência em condições adversas e contribuir para o controle de fitopatógenos de solo. Embora existam menos publicações específicas para soja do que para outras culturas, estudos técnicos e revisões sobre priming e biopriming destacam que espécies de *Trichoderma*, incluindo *T. asperellum*, podem influenciar processos fisiológicos críticos das sementes. A ação ocorre principalmente pela ativação de metabólitos, reorganização de moléculas antioxidantes e estímulo à germinação sob estresses moderados, garantindo maior sincronismo na formação das plântulas (Paparella *et al.*, 2015).

Relatórios de pesquisa da Embrapa também apontam que *Trichoderma* apresenta potencial para melhorar o desempenho inicial da soja, especialmente em ambientes onde patógenos de solo como *Rhizoctonia*, *Fusarium* ou *Sclerotinia* representam risco à emergência. A atuação biocontroladora é atribuída à produção de enzimas hidrolíticas e de compostos com efeito antibiótico, além da capacidade do fungo de colonizar rapidamente a rizosfera e competir por recursos, reduzindo a chance de que patógenos estabeleçam infecção nas plântulas. Esses efeitos contribuem para maior sanidade inicial e, conseqüentemente, para o estabelecimento mais uniforme da lavoura (Gava, 2006).

O processo de biopriming com *T. asperellum* envolve a aplicação controlada do microrganismo na superfície da semente antes da semeadura, permitindo que ele colonize o tegumento e estabeleça interação benéfica com o embrião. Essa técnica é descrita como vantajosa por promover pré-ativação de rotas metabólicas da semente, reparo de danos celulares e modulação de genes relacionados à germinação e ao estresse. No entanto, sua eficácia depende diretamente da qualidade fisiológica inicial das sementes, das condições ambientais e da compatibilidade do microrganismo com o tratamento industrial (Paparella *et al.*, 2015).

Um dos principais desafios para o uso de *T. asperellum* em sementes de soja é a variabilidade de resultados observada entre experimentos. Essa variação é atribuída a fatores como diferenças entre cepas, formulação do produto, dose utilizada, tempo entre aplicação e semeadura, além da interação com fungicidas e inseticidas presentes no tratamento industrial. Trabalhos de compatibilidade indicam que alguns princípios ativos podem reduzir a sobrevivência do fungo nas sementes, enquanto outros são tolerados quando utilizados em

proporções adequadas. Por isso, recomenda-se sempre a avaliação prévia de cada combinação de produtos antes da adoção da tecnologia em escala comercial (Gava, 2006).

De forma geral, *T. asperellum* apresenta potencial para compor programas sustentáveis de manejo de sementes, especialmente quando utilizado de forma complementar ao tratamento químico e em condições que favoreçam sua sobrevivência. Para a soja, o uso desse fungo requer padronização de dose, garantia de viabilidade da formulação e definição de intervalos seguros entre a aplicação e o plantio ou ensaio laboratorial. A adoção dessas práticas permite explorar os benefícios desse microrganismo sem comprometer a germinação ou o vigor, resultando em maior estabilidade do estande e melhor desempenho inicial da cultura (Harman, 2006; Gava, 2006; Paparella *et al.*, 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas dependências do Laboratório de Análise de Sementes da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás), Campus II, utilizando sementes de soja da cultivar ST711 I2X. As sementes foram cedidas ao laboratório já tratadas industrialmente com o fungicida e inseticida Standak Top.

4.1 Delineamento experimental e tratamentos

Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por cinco tratamentos, correspondentes a diferentes doses do bioagente *Trichoderma asperellum* (produto comercial Trichoplus JCO, contendo 2×10^9 UFC g⁻¹ (Unidades formadoras de colônia por grama):

T1 – 0% da dose recomendada (testemunha)

T2 – 25% da dose recomendada

T3 – 50% da dose recomendada

T4 – 100% da dose recomendada

T5 – 150% da dose recomendada

Cada tratamento foi composto por quatro repetições de 100 sementes, totalizando 400 sementes por dose. As doses foram aplicadas por mistura direta manual, garantindo distribuição homogênea do bioagente sobre a superfície das sementes.

4.2 Instalação do teste de germinação

O teste foi conduzido pelo método do rolo de papel Germitest, conforme procedimentos estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2025). O papel foi previamente pesado para determinação da quantidade de água necessária, utilizando-se a proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco. A água destilada foi distribuída uniformemente sobre as folhas, evitando encharcamento.

As sementes foram distribuídas em linhas com espaçamento regular e posicionadas com a face ventral padronizada em todas as repetições. Cada rolo foi confeccionado cuidadosamente para evitar deslocamento das sementes e acondicionado verticalmente em sacos plásticos transparentes parcialmente fechados, a fim de manter a umidade e permitir adequada troca gasosa. Em seguida, os rolos foram transferidos para germinador tipo BOD, regulado a 25 ± 2 °C, em ausência de luz.

4.3 Avaliações

As avaliações foram realizadas no 5º dia após a instalação do teste, conforme os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2025). Foram quantificados os percentuais de plântulas normais, plântulas anormais e sementes mortas.

A classificação das plântulas como normais ou anormais foi realizada de acordo com as RAS (BRASIL, 2025), sendo consideradas plântulas normais aquelas que apresentaram todas as estruturas essenciais bem desenvolvidas, incluindo sistema radicular primário e parte aérea íntegros, com potencial para originar plantas normais em campo. Plântulas anormais foram aquelas que apresentaram danos, deformações ou ausência de estruturas essenciais, comprometendo seu desenvolvimento normal.

4.4 Análise estatística

Os dados de germinação, anormalidades, mortalidade e comprimentos de plântulas foram organizados em planilhas no Excel e submetidos à análise estatística no R Studio. Realizou-se análise de variância (ANOVA) e, quando o efeito de tratamento foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A normalidade dos resíduos foi avaliada para verificação dos pressupostos do modelo estatístico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (Tabela 1) indicou que as diferentes concentrações de *Trichoderma asperellum* não promoveram efeito estatisticamente significativo sobre as variáveis de qualidade fisiológica das sementes de soja avaliadas. O fator “Tratamentos” apresentou valores de p superiores a 0,05 para germinação normal ($p = 0,2337$), plântulas anormais ($p = 0,1417$) e sementes mortas ($p = 0,1673$), demonstrando que, nas condições do experimento, a aplicação do bioagente não alterou significativamente a viabilidade das sementes.

Os coeficientes de variação indicaram boa precisão experimental para germinação normal ($CV = 2,68\%$) e aceitável para plântulas anormais ($CV = 24,76\%$). Para a variável sementes mortas, observou-se elevado coeficiente de variação ($CV = 89,44\%$), associado à baixa frequência de ocorrência e à presença de valores próximos de zero, o que limita a interpretação estatística inferencial dessa variável.

Tabela 1. Valores de F-calculado, Quadrado Médio do Erro (QM Erro) e Coeficiente de Variação (CV) para os percentuais de germinação normal, plântulas anormais e sementes mortas de soja submetidas a diferentes concentrações de *Trichoderma asperellum*.

Variável	Tratamento	Resíduo	F	QM Erro	CV%
Germinação Normal	4	15	1.5682	5.8667	2.6800
Plântulas Anormais	4	15	2.0294	4.5333	24.7600
Sementes Mortas	4	15	1.8750	0.8000	89.4400

GL: Graus de Liberdade. QM Erro: Quadrado Médio do Erro. CV%: Coeficiente de Variação. Os valores de F-calculado não foram significativos ao nível de 5% de probabilidade.

A germinação apresentou comportamento semelhante entre os tratamentos (Tabela 2), com valores variando entre 88% e 92%. O tratamento T3 (50%) apresentou o maior valor médio (92%), enquanto o T5 (150%) apresentou o menor (88%). Contudo, essas diferenças não foram estatisticamente significativas, conforme indicado pelo Teste F ($p = 0,2337$) e pelo teste de Tukey, no qual todos os tratamentos pertenceram ao mesmo grupo estatístico. Esses resultados corroboram Marcos Filho (2015), que ressalta que sementes de alto vigor tendem a manter elevados percentuais de germinação, mesmo quando submetidas a diferentes tratamentos. Ferreira *et al.* (2020) também relatam variações mínimas na germinação de sementes de soja de boa qualidade após a aplicação de bioagentes.

Tabela 2. Média do percentual de germinação normal, plântulas anormais e mediana do percentual de sementes mortas de sementes de soja, em função das concentrações de *Trichoderma asperellum*.

Tratamento	Germinação Normal (%)	Plântulas Anormais (%)	Sementes Mortas (Mediana)
T1 0%	91.00 a	8.00 a	1.0 a
T2 25%	90.00 a	8.00 a	2.0 a
T3 50%	92.00 a	7.00 a	0.5 a
T4 100%	91.00 a	9.00 a	0.5 a
T5 150%	88.00 a	11.00 a	1.0 a
CV (%)	2.68	24.76	89.44

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p \leq 5\%$).

Em relação às plântulas anormais, embora também não tenham sido observadas diferenças estatisticamente significativas, verificou-se uma tendência de maior percentual no tratamento T5 (150%), com 11%, e menor no tratamento T3 (50%), com 7% (Tabela 2). Esse comportamento sugere que doses mais elevadas podem interferir no desenvolvimento inicial das plântulas, possivelmente em função de excesso de colonização microbiana. Segundo Monteiro *et al.* (2022), concentrações elevadas de microrganismos podem afetar estruturas embrionárias, comprometendo o desenvolvimento inicial. Resultados semelhantes foram relatados por Medeiros *et al.* (2021) em situações de manejo inadequado do tratamento de sementes com *Trichoderma*.

A mortalidade das sementes manteve-se baixa em todos os tratamentos, com valores entre 0,5% e 2,0% (Tabela 2), indicando ausência de efeito fitotóxico relevante do produto nas condições avaliadas. A elevada variabilidade observada para essa variável está relacionada à baixa ocorrência de sementes mortas, o que reforça a interpretação descritiva dos dados, sem evidência de diferenças relevantes entre os tratamentos. Esses resultados estão de acordo com Azevedo *et al.* (2020), que classificam *T. asperellum* como seguro para microbiolização de sementes.

A análise conjunta dos parâmetros avaliados (Tabela 2) indica que, embora não tenham sido observadas diferenças estatisticamente significativas, o tratamento T3 (50%) apresentou tendência de desempenho mais equilibrado, reunindo maior germinação, menor percentual de

plântulas anormais e baixa mortalidade. Esse comportamento sugere que doses intermediárias podem favorecer interações mais equilibradas entre semente e microrganismo, conforme discutido por Carvalho *et al.* (2021). Assim, mesmo sem incremento significativo na germinação, os resultados indicam que doses intermediárias de *T. asperellum* podem ser mais adequadas para microbiolização de sementes, evitando possíveis efeitos adversos associados a concentrações mais elevadas.

6 CONCLUSÃO

- As diferentes concentrações de *Trichoderma asperellum* não promoveram diferenças estatisticamente significativas na germinação das sementes da cultivar ST711 I2X, a qual apresentou elevados percentuais de plântulas normais em todos os tratamentos.
- Embora sem diferença estatística, a dose de 50% apresentou desempenho fisiológico mais equilibrado, com maior germinação, menor ocorrência de plântulas anormais e baixa mortalidade.
- A dose de 150% apresentou maior percentual de plântulas anormais, indicando que concentrações elevadas podem interferir negativamente no desenvolvimento inicial, mesmo sem efeito significativo sobre a germinação.
- A baixa mortalidade observada em todos os tratamentos indica ausência de efeito fitotóxico relevante do produto nas condições avaliadas.
- Recomenda-se a realização de estudos em condições de campo ou sob estresses controlados, a fim de verificar se os padrões observados em laboratório se refletem na emergência e no estabelecimento inicial da cultura.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, L. A. S.; SOUSA, M. V.; MARTINS, I. S. Tratamento de sementes: efeitos fisiológicos e sanitários. **Journal of Seed Science**, v. 42, p. 1–10, 2020. DOI: 10.1590/2317-1545v42230924.

BENÍTEZ, T.; RINCÓN, A. M.; LIMÓN, M. C.; CODÓN, A. C. **Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains**. International Microbiology, 2004.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013. DOI: 10.1007/978-1-4614-4693-4.

BRANCO, J. S. dos S. *et al.* **Compatibilidade de *Trichoderma* com fungicidas utilizados no tratamento de sementes de soja**. Instituto Federal de Rondônia, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ifro.edu.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, DF: MAPA, 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: 29 nov. 2025.

CARVALHO, E. R.; ANDRADE, F. R.; SANTOS, M. L. Respostas fisiológicas de sementes de soja tratadas com bioinsumos. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 1, p. 214–223, 2021. DOI: 10.1590/1983-21252021v34n123rc.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, DF: Conab, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja>. Acesso em: 29 nov. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Qualidade fisiológica e desempenho de sementes**. Embrapa Soja, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.

GAVA, C. A. T.; VALARINI, P. J. **Agentes de biocontrole de doenças de plantas: produção e uso**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 28 nov. 2025.

HARMAN, G. E. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. in plant disease control. **Phytopathology**, v. 96, n. 2, p. 190–194, 2006. DOI: 10.1094/PHYTO-96-0190.

HARMAN, G. E. Multifunctional mechanisms of action of *Trichoderma* spp. in plant disease control. **Plant Disease**, v. 95, p. 901–907, 2011. DOI: 10.1094/PDIS-03-11-0236.

LORETO, M.; WOO, S. L.; HARMAN, G. E. The multiple mechanisms of *Trichoderma* spp. and their use in agriculture. **Plant Pathology Journal**, v. 26, p. 101–113, 2010. DOI: 10.5423/PPJ.2010.26.3.101.

MACHADO, D. F. M.; PARZIANELLO, F. R.; SILVA, A. C. Bioestimulantes microbianos e germinação de sementes. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 67–74, 2014. DOI: 10.5039/agraria.v9i1a3190.

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

MEDEIROS, A. D.; ALVES, E. U.; SILVA, J. P. Efeito de doses de *Trichoderma harzianum* no desempenho de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 43, n. 2, p. 1–10, 2021.

MESQUITA, T. **Efeito de *Trichoderma* spp. na germinação e vigor de sementes de soja cv. DonMario 75i76**. 2023. Dissertação. Disponível em: <https://bdtd.ueg.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.

MONTEIRO, T. C.; OLIVEIRA, F. S.; PEREIRA, A. C. Interação entre bioinsumos e fisiologia de sementes. **Journal of Agricultural Studies**, v. 10, n. 3, p. 122–135, 2022. DOI: 10.5296/jas.v10i3.19847.

MOREIRA, T. F. *et al.* Uso de *Trichoderma* spp. e bioativador na promoção de crescimento vegetativo na cultura da soja. **Acta Biológica Catarinense**, v. 11, n. 4, 2025. DOI: 10.21726/abc.v11i4.2352.

PAPARELLA, S. *et al.* Seed priming: state-of-the-art and new perspectives. **Plant Cell Reports**, v. 34, p. 1281–1293, 2015. DOI: 10.1007/s00299-015-1784-y.

SINGH, V.; TANDON, P.; SRIVASTAVA, R. Seed biopriming with microbial inoculants: a new approach for crop improvement. **World Journal of Agricultural Sciences**, 2014.

TANCIC, S. L. J. *et al.* Impact of *Trichoderma* spp. on soybean seed germination and antagonistic effects on *Sclerotinia sclerotiorum*. **Pesticides and Phytomedicine**, v. 28, n. 3, p. 143–150, 2013. DOI: 10.2298/pif.v28i3.4308.

VINALE, F. *et al.* Major secondary metabolites produced by two commercial *Trichoderma* strains active against different phytopathogens. **Letters in Applied Microbiology**, v. 48, p. 642–647, 2008. DOI: 10.1111/j.1472-765X.2009.02679.x.