



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
CAMPUS URUTAÍ

NÁRREDA DE LIMA FONSÊCA

**SENSIBILIDADE DE ISOLADOS DE *Trichoderma* spp. COM
BASE EM ESTRESSE SALINO E SORBITOL**

URUTAÍ – GOIÁS
2025

NÁRREDA DE LIMA FONSÊCA

**SENSIBILIDADE E CLASSIFICAÇÃO DE ISOLADOS DE
Trichoderma spp. COM BASE EM ESTRESSE SALINO E
SORBITOL**

Monografia apresentada ao Instituto Federal Goiano Campus Urutaí como parte das exigências do Curso Licenciatura em Ciências Biológicas para obtenção do título de Licenciado em Biologia.

Orientador: Prof. Dr. Milton Luiz da Paz
Lima

URUTAÍ - GOIÁS
2025

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

Fonsêca, Nárreda de Lima

F676 Sensibilidade e classificação de isolados de *Trichoderma*
spp. com base em estresse salino e sorbitol / Nárreda de
Lima

Fonsêca. Urutaí 2025.

39f. il.

Orientador: Prof. Dr. Milton Luiz da Paz Lima.

Tcc (Licenciado) - Instituto Federal Goiano, curso de 0122053
- Licenciatura em Ciências Biológicas - Urutaí (Campus Urutaí).

1. Controle biológico. 2. Agricultura. 3. Sustentabilidade. 4.
Antagonismo. 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 type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRITÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

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

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
NARREDA DE LIMA FONSECA
Data: 18/03/2025 10:11:41-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Local

/ /

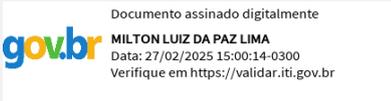
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

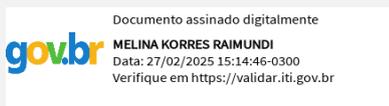
Ciente e de acordo:

 Documento assinado digitalmente
MILTON LUIZ DA PAZ LIMA
Data: 18/03/2025 14:43:09-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

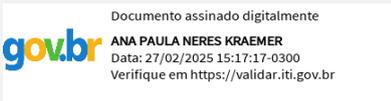
ANEXO II – REGULAMENTO DE TC

FICHA DE AVALIAÇÃO TRABALHO DE CURSO - CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, IF GOIANO, URUTAÍ		
Nome do(a) estudante: Nárreda de Lima Fonsêca		
Data da defesa: 27/02/2025		
Título do trabalho: Sensibilidade e classificação de isolados de <i>Trichoderma</i> spp. com base em estresse salino e sorbitol		
Nome do(a) Avaliador(a): Milton Luiz da Paz Lima		
Critérios	Pontuação máxima	Pontuação obtida
1. O título do trabalho é conciso e reflete com precisão o conteúdo?	1	1
2. O resumo é claro e completo?	1	1
3. A introdução foi escrita de forma clara e sequencial que encaminha o leitor a questão que os autores se propuseram a contribuir ou resolver?	1	1
4. Os objetivos são claros?	1	1
5. A metodologia está de acordo com os objetivos e possui replicabilidade?	1	1
6. Os resultados são relevantes e foram analisados de forma correta?	1	1
7. A discussão reflete os resultados encontrados?	1	1
8. A bibliografia é relevante, coerente e atual?	1	1
9. A apresentação oral foi clara e coerente com o trabalho escrito?	1	1
10. Na arguição, o(a) aluno(a) demonstrou segurança e capacidade de explicação do trabalho?	1	1
Pontuação final (soma)		10
Assinatura do(a) Avaliador(a) *		
 <p>Documento assinado digitalmente MILTON LUIZ DA PAZ LIMA Data: 27/02/2025 15:00:14-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br</p>		
* Cada avaliador(a) deverá ter no mínimo especialização <i>latu sensu</i> . Este documento deverá ser assinado à mão, via Gov.br ou SUAP e entregue à coordenação de TC		

ANEXO II – REGULAMENTO DE TC

FICHA DE AVALIAÇÃO TRABALHO DE CURSO - CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, IF GOIANO, URUTAÍ		
Nome do(a) estudante: Nárreda de Lima Fonsêca		
Data da defesa: 27/02/2025		
Título do trabalho: Sensibilidade e classificação de isolados de <i>Trichoderma</i> spp. com base em estresse salino e sorbitol		
Nome do(a) Avaliador(a): Melina Korres Raimundi		
Crítérios	Pontuação máxima	Pontuação obtida
1. O título do trabalho é conciso e reflete com precisão o conteúdo?	1	1
2. O resumo é claro e completo?	1	0,7
3. A introdução foi escrita de forma clara e sequencial que encaminha o leitor a questão que os autores se propuseram a contribuir ou resolver?	1	0,8
4. Os objetivos são claros?	1	1
5. A metodologia está de acordo com os objetivos e possui replicabilidade?	1	0,9
6. Os resultados são relevantes e foram analisados de forma correta?	1	0,8
7. A discussão reflete os resultados encontrados?	1	0,8
8. A bibliografia é relevante, coerente e atual?	1	0,8
9. A apresentação oral foi clara e coerente com o trabalho escrito?	1	1,0
10. Na arguição, o(a) aluno(a) demonstrou segurança e capacidade de explicação do trabalho?	1	1,0
Pontuação final (soma)		8,8
Assinatura do(a) Avaliador(a) *		
 <p>Documento assinado digitalmente MELINA KORRES RAIMUNDI Data: 27/02/2025 15:14:46-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br</p>		
* Cada avaliador(a) deverá ter no mínimo especialização <i>latu sensu</i> . Este documento deverá ser assinado à mão, via Gov.br ou SUAP e entregue à coordenação de TC		

ANEXO II – REGULAMENTO DE TC

FICHA DE AVALIAÇÃO TRABALHO DE CURSO - CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, IF GOIANO, URUTAÍ		
Nome do(a) estudante: Nárreda de Lima Fonsêca		
Data da defesa: 27/02/2025		
Título do trabalho: Sensibilidade e classificação de isolados de <i>Trichoderma</i> spp. com base em estresse salino e sorbitol		
Nome do(a) Avaliador(a): Ana Paula Neres Kraemer		
Crítérios	Pontuação máxima	Pontuação obtida
1. O título do trabalho é conciso e reflete com precisão o conteúdo?	1	0,9
2. O resumo é claro e completo?	1	0,8
3. A introdução foi escrita de forma clara e sequencial que encaminha o leitor a questão que os autores se propuseram a contribuir ou resolver?	1	0,9
4. Os objetivos são claros?	1	0,9
5. A metodologia está de acordo com os objetivos e possui replicabilidade?	1	0,9
6. Os resultados são relevantes e foram analisados de forma correta?	1	0,9
7. A discussão reflete os resultados encontrados?	1	0,9
8. A bibliografia é relevante, coerente e atual?	1	0,9
9. A apresentação oral foi clara e coerente com o trabalho escrito?	1	0,9
10. Na arguição, o(a) aluno(a) demonstrou segurança e capacidade de explicação do trabalho?	1	0,9
Pontuação final (soma)		8,9
Assinatura do(a) Avaliador(a) *		
 <p>Documento assinado digitalmente ANA PAULA NERES KRAEMER Data: 27/02/2025 15:17:17-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br</p>		
* Cada avaliador(a) deverá ter no mínimo especialização <i>latu sensu</i> . Este documento deverá ser assinado à mão, via Gov.br ou SUAP e entregue à coordenação de TC		

ATA DE APRESENTAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO

Às 13:49 horas do dia 27 de fevereiro de 2025, reuniu-se

Por vídeo conferência

Presencialmente na sala nº _____ do Prédio _____ do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí

a Banca Examinadora do Trabalho de Curso intitulado “Sensibilidade e Classificação de isolados de *Trichoderma* spp. com base em estresse salino e sorbitol” composta pelos avaliadores

1 Milton Luiz da Paz Lima

2 Melina Korres Raimundi

3 Ana Paula Neres Kraemer

4 (suplente, quando necessário) _____

para a sessão de defesa pública do citado trabalho, requisito parcial para a obtenção do Grau de **Licenciado/a em Ciências Biológicas**. O(A) Presidente da Banca Examinadora, Prof.(a) **Milton Luiz da Paz Lima**, passou a palavra ao licenciando (a) **Nárreda de Lima Fonsêca** para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos membros da Banca Examinadora e respectiva defesa do licenciando(a). Logo após a Banca Examinadora se reuniu, sem a presença do(a) licenciado(a) e do público, para expedição do resultado final. A Banca Examinadora considerou que o(a) discente foi:

APROVADO

NÃO APROVADO

por unanimidade, tendo sido atribuído a nota (9,23) ao seu trabalho. O resultado foi então comunicado publicamente ao(a) licenciando(a) pelo Presidente da Banca Examinadora. Nada mais havendo a tratar, o Presidente da Banca Examinadora deu por encerrada a defesa.

 Documento assinado digitalmente
MILTON LUIZ DA PAZ LIMA
Data: 27/02/2025 15:05:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

 Documento assinado digitalmente
MELINA KORRES RAIMUNDI
Data: 27/02/2025 15:31:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

 Documento assinado digitalmente
ANA PAULA NERES KRAEMER
Data: 27/02/2025 15:20:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura dos membros da Banca Examinadora	Notas
1. Milton Luiz da Paz Lima	10,0
2. Melina Korres Raimundi	8,8
3. Ana Paula Neres Kraemer	8,9
Média final:	9,23

Urutaí-GO, 27 de fevereiro de 2025

Após a defesa, reunir as Fichas de Avaliação e a Ata, assinadas (à mão, Gov.br ou SUAP), e encaminhar uma cópia digital à coordenação de TC. O orientador também deverá ter uma cópia digital. Em caso de documentos físicos, entregar os originais à coordenação de TC.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, pelo apoio, incentivo e suporte em todos os momentos, desde o início da graduação.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Milton Luiz da Paz Lima por sua orientação, paciência e por compartilhar seus conhecimentos.

Aos meus amigos e colegas de curso, em especial a Ana Heloiza, pelo companheirismo durante todo o curso, pelas discussões enriquecedoras e pelo apoio mútuo.

Agradeço também a equipe do laboratório de fitopatologia pelo auxílio na realização dos experimentos.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à minha instituição de ensino IF Goiano Campus Urutaí, aos membros do laboratório de Fitopatologia e CEBIO, e aos professores que participaram da minha jornada no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas e contribuíram para minha formação acadêmica e profissional.

A todos vocês, o meu muito obrigada!

"Nada na vida deve ser temido, apenas compreendido. Agora é hora de compreender mais para temer menos."

- Marie Curie

RESUMO

FONSECA, N. L. Sensibilidade e classificação de isolados de *Trichoderma* spp. com base em estresse salino e sorbitol. Trabalho de Conclusão de Curso, 39 p. 2025.

Resumo – As espécies de *Trichoderma* spp. desempenham um papel crucial na agricultura e na ecologia do solo, atuando no controle biológico, estimulando o crescimento vegetal e contribuindo para a biodegradação de poluentes. Este estudo avaliou a sensibilidade e classificação de isolados de *Trichoderma* spp. sob estresse salino e osmótico. Foram analisados 23 isolados de diferentes regiões (GO, DF e PR), cultivados em meio batata-dextrose-ágar (BDA) suplementado com NaCl e sorbitol. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com dois fatores: isolados (23 tratamentos) e tipo de estresse (três tratamentos), totalizando 138 unidades experimentais, considerando que foi realizada duas repetições por tratamento. O diâmetro de colônia (mm) foi avaliado diariamente por sete dias, permitindo o cálculo da área abaixo da curva de crescimento micelial (AACPCM) e da taxa de crescimento micelial (TCM, mm dia⁻¹). Os resultados mostraram variações significativas entre os isolados, refletindo a diversidade genética e fisiológica da espécie. Isolados como IF84 e IF42 apresentaram rápido crescimento sob os tipos de estresse, apresentando-se como potencial biotecnológico para controle biológico em condições de salinidade e estresse osmótico, enquanto IF136a e IF136b cresceram menos, podendo ser explorados em interações simbióticas. O crescimento foi reduzido nos meios suplementados com NaCl e sorbitol em comparação ao controle, mas sem diferenças significativas entre os tipos de estresse. Os resultados reforçam o potencial de seleção de linhagens específicas para manejo biológico em condições adversas, reforçando a aplicabilidade de *Trichoderma* spp. em estratégias sustentáveis.

Palavras-chave – controle biológico, agricultura, sustentabilidade, antagonismo.

ABSTRACT

FONSECA, N. L. Sensitivity and classification of *Trichoderma* spp. isolates based on salt stress and sorbitol. *Finnal Work*, 39 p. 2025.

Abstract: *Trichoderma* spp. species play a crucial role in agriculture and soil ecology, acting in biological control, stimulating plant growth and contributing to the biodegradation of pollutants. This study evaluated the sensitivity and classification of *Trichoderma* spp. isolates under salt and osmotic stress. A total of 23 isolates from different regions (GO, DF and PR) were analyzed, cultivated in potato-dextrose-agar (BDA) medium supplemented with NaCl and sorbitol. The experiment was conducted in a completely randomized design, with two factors: isolated (23 treatments) and type of stress (three treatments), totaling 138 experimental units, considering that two replications were performed per treatment. Colony diameter (mm) was evaluated daily for seven days, allowing the calculation of the area under the mycelial growth curve (AACPCM) and mycelial growth rate (MCT, mm day⁻¹). The results showed significant variations among the isolates, reflecting the genetic and physiological diversity of the species. Isolates such as IF84 and IF42 showed rapid growth under the stress types, presenting themselves as biotechnological potential for biological control under conditions of salinity and osmotic stress, while IF136a and IF136b grew less, and can be explored in symbiotic interactions. Growth was reduced in the media supplemented with NaCl and sorbitol compared to the control, but without significant differences between the types of stress. The results reinforce the potential for selecting specific lines for biological management under adverse conditions, reinforcing the applicability of *Trichoderma* spp. in sustainable strategies.

Keywords – Biological control, agriculture, sustainability, antagonism.

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	12
ÍNDICE DE FIGURAS	14
ÍNDICE DE TABELAS	14
INTRODUÇÃO	16
REVISÃO DE LITERATURA	17
Controle biológico	17
O gênero <i>Trichoderma</i> spp.....	19
A importância de selecionar isolados de <i>Trichoderma</i> insensíveis a estresses <i>in vitro</i> .	21
MATERIAL E MÉTODOS.....	24
RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Infográfico representando o controle biológico versus o controle químico	19
Figura 2. Infográfico representando os impactos que <i>Trichoderma</i> pode trazer para a agricultura.....	21
Figura 3. Infográfico representando a seleção de isolados resistentes ao estresse e suas causas	24
Figura 4. Mapa da distribuição dos isolados em diferentes locais do Brasil.	26
Figura 5. Representação dos isolados de <i>Trichoderma</i> spp. com maiores atividades fisiológicas. A. isolados com maior e menor área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) no experimento, B. Curva de progresso do diâmetro de colônia (mm) dos isolados com maior e menor AACPCM em diferentes dias de avaliação. .	35
Figura 6. Área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) em função do tipo de estresse para todos os isolados testados.	36
Figura 7. Biplot contendo scores médios de 23 isolados submetido a nove variáveis explicativas no tipo de estresse BDA (A), estresse NaCl (B) e estresse sorbitol (C) e D. todos os anteriores (D). Crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia ⁻¹) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM); B. Crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia ⁻¹) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM); C. Crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia ⁻¹) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM); D. Crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia ⁻¹) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM).....	37
Figura 8. Análise de agrupamento com base na distância Euclidiana entre 23 isolados sob efeito do tipo de estresse BDA (A), estresse de NaCl (B), estresse de sorbitol (C) e todos os tipos simultaneamente (D). A. agrupados sob a influência do crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia ⁻¹) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM); B. agrupados sob a influência do crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia ⁻¹) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM); C. agrupados sob a influência do crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia ⁻¹) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM); D. agrupados sob a influência do crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia ⁻¹) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM).	38

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Listagem de isolados de <i>Trichoderma</i> spp. utilizados para avaliação do comportamento in vitro quanto a diferentes estresses*.....	25
Tabela 2. Valor F dos fatores isolado, tipo de estresse e interação isolado tipo de estresse e isolado, nos diferentes dias após a inoculação (DAI), área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) e taxa de crescimento micelial (TCM)	33

Tabela 3. Médias do diâmetro da colônia (mm) em diferentes dias de avaliação, área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) e taxa de crescimento micelial (TCM) de diferentes isolados de <i>Trichoderma</i> spp. *	34
Tabela 4. Médias do diâmetro da colônia (mm) em diferentes dias de avaliação, área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) e taxa de crescimento micelial (TCM) de diferentes tipos de estresses avaliados sobre o crescimento de isolados de <i>Trichoderma</i> spp. *	35
Tabela 5. Contraste da área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial entre o fator isolado x fator tipo de estresse*	36

INTRODUÇÃO

Em meio a medidas de controle de doenças vegetais, no mercado existem várias opções de agentes para o controle, como fungicidas químicos e microrganismos. Em culturas lucrativas, os fungicidas químicos podem parecer mais favorável, mesmo nessas culturas, o controle biológico de fitopatógenos oferece várias vantagens quando comparado ao uso de fungicidas químicos (Louzada *et al.*, 2009).

O controle biológico de doenças vegetais surgiu como uma área promissora na fitopatologia. Esses métodos são mais econômicos, viáveis e ecologicamente seguros, sendo, portanto, alternativas sustentáveis que minimizam a dependência de pesticidas sintéticos (Ele *et al.*, 2021). Os microrganismos podem, ainda, promover o crescimento das plantas e aumentar sua tolerância do organismo vegetal ao ataque de patógenos, representando uma solução estratégica para melhorar a produção agrícola (Bernardo *et al.*, 2019).

Os fungos do gênero *Trichoderma*, como agentes de biocontrole de fitopatógenos, estão entre os mais estudados e utilizados mundialmente (Isaias *et al.*, 2014). Esses microrganismos interagem não apenas no solo como nas superfícies radiculares e no interior dos tecidos vegetais e apresentam atividade antagônica contra fungos patogênicos em plantas (Isaias *et al.*, 2014).

Há vários estudos focados nos compostos orgânicos voláteis (COVs) de *Trichoderma* spp. no crescimento de plantas e no controle de fitopatógenos (Lee *et al.*, 2016). Vários desses COVs produzidos por *Trichoderma* spp. podem inibir o crescimento de fitopatógenos filamentosos, como fungos e oomicetos por apresentarem toxicidade (Jiménez-Bremont *et al.*, 2024).

Isaias *et al.* (2014) afirmam que linhagens dessas espécies fúngicas agem na ativação e aumento de mecanismos de defesa da planta e na regulação do crescimento vegetal, atuando também na interação entre microrganismos no ambiente.

Em regiões do Brasil com déficit hídrico, a irrigação é essencial para o desenvolvimento das culturas (Mattos Junior *et al.*, 2005). No entanto, a água de irrigação pode apresentar diferentes níveis de salinidade, o que impacta negativamente a produção (Costa *et al.*, 2013).

Isolados benéficos de *Trichoderma* spp. são eficazes como controle biológico por apresentar alto potencial reprodutivo, resistência a ambientes com estresses abióticos, eficiência na utilização de nutrientes, capacidade de alterar a rizosfera, agressividade contra fungos fitopatogênicos e favorecem o crescimento das plantas, além de aumentar seus mecanismos de defesa (Kumar *et al.*, 2023).

Além disso, o estresse salino, um importante fator abiótico que limita o crescimento de plantas não halófitas, requer a triagem de isolados tolerantes à salinidade em diferentes concentrações de NaCl em condições de laboratório antes de sua aplicação nos campos (Kumar, 2017).

Este estudo tem como objetivo investigar a sensibilidade e classificação de isolados do gênero *Trichoderma* em relação a condições de estresse salino e à presença de sorbitol. Considerando os fatores ambientais aos quais as plantas e os microrganismos de controle biológico estão expostos no campo, buscaremos compreender como esses isolados respondem a diferentes concentrações de NaCl e sorbitol em condições de laboratório.

REVISÃO DE LITERATURA

Controle biológico

A agricultura sustentável é necessária para a segurança alimentar global, garantindo uma dieta equilibrada, além de gerar empregos no setor e aumentar o crescimento econômico (Egamberdieva *et al.*, 2023). No entanto, diversos fatores, como mudanças climáticas, degradação do solo, escassez de água e incidência de pragas e doenças, têm contribuído para a redução da produtividade agrícola em várias regiões do mundo (Egamberdieva *et al.*, 2023).

Na agricultura as plantas cultivadas são exploradas por fitopatógenos em todos os seus estágios de desenvolvimentos, ocasionando perdas de colheitas devido a doenças causadas por esses organismos (Mishra & Arora, 2018). Diferentes métodos já foram criados e usados para controlar fitopatógenos ao longo dos anos, no entanto o controle químico que é constituído de produtos sintéticos tem fornecido proteção aos cultivos, devido à sua eficácia imediata e fácil aplicação controlando uma infinidade de pragas, e se tornando populares (Mishra & Arora, 2018)

O uso extensivo de agrotóxicos, como fungicidas, herbicidas e inseticidas, tem sido uma prática comum na agricultura. Embora esses produtos químicos possam oferecer proteção imediata às plantas cultivadas e seu uso seja predominante sobre outros meios de controle, o uso desses produtos sintéticos no manejo de doenças de plantas tem diminuído devido às crescentes preocupações sobre riscos devido a resíduos no meio ambiente e alimentos (Palmieri *et al.*, 2022)

Campanhola *et al.* (1998), infere que o uso intensivo de agrotóxicos acarreta uma maior dependência desses produtos, em decorrência dos desequilíbrios biológicos que são provocados os quais eliminam os inimigos naturais das pragas e doenças que afetam tanto plantas quanto

animais favorecendo a reincidência de altas populações das pragas e patógenos (ressurgência), assim como o aparecimento de novas pragas que estavam sob controle natural.

Para manter a qualidade e aumentar a produtividade agrícola, são empregadas diversas técnicas, incluindo melhoramento genético e transgenia. No entanto, mesmo com essas abordagens, surgem desafios relacionados ao aumento de pragas e doenças nas lavouras. Para mitigar esses problemas e minimizar os impactos na saúde humana e no meio ambiente em decorrência do uso indevido e excessivo desses pesticidas e fertilizantes químicos os biofertilizantes e biocontroles ganharam relevância nas indústrias agrícolas (Elnahal *et al.*, 2022).

O controle biológico é uma solução econômica, ecológica e que oferece proteção a longo prazo para as culturas que sofrem com estresse no campo (Jaiswal *et al.*, 2022). É uma abordagem extremamente favorável ao controle da doença, protege a ecologia (Fig. 1) do ambiente sem perturbar a flora e a fauna, e também aumenta a fertilidade do solo (Tariq *et al.*, 2020).

Os princípios do controle biológico se baseiam na relação antagônica entre microrganismos, como: predação, competição, amensalismo e parasitismo (Grigoletti Júnior *et al.*, 2000). O controle biológico ocorre em qualquer ecossistema naturalmente sem a necessidade da ação humana. Por sua vez, o homem pode interferir, manipular e facilitar a ação do agente de controle biológico (Fig. 1) (Fontes e Valadares, 2020).

Muitos agentes de controle biológico microbiano (MBCAs) de ocorrência natural têm sido usados para controlar doenças nas superfícies aéreas das plantas. As espécies bacterianas mais comuns que têm sido usadas incluem *Pseudomonas syringae*; *P. fluorescens*, *P. cepacia*, *Erwinia herbicola* e *Bacillus subtilis*, já os gêneros de fungos que têm sido utilizados incluem *Trichoderma*, *Ampelomyces* e as leveduras *Tilletiopsis* e *Sporobolomyces* (Fig. 1) (Kumar e Purohit, 2020).

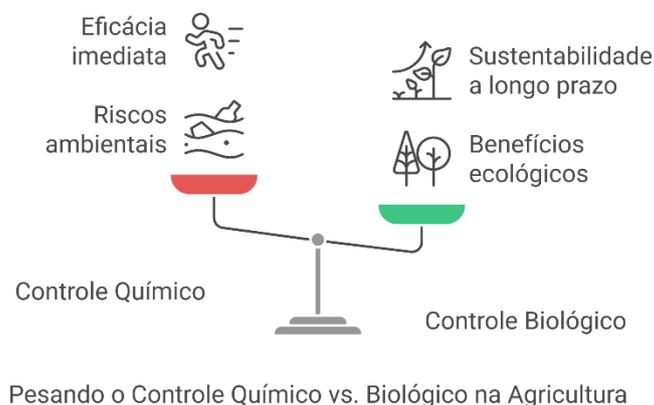


Figura 1. Infográfico representando o controle biológico *versus* o controle químico

Fonte: Confeccionado pela autora no Napikin

O gênero *Trichoderma* spp.

Trichoderma é um gênero de fungos filamentosos pertencentes ao Reino Fungi, incluídos na família Hypocreaceae, ordem Hypocreales, classe Sordariomycetes e divisão Ascomycota (Adnan *et al.*, 2019). Indivíduos desse gênero possui plasticidade genética, o que lhe confere versatilidade em ocupar diferentes habitats o que permite sua sobrevivência em diversas localidades e condições diferentes (Benítez *et al.*, 2004; Druzhinina *et al.*, 2012; Zeilinger *et al.*, 2016).

De acordo com Poveda *et al.* (2024), *Trichoderma* possui a capacidade de crescer rapidamente em vários substratos, beneficiando-se de sua alta adaptabilidade, tolerância a compostos químicos e habilidade para mobilizar nutrientes. Esses fungos são frequentemente encontrados como saprófitas na rizosfera, mas também podem atuar como endófitos em plantas, patógenos de cogumelos cultivados, outros fungos e possivelmente nematóides (Druzhinina e Kubicek, 2013).

O gênero *Trichoderma* apresenta características distintivas, como rápido crescimento em meio de cultura; formação de estruturas compactas, dispersas, flocosas ou em tufos; variabilidade no tamanho e formato dos conídios; presença ocasional de clamidósporos; e uma coloração dos conídios que varia de verde a amarelo, ou mesmo incolor (Samuels, 1996). Os conidióforos são bem definidos e os conídios se formam nas extremidades fiálicas de hifas diferenciadas, frequentemente tendendo à agregação em massa (Samuels, 1996). Esta taxa de crescimento geralmente supera a de outros microrganismos do solo, permitindo que *Trichoderma* compita eficazmente por espaço e recursos na rizosfera (Poveda *et al.*, 2024).

Além disso, *Trichoderma* spp. são reconhecidos por promover o crescimento de plantas em solos de rizosfera, desempenhando um papel crucial na proteção das plantas contra doenças transmitidas pelo solo e promovendo o desenvolvimento geral das plantas (Asghar *et al.*, 2024). Esses fungos são capazes de induzir defesas locais e sistêmicas nas plantas associadas, através do reconhecimento de padrões moleculares associados a microrganismos (MAMPs) ou pelo uso de metabólitos voláteis (Lee *et al.*, 2016). Por meio dessas estratégias, *Trichoderma* pode antagonizar indiretamente fitopatógenos (Poveda *et al.*, 2024).

Os fungos deste gênero produzem uma variedade de metabólitos secundários que facilitam suas interações com plantas e outros microrganismos. Compostos como harzianolides, peptaibols e vários compostos voláteis, são relatados como tendo potencial antifúngico, além de promoverem o crescimento de plantas, resultando em aumento da resistência das plantas ao ataque de patógenos (Khan *et al.*, 2020).

Na agricultura, *Trichoderma* é amplamente utilizado como agente de biocontrole devido à sua eficácia no manejo de várias doenças de plantas de difícil controle (Meyer *et al.*, 2019). Esses fungos podem induzir uma combinação de mecanismos antagônicos, tais como a antibiose que envolve a produção de metabólitos secundários com atividade antifúngica, micoparasitismo com a produção de enzimas degradadoras da parede celular de patógenos vegetais, devido à competição por nutrientes ou espaço e induzir resistência em plantas através da produção e secreção de moléculas elicitoras que estimulam as defesas das plantas contra patógenos (Gomes *et al.*, 2015).

Meyer *et al.* (2019) descrevem que os fungos, incluindo *Trichoderma*, absorvem nutrientes por meio de suas hifas. Para acessar os nutrientes contidos dentro das células de outros organismos, é necessário que os substratos de alto peso molecular sejam hidrolisados em moléculas menores, um processo facilitado pela liberação de enzimas extracelulares. Os autores também destacam que a diversidade e quantidade dessas enzimas conferem aos fungos uma vantagem significativa, permitindo que prosperem em ambientes com diferentes condições.

O controle biológico à base de *Trichoderma* spp têm inúmeras aplicações na agricultura. As espécies mais usadas como agentes de biocontrole são *Trichoderma virens*, *Trichoderma viride* e *Trichoderma harzianum* (Zin & Badaluddin, 2020). Dentre esses, por possuir naturalmente supressão de doenças de plantas, *T. harzianum* é o nome mais frequente usado em práticas agrícolas relacionadas a *Trichoderma* spp. (Zin & Badaluddin, 2020). No Brasil, os biofungicidas a base de *Trichoderma* com registro no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento são *Trichoderma harzianum*, *T. asperellum*, *T. stromaticum*, *T. koningiopsis* (AGROFIT, 2022).

Apesar do gênero ser um potencial biocontrole, algumas espécies podem trazer prejuízos para a área da agricultura e também na saúde. Alguns estudos mostram que *Trichoderma* spp. pode causar a doença de mofo verde em cultivos de cogumelos (Hatvani *et al.*, 2017 ; Mazin *et al.*, 2018 ; Aydoğdu *et al.*, 2020, Sánchez-Montesinos *et al.*, 2021). Além disso 30-80% da morte de mudas de pinheiros foi ocasionada por *T. viride* (Li Destri Nicosia *et al.*, 2015) que é também o agente causador da podridão do mofo verde da cebola (Sandle, 2014; Qiao *et al.*, 2018; Szczech *et al.*, 2008). Há relatos sobre uma nova doença causada por *T. afroharzianum* de podridão da espiga no milho (Fig. 2) (Pfordt *et al.*, 2020).

Já na saúde humana *Trichoderma* spp. pode prejudicar na contaminação de alimentos através da produção de micotoxinas que pode ocasionar vômitos e gastroenterite (Yang *et al.*, 2017) e também se mostrando como patógenos, podendo causar doenças como sinusite, infecções de pele e fígado, pneumonia e estomatite (Ram e Singh, 2018) e também doenças emergentes em pacientes imunocomprometidos (Fig. 2) (Muñoz *et al.*, 1997; Sautour *et al.*, 2018).

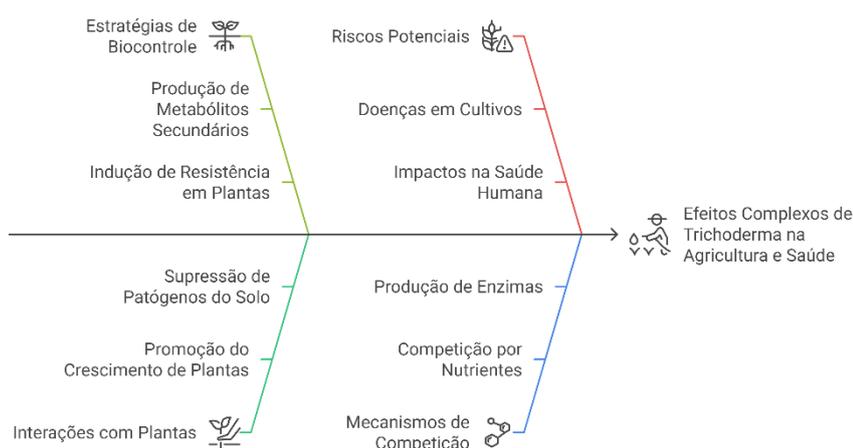


Figura 2. Infográfico representando os impactos que *Trichoderma* pode trazer para a agricultura.

Fonte: Confeccionado pela autora no Napikin .

A importância de selecionar isolados de *Trichoderma* insensíveis a estresses *in vitro*

A exposição a estresses abióticos, como salinidade e estresse osmótico, é uma preocupação crescente para a agricultura, já que muitos solos estão ficando salinos ou enfrentando escassez de água devido às mudanças climáticas (Zhang *et al.*, 2010).

O estresse salino limita o crescimento de plantas não halófitas. Esse tipo de estresse resulta, principalmente, do acúmulo de sais solúveis nas terras cultiváveis (Santoyo *et al.*, 2024).

As causas da salinização dos solos são diversas e incluem tanto processos naturais, como o intemperismo das rochas, quanto fatores antrópicos, como práticas de irrigação, uso de fertilizantes e minerais e drenagem deficiente (Mohanavelu *et al.*, 2021). O excesso de sal provoca estresse osmótico e desregulação do equilíbrio hídrico celular, além de comprometer a absorção de nutrientes essenciais e, em concentrações elevadas, pode tornar-se tóxico para as plantas (Santoyo *et al.*, 2024).

Para combater os efeitos do estresse salino, o desenvolvimento de variedades tolerantes pode ser realizado tanto por meio do melhoramento genético tradicional, que exige um longo período para obtenção de resultados, quanto por técnicas moleculares avançadas, que apresenta custos elevados (Ikram *et al.*, 2019).

Além das estratégias genéticas, as interações entre plantas e microrganismos desempenham um papel fundamental na adaptação ao estresse salino, pois as comunidades microbianas que se associam às raízes promovem o crescimento vegetal e a manutenção da saúde das plantas (Santoyo *et al.*, 2024).

Entre os microrganismos benéficos as plantas o *Trichoderma* se destaca. Algumas espécies de *Trichoderma* demonstram eficiência no aumento da produtividade em condições de seca ou salinidade, resultado que está associado à redução do estresse oxidativo e à regulação da expressão de genes hormonais relacionados ao estresse abiótico nas plantas (Poveda, 2020).

Trichoderma spp. é um dos fungos micorrízicos mais estudados e utilizados devido à sua capacidade de combater uma variedade de patógenos fúngicos e bacterianos. Eles são eficazes no controle biológico devido a diversos mecanismos, como competição por nutrientes, produção de enzimas hidrolíticas e antibióticos, e indução de resistência nas plantas (Harman *et al.*, 2004; Monte *et al.*, 2014). Contudo, para garantir que *Trichoderma* seja eficiente no campo, ele precisa ser adaptável a condições ambientais adversas.

A seleção de isolados de *Trichoderma* insensíveis a estresses ambientais é uma estratégia fundamental para melhorar a eficácia dos biocontrole de patógenos e para o desenvolvimento de novos produtos biotecnológicos. *Trichoderma spp.* são amplamente utilizados em programas de manejo biológico devido à sua capacidade de parasitar patógenos, promover o crescimento das plantas e degradar contaminantes ambientais. No entanto, para que esses isolados sejam eficazes em condições agrícolas reais, é essencial que eles possam tolerar

uma ampla gama de estresses bióticos e abióticos, como salinidade, escassez de água, temperaturas extremas e outros estresses ambientais (Shoresh *et al.*, 2010; Vinale *et al.*, 2014).

A tolerância ao estresse salino e osmótico tem sido amplamente estudada em diversas espécies de *Trichoderma*. De acordo com uma pesquisa de Kaur *et al.* (2016), isolados de *Trichoderma* que apresentaram alta tolerância à salinidade e a condições osmóticas mostraram maior eficiência em ambientes agrícolas adversos, indicando que esses isolados são mais promissores para uso em biocontrole em solos com alta salinidade.

A seleção de isolados de *Trichoderma* que demonstram insensibilidade a estresses *in vitro* é crucial para melhorar o desempenho do fungo em condições de campo. Segundo Harman *et al.* (2013), isolados com resistência a estresses físicos e químicos possuem maior probabilidade de sobreviver em condições de campo, onde o estresse ambiental pode comprometer a eficácia do controle biológico.

Além disso, a capacidade de *Trichoderma* em tolerar salinidade e outros estresses os torna candidatos ideais para a biorremediação de solos contaminados ou para o controle de doenças em ambientes com condições subótimas. A identificação e a caracterização desses isolados podem ser realizadas por meio de ensaios de crescimento em diferentes concentrações de sal, pH e osmolitos, como o sorbitol, que induz estresse osmótico (Shoresh *et al.*, 2010).

A seleção de isolados resistentes a estresses envolve a realização de testes de estresse *in vitro*, onde diferentes concentrações de NaCl, sorbitol, ou outras substâncias são aplicadas para avaliar a capacidade de crescimento do fungo. Isolados que mantêm seu crescimento em condições adversas são mais propensos a serem eficientes em biocontrole em campo (Mukherjee *et al.*, 2013).

De acordo com uma revisão de Sood *et al.* (2015), a pesquisa sobre tolerância a estresses em *Trichoderma* também envolve a análise da expressão gênica em resposta a esses estresses. Estudos de transcriptoma e proteoma têm sido utilizados para entender como *Trichoderma* responde ao estresse e para identificar genes associados à resistência, o que pode permitir a seleção de isolados com características desejáveis (Fig. 3).

A escolha de isolados com alta tolerância a estresses abióticos amplia as possibilidades de aplicação de *Trichoderma* em áreas com diferentes desafios ambientais. Além disso, a resistência a estresses pode aumentar a estabilidade e a longevidade dos produtos comerciais à base de *Trichoderma*, facilitando sua aplicação em sistemas agrícolas sustentáveis. Como afirmado por Harman *et al.* (2004), a pesquisa de novos isolados de *Trichoderma* e sua adaptação a condições estressantes são essenciais para garantir que esses organismos possam ser usados de forma eficaz em diferentes cenários agrícolas (Fig. 3).

A seleção de isolados de *Trichoderma* insensíveis a estresses abióticos é uma estratégia crucial para garantir o sucesso de programas de biocontrole e biorremediação. A resistência a estresses como salinidade e estresse osmótico permite que esses fungos sejam aplicados em uma gama mais ampla de ambientes agrícolas, incluindo aqueles que enfrentam condições adversas. A pesquisa contínua sobre a tolerância de *Trichoderma* a estresses ambientais, juntamente com a seleção de linhagens específicas, promete melhorar a eficácia e a sustentabilidade das práticas agrícolas biológicas (Fig. 3).

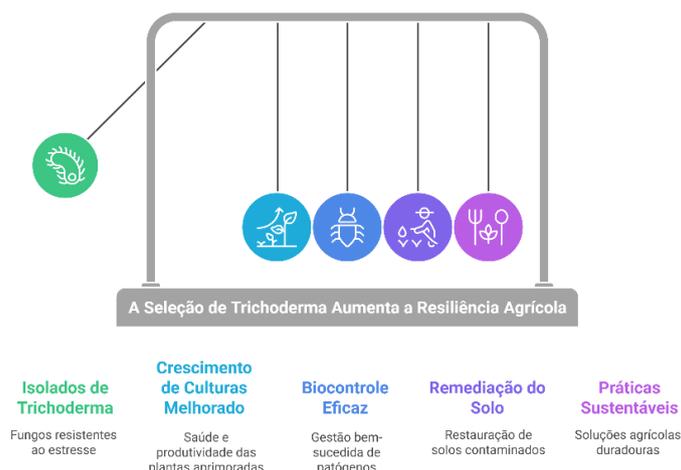


Figura 3. Infográfico representando a seleção de isolados resistentes ao estresse e suas causas

Fonte: Confeccionado pela autora no Napikin

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado a partir de 23 isolados de *Trichoderma* spp. oriundos de diferentes hospedeiros como hospedeiro desconhecido (quatro isolados), soja tiguera (nove isolados), soja campo (um isolado), morango (um isolado), feijão (dois isolados), capim-massambará (dois isolados), pupunha (1 isolado), abiu (dois isolados) e gomphrena (um isolado) (Tab. 1).

Foram identificados, a nível de espécie, duas linhagens de *Trichoderma asperellum*, enquanto os demais isolados foram classificados apenas a nível de gênero (Tab. 1).

Os isolados foram encontrados de amostras provenientes das cidades de Brasília, DF (um isolado); Catalão, GO (um isolado); Cristalina, GO (um isolado); Luziânia, GO (cinco isolados); Paranaguá, PR (dois isolados); Silvânia, GO (três isolados); Edéia, GO (dois isolados); e Urutaí, GO (oito isolados) (Tab. 1; Fig. 4).

Com o auxílio de uma agulha flambada, transferiram-se propágulos dos fungos para o centro de uma placa de Petri contendo meio batata-dextrose-ágar (BDA). Essa cultura foi

utilizada para a produção de matrizes, das quais foram retirados discos de micélio de nove mm de diâmetro, provenientes de culturas com 7 a 10 dias de incubação. As matrizes foram incubadas à temperatura de 25 °C sob fotoperíodo de 12 horas de luz e escuro.

O experimento foi conduzido em um delineamento casualizado, utilizando um fatorial composto por dois fatores. O fator 1 corresponde aos tipos de isolados, que foram repetidos em placas de Petri duas vezes. A testemunha foi composta apenas pelo meio de cultivo batata-dextrose-ágar (BDA). O fator 2, denominado tipo de estresse, foi representado pelos tratamentos: meio de cultura BDA, meio de cultura BDA+sorbitol e meio de cultura BDA+NaCl, também repetidos duas vezes.

Tabela 1. Listagem de isolados de *Trichoderma* spp. utilizados para avaliação do comportamento in vitro quanto a diferentes estresses*.

Ord.	Código do isolado	Hospedeiros ou origem	Táxon identificado	Cidade de origem	Bateria	Latitude	Longitude
1	IF 304	Abiu	<i>Trichoderma</i> sp.	Paranaguá, Pr	1	25° 31' 12" S	48° 30' 32" O
2	IF 302	Desconhecido	<i>Trichoderma</i> sp.	Urutai, GO	1	17° 28' 40" S	48° 13' 00" O
3	IF 299	Soja tiguera 3.1.	<i>Trichoderma</i> sp.	Luziânia, GO	1	16° 15' 10" S	47° 57' 10" O
4	IF 300	Soja tiguera 3.2.	<i>Trichoderma</i> sp.	Luziânia, GO	1	16° 15' 20" S	47° 57' 20" O
5	IF 303	Desconhecido - Marciel	<i>Trichoderma asperellum</i>	Edéia, GO	1	17° 20' 30" S	49° 56' 00" O
6	IF 305	Soja Tig C6A1	<i>Trichoderma</i> sp.	Silvânia, GO	1	16° 39' 32" S	48° 36' 28" O
7	IF 136	Feijão (SLV5) [IF 136]	<i>Trichoderma</i> sp.	Urutai GO	1	17° 27' 50" S	48° 12' 10" O
8	IF 121	Capim Massambará (SLV7) [IF 121]	<i>Trichoderma</i> sp.	Urutai GO	1	17° 28' 00" S	48° 12' 20" O
9	IF 304	Abiu	<i>Trichoderma</i> sp.	Paranaguá, Pr	2	25° 31' 22" S	48° 30' 42" O
10	IF 302	Desconhecido	<i>Trichoderma</i> sp.	Urutai, GO	2	17° 28' 50" S	48° 13' 10" O
11	IF 299	Soja tiguera 3.1.	<i>Trichoderma</i> sp.	Luziânia, GO	2	16° 15' 30" S	47° 57' 30" O
12	IF 300	Soja tiguera 3.2.	<i>Trichoderma</i> sp.	Luziânia, GO	2	16° 15' 40" S	47° 57' 40" O
13	IF 303	Desconhecido - Marciel	<i>Trichoderma asperellum</i>	Edéia, GO	2	17° 20' 20" S	49° 55' 51" O
14	IF 305	Soja Tig C6A1	<i>Trichoderma</i> sp.	Silvânia, GO	2	16° 39' 42" S	48° 36' 38" O
15	IF 136	Feijão (SLV5) [IF 136]	<i>Trichoderma</i> sp.	Urutai GO	2	17° 28' 10" S	48° 12' 30" O
16	IF 121	Capim Massambará (SLV7) [IF 121]	<i>Trichoderma</i> sp.	Urutai GO	2	17° 28' 20" S	48° 12' 40" O
17	IF 309	Soja Tig C5A3	<i>Trichoderma</i> sp.	Catalão, GO	3	18° 10' 12" S	47° 56' 31" O
18	IF 42	Morango [IF42]	<i>Trichoderma</i> sp.	Cristalina GO	3	16° 46' 08" S	47° 36' 50" O
19	IF 307	Soja Tig C6A3	<i>Trichoderma</i> sp.	Silvânia, GO	3	16° 39' 52" S	48° 36' 48" O
20	IF 84	Pupunha [IF84]	<i>Trichoderma</i> sp.	Urutai GO	3	17° 28' 30" S	48° 12' 50" O
21	IF 306	Gomphrena	<i>Trichoderma</i> sp.	Brasília, DF	3	15° 47' 38" S	47° 52' 58" O
22	IF 308	Soja Tig A1ST6	<i>Trichoderma</i> sp.	Urutai, GO	3	17° 29' 00" S	48° 13' 20" O
23	IF 310	Soja ST 3.5	<i>Trichoderma</i> sp.	Luziânia, GO	3	16° 15' 50" S	47° 57' 50" O

*A notação a e b refere-se a isolados que foram repetidos no experimento, no entanto, foram avaliados conjuntamente.

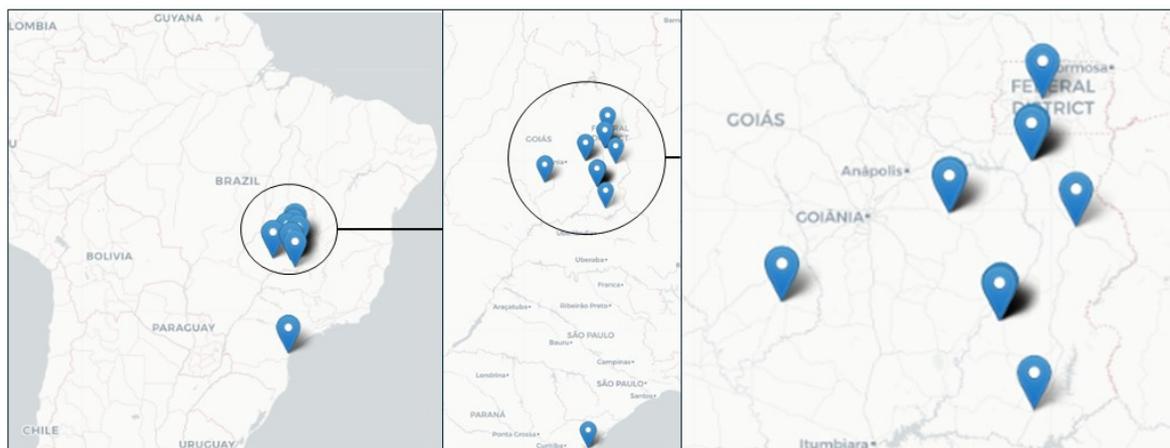


Figura 4. Mapa da distribuição dos isolados em diferentes locais do Brasil.

Nos tratamentos que receberam NaCl e sorbitol, foram adicionados ao meio não fundente (40 - 50 °C) as quantidades de 5 g e 18,2 g dos solutos, respectivamente, no meio de cultivo BDA com volume final de 500 mL. Em seguida, o meio de cultivo foi vertido em placas de Petri (20 mL) estéreis na câmara de fluxo laminar. As placas foram deixadas semiabertas dentro da câmara de fluxo para solidificação, e em seguida armazenadas na geladeira invertidas "overnight" para evitar a condensação de água. Todo o experimento foi realizado em condições assépticas dentro da câmara de fluxo laminar.

A partir de culturas matrizes monospóricas de isolados de *Trichoderma* spp. (Tab. 1) foram recortados discos de micélio de nove mm de diâmetro e transferidos para o centro de três placas de Petri contendo BDA, BDA+sorbitol e BDA+NaCl.

Após a inoculação dos isolados de *Trichoderma* spp., as placas foram devidamente identificadas, vedadas com filmes plásticos de PVC e colocadas para incubação na câmara de crescimento a 27 °C, e foto período de 12 horas de luz e 12 horas de escuro.

As avaliações foram realizadas medindo-se o diâmetro da colônia (mm) com uma régua, durante o período de sete dias. Os dados foram obtidos nos dias 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 após a inoculação (DAI) em diferentes tratamentos - como o fator 1 – tipos de isolados e fator 2 – tipos de estresses.

A partir da integralização das medidas do diâmetro da colônia no DAI, a variável independente X foi apresentada no DAI e Y como o diâmetro da colônia (subtraído do diâmetro do disco de micélio). Calculou-se a área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) integralizando a curva de progresso para cada dosagem e/ou isolado (diâmetro da colônia x DAI) (Shanner e Finney, 1977).

A taxa de crescimento micelial (TCM) foi calculada através da regressão linear, com o DAI como valor de X e o diâmetro da colônia como Y. O coeficiente angular foi obtido no Excel® (procedimento = inclinação (y;x)) correspondendo à taxa de crescimento dada em % de crescimento micelial (mm) dia⁻¹.

Os locais de obtenção dos isolados foram georreferenciados e convertidos de coordenadas em graus, minutos e segundos (GMS) para graus decimais (DD). Em seguida, os pontos foram plotados sobre o mapa geoespacial do Brasil para visualização das regiões de origem dos isolados, utilizando o pacote Leaflet (Cheng *et al.*, 2024).

As médias das variáveis foram submetidas a comparação quanto ao fator isolados (23 níveis). Posteriormente realizado o desdobramento dentro do fator tipo de estresse (BDA, NaCl e Sorbitol) (3 níveis) a fim de averiguar diferenças quanto ao crescimento micelial. Configurando um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial (23 níveis x 3 níveis) caracterizando após desdobramento das interações 69 níveis comparativos.

Os dados foram testados quanto às pressuposições para a aplicação da análise de variância (ANOVA). A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade de variâncias (homocedasticidade) foi verificada pelo teste de Bartlett. Devido a não adequação das pressuposições, foi empregado o teste de Scott-Knott ranqueado (semiparamétrico), implementados por meio do pacote ScottKnott no R (Jelihovschi *et al.*, 2014).

As áreas abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) em função do tipo de estresse foram representadas em gráficos de barras, proporcionando uma visualização mais clara do desempenho de cada tratamento, pacote (ggplot2) (Wickham, 2016).

Em seguida os dados foram testados quanto a sua adequação aos modelos de regressão linear, polinomial, exponencial de decaimento e logístico de crescimento para identificar o melhor ajuste, utilizando o critério de qualidade de ajuste do R², sendo por fim plotados em gráficos para melhor visualização do comportamento de diâmetro micelial – dias.

Em seguida foi realizada análise de componentes principais (PCA), para investigar padrões de variação nos dados dos vinte e três isolados que permitiram o acompanhamento do crescimento micelial. As variáveis resposta utilizadas foram crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia-1) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) para cada tipo de estresse utilizado e geral. Os resultados da PCA foram visualizados por meio de gráficos de dispersão, destacando padrões relevantes de agrupamento, foram utilizados os pacotes (ggplot2, ggfortify, ggrepel) (Wickham, 2016; Tang, 2016; Slowikowski, 2024).

Por fim foi aplicado uma análise de grupamentos (clusters), onde foi utilizado o crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia⁻¹) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) para cada tipo de estresse e geral para a construção de dendrogramas, adotou-se a distância Euclidiana para determinar as semelhanças pacote (ggplot2) (Wickham, 2016).

A AACPCM e TCM dos isolados e das diferentes dosagens e, a porcentagem de inibição do crescimento micelial foram submetidas ao teste de comparação de médias Skott-Knott, e teste não paramétrico seguido de teste de comparação de médias Tukey, ambos a $P \sim 0,05$. Foi realizado análise de variância das interações dos fatores e, quando rejeitada a hipótese de nulidade foi realizado teste de comparação de médias para identificação das diferenças das médias. Todas as análises foram realizadas no ambiente R de computação estatística versão 4.4.2 (R Core Team, 2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos sobre o crescimento micelial de diferentes isolados de *Trichoderma spp.* medidos em diferentes dias após a inoculação (DAI), valores de AACPCM (Área Abaixo da Curva de Progresso do Crescimento Micelial) e TCM (Taxa de Crescimento Micelial) (Tab. 3) permitiram uma análise quantitativa do desempenho dos isolados, sendo observado que estes apresentaram crescimento progressivo em diâmetro de colônia (mm) durante os 7 dias de avaliação. No primeiro dia, valores médios variaram de 19,7 mm (IF136a e IF136b) a 30,4 mm (IF84), evidenciando diferenças iniciais significativas no vigor de crescimento. Aos 7 dias, os isolados IF84 e IF42 apresentaram os maiores diâmetros finais, com 240,0 mm e 219,7 mm, respectivamente. Por outro lado, isolados como IF136a e IF136b demonstraram crescimento mais lento, indicando menor competitividade micelial em relação aos demais. As diferenças estatísticas significativas, indicadas pelas letras distintas em cada coluna, reforçam a heterogeneidade de desempenho entre os isolados.

No primeiro dia de incubação, os isolados que apresentaram os maiores diâmetros de colônia foram IF 84, IF 121A, IF 121B, IF 299A, IF 299B, IF 302A, IF 302B, IF 303A, IF 303B, IF 304A e IF 304B, diferenciando-se estatisticamente dos demais. Já os isolados com menor atividade fisiológica nesse período foram IF 13 e IF 136B (Tab. 3).

No segundo dia de incubação, todos os isolados tiveram crescimento estatisticamente semelhante, sem diferença significativa. Isso pode ser observado pelas letras indicadas na tabela, onde as médias não apresentaram variação estatística entre si (Tab. 3).

A partir do terceiro dia, os isolados IF 42, IF 84, IF 121A, IF 121B, IF 299A, IF 299B, IF 316, IF 317, IF 308, IF 319 e IF 310 apresentaram os maiores valores de crescimento fisiológico. Nos dias seguintes, as diferenças entre os isolados começaram a se acentuar, tornando-se mais evidentes a partir do quinto dia (Tab. 3).

No quarto dia, os isolados com maior atividade fisiológica foram IF 42, IF 84, IF 121A, IF 121B, IF 299A, IF 299B, IF 300A, IF 300B, IF 306, IF 307, IF 308, IF 309 e IF 310. Esse padrão foi mantido até o sexto dia, com os mesmos isolados apresentando os melhores desempenhos sob as diferentes condições de estresse aplicadas (Tab. 3).

Ao longo do experimento, os dados evidenciaram que, até o sétimo dia, não houve diferença significativa entre os diâmetros de colônia em relação aos estresses aplicados. Apesar das variações entre os isolados, os tratamentos não afetaram significativamente o crescimento micelial. A análise da área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) mostrou que os isolados IF 428, IF 412, IF 121A, IF 121B, IF 299A, IF 299B, IF 300A, IF 300B, IF 306, IF 307, IF 308, IF 309 e IF 310 apresentaram os maiores valores de crescimento ao longo do tempo (Tab. 3).

A Figura 5 apresenta os extremos de crescimento micelial. O isolado IF 84 obteve a maior atividade fisiológica, enquanto os isolados IF 302A e IF 302B registraram as menores médias de área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial.

Observou-se que, nos primeiros dias, a variabilidade no crescimento entre os isolados foi reduzida, enquanto nos dias finais houve uma maior diferença estatística entre os isolados avaliados. Esse resultado justifica a não avaliação do ensaio após o sétimo dia, uma vez que a alta taxa de crescimento do *Trichoderma* spp. resultou na ocupação total da superfície da placa de Petri (90 mm), inviabilizando medições posteriores.

Os valores superiores a 90 mm observados em alguns isolados são estimativas baseadas na modelagem matemática aplicada à taxa de crescimento micelial. Essa taxa foi determinada por regressão linear, relacionando o diâmetro da colônia (variável dependente Y) com os dias de avaliação (variável independente X).

A AACPCM é um parâmetro importante para avaliar o desempenho acumulado. Os isolados IF84 (831,44 mm²) e IF42 (732,33 mm²) destacaram-se, confirmando seu crescimento superior e contínuo. Em contrapartida, isolados como IF302a (565,51 mm²) e IF136b (608,11 mm²) apresentaram os menores valores, reforçando sua limitação em expansão micelial durante o período experimental.

A TCM apresentou valores semelhantes para a maioria dos isolados, variando de 0,03 mm/dia a 0,05 mm/dia. Apesar de não apresentar grandes variações, isolados com maior TCM,

como IF302b e IF305b (0,05 mm/dia), destacam-se pelo potencial de colonização mais rápido, embora não necessariamente resultem em maiores diâmetros finais.

O teste de normalidade de Shapiro mostrou que os dados atendem às condições para análise paramétrica. A homogeneidade das variâncias foi confirmada pelo teste de Bartlett, demonstrando consistência nas comparações. A ANOVA indicou diferenças significativas ($p < 0,05$) para todas as variáveis analisadas, enquanto o teste de Friedman corroborou os resultados, destacando as diferenças entre os tratamentos de forma robusta. Os testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Bartlett) indicaram adequação estatística dos dados para a maioria das análises, com coeficientes de variação (CV%) relativamente baixos, refletindo consistência dos resultados.

Os resultados apontam para diferenças marcantes entre os isolados de *Trichoderma* spp., evidenciando a diversidade genética e fisiológica da espécie. Isolados como IF84 e IF42 mostram grande potencial para aplicações biotecnológicas, incluindo controle biológico de patógenos de plantas, devido ao seu crescimento rápido e vigoroso.

Por outro lado, isolados com menor desempenho, como IF136a e IF136b, podem ser explorados em condições específicas que demandem menor agressividade micelial, como em interações simbióticas mais estáveis. A análise integrada dos parâmetros (diâmetro, AACPCM e TCM) reforça a importância de selecionar isolados adaptados às condições-alvo para maximizar a eficácia em aplicações práticas.

Sob as condições de estresse salino (BDA+NaCl) e osmótico (BDA+Sorbitol), os isolados demonstraram redução no crescimento comparado ao meio controle (BDA), no entanto, essa diferença entre os tratamentos não foi estatisticamente significativa. O estresse salino resultou em um crescimento médio de 194,7 mm no 7º DAI, enquanto o estresse osmótico apresentou 198,6 mm no mesmo período, sugerindo uma menor tolerância ao NaCl em relação ao Sorbitol. No entanto, a diferença entre os tratamentos não foi significativa para as variáveis AACPCM e TCM, indicando uma resposta semelhante entre os tipos de estresse (Tab. 4).

Nos primeiros dias após a inoculação (1º DAI e 2º DAI) o meio suplementado com sorbitol apresentou atividade fisiológica maior estatisticamente se comparado aos meios BDA e BDA+NaCl, não apresentando efeito inibitório e sim potencializador (Tab. 4)

A interação entre isolado e tipo de estresse apresentou efeito significativo para todas as variáveis analisadas ($p < 0,05$), evidenciando que a resposta ao estresse é dependente do isolado. O teste F revelou diferenças significativas no crescimento em todos os DAI, com destaque para os fatores isolado e estresse, além de sua interação (Tab. 2).

A tabela 2 apresenta a influência dos fatores isolados, tipo de estresse e a interação isolado \times tipo de estresse no crescimento micelial ao longo dos sete dias de avaliação (DAI), bem como na AACPCM e na TCM.

O fator isolado apresentou efeito significativo ($p < 0,01$) em todos os dias analisados, bem como para AACPCM e TCM, destacando que os diferentes isolados de *Trichoderma* spp. apresentam variações estatisticamente relevantes no crescimento micelial. Dessa forma, demonstra-se que o crescimento micelial depende diretamente da linhagem utilizada, sendo um fator determinante na competitividade dos isolados.

Por outro lado, o tipo de estresse influenciou no crescimento micelial apenas nos dois primeiros dias (1° DAI e 2° DAI, $p < 0,01$). A partir do 3° DAI até o 7° DAI, assim como para AACPCM e TCM, os valores F não foram significativos ($p > 0,05$), indicando que o impacto inicial do estresse não aumentou ao longo do tempo.

Já a interação de isolado \times tipo de estresse apresentou valores F significativos ($p < 0,01$) em todas as avaliações, evidenciando que a resposta dos isolados ao estresse variou de maneira significativa nas diferentes espécies de isolados.

A redução no crescimento em meios suplementados com NaCl e Sorbitol reforça que *Trichoderma* spp. apresenta sensibilidade a estresses abióticos, mas com variações entre isolados. Estudos prévios destacam que o acúmulo de solutos compatíveis pode ser uma estratégia utilizada por fungos para tolerar estresses osmóticos. Os isolados menos afetados pelo estresse osmótico (BDA+Sorbitol) podem ser candidatos para aplicação em solos salinos ou regiões áridas, dado seu desempenho superior comparado ao NaCl.

A análise estatística corroborou a robustez dos resultados, com diferenças significativas que destacam a importância de selecionar isolados específicos para condições ambientais adversas. Ademais, a avaliação do crescimento micelial por meio de AACPCM e TCM demonstrou ser eficaz para caracterizar a resposta diferencial dos isolados aos estresses testados.

Os resultados obtidos no presente trabalho, que evidenciaram a variabilidade entre os isolados de *Trichoderma* spp. em resposta a estresses osmóticos e salinos, estão alinhados com estudos anteriores que destacam a plasticidade adaptativa desse gênero.

Segundo Harman *et al.* (2004), *Trichoderma* spp. é conhecido por sua habilidade em se adaptar a diferentes condições ambientais, incluindo estresses abióticos, devido à sua capacidade de modular vias metabólicas relacionadas à homeostase osmótica e produção de metabólitos secundários. Esses mecanismos podem explicar as diferenças observadas entre os isolados testados neste estudo, especialmente na resposta ao Sorbitol e ao NaCl.

No contexto de estresse salino, trabalhos como o de Khan *et al.* (2011) evidenciam que altas concentrações de NaCl impactam negativamente o crescimento de fungos benéficos, incluindo *Trichoderma spp.*, devido ao aumento na osmolaridade do meio, o que dificulta a absorção de nutrientes e a manutenção da pressão de turgor. Neste estudo, a menor AACPCM e TCM nos meios suplementados com NaCl corroboram tais achados, sugerindo que esse estresse afeta diretamente o metabolismo basal dos isolados, mesmo em concentrações moderadas.

Por outro lado, a melhor performance de alguns isolados no meio suplementado com Sorbitol pode ser explicada pela menor toxicidade osmótica desse composto, como sugerido por Benítez *et al.* (2004). O Sorbitol é frequentemente usado como agente osmótico em experimentos para simular estresse hídrico, mas sem os efeitos deletérios adicionais causados por íons, como ocorre com o NaCl. Nesse contexto, os isolados IF 84 e IF 299b demonstraram maior tolerância, destacando seu potencial para aplicação em condições de estresse osmótico moderado.

Essa resposta dos isolados ao sorbitol pode ser melhor compreendida considerando as propriedades bioquímicas desse composto, encontradas na literatura. Diversos estudos apontam o sorbitol como um osmoprotetor (Frost *et al.*, 1995; Górká-Nieć *et al.*, 2010; Gucwa *et al.*, 2018; Jiménez-Arias *et al.*, 2021;) pois ele atua na estabilização de protoplastos de fungos (Frost *et al.*, 1995).

Além disso, esse composto é utilizado em estudos relacionados à arquitetura da parede fúngica e ao mecanismo de ação de antifúngicos (Frost *et al.*, 1995), sendo amplamente incorporado em meios de cultura específicos ao crescimento de mutantes com alterações estruturais na parede celular (Górká-Nieć *et al.*, 2010). No entanto, o cultivo em ambientes com alta osmolaridade, promovido pela presença de sorbitol, pode induzir estresse osmótico e provocar alterações significativas no metabolismo celular (Górká-Nieć *et al.*, 2010).

Diante disso, o melhor desempenho observado de certos isolados na presença de sorbitol pode indicar que, na concentração utilizada, o composto não está atuando como agente estressor, mas sim como osmoprotetor. Isso sugere que os efeitos benéficos apresentados não derivam de uma resposta adaptativa ao estresse, mas de uma resposta favorável do ambiente de cultivo fornecidas pelo sorbitol.

Considerando esse aspecto, é entendido que a concentração empregada tenha sido insuficiente para provocar um estresse osmótico real, atuando principalmente como um agente estabilizador do ambiente fúngico.

Adicionalmente, estudos indicaram que a resposta de *Trichoderma* spp. ao estresse pode envolver outros mecanismos fisiológicos além da simples osmoproteção fornecida pelo sorbitol. O trabalho de Woo *et al.* (2014) aponta que a tolerância de *Trichoderma* spp. a condições adversas está relacionada à produção de enzimas antioxidantes e proteínas de choque térmico (HSPs). Assim, isolados com maior crescimento, mesmo sob estresse, podem apresentar maior expressão desses genes adaptativos, o que seria interessante investigar em estudos futuros.

Outro aspecto relevante é a aplicação prática dos isolados mais tolerantes. De acordo com Monteiro *et al.* (2018), a utilização de *Trichoderma* spp. como agente de controle biológico em solos salinizados ou com baixa disponibilidade hídrica é uma estratégia promissora para manter a sanidade das culturas agrícolas. Os isolados identificados neste estudo como mais tolerantes ao NaCl ou ao Sorbitol poderiam ser avaliados em ensaios de campo para validar seu desempenho em condições reais.

Por fim, a diversidade de resposta entre os isolados, como observado neste estudo, também foi destacada por Contreras-Cornejo *et al.* (2016), que relataram que diferenças na origem geográfica e no hospedeiro podem influenciar a adaptação de *Trichoderma* spp. a estresses ambientais. A variabilidade observada entre os isolados coletados em diferentes regiões reforça a importância de selecionar linhagens locais para aplicações específicas.

Tabela 2. Valor F dos fatores isolado, tipo de estresse e interação isolado tipo de estresse e isolado, nos diferentes dias após a inoculação (DAI), área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) e taxa de crescimento micelial (TCM)

Fatores	Valor F								
	1 DAI	2 DAI	3 DAI	4DAI	5 DAI	6 DAI	7 DAI	AACPC M	TCM
Isolado	19,6316*	11,2194*	15,6230*	17,5862*	14,0907**	13,4260*	13,1650*	15,6509*	12,9600*
	*	*	*	*		*	*	*	*
Tipo de Estresse	12,1200*	12,7210*	2,2014 ^{ns}	0,8416 ^{ns}	0,6250 ^{ns}	0,4056 ^{ns}	0,3538 ^{ns}	1,3011 ^{ns}	0,1509 ^{ns}
	*	*							
Isolado*Tipo de estresse	1,8412**	2,0328**	5,0233**	5,6889**	760,9000*	4,3897**	4,2110**	4,8148**	3,4790**
					*				

Tabela 3. Médias do diâmetro da colônia (mm) em diferentes dias de avaliação, área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) e taxa de crescimento micelial (TCM) de diferentes isolados de *Trichoderma* spp. *

Ord. Isolados	Diâmetro da colônia (mm) em dias após a inoculação (DAI)							AACPCM	TCM (mm dia ⁻¹)
	1	2	3	4	5	6	7		
1 IF 42	23,6 b	62,0 a	89,33 a	119,8 a	153,2 a	186,8 a	219,7 a	732,33 a	0,03 b
2 IF 84	30,4 a	76,0 a	90,0 a	137,9 a	172,1 a	206,2 a	240,0 a	831,44 a	0,03 b
3 IF 121a	29,8 a	68,7 a	86,6 a	110,8 a	140,3 a	169,6 a	198,9 a	690,11 a	0,04 b
4 IF 121b	29,8 a	68,7 a	86,6 a	110,8 a	140,3 a	169,6 a	198,9 a	690,11 a	0,04 b
5 IF 136a	19,7 c	48,0 a	78,4 b	100,9 b	122,9 b	155,1 b	186,9 a	608,11 b	0,04 b
6 IF 136b	19,7 c	48,0 a	78,4 b	100,9 b	122,9 b	155,1 a	186,9 b	608,11 b	0,04 b
7 IF 299a	29,8 a	69,9 a	90,0 a	120,8 a	151,3 a	182,1 a	212,7 a	735,11 a	0,03 b
8 IF 299b	29,8 a	69,9 a	90,0 a	120,8 a	151,3 a	182,1 a	212,7 a	735,11 a	0,03 b
9 IF 300a	23,6 b	64,4 a	85,0 a	112,8 a	145,1 a	177,6 a	209,8 a	701,11 a	0,03 b
10 IF 300b	23,6 b	64,4 a	85,0 a	112,8 a	145,1 a	177,6 a	209,8 a	701,11 a	0,03 b
11 IF 302a	29,78 a	65,7 a	75,0 b	87,8 b	109,9 b	133,2 b	159,1 b	565,8 b	0,05 a
12 IF 302b	29,78 a	65,7 a	75,0 b	87,8 b	109,9 b	133,2 b	159,1 b	565,8 b	0,05 a
13 IF 303a	28,56 a	66,1 a	69,7 b	90,0 b	115,6 b	141,4 b	167,0 b	580,8 b	0,04 a
14 IF 303b	28,56 a	66,1 a	69,7 b	90,0 b	115,6 b	141,4 b	167,0 b	580,8 b	0,04 a
15 IF 304a	27,11 a	62,6 a	67,9 b	89,9 b	116,7 b	142,9 b	169,7 b	578,1 b	0,04 a
16 IF 304b	27,11 a	62,6 a	67,9 b	89,9 b	113,6 b	139,6 b	165,9 b	569,8 b	0,05 a
17 IF 305a	23,89 b	59,7 a	70,9 b	90,0 b	118,7 b	147,2 b	175,9 b	586,2 b	0,04 a
18 IF 305b	23,89 b	59,7 a	76,3 b	104,8 b	135,1 a	165,6 a	195,9 a	651,2 b	0,04 b
19 IF 306	26,11 b	65,2 a	90,0 a	122,6 a	154,7 a	187,1 a	219,3 a	742,1 a	0,03 b
20 IF 307	24,06 b	64,7 a	89,4 a	120,0 a	152,9 a	186,1 a	219,0 a	734,3 a	0,03 b
21 IF 308	23,67 b	64,4 a	90,0 a	123,6 a	157,3 a	190,9 a	224,6 a	750,4 a	0,03 b
22 IF 309	25,83 b	66,7 a	90,0 a	122,7 a	155,3 a	188,0 a	220,4 a	745,6 a	0,03 b
23 IF 310	25,78 b	61,0 a	90,0 a	122,3 a	154,4 a	186,8 a	218,7 a	736,7 a	0,03 b
Teste de Normalidade (Shapiro)	0,9848*	0,9477*	0,8470 ^{ns}	0,8689 ^{ns}	0,8807 ^{ns}	0,8858 ^{ns}	0,8812 ^{ns}	10,7008 ^{ns}	0,8905 ^{ns}
Teste de Homogeneidade (Bartlett)	40,2680*	113,95**	225,8500 ^{ns}	270,8200 ^{ns}	235,9500 ^{ns}	206,7800 ^{ns}	192,0400 ^{ns}	244,3900 ^{ns}	184,1200 ^{ns}
CV (%)	10,18	11,61	11,20	12,25	12,70	12,01	11,28	10,84	14,86
Teste F (Anova)	6,7658**	3,1028**	3,7270**	4,3921**	4,2407**	4,3876**	4,5769**	4,2762**	5,5038**
Coefficiente de Friedman	50,5018**	45,2301**	17,4723*	39,2631*	43,7661**	46,3100**	47,1429**	46,0985**	49,2665**

*Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si (P~0,05)

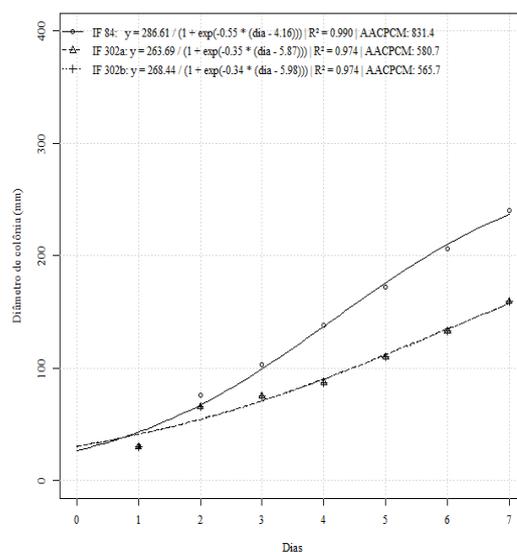
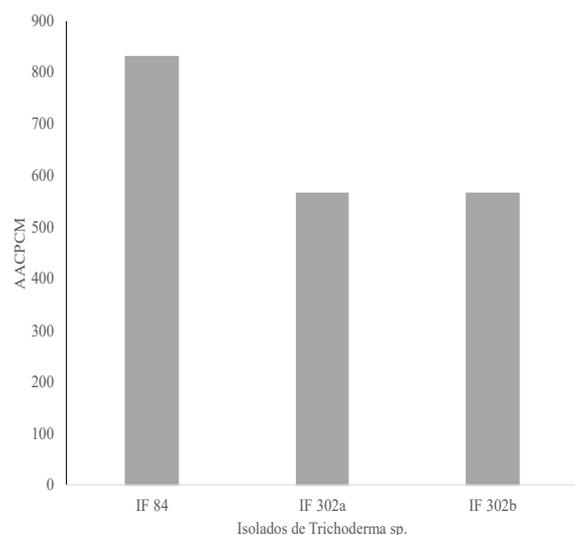


Figura 5. Representação dos isolados de *Trichoderma* spp. com maiores atividades fisiológicas. A. isolados com maior e menor área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) no experimento, B. Curva de progresso do diâmetro de colônia (mm) dos isolados com maior e menor AACPCM em diferentes dias de avaliação.

Tabela 4. Médias do diâmetro da colônia (mm) em diferentes dias de avaliação, área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) e taxa de crescimento micelial (TCM) de diferentes tipos de estresses avaliados sobre o crescimento de isolados de *Trichoderma* spp. *

Tipo de estresse	Diâmetro da colônia (mm) em dias após a inoculação (DAI)							AACPC M	TCM (mm dia ⁻¹)
	1	2	3	4	5	6	7		
Meio BDA	25,9 b	62,5 b	83,2 a	109,3 a	137,8 a	167,9 a	198,7 a	672,7 a	0,040 a
Meio BDA+NaCl	24,6 b	60,8 b	79,8 a	105,8 a	134,5 a	164,7 a	194,7 a	655,2 a	0,040 a
Meio BDA+Sorbitol	28,1 a	68,4 a	79,8 a	109,7 a	139,1 a	168,9 a	198,6 a	683,5 a	0,040 a
Teste de Normalidade (Shapiro)	0,9593 ^{ns}	0,9466 ^{ns}	0,8490 ^{ns}	0,8167 ^{ns}	0,8803 ^{ns}	0,8986 ^{ns}	0,9045 ^{ns}	0,8716 ^{ns}	0,8784 ^{ns}
Teste de Homogeneidade (Bartlett)	1,0576 ^{**}	35,5610 ^{ns}	6,0971 [*]	4,3694 ^{**}	4,9054 ^{**}	5,3771 ^{ns}	4,8507 ^{ns}	9,3756 ^{ns}	10,2070 ^{ns}
CV (%)	15,52	14,55	15,55	17,94	18,06	17,10	16,17	15,51	21,82
Teste F (Anova)	12,1200*	12,7210*	2,2014^{ns}	0,8416^{ns}	0,6250^{ns}	0,4056^{ns}	0,3538^{ns}	1,3011^{ns}	0,1509^{ns}
Coefficiente de Friedman	0,6667 ^{ns}	0,6667 ^{ns}	0,6667 ^{ns}	0,6667 ^{ns}	0,6667 ^{ns}	0,6667 ^{ns}	0,6667 ^{ns}	0,6667 ^{ns}	0,6667 ^{ns}

*Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si (P~0,05)

Tabela 5. Contraste da área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial entre o fator isolado x fator tipo de estresse*.

Isolados	Área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM)		
	BDA	NaCl	Sorbitol
IF 84	1024 aA	738 aB	738 aB
IF 308	754 aA	751 aA	750 aA
IF 42	748 aA	757 aA	748 aA
IF 309	744 aA	744 aA	748 aA
IF 310	741 aA	738 aA	730 bA
IF 121b	742 aA	731 aA	595 bB
IF 121a	742 aA	731 aA	595 bB
IF 306	738 aA	744 aA	744 aA
IF 299a	742 aA	737 aA	729 bA
IF 299b	742 aA	737 aA	729 bA
IF 300a	731 aA	583 bB	741 aA
IF 300b	731 aA	583 bB	741 aA
IF 307	740 aB	744 aA	757 aA
IF 305b	586 bA	563 bB	573 bA
IF 305a	586 bA	563 bA	573 cA
IF 303b	591 bA	570 bA	584 cA
IF 303a	591 bA	570 bA	584 cA
IF 304b	581 bA	564 bA	580 cA
IF 304a	579 bA	564 bA	584 cA
IF 302a	485 cA	592 bA	601 bA
IF 302b	485 cA	592 bA	601 bA
IF 136a	470 cB	520 bB	736 aA
IF 136b	470 cB	520 bB	736 aA
C.V. (%)		7,82	
P-Valor Isolado		<0,001	
P-Valor Tipo de Estresse		<0,001	
P-Valor Isolado*Tipo de Estresse		<0,001	

* Medianas seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não se diferem entre si pelo teste ScottKnott ranqueado à P~0,05.

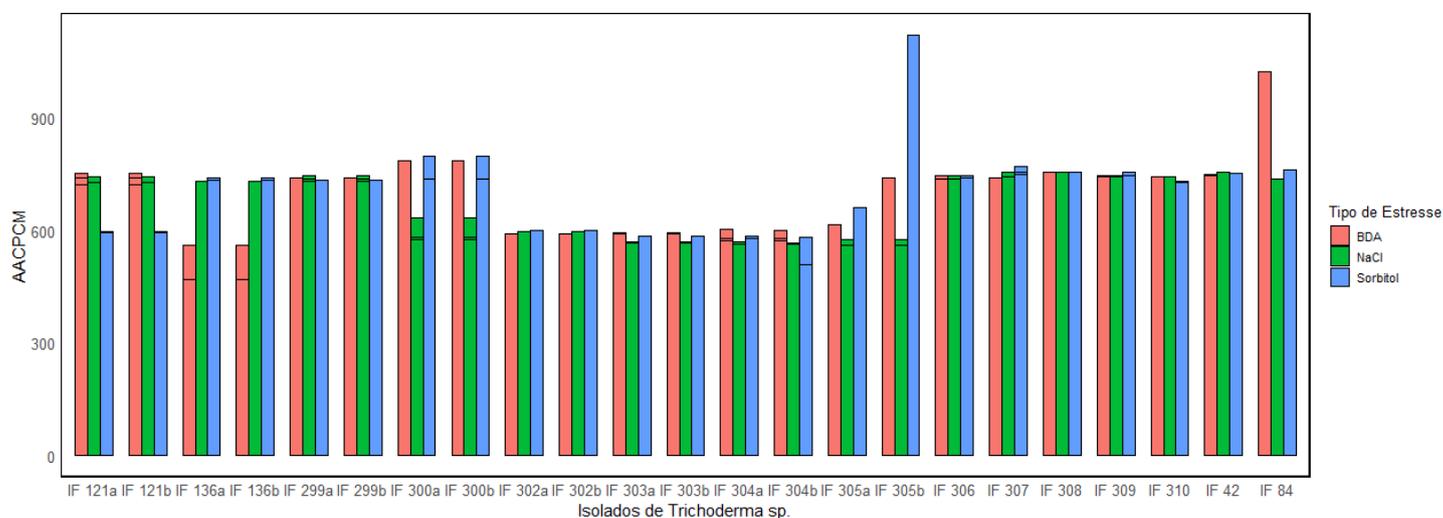


Figura 6. Área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) em função do tipo de estresse para todos os isolados testados.

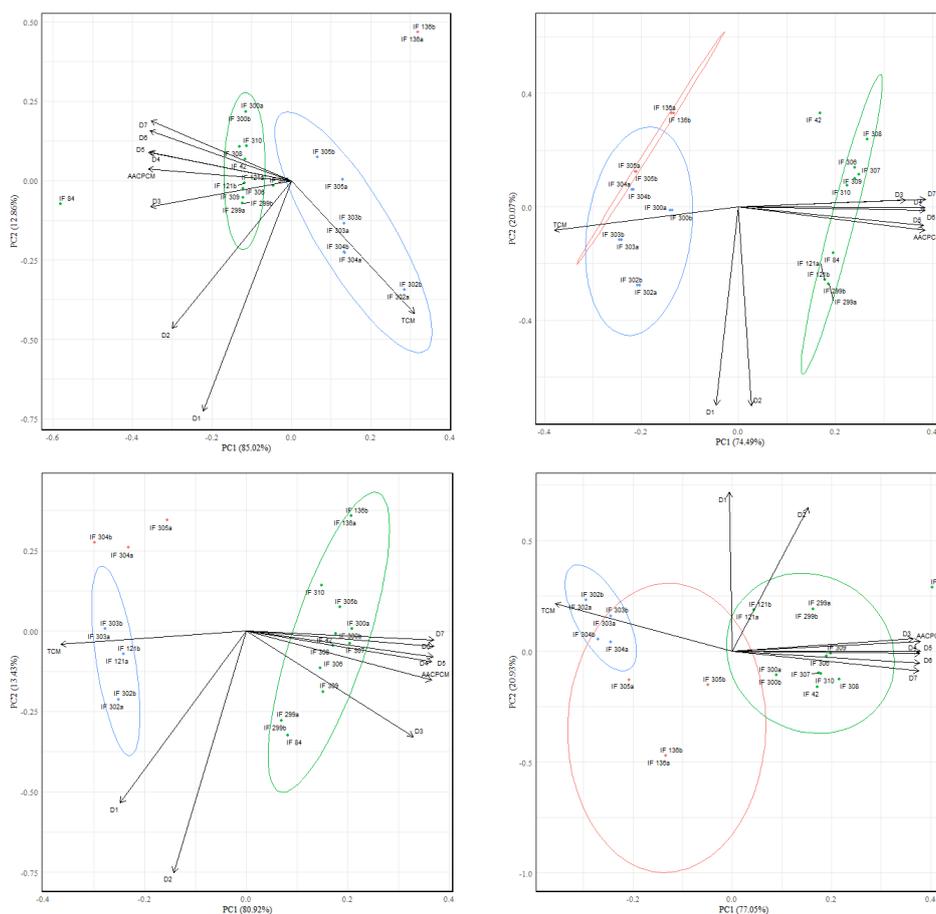


Figura 7. Biplot contendo scores médios de 23 isolados submetido a nove variáveis explicativas no tipo de estresse BDA (A), estresse NaCl (B) e estresse sorbitol (C) e D. todos os anteriores (D). Crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia^{-1}) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM); **B.** Crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia^{-1}) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM); **C.** Crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia^{-1}) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM); **D.** Crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia^{-1}) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM).

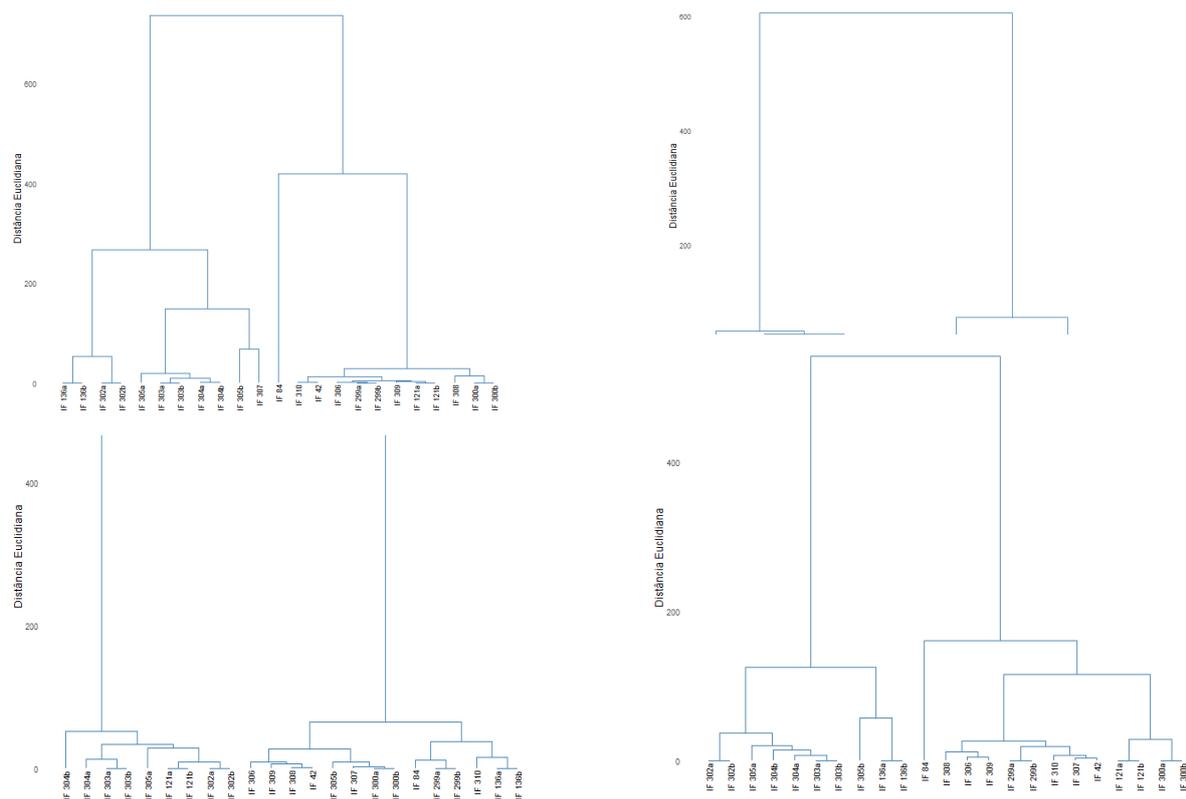


Figura 8. Análise de agrupamento com base na distância Euclidiana entre 23 isolados sob efeito do tipo de estresse BDA (A), estresse de NaCl (B), estresse de sorbitol (C) e todos os tipos simultaneamente (D). **A.** agrupados sob a influência do crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia^{-1}) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM); **B.** agrupados sob a influência do crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia^{-1}) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM); **C.** agrupados sob a influência do crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia^{-1}) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM); **D.** agrupados sob a influência do crescimento micelial dias após inoculação (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), taxa de crescimento micelial (mm.dia^{-1}) (TCM) e área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (mm) (AACPCM).

CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram a variabilidade de isolados de *Trichoderma* spp., evidenciando diferenças fisiológicas e genéticas entre as linhagens. Os isolados IF84 e IF42 destacam-se pelo rápido crescimento e maior AACPCM, mostrando potencial para aplicações biotecnológicas, como controle biológico de fitopatógenos. Por outro lado, isolados como IF136a e IF136b apresentaram crescimento mais lento, podendo ser explorados em ambientes que apresentem menor agressividade micelial, como interações simbióticas mais benéficas.

A exposição aos tipos de estresse apresentou uma redução no crescimento micelial no sétimo dia de experimento quando comparado a testemunha, mas sem diferenças estatísticas significativas, tanto no DAI, quanto para as variáveis AAPCCM e TCM. No entanto, a interação entre isolado e tipo de estresse, mostraram que os isolados apresentaram respostas diferentes.

O estresse salino impactou mais no crescimento dos isolados, possivelmente devido ao efeito tóxico dos íons Na^+ e Cl^- , enquanto o estresse osmótico teve um efeito menos agressivo, mostrando maior desempenho dos isolados expostos a ele.

Os resultados deste estudo corroboram com a literatura existente, que destaca *Trichoderma* spp. como um gênero altamente versátil e adaptável. O desempenho diferencial entre os isolados em resposta aos estresses salino e osmótico ressalta o potencial de seleção de linhagens específicas para manejo biológico em ambientes adversos.

Os resultados reforçam o potencial de *Trichoderma* spp. para utilização em programas de manejo biológico, especialmente em ambientes com estresses osmóticos ou salinos. A identificação de isolados mais tolerantes contribui para o desenvolvimento de soluções adaptadas às demandas agrícolas modernas. Estudos futuros podem explorar a caracterização molecular dos mecanismos de tolerância e a aplicação dos isolados mais promissores em condições de campo.

REFERÊNCIAS

ADNAN, M.; SALEEM, A.; SHAH, A. A.; KHAN, A.; AYAZ, F.; RIAZ, N.; HUSSAIN, J.; MURAD, W.; KHAN, N. Plant defense against fungal pathogens by antagonistic fungi with *Trichoderma* in focus. *Microbial Pathogenesis*, v. 129, p. 7-18, 2019.

ASGHAR, W.; IQBAL, M.; HUSSAIN, S.; ASGHAR, H.; MAHMOOD, S.; SHAH, M. I.; ALI, M.; IQBAL, J. The application of *Trichoderma* spp., an old but new useful fungus, in sustainable soil health intensification: a comprehensive strategy for addressing challenges. *Plant Stress*, v. 12, 2024.

AYDOĞDU, M.; KURBETLI, İ.; KITAPÇI, A.; SÜLÜ, G. Aggressiveness of green mold in cultivated mushrooms (*Agaricus bisporus*) in Turkey. *Journal of Plant Diseases and Protection*, v. 127, p. 695-708, 2020.

BENÍTEZ, T.; RINCÓN, A. M.; LIMÓN, M. C.; CODON, A. C. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology*, v. 7, n. 4, p. 249-260, 2004.

BERNARDO, J. T.; AGUILERA, J. G.; SILVA, R. B.; VIAN, R.; NIELLA, G. R.; ULHOA, C. J.; MEDEIROS, Í. R. E. Isolamento on farm de *Trichoderma*: uma ferramenta no controle de doenças de solo para os agricultores no Brasil. *Revista Eletrônica Científica da UERGS*, v. 5, n. 3, p. 263–270, 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROFIT – Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Brasília: MAPA, 2022.

CAMPANHOLA, C.; RODRIGUES, G. S.; BETTIOL, W. Evolução, situação atual, projeção e perspectiva de sucesso de um Programa de Racionalização do Uso de Agrotóxicos no Brasil. In: RODRIGUES, G. S. (Org.). Racionalización del uso de pesticidas en el Cono Sur. Montevideo: PROCISUR, 1998. p. 43-49. (IICA/PROCISUR. Diálogo, 50).

CHENG, J.; SCHLOERKE, B.; KARAMBELKAR, B.; XIE, Y. Leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript 'Leaflet' Library. R package version 2.2.2, 2024.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L.; DEL-VAL, E.; LARSEN, J. Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. *FEMS Microbiology Ecology*, v. 92, n. 4, fiw036, 2016.

COSTA, A. R. C.; MEDEIROS, J. F.; PORTO FILHO, F. Q.; SILVA, J. S.; COSTA, F. G. B.; FREITAS, D. C. Produção e qualidade de melancia cultivada com água de diferentes salinidades e doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 9, p. 947-954, 2013.

DRUZHININA, I. S.; KUBICEK, C. P. Ecological genomics of *Trichoderma*. In: The ecological genomics of fungi. Wiley, p. 89-116, 2013.

DRUZHININA, I. S.; SHELEST, E.; KUBICEK, C. P. Novel traits of *Trichoderma* predicted through the analysis of its secretome. *FEMS Microbiology Letters*, v. 337, n. 1, p. 1-9, 2012.

- EGAMBERDIEVA, D.; ESHBOEV, F.; SHUKUROV, O.; ALAYLAR, B.; ARORA, N. K. Bioprotective bacteria: biocontrol traits and induced resistance to phytopathogens. *Microbiology Research*, v. 14, n. 2, p. 689-703, 2023.
- ELE, D. C.; ELE, M. H.; AMALIN, D. M.; LIU, W.; ALVINDIA, D. G.; ZHAN, J. Biological control of plant diseases: An evolutionary and eco-economic consideration. *Pathogens*, v. 10, p. 1311, 2021.
- ELNAHAL, A. S. M.; EL-SAADONY, M. T.; SAAD, A. M.; DESOKY, E. S. M.; ELSHAMY, R.; LIU, K.; SU, J.; ZHOU, J. O uso de inoculantes microbianos para controle biológico, promoção do crescimento de plantas e agricultura sustentável: uma revisão. *European Journal of Plant Pathology*, v. 162, p. 759–792, 2022.
- FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. Controle biológico de pragas da agricultura. 2020.
- FROST, D. J.; BRANDT, K. D.; CUGIER, D.; GOLDMAN, R. (1995). A whole-cell *Candida albicans* assay for the detection of inhibitors towards fungal cell wall synthesis and assembly. *Journal of Antibiotics (Tokyo)*, 48(4), 306-310.
- GOMES, E. V.; COSTA, M. N.; PAULA, R. G.; AZEVEDO, R. R.; SILVA, F. L.; NORONHA, E. F.; ULHOA, C. J.; MONTEIRO, V. N.; CARDOZA, R. E.; GUTIÉRREZ, S.; SILVA, R. N. The cerato-platanin protein Epl-1 from *Trichoderma harzianum* is involved in mycoparasitism, induction of resistance in plants, and self-protection of the cell wall. *Scientific Reports*, v. 5, p. 17998, 2015.
- GÓRKA-NIEĆ, W.; PERLIŃSKA-LENART, U.; ZEMBEK, P.; PALAMARCZYK, G.; KRUSZEWSKA, J. S. (2010). Influence of sorbitol on protein production and glycosylation and cell wall formation in *Trichoderma reesei*. *Fungal Biology*, 114(10), 855-862. ISSN 1878-6146.
- GRIGOLETTI JUNIOR, A.; DOS SANTOS, Á. F.; AUER, C. G. Perspectivas do uso do controle biológico contra doenças florestais. 2000.
- GUCWA, K.; MILEWSKI, S.; DYMERSKI, T.; SZWEDA, P. (2018). Investigation of the antifungal activity and mode of action of *Thymus vulgaris*, *Citrus limonum*, *Pelargonium graveolens*, *Cinnamomum cassia*, *Ocimum basilicum*, and *Eugenia caryophyllus* essential oils. *Molecules*, 23(5), 1116.
- HARMAN, G. E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, v. 2, n. 1, p. 43-56, 2004.
- HARMAN, G. E.; LORITO, M.; BROSNAN, M. H.; DONZELLI, B. G. G.; WOO, S. L.; RUFA, S. *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, v. 11, n. 6, p. 44-56, 2013.
- HATVANI, L.; KREDICS, L.; ALLAGA, H.; MANCZINGER, L.; VÁGVÖLGYI, C.; KUTI, K.; GEÖSEL, A. Primeiro relato de mofo verde *Trichoderma aggressivum* f. *aggressivum* em *Agaricus bisporus* na Europa. *Plant Disease*, v. 101, p. 1052, 2017.

IKRAM, M.; ALI, N.; JAN, G.; IQBAL, A.; HAMAYUN, M.; JAN, F. G.; LEE, I. J. *Trichoderma reesei* improved the nutritional status of wheat crop under salinity stress. *Journal of Plant Interactions*, v. 14, n. 1, p. 590–602, 2019.

ISAIAS, C. O.; SOARES, D. J.; SILVA, M. S.; OLIVEIRA, M. L.; SANTOS, J. P. Ação antagônica e de metabólitos bioativos de *Trichoderma* spp. contra os patógenos *Sclerotium rolfsii* e *Verticillium dahliae*. *Summa Phytopathologica*, v. 40, p. 34-41, 2014.

JAIKWAL, D. K.; GAWANDE, S. J.; SOUMIA, P. S.; KUMAR, P.; KUMAR, A.; SAINI, D. K.; KUMAR, U.; KUMAR, M.; RAJ, A.; PANDEY, M. K. Estratégias de biocontrole: uma ferramenta eco-inteligente para o manejo integrado de pragas e doenças. *BMC Microbiology*, v. 22, p. 324, 2022.

JELIHOVSCHI, E. G.; FARIA, J. C.; ALLAMAN, I. B. ScottKnott: A Package for Performing the Scott-Knott Clustering Algorithm in R. *Trends in Applied and Computational Mathematics*, v. 15, n. 1, p. 3–17, 2014.

JIMÉNEZ-ARIAS, D.; GARCIA-MACHADO, F. J.; MORALES-SIERRA, S.; GARCÍA-GARCÍA, A. L.; HERRERA, A. J.; VALDÉS, F.; LUÍS, J. C.; BORGES, A. A. (2021). *A beginner's guide to osmoprotection by biostimulants*. *Plants*, 10, 363.

JIMÉNEZ-BREMONT, J. F.; GONZÁLEZ-PÉREZ, E.; ORTEGA-AMARO, M. A.; MADRIGAL-ORTIZ, S.; DUQUE-ORTIZ, A.; MENDOZA-MENDOZA, A. Volatile organic compounds emitted by *Trichoderma*: Small molecules with biotechnological potential. *Scientia Horticulturae*, v. 325, 112656, 2024.

KAUR, T.; KAUR, H.; GILL, R. S.; BATISH, D. R.; KOHLI, R. K. Tolerance of *Trichoderma* species to environmental stress and its implications for biological control. *Journal of Applied Microbiology*, v. 121, n. 6, p. 1552-1564, 2016.

KHAN, M. R.; FISCHER, S.; EGAN, D. Tolerance of biocontrol agents *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* to abiotic stresses. *Biocontrol Science and Technology*, v. 21, n. 8, p. 889-902, 2011.

KHAN, R. A. A.; NAJEEB, S.; HUSSAIN, S.; XIE, B.; LI, Y. Bioactive secondary metabolites from *Trichoderma* spp. against phytopathogenic fungi. *Microorganisms*, v. 8, 817, 2020.

KUMAR, A.; PUROHIT, A. K. Biological control and need of a strategic shift in plant disease management. In: MÉRILLON, J.-M.; RAMAWAT, K. G. (Eds.). *Plant Defence: Biological Control*. 2. ed. Cham: Springer, 2020. p. 119-136.

KUMAR, K.; MANIGUNDAN, K.; AMARESAN, N. Influence of salt-tolerant *Trichoderma* spp. on growth of *Zea mays* under different salinity conditions. *Journal of Basic Microbiology*, v. 57, n. 2, p. 141-150, 2017.

KUMAR, V.; KOUL, B.; TAAK, P.; YADAV, D.; SONG, M. Journey of *Trichoderma* from pilot scale to mass production: A review. *Agriculture*, v. 13, p. 2022, 2023.

LEE, S.; HUNG, R.; YANG, R.; SCHNABEL, G. Volatile organic compounds emitted by *Trichoderma* species mediate plant growth. *Fungal Biology and Biotechnology*, v. 3, n. 1, p. 1-14, 2016.

- LI DESTRI NICÓZIA, M. G.; MOSCA, S.; MERCURIO, R.; SCHENA, L. Morte regressiva de mudas de *Pinus nigra* causada por uma cepa de *Trichoderma viride*. *Plant Disease*, v. 99, p. 44-49, 2015.
- LOUZADA, G. A. S.; ZACCARO, R. P.; COSTA, M. D.; OLIVEIRA, M. M.; MARTINS, I.; PINHEIRO, M. G. Potencial antagonístico de *Trichoderma* spp. originários de diferentes agroecossistemas contra *Sclerotinia sclerotiorum* e *Fusarium solani*. *Biota Neotropica*, v. 9, n. 3, p. 145–149, jul. 2009.
- MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. Citros. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundag, 2005. 929 p.
- MAZIN, M.; ANDREADIS, S. S.; JENKINS, N. E.; RAJOTTE, E. G. The mushroom sciarid fly, *Lycoriella ingenua*, benefits from its association with green mold disease (*Trichoderma aggressivum*) in commercial mushroom production. *Journal of Pest Science*, v. 91, p. 815-822, 2018.
- MEYER, M. C.; SILVA, R. C.; SANTOS, F. A.; BARBOSA, F. R. *Trichoderma*: uso na agricultura. 2019.
- MISHRA, J., & ARORA, N. K. (2018). Secondary metabolites of fluorescent pseudomonads in biocontrol of phytopathogens for sustainable agriculture. *Applied Soil Ecology*, 125, 35–45.
- MOHANAVELU, A.; NAGANNA, S. R.; AL-ANSARI, N. Irrigation-induced salinity and sodicity hazards on soil and groundwater: an overview of its causes, impacts and mitigation strategies. *Agriculture*, v. 11, n. 10, p. 983, 2021
- MONTE, E.; STEINDORF, A.; LORITO, M.; HERMOSA, R.; KUBICEK, C. P. *Trichoderma*: from soil to the field. *Plant and Soil*, v. 380, n. 1, p. 3-10, 2014.
- MONTEIRO, F. P.; SILVA, M. S.; OLIVEIRA, A. L.; FONSECA, C. F.; SANTOS, J. P. Uso de agentes biológicos em solos salinizados. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 42, e0180027, 2018.
- MUKHERJEE, P. K.; VERMA, V. C.; GOLDBERG, N.; WOO, S. L.; LORITO, M. *Trichoderma* as a biocontrol agent and its bio-based formulations. *Biological Control*, v. 67, p. 120-133, 2013.
- MUÑOZ, F. M.; DEMMLER, G. J.; TRAVIS, W. R.; OGDEN, A. K.; ROSSMANN, S. N.; RINALDI, M. G. *Trichoderma longibrachiatum* infection in a pediatric patient with aplastic anemia. *Journal of Clinical Microbiology*, v. 35, p. 499-503, 1997.
- PALMIERI, D.; IANIRI, G.; DEL GROSSO, C.; BARONE, G.; DE CURTIS, F.; CASTORIA, R.; LIMA, G. Advances and perspectives in the use of biocontrol agents against plant fungal diseases. *Horticulturae*, v. 8, p. 577, 2022.
- PFORDT, A.; SCHIWEK, S.; KARLOVSKY, P.; VON TIEDEMANN, A. *Trichoderma afroharzianum* ear rot – a new disease in maize in Europe. *Frontiers in Agronomy*, v. 2, 547758, 2020.

- POVEDA, J. *Trichoderma parareesei* favors the tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) to salinity and drought due to a chorismate mutase. *Agronomy*, v. 10, n. 1, p. 118, 2020.
- POVEDA, J.; MILLEN, M. R.; BAILEY, A. M. Analysis of *Trichoderma* as an effective biological control agent against the honey fungus (*Armillaria* spp.). *Biological Control*, v. 188, 2024.
- QIAO, M.; DU, X.; ZHANG, Z.; XU, J. P.; YU, Z. F. Three new *Trichoderma* species inhabiting soil from southwest China. *MycKeys*, v. 44, p. 63-80, 2018.
- R Core Team R: the R project for statistical computing. Version 4.4.2. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2024
- RAM, R. M.; SINGH, H. B. *Trichoderma* spp.: an opportunistic pathogen. *Biotech Today*, v. 8, p. 16-24, 2018.
- SAMUELS, G. J. *Trichoderma*: uma revisão da biologia e sistemática do gênero. *Pesquisa de Col.*, v. 28, n. 4, p. 923-935, 1996.
- SÁNCHEZ-MONTESINOS, B.; SANTOS, M.; MORENO-GAVÍRA, A.; MARÍN-RODULFO, T.; GEA, F. J.; DIÁNEZ, F. Biological control of fungal diseases by *Trichoderma aggressivum f. europaeum* and its compatibility with fungicides. *Journal of Fungi*, v. 7, p. 598, 2021.
- SANDLE, T. *Trichoderma*. In: BATT, C. A.; TORTORELLO, M. L. (Eds.). *Encyclopedia of Food Microbiology*. 2. ed. Cambridge, MA: Academic Press, 2014. p. 644-646.
- SANTOYO, G.; OROZCO-MOSQUEDA, M. C.; AFRIDI, M. S.; MITRA, D.; VALENCIA-CANTERO, E.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L. *Trichoderma* and *Bacillus*: Multifunctional Allies for Plant Growth and Health in Saline Soils—Recent Advances and Future Challenges. 2024.
- SAUTOUR, M.; CHRÉTIEN, M. L.; VALOT, S.; LAFON, I.; BASMACIYANA, L.; LEGOGUE, C.; VERRIER, T.; GONSSAUD, B.; ABOU-HANNA, H.; DALLE, F.; CAILLOT, D. First case of proven invasive pulmonary infection due to *Trichoderma longibrachiatum* in a neutropenic patient with acute leukemia. *Journal of Mycology and Medicine*, v. 28, 2018.
- SHANNER, G.; FINNEY, R. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology*, v. 67, p. 1051–1056, 1977.
- SHORESH, M.; HARMAN, G. E.; MASTRONARDI, M. G. *Trichoderma* in agriculture: a biocontrol agent for sustainable agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 42, n. 10, p. 1547-1554, 2010.
- SLOWIKOWSKI, K. Ggrepel: Automatically Position Non-Overlapping Text Labels with 'ggplot2'. R package version 0.9.6, 2024.
- SOOD, M.; KAPOOR, D.; KAUR, P.; SINGH, J.; KAUR, S. Molecular characterization and tolerance mechanisms of *Trichoderma* species in response to abiotic stresses. *Fungal Biology Reviews*, v. 29, n. 1, p. 1-8, 2015.

- SZCZECH, M.; STANIASEK, M.; HABDAS, H.; ULIŃSKI, Z.; SZYMAŃSKI, J. *Trichoderma* spp.—a cause of green mold on Polish mushroom farms. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, v. 69, p. 105-114, 2008.
- TANG, Y., HORIKOSHI, M., LI, W. "Ggfortify: Unified Interface to Visualize Statistical Result of Popular R Packages." *The R Journal* v. 8, n. 2, p. 478-489. 2016.
- TARIQ, M.; KHAN, A.; ASIF, M.; KHAN, F.; ANSARI, T.; SHARIQ, M.; SIDDIQUI, M. A. Controle biológico: uma abordagem sustentável e prática para o manejo de doenças de plantas. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, v. 70, n. 6, p. 507–524, 2020.
- VINALE, F.; SIVASITHAMPARAM, K.; GHISALBERTI, E. L.; MARRA, R.; WOO, S. L.; LORITO, M. *Trichoderma* spp. and their applications in plant protection. *Biotechnology Advances*, v. 32, n. 2, p. 229-243, 2014.
- WICKHAM H. *Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. 2016.
- WOO, S. L.; RUFA, S.; LORITO, M.; PISTOLESI, A.; GRIMALDI, A.; LOMBARDI, N.; PISTOLESI, M. *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. *The Open Mycology Journal*, v. 8, n. 1, p. 71-126, 2014.
- ZEILINGER, S.; GRUBER, S.; BANSAL, R.; MUKHERJEE, P. K. Secondary metabolism in *Trichoderma*—Chemistry meets genomics. *Fungal Biology Reviews*, v. 30, n. 2, p. 74-90, 2016.
- ZHANG, F.; MA, L.; WANG, Q.; ZHOU, J.; JIANG, L. Salinity and water stress in plant growth and their effects on biological control agents. *Environmental and Experimental Botany*, v. 69, n. 3, p. 174-182, 2010.
- ZIN, N. A.; BADALUDDIN, N. A. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, v. 65, n. 2, p. 168–178, 2020.