

INGRID LORENA ROSA AVANZO

Triagem de isolados de *Trichoderma* spp. produtores de compostos orgânicos voláteis com atividade inibitória sobre *Macrophomina phaseolina*

INGRID LORENA ROSA AVANZO

Triagem de isolados de *Trichoderma* spp. produtores de compostos orgânicos voláteis com atividade inibitória sobre *Macrophomina phaseolina*

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.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Melina Korres Raimundi

URUTAÍ - GOIÁS
2026

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

A946t Avanzo, Ingrid
 Triagem de isolados de *Trichoderma* spp. produtores de
 compostos orgânicos voláteis com atividade inibitória sobre
 Macrophomina phaseolina / Ingrid Avanzo. Urutaí 2026.

 42f. il.

 Orientadora: Profª. Dra. Melina Korres Raimundi.
 Monografia (Licenciado) - Instituto Federal Goiano, curso de
0122053 - Licenciatura em Ciências Biológicas - Urutaí (Campus
Urutaí).
 1. Antagonismo microbiano. 2. Podridão de carvão. 3.
Sustentabilidade agrícola.. 4. Controle biológico. 5. Soja. 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

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☐ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☐ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☒ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES 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.

Local

Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)

ANEXO II – REGULAMENTO DE TC



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

Documentos 11/2026 - CCMPP-URT/DPGPI-UR/CMPURT/IFGOIANO

ANEXO II – REGULAMENTO DE TC

FICHA DE AVALIAÇÃO TRABALHO DE CURSO - CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, IF GOIANO, URTAI		
Nome do(a) estudante: INGRID LORENA ROSA AVANZO		
☒ (x) Primeira defesa ☐ () Segunda defesa		
Data da defesa: 10/03/2026		
Título do trabalho: EFEITO DE COMPOSTOS VOLÁTEIS DE <i>Trichoderma</i> spp. SOBRE <i>Macrophomina phaseolina</i>		
Nome do(a) Avaliador(a): * MELINA KORRES RAIMUNDI		
Critérios	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	0,9
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	0,9
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 argumentação, o(a) aluno(a) demonstrou segurança e capacidade de explicação do trabalho?	1	0,9
Pontuação final (soma)		9,8
Assinatura do(s) Avaliador(a) *		
Assinado eletronicamente		
* Cada avaliador(a) deverá ter no mínimo especialização lato sensu. Este documento deverá ser assinado à mão, via Gov.br ou SUAP e encaminhado à coordenação de TC.		

Documento assinado eletronicamente por:

• Melina Korres Raimundi, PROF ENS BAS TEC TECNOLÓGICO - VISITANTE, em 10/03/2026 10:53:08.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/03/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 798233

Código de Autenticação: a196824a44



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Urtai

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2,5, SN, Zona Rural, URTAI / GO, CEP 75790-000
(64) 3465-1900

ANEXO II – REGULAMENTO DE TC



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

Documentos 51/2026 - CCLCB-URT/GE-UR/DE-UR/CMPURT/IFGOIANO

ANEXO II		
FICHA DE AVALIAÇÃO		
TRABALHO DE CURSO - CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, IF GOIANO, URUTAI		
Nome do estudante: INGRID LORENA ROSA AVANZO		
Data da defesa: 10 de março de 2026		
Título do trabalho: EFEITO DE COMPOSTOS VOLÁTEIS DE <i>Trichoderma</i> spp. SOBRE <i>Macrophomina phaseolina</i>		
Nome do(a) Avaliador(a) *: Rejane Araújo Guimarães		
Crêterios	Pontuação máxima	Pontuação obtida
1. O título do trabalho é conciso e reflete com precisão o conteúdo?	1	0,8
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	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	1	1

correta?		
7. A discussão reflete os resultados encontrados?	1	0,8
8. A bibliografia é relevante, coerente e atual?	1	0,9
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)		9,3

Documento assinado eletronicamente por:

• Rejane Araujo Guimaraes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO , em 10/03/2026 10:22:53.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/03/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 798154

Código de Autenticação: 1a71ba8321



ANEXO II – REGULAMENTO DE TC



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

Documentos 19/2026 - CCBA-URT/GE-UR/DE-UR/CMPURT/IFGOIANO

Anexo II – Regulamento de TC

FICHA DE AVALIAÇÃO		
TRABALHO DE CURSO - CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, IF GOIANO, URUTAI		
Nome do(a) estudante: Ingrid Lorena Rosa Avanzo		
(X) Primeira defesa () Segunda defesa		
Data da defesa: 10/03/2026		
Título do trabalho: Efeito de compostos voláteis de <i>Trichoderma</i> spp. sobre <i>Macrophomina phaseolina</i>		
Nome do(a) Avaliador(a): * Milton Luiz da Paz Lima		
Crerios	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	0,8
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	1,0
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	1,0
7. A discussão reflete encontrados?	1	0,6

8. A bibliografia é relevante, coerente e atual?	1	0,9
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)		9,1
Assinado Eletronicamente Assinatura do(a) Avaliador(a) *		
* 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 encaminhado à coordenação de TC		

Documento assinado eletronicamente por:

• Milton Luiz da Paz Lima, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 10/03/2026 09:17:37.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/03/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/orientador-documentos> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 798161

Código de Autenticação: 008922307c



ANEXO III – REGULAMENTO DE TC



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

Ata nº 3/2026 - CCMPP-URT/DPGPI-UR/CMPURT/IFGOIANO

Anexo III – REGULAMENTO DE TC

ATA da (☒) Primeira defesa / () Segunda defesa
de apresentação de Trabalho de Curso – Ciências Biológicas

Às 9h horas do dia 10 de março, reuniu-se

(☒) Por vídeo conferência

() Presencialmente na sala nº _____ do Prédio _____ do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutai, a Banca Examinadora do Trabalho de Curso intitulado “ EFEITO DE COMPOSTOS VOLÁTEIS DE *Trichoderma* spp. SOBRE *Macrophomina phaseolina*””, composta pelos avaliadores:

1 MELINA KORRES RAIMUNDI

2 REJANE ARAÚJO GUIMARÃES

3 MILTON LUIZ DA PAZ LIMA

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) MELINA KORRES RAIMUNDI, passou a palavra ao licenciando (a) INGRID LORENA ROSA AVANZO 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

() REPROVADO

por unanimidade, tendo sido atribuído a nota (9,3) 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.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora	Notas
1.	9,6
2.	9,3
3.	9,1
Média final:	9,3

Urutai-GO, 10 de março de 2026

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.

Documento assinado eletronicamente por:

Melina Korres Raimundi, PROF ENS BAS TEC TECNOLÓGICO - VISITANTE, em 10/03/2026 10:45:20.

Rejane Araujo Guimaraes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 10/03/2026 10:47:22.

Milton Luiz da Paz Lima, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 10/03/2026 10:59:32.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família, em especial à minha mãe Leide Pereira e avós Ângela Avanzo, Augusta Avanzo e Maria Silva que foram as pessoas que, mas me incentivaram e apoiaram. A presença delas, foi essencial em todos os momentos da minha vida, inclusive durante a minha jornada na graduação.

As minhas irmãs Larissa Natally, Lya Avanzo e Alice Campos, agradeço imensamente por estarem ao meu lado e sempre me motivarem a ser uma pessoa melhor e esforçada.

Sou muito grata à minha tia Jéssica Avanzo, ao meu tio Cristiano Avanzo, ao meu avô João Avanzo e ao meu primo Miguel Avanzo, pelo carinho e apoio e por fazerem parte da minha vida e da minha caminhada.

Ao meu bisavô João Ozélio e ao meu tio Charles Pereira (*in memoriam*), que marcaram minha vida com cuidado, força e alegria, dedico minha gratidão eterna. Sua presença, mesmo em lembrança continua sendo inspiração para mim.

Gostaria de agradecer de forma especial ao meu companheiro, Adriano Correia, pelo companheirismo, apoio e suporte, que foi indispensável durante a minha trajetória acadêmica.

Agradeço a minha orientadora, Prof. Dr. Melina Korres Raimundi pela disponibilidade, paciência, pelas correções e ajuda constante. Sua orientação e compartilhamento de conhecimentos foram fundamentais durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Milton Lima, por disponibilizar o laboratório e apoiar na realização das atividades experimentais, sua contribuição foi essencial para a execução deste estudo.

Expresso minha gratidão a todos os meus colegas do curso, em especial à minha amiga Thais Botelho, que foi essencial na minha vida durante a escola e a faculdade. Sua amizade, apoio e presença constante fizeram toda a diferença em cada etapa dessa caminhada.

À minha amiga Gabrielly Campos, agradeço pelo suporte, pelas conversas e pelas palavras que me motivaram a continuar mesmo quando eu me sentia insegura.

Aos professores do curso, agradeço pela dedicação ao ensino e transmissão de conhecimento, que contribuíram significativamente para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Para finalizar, deixo meu agradecimento à minha instituição de ensino, IF Goiano Campus Urutaí, por proporcionar um ambiente de estudo acolhedor, e a todos os envolvidos neste projeto, principalmente aos integrantes do laboratório de fitopatologia e CEBIO, que foram muito receptivos e colaboraram para o meu aprendizado.

*“Maravilhar-se é o primeiro
passo para um descobrimento.”*

- Louis Pasteur

RESUMO

AVANZO, I. L. R. Efeito de compostos voláteis de *Trichoderma* spp. sobre *Macrophomina phaseolina*. Trabalho de Conclusão de Curso, 42 p. 2026.

Uma diversidade de cepas polivalentes, multifuncionais de *Trichoderma* spp. tem sido amplamente empregada no controle biológico de pragas e doenças em plantas, sendo reconhecida por sua eficácia e por contribuir para alternativas sustentáveis a agricultura. Neste estudo, foram analisados 21 isolados incluindo linhagens selvagens e transformadas visando o melhoramento de características relacionadas ao potencial antagonista de *Trichoderma* spp., com o objetivo avaliar a produção de (COVs) e o potencial de inibição do crescimento de *Macrophomina phaseolina*. O ensaio foi realizado *in vitro*, por meio da técnica de placas duplas, que permite a interação dos microrganismos por meio de uma atmosfera compartilhada, sem contato direto. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, composto por 21 isolados de *Trichoderma* spp, pareados com um isolado do fitopatógeno (*M. phaseolina*), sendo três repetições por combinação, totalizando 63 unidades experimentais; (desconsiderando-se os tratamentos controle: placas contendo apenas o fitopatógeno e placas contendo apenas *Trichoderma* spp.). As placas foram incubadas a 27 °C, com fotoperíodo de 12 horas. Após a colonização total das placas controles, foram mensurados os diâmetros das colônias (mm) utilizando paquímetro digital, e calculados os percentuais médios de inibição do crescimento micelial. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5 % de significância, utilizando o software R. Os resultados demonstraram que há variabilidade entre os isolados, variando de 6,34% e 19,19% indicando uma boa precisão experimental para as variáveis avaliadas. O confronto com *M. phaseolina* evidenciou que isolados como IF 113, IF 123, IF 126, IF 127, IF 131, IF 134 e IF 135 exerceram maior efeito supressor sobre o crescimento micelial do fitopatógeno, indicando a produção de compostos voláteis atividade inibitória. Dessa forma, a identificação e seleção desses isolados de *Trichoderma* spp., tanto selvagens quanto transformados, que exibem capacidade de inibição contra *M. phaseolina*, representam etapas importantes para o avanço no desenvolvimento de agentes de biocontrole mais eficientes e sustentáveis na agricultura.

Palavras-chave - Antagonismo microbiano. Podridão de carvão. Sustentabilidade agrícola. Controle biológico. Soja

ABSTRACT

AVANZO, I. L. R. Selection of *Trichoderma* spp. isolates producing volatile organic compounds (VOCs) with potential for the biocontrol of *Macrophomina phaseolina*. finnal work, 42 p. 2026.

Abstract: A diversity of polyvalent, multifunctional strains of *Trichoderma* spp. has been widely used in the biological control of plant pests and diseases, being recognized for its effectiveness and for contributing to sustainable agricultural practices. In this study, 21 isolates including both wild-type and transformed strains aimed at improving characteristics related to the antagonistic potential of lineages of *Trichoderma* spp. were analyzed to identifying those capable of producing volatile organic compounds (VOCs) with antagonistic activity against *Macrophomina phaseolina*, a phytopathogen responsible for charcoal rot in soybean crops. The assay was carried out *in vitro* using the dual plate technique, which enables microbial interaction through a shared atmosphere without direct contact. The experiment was conducted in a completely randomized design, consisting of 21 *Trichoderma* spp. isolates paired with one isolate of the pathogen (*M. phaseolina*), with three replicates per combination, totaling 63 experimental units (excluding the control treatmentss plates containing only the phytopathogen and plates containing only *Trichoderma* spp.). Plates were incubated at 27 °C, under a 12-hour photoperiod. After complete colonization of the control platess, colony diameters (mm) were measured using a digital caliper, and the mean percentages of mycelial growth inhibition were calculated. Data were subjected to analysis of variance, and means were compared using the Scott-Knott test at 5 % significance level, using the R software. The results showed variability among the isolates, with values ranging from 6.34% to 19.19%, indicating good experimental precision for the evaluated variables. The confrontation with *M. phaseolina* revealed that the isolates IF 113, IF 123, IF 126, IF 127, IF 131, IF 134, and IF 135 exerted greater suppression of pathogen's mycelial growth, indicating the production of volatile compounds with inhibitory effects. Therefore, the identification and selection of these *Trichoderma* spp. isolates, both wild-type and transformed, thar wxhibit inhibitory activity against *M. phaseolina*, represent important steps toward advancing the development and application of more effective and sustainable biocontrol agents in agriculture.

Keywords – Agricultural Sustainability. Charcoal rot. Microbial antagonismo. Biological control. Soy

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	12
INTRODUÇÃO	16
REVISÃO DE LITERATURA	18
Soja - <i>Glycine max</i> (L) Merrill	18
Podridão de carvão das raízes - <i>Macrophomina phaseolina</i>	19
O fungo <i>Trichoderma</i> spp.	21
Compostos Orgânicos Voláteis de <i>Trichoderma</i> sp. para o controle de doenças na soja	24
MATERIAL E MÉTODOS.....	26
RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS	35

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Código dos isolados de <i>Trichoderma</i> spp. selvagens e transformados, tipos de substratos de origem e Cidade/Estado de obtenção do isolado.....	26
Tabela 2 . Médias + desvio padrão de área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial de <i>Trichoderma</i> spp. (AACPCMt) confrontado com <i>M. phaseolina</i> (AACPCMm) e taxa aparente do crescimento micelial de isolados de <i>Trichoderma</i> spp. (TACMt) confrontados com M. faseolina (TACMm).....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de distribuição geoespacial dos locais de obtenção de 21 isolados localizados no Centro-Oeste e Argentina.....	30
Figura 2 Médias da área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) de isolados de <i>Trichoderma</i> sp. (t) confrontados com <i>Macrophomina phaseolina</i> (m).....	33
Figura 3 Aspecto do crescimento micelial de <i>Trichoderma</i> sp. x <i>Macrophomina phaseolina</i> aos sete dias após incubação no ensaio in vitro. A: isolado IF 125; B: isolado IF 131.....	34

INTRODUÇÃO

A cultura da soja desempenha papel central no agronegócio brasileiro, destacando-se pela elevada área cultivada e pelo expressivo volume de produção. Na safra 2025/2026, a área plantada no Brasil é estimada em aproximadamente **48,4 milhões de hectares**, com produção em torno de **178 milhões de toneladas** e produtividade média de cerca de **3.675 kg ha⁻¹**, evidenciando o avanço tecnológico e a competitividade da cadeia produtiva nacional (CONAB, 2026).

Apesar de sua importância econômica, a soja está sujeita a diversos fatores que afetam negativamente a produtividade. Entre os principais estão os fitopatógenos, responsáveis por perdas significativas tanto em quantidade quanto em qualidade da produção. Esses fitopatógenos incluem fungos, bactérias, vírus e nematoides, cuja prevalência varia conforme a região e as condições climáticas de cada safra. As doenças radiculares e de colo têm se mostrado especialmente prejudiciais por comprometerem o desenvolvimento da planta desde os estádios iniciais, podendo causar perdas severas (AMORIM, 2016; SILVEIRA, 2013).

O fungo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. é o agente etiológico da podridão de carvão, uma doença típica de regiões quentes e secas. Classificado na divisão Ascomycota, ordem Botryosphaerales e família Botryosphaeriaceae, esse fitopatógeno se destaca pela produção de escleródios pretos e microescleródios que conferem alta resistência no solo. A infecção compromete o sistema radicular e os tecidos condutores, resultando em deficiência hídrica, clorose, murcha e morte prematura das plantas. A podridão de carvão está entre as principais doenças radiculares da soja no Cerrado brasileiro, sendo exacerbada por estresse hídrico e altas temperaturas (KAUR et al., 2012).

O fungo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. foi descrito originalmente a partir do basônimo *Macrophomina phaseolina* Tassi (1901), sendo posteriormente re combinado e validado na literatura micológica por Goidanich em 1947, conforme registrado na obra *Annalidella Sperimentazione Agraria* (INDEX FUNGORUM, 2026).

De acordo com a base taxonômica Index Fungorum, essa espécie está posicionada no Reino Fungi, filo Ascomycota, subfilo Pezizomycotina, classe Dothideomycetes, ordem Botryosphaerales e família Botryosphaeriaceae, sendo reconhecida atualmente pelo nome válido *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., registrado sob o identificador Index Fungorum Registration Identifier 300023 (INDEX FUNGORUM, 2026).

Dentre as alternativas ao controle químico convencional, o uso de agentes biológicos tem se mostrado promissor, sobretudo com a aplicação de fungos do gênero *Trichoderma*. Esses

microrganismos apresentam múltiplos mecanismos de ação contra fitopatógenos, como competição por espaço e nutrientes, micoparasitismo, indução de resistência sistêmica nas plantas e, mais recentemente, a produção de compostos orgânicos voláteis (COVs). Tais compostos possuem atividade antifúngica à distância, atuando sem a necessidade de contato direto com o fitopatógeno (HERMAM, 2011; KREDICS, 2014; SILVA et al., 2022).

O gênero ***trichoderma* Pers.** Foi estabelecido por Persoon em 1794, na obra *Neues Magazin für die Botanik*, sendo posteriormente sancionado por Fries em 1829 na publicação *Systema Mycologicum*, o que consolidou sua validade taxonômica na literatura micológica (INDEX FUNGORUM, 2026). A tipificação do gênero está associada à espécie ***trichoderma viride* Pers.** (1794), considerada espécie-tipo e referência para a delimitação taxonômica do grupo (INDEX FUNGORUM, 2026).

De acordo com a classificação apresentada na base de dados Index Fungorum, o gênero ***trichoderma*** está inserido no Reino **Fungi**, filo **Ascomycota**, subfilo **Pezizomycotina**, classe **Sordariomycetes**, subclasse **Hypocremycetidae**, ordem **Hypocreales** e família **Hypocreaceae**. O nome atualmente aceito permanece ***trichoderma* Pers.**, Neues Mag. Bot. 1: 92(1794), registrado sob o Index Fungorum Registration Identifier 10282, base taxonômica que também apresenta registros de sinonímia associados ao gênero na base **Species Fungorum** (INDEX FUNGORUM, 2026).

O gênero *Trichoderma* apresenta ampla diversidade taxonômica, com estudos recentes identificando novas espécies em solos brasileiros, indicando que o número de espécies descritas já ultrapassa a marca de ou 617.911 táxons descritos no mundo (INDEX FUNGORUM, 2026).

Em escala global, aproximadamente 50 a 60 % dos biofungicidas comerciais derivam de cepas desse gênero, consolidando-o como o mais utilizado na formulação de agentes de biocontrole (CAVALCANTE et al., 2025).

No Brasil, o setor tem crescido de forma expressiva: até o final de 2024, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento contabilizava 119 biofungicidas registrados dentre os produtos biológicos (ANDREATTA et al., 2025, MAPA, 2026). Mais recentemente, em 2025, foi lançado o biofungicida TrichoVex, ampliando as opções comerciais nacionais com base em *Trichoderma* (AGROPAGES, 2025). Essa capacidade de adaptação a diferentes nichos ecológicos, aliada à expansão contínua de registros e descobertas taxonômicas, reforça o potencial do gênero para o desenvolvimento de novos bioprodutos agrícolas.

Diante da necessidade de controle eficaz e sustentável dos principais fungos de solo que afetam a soja, o objetivo deste trabalho foi identificar isolados de *Trichoderma* spp., selvagens e transformados, capazes de produzir compostos orgânicos voláteis (COVs), com atividade

antagônica ao fungo *Macrophomina phaseolina*, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias alternativas no manejo fitossanitário da cultura.

REVISÃO DE LITERATURA

Soja - *Glycine max* (L) Merrill

A soja, pertencente à classe Magnoliopsida (Eudicotiledônea), ordem Fabales, família Fabaceae, gênero *Glycine* L., espécie *Glycine max*, é uma planta herbácea, (MULLER, 1981), apresentando crescimento determinado e desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. Foi trazida para a Europa no século XVII, durante o período conhecido como o das grandes navegações, onde permaneceu por mais de 200 anos apenas como uma curiosidade botânica, nos jardins botânicos das cortes europeias (BRETSCHNEIDER, 1882; FREITAS, 2011). Chegou aos EUA por volta do ano 1890 onde era cultivada como forrageira. Na década de 1940 a soja chegou ao Paraguai e na década de 1950 ao México e Argentina (HIRAKURI e LAZZAROTTO, 2014).

No Brasil, a grande expansão da cultura teve início a partir da década de 1970, quando a indústria de óleo começa a ser ampliada. O aumento da demanda internacional pelo grão é outro fator que contribui para o início dos trabalhos comerciais e em grande escala da sojicultura. Um importante papel no progresso da soja no Brasil esteve associado ao desenvolvimento rápido de tecnologias e pesquisas focadas no atendimento da demanda externa (CÂMARA, 2012; APROSOJA BRASIL, 2018).

O Brasil ocupou a posição de maior produtor mundial de soja na safra 2025/2026, com área plantada de 48,4 milhões de hectares, produção de 178 milhões de toneladas e produtividade média de 3.675 kg ha⁻¹, segundo a CONAB (2026).

O grão da soja é a fonte de proteína vegetal mais consumida para produzir proteína animal. Não obstante, seu óleo também assume papel de grande importância ao ser o segundo mais consumido mundialmente, atrás apenas do óleo de palma (GAONKAR E ROSENTRATER, 2019). Esses mercados sólidos garantem à soja alta liquidez e uma “commodity” de grande expressividade econômica, com elevado custo de produção no qual o manejo fitossanitário representa um importante dreno de capital (EMBRAPA, 2021).

Várias pragas e doenças podem incidir sobre a cultura da soja causando perdas qualitativas e quantitativas na produção, sendo as doenças um dos principais fatores da redução da produtividade, podendo comprometer totalmente a produção (DHINGRA, 2009; EMBRAPA, 2011)

A importância econômica de cada doença varia de ano para ano e de região para região, dependendo das condições climáticas de cada safra. No Brasil, já foram reconhecidos mais de 40 fitopatógenos em soja, incluindo fungos, bactérias, nematoides e vírus. Esse número continua aumentando com a expansão da soja para novas áreas, como consequência da monocultura, introdução e disseminação de novos fitopatógenos (AMORIM, 2016; SILVEIRA, 2013).

Podridão de carvão das raízes - *Macrophomina phaseolina*

A podridão-carvão da soja tem como agente causal *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., sendo considerada uma das principais doenças radiculares da cultura. O fungo foi originalmente descrito como *Macrophoma phaseolina* Tassi (1901) e posteriormente re combinado por Goidanich em 1947, passando a ser reconhecido pelo nome atualmente válido *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., conforme registrado na base taxonômica Index Fungorum (INDEX FUNGORUM, 2026). De acordo com essa base, a espécie pertence ao Reino Fungi, filo Ascomycota, subfilo Pezizomycotina, classe Dothideomycetes, ordem Botryosphaerales e família Botryosphaeriaceae.

O fitopatógeno é favorecido por ambientes quentes e secos e apresenta elevada capacidade de sobrevivência em condições de altas temperaturas devido à formação de microescleródios, estruturas de resistência que podem permanecer viáveis por vários anos no solo e em restos culturais. A infecção compromete o sistema radicular e o transporte de água e nutrientes, afetando o desenvolvimento da planta e dificultando o manejo da doença (MARQUEZ et al., 2021; KIRK et al., 2021; INDEX FUNGORUM, 2026).

Algumas cultivares de soja apresentam a floração durante períodos coincidentes com altas temperaturas atmosféricas e estresses hídrico, sendo mais suscetíveis à infecção por *M. phaseolina*. O primeiro relato da doença no Brasil, foi descrito por Ferreira et al. (1979) relatando que em anos secos e quentes, na Região Norte do Estado do PR, as perdas em soja das cultivares tardia, chegaram a atingir 50 %. Mais tarde, os prejuízos no Brasil, na safra 1996/97 foram estimados em 900 mil t de grãos, conforme relato de WRATHER et al. (1997).

O potencial hídrico do solo implica na ecologia deste fitopatógeno, uma vez que solos em condições de estresse hídrico tendem a desfavorecer a microflora, favorecendo o crescimento do fungo em decorrência do decréscimo da atividade competitiva exercida pelos organismos antagonistas (PEARSON et al., 1984; SMITH ET AL., 1999; FRANCL et al., 1988).

Foi observado por Dhingra et al. (1976) que com o aumento da matéria orgânica do solo houve decréscimo na colonização por *M. phaseolina*. Nas lavouras onde o preparo do solo não é adequado, permitindo a formação de camada compactada, as plantas desenvolvem sistema radicular mais superficial, não suportando deficiência hídrica e tornando-se mais vulneráveis ao ataque de *M. phaseolina*.

Especificamente na cultura da soja, a infecção de *M. phaseolina* pode ocorrer desde o início da germinação, na fase de plântula, uma vez que o fitopatógeno é um habitante natural dos solos. Nas radículas infectadas ocorre escurecimento e após o florescimento e estresse hídrico, as folhas tornam-se inicialmente cloróticas, secam e tornam-se marrons, permanecendo aderidas aos pecíolos. Nessa fase, as plantas retiradas do solo apresentam raízes apodrecidas, de coloração cinza, cuja epiderme é facilmente destacada, mostrando massa de microescleródios negros (AMORIM et al., 2016).

Em tecidos infectados, o fungo produz microescleródios, que constituem a principal fonte de inóculo primário no solo (SHORT et al., 1980). Os microescleródios são estruturas multicelulares, melanizadas, compactas e altamente resistentes a condições adversas. Em contato com exsudatos radiculares e sob condições favoráveis, essas estruturas germinam e infectam as raízes.

A longevidade no solo tende a diminuir ao longo do tempo, especialmente em solos com maior umidade, devido ao aumento da atividade microbiana antagonista e à degradação biológica das estruturas de resistência. Por outro lado, o baixo potencial hídrico do solo aumenta a suscetibilidade das plantas e pode reduzir a atividade de microrganismos antagonistas, favorecendo o desenvolvimento da doença (SHOKES et al., 1977; SHORT et al., 1978).

O fitopatógeno *M. phaseolina* apresenta elevada variabilidade genética e é considerado uma espécie altamente polífaga, capaz de infectar numerosas espécies hospedeiras, o que reduz a eficácia da rotação de culturas como estratégia isolada de manejo (ALMEIDA et al., 2008). A manutenção da cobertura do solo com resíduos culturais, associada ao adequado manejo físico e químico do solo, constitui prática importante para reduzir o estresse hídrico e melhorar as condições edáficas, contribuindo para a diminuição da severidade da doença.

Em áreas com compactação diagnosticada, práticas como escarificação ou subsolagem podem favorecer o desenvolvimento radicular. Além disso, o uso de cultivares mais tolerantes ao déficit hídrico e a altas temperaturas pode auxiliar na manutenção de baixos níveis de incidência e severidade da podridão-carvão da soja (WRATHER et al., 2008).

O fungo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. apresenta ampla distribuição geográfica e elevada capacidade de colonizar diferentes espécies vegetais. De acordo com

dados disponíveis na base USDA Fungal Databases – Systematic Mycology and Microbiology Laboratory (SIATE), a consulta realizada para essa espécie reúne 2.289 registros de ocorrência, os quais indicam a associação do patógeno com 627 espécies hospedeiras distintas, pertencentes a diversas famílias botânicas (USDA-ARS, 2026).

Além da ampla gama de hospedeiros, os registros da base de dados demonstram que *M. phaseolina* ocorre em pelo menos 83 países, distribuídos por diferentes regiões do mundo, incluindo América, Ásia, África, Europa e Oceania. Esses dados evidenciam o caráter cosmopolita do patógeno e sua elevada plasticidade ecológica, fatores que contribuem para a importância fitossanitária dessa espécie em diversos sistemas agrícolas (USDA-ARS, 2026).

A grande diversidade de hospedeiros registrada na base de dados reforça a capacidade adaptativa de *M. phaseolina*, característica frequentemente associada à persistência do patógeno no solo e à sua habilidade de infectar múltiplas culturas agrícolas e plantas espontâneas. Dessa forma, a amplitude de hospedeiros e a extensa distribuição geográfica observadas no banco de dados da USDA Fungal Databases destacam a relevância desse fungo como um importante patógeno de plantas em escala global (USDA-ARS, 2026).

O fungo *Trichoderma* spp.

O gênero *Trichoderma* Pers. foi estabelecido por Persoon em 1794, na obra *Neues Magazin für die Botanik*, sendo posteriormente sancionado por Fries em 1829 na publicação *Systema Mycologicum*, o que consolidou sua validade taxonômica na literatura micológica (INDEX FUNGORUM, 2026). A tipificação do gênero está associada à espécie *Trichoderma viride* Pers. (1794), considerada espécie-tipo e referência para a delimitação taxonômica do grupo (INDEX FUNGORUM, 2026). De acordo com a base de dados Index Fungorum, o gênero *Trichoderma* está inserido no Reino Fungi, filo Ascomycota, subfilo Pezizomycotina, classe Sordariomycetes, subclasse Hypocreomycetidae, ordem Hypocreales e família Hypocreaceae.

O nome atualmente aceito permanece *Trichoderma* Pers., *Neues Mag. Bot.* 1: 92 (1794), registrado sob o **Index Fungorum Registration Identifier 10282**, base taxonômica que também apresenta registros de sinonímia associados ao gênero na base Species Fungorum (INDEX FUNGORUM, 2026). O gênero *Trichoderma* apresenta ampla diversidade taxonômica, com novas espécies sendo descritas em diferentes ambientes, incluindo solos brasileiros, reunindo atualmente mais de 500 espécies registradas na base Index Fungorum (INDEXFUNGORUM,2026).

Em escala global, aproximadamente 50 a 60 % dos biofungicidas comerciais derivam de cepas desse gênero, consolidando-o como um dos mais utilizados na formulação de agentes de biocontrole (CAVALCANTE et al., 2025). No Brasil, o setor tem crescido de forma expressiva: até o final de 2024, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento contabilizava 119 biofungicidas registrados dentre os produtos biológicos (ANDREATTA et al., 2025; MAPA, 2026). Mais recentemente, em 2025, foi lançado o biofungicida **TrichoVex**, ampliando as opções comerciais nacionais com base em *Trichoderma* (AGROPAGES, 2025). Essa capacidade de adaptação a diferentes nichos ecológicos, aliada à expansão contínua de registros e descobertas taxonômicas, reforça o potencial do gênero para o desenvolvimento de novos bioprodutos agrícolas.

Existe uma grande biodiversidade de espécies de *Trichoderma* em diferentes habitats ecológicos, demonstrando uma alta adaptabilidade a vários nichos ecológicos. Podendo apresentar características sobrepostas dentro de um mesmo grupo ou secção, o estudo de isolados selvagens é de grande importância, visto que preparações comerciais para uso como agentes de controle biológico, devem ser compostas de conídios produzidos em massa (esporos assexuais), com suficiente viabilidade para crescimento vegetativo e atividade antagônica quando aplicado nas atividades agrícolas, uma vez que, ainda existe um interesse considerável em encontrar fungos micoparasitários mais eficientes, especialmente em *Trichoderma* spp. que diferem consideravelmente em relação à sua eficácia no biocontrole (MASSART & JIJAKLI, 2007).

A coleta e uso de isolados selvagens (isolados não comerciais) já é uma realidade visando a produção “on farm” como relatado no trabalho de BERNARDO et al. (2019) que elucida que a coleta e uso de isolados em lavouras comerciais podem ser uma eficiente estratégia de controle devido a estas populações serem naturalmente adaptadas ao ambiente local e especificamente agressivas sobre comunidades de fitopatógenos presentes naquela área agrícola. Ressalta-se o forte potencial dessa ferramenta de controle biológico sendo praticada por agricultores e da possibilidade real de isolar fungos do gênero *Trichoderma* de forma simples a partir do solo da própria fazenda. Essa tecnologia também cria possibilidade dos agricultores se associarem a centros de pesquisas regionais que permitam quantificar o nível de diversidade destes agentes biológicos no campo para desenvolvimento de estratégias específicas de manejo de doenças de solo em diferentes agroecossistemas.

Outra tecnologia importante, que possui potencial para melhoramento de isolados do gênero *Trichoderma* sp., é a transformação genética para seleção de genes com interesse biotecnológico. A biologia molecular da interação entre os transformantes de *Trichoderma* e

fitopatógenos tem sido estudada em detalhe. Para tanto, a crescente disponibilização de genomas de espécies de *Trichoderma* sp. tem permitido a análise funcional de genes envolvidos no controle biológico e efetores de defesa em plantas em maior escala (ZEILINGER, 2004; SCHUSTER & SCHMOLL, 2010).

Várias espécies de *Trichoderma* sp. são reconhecidamente capazes de estabelecerem relações benéficas com as plantas. Algumas dessas espécies são utilizadas como inoculantes para o controle de doenças (biofungicidas), biofertilizantes e fitoestimuladores. Com suas habilidades hiperparasitas e seus efeitos antagônicos, são capazes de induzir genes relacionados à defesa e proteger o hospedeiro contra infecções por fungos e bactérias fitopatogênicas. Através de seus compostos bioativos e efetores, esses fungos interagem com as raízes das plantas hospedeiras, induzindo resistência sistêmica a doenças, ou ainda, promovendo diretamente o crescimento e a tolerância destas a vários estresses abióticos, como a seca e a salinidade do solo através do aumento do crescimento das raízes, absorção de nutrientes e induzindo proteção contra o estresse oxidativo (HIDANGMAYUM & DWIVERDI 2018).

Estudos sobre *Trichoderma* spp. vêm confirmando a capacidade desses fungos em controlar fitopatógenos habitantes do solo, como *Fusarium* Link 1809, *Rhizoctonia solani* Khün 1858, *Sclerotium cepivorum* Berk 1840 (anamorfo) de *Stromatinia cepivora* Whetzel 1945, *Agrothelia rolfsii* Saccardo 1911 (anamorfo) de *Athelia rolfsii* (Curzi) C.C. Tu & Amp; Kimbr 1978 (teleomorfo), *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary 1884, entre outros (ALVARADO-MARCHENA & RIVERA-MÉNDEZ 2016; SRIVASTAVA ET AL. 2016; NAGAMANI et al. 2017; O'BRIEN 2017). O potencial para controlar fitopatógenos de solo deve-se em grande parte à habilidade de colonizar escleródios, microescleródios e clamidósporos que, de maneira geral, são alvos difíceis de serem atingidos por fungicidas sintéticos. Isso pode também estar relacionado à ocorrência natural de *Trichoderma* spp., na maioria dos solos agricultáveis (GONZÁLEZ & FUENTES 2017).

Os diversos mecanismos de ação utilizados por *Trichoderma* spp. contra os fitopatógenos e o fato de não serem patogênicos às plantas, são características que tornam as espécies desse gênero atraentes como agentes de controle de biológico (HADDAD et al. 2017; MARQUES et al. 2018). Tais mecanismos envolvem a competição por espaço físico, água, luz e nutrientes; o parasitismo, que pode ser mediado pela produção de enzimas líticas e a antibiose, decorrente da síntese de metabólitos secundários com ação antimicrobiana (MACHADO et al. 2012; KOTTB et al. 2015; CHEN et al. 2016; GONZÁLEZ & FUENTES 2017). Adicionalmente, certas linhagens de *Trichoderma* sp., além de possuírem habilidade para suprimir o crescimento de fitopatógenos, podem induzir resistência sistêmica (RSI) a doenças

e/ou promover o crescimento das plantas, aumentando germinação das sementes, ramificação e crescimento de raízes, brotação de estacas, crescimento de ramos, incremento de área foliar e aumento no rendimento das culturas. Esses dois mecanismos adicionais (promoção de crescimento e indução de resistência de plantas) são considerados indiretos e podem ser resultantes da atividade do agente de biocontrole sobre o fitopatógeno (MELLO et al. 2020).

O potencial de uso de *Trichoderma* sp. tem sido melhor comprovado pela presença física do fungo, tanto na interação antagonista-patógeno ou antagonista-planta. Nos últimos anos, esforços têm sido direcionados a desvendar a importância da emissão dos compostos orgânicos voláteis (COVs) durante o controle biológico por *Trichoderma* sp.; diversos resultados mostraram que esses COVs possuem características importantes que também justificam o uso de *Trichoderma* sp. na agricultura (KADDES et al. 2019).

Compostos Orgânicos Voláteis de *Trichoderma* sp. para o controle de doenças na soja

Plantas, fungos e bactérias podem produzir COVs com diversas funções e em diferentes proporções. Fungos do gênero *Trichoderma* sp. estão entre os organismos mais estudados quanto à produção de COVs (KADDES et al. 2019); estes exercem papel crucial nas interações com as plantas e com os fitopatógenos. Fatores como temperatura, luz, fase de crescimento e disponibilidade de nutrientes afetam a produção desses metabólitos (GUO et al. 2019; SPECKBACHER et al. 2020).

Os mecanismos que governam as etapas desde o reconhecimento dos COVs pelo microrganismo-alvo até a expressão da resposta pelo microrganismo ainda não foram claramente explicados. Alguns autores sugerem que os COVs atuam na alteração da expressão de proteínas e atividades de enzimas específicas, podendo refletir no crescimento dos vegetais ou indução de resistência (MALMIERCA et al. 2012; BITAS et al. 2013; BAE et al. 2016).

Os COVs são compostos hidrofóbicos e possuem baixa massa molecular com aproximadamente 20 átomos de carbono. Tais características lhes conferem a capacidade de evaporar facilmente à temperatura ambiente, atravessar as membranas celulares com facilidade e serem liberados no ar ou no solo, na ausência de uma barreira de difusão (SIDDIQUEE et al. 2012; HUNG et al. 2013). Dessa forma, esses compostos costumam servir como mediadores na comunicação, interação e/ou competição entre organismos ou entre organismos e plantas.

Diversos COVs liberados por culturas de *Trichoderma* spp. foram detectados e caracterizados. A ação desses compostos contra os fitopatógenos difere de acordo com o isolado e o patossistema (LAZAZZARA et al. 2021), e várias questões nesse campo necessitam, ainda,

serem elucidadas. Por exemplo, como os COVs de *Trichoderma* sp. podem suprimir os fitopatógenos, como misturas voláteis causam efeitos antifúngicos e, como a promoção de crescimento é desencadeada nas diferentes espécies vegetais, são perguntas ainda sem respostas.

Porém, nos últimos anos vêm sendo direcionados esforços para a exploração do potencial de uso de *Trichoderma* sp. na agricultura sob diferentes aspectos, entre os quais, desvendar o repertório de genes envolvidos na síntese desses metabólitos secundários, a implicação dos mesmos na habilidade de biocontrole dos microrganismos, bem como na promoção de crescimento de plantas. Até o momento, perfis de emissão de COVs de cerca de 600 espécies microbianas foram obtidos (SCHULZ-OHM et al. 2017; SCHULZ-BOHM et al. 2018), incluindo *Trichoderma* spp. Esses compostos estão diretamente envolvidos nas interações microrganismo-planta e microrganismo-microrganismo, sendo que a maioria deles ativam alterações de crescimento e resposta de defesa, em plantas e, provocam alterações fisiológicas em fungos (PIECHULLA et al. 2017).

O conhecimento molecular do genoma de várias espécies de *Trichoderma* sp. indica que esse gênero é rico em genes que codificam enzimas responsáveis pela produção de metabólitos secundários. Apesar de se tratar de substâncias que não são vitais para o fungo, alguns desses metabólitos podem contribuir para uma vantagem competitiva, que traria benefícios no que se refere à promoção do crescimento de plantas e à inibição de fitopatógenos.

Segundo Kubicek et al. (2011) e Mukherjee et al. (2012), muitos dos genes que codificam para produção de metabólitos secundários representam um subconjunto importante relacionado à produção de COVs. No gênero *Trichoderma* sp., aproximadamente 480 COVs diferentes foram detectados em diversas espécies (GUO et al. 2019). Entre esses compostos, incluem-se principalmente terpenóides e derivados de ácidos graxos, os quais podem pertencer a diferentes classes químicas, como terpenos, álcoois, cetonas, lactonas, compostos aromáticos, aldeídos e ésteres (SCHENKEL et al. 2015, ZEILINGER et al. 2016; KADDES et al. 2019).

Alguns compostos produzidos por espécies de *Trichoderma* são: 3-Octanona, 3-Octanol e 1-Octen-3-ol (NEMČOVIČ et al. 2008); 6-Pentil-Pirona (EL-HASAN & BUCHENAUER 2009; GARNICA-VERGARA et al. 2015); 3-Metilbutil Acetato, Nonanal, β -Farneseno, β -Bisaboleno, β -Sesquifelandreno (LEE et al. 2016); N-metil-N-nitrosoisobutiramida (HUTCHINGS et al. 2017); δ -Cadineno, β -Elemeno, 2-Pentilfurano, γ -Muuroleno (GONZÁLEZ-PÉREZ et al. 2018). A biossíntese dos COVs é altamente dependente da disponibilidade de carbono, nitrogênio, enxofre e de energia fornecida pelo metabolismo primário (KADDES et al. 2019). Sendo assim, a produção de COVs por *Trichoderma* é bastante

diversificada qualitativamente e também quantitativamente. Essa diversidade está relacionada a vários fatores abióticos como temperatura, umidade e substrato, e também a fatores bióticos, como espécie e idade da colônia (LEE et al. 2016; GUO et al. 2019).

Os COVs estão envolvidos em diferentes processos biológicos e apresentam potencial para aplicação biotecnológica (DRUZHININA et al. 2011; JALALI et al. 2017). Através dos COVs, os fungos são capazes de interagir com as plantas e se defenderem de predadores (CHEN et al. 2016; KADDES et al. 2019). Considerando a existência de aproximadamente 340 espécies e milhares de linhagens de *Trichoderma* (BISSET et al. 2015; WANG & ZHUANG 2019) e que o perfil dos COVs é diferente entre as espécies e/ou linhagens (LEE et al. 2016; ZEILINGER et al. 2016), presume-se que exista um grande número desses compostos a serem conhecidos e explorados como insumo para a agricultura.

Rajani et al. (2021) relataram a atividade antimicrobiana de COVs de quatro espécies endofíticas de *Trichoderma*, usando a técnica de placas duplas. Nesse estudo, verificou-se a inibição do crescimento micelial de três fitopatógenos (*S. sclerotiorum*, *A. rolfsii* e *Fusarium oxysporum*), enquanto *Macrophomina phaseolina* não foi afetado.

Análise por cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massa de *T. longibrachiatum* revelaram a presença de diversos COVs, incluindo hidrocarbonetos, álcoois, cetonas, aldeídos, ésteres, ácidos, éteres e diferentes classes de terpenos. Nos últimos anos, o número de trabalhos demonstrando o papel dos COVs de microrganismos no controle biológico tem aumentado, devido principalmente aos avanços alcançados na caracterização dos perfis químicos desses compostos, impulsionada pelo uso das técnicas analíticas para identificação de COVs (CHEN et al. 2016; NIETO-JACOBO et al. 2017; GUO et al. 2019).

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Fitopatologia do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí. Foram utilizados 21 isolados axênicos de *Trichoderma* spp., provenientes de diferentes hospedeiros (Tabela 1) e pertencentes à coleção micológica de referência do IF Goiano campus Urutaí. Os pontos de origem dos isolados foram georreferenciados em graus decimais (DD) e visualizados sobre o mapa geoespacial do Brasil, utilizando o pacote Leaflet (CHENG et al., 2025).

Tabela 1. Código dos isolados de *Trichoderma* spp. selvagens e transformados, tipos de substratos de origem e Cidade/Estado de obtenção do isolado.

Isolados

	Tipo de substrato	Origem
IF 114	Coletado em mata IF	Urutaí-GO
IF 132	Feijão	Urutaí-GO
IF 136	Feijão	Urutaí-GO
IF 128	Algodão	Urutaí-GO
IF 121	Capim massambará	Urutaí-GO
IF 134	Corda de viola	Urutaí-GO
IF 129	Ipê – roxo	Urutaí-GO
IF 133	Ipê – roxo	Urutaí-GO
IF 120	Soja	Urutaí-GO
IF 120	Soja	Urutaí-GO
IF 137	Soja	Urutaí-GO
IF 135	Soja	Urutaí-GO
IF 122	Soja	Urutaí-GO
IF 113	Milho	Urutaí-GO
IF 131	<i>Ficus</i> sp.	Urutaí-GO
IF 127	Algodãozinho do cerrado	Urutaí-GO
IF 130	Milho	Urutaí-GO
IF 123	Sementes de soja	Argentina
IF 125	Produto comercial Ecotrich	Urutaí-GO
IF 126	Transformados	Laboratório de Enzimologia UFG/ICB)
IF 124	Transformados	Laboratório de Enzimologia UFG/ICB)

Fonte: elaborado pela própria autora

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 21 isolados com três repetições por combinação, totalizando 63 unidades experimentais. Para o ensaio, foram utilizadas placas de Petri contendo meio de cultura sólido batata-dextrose-ágar (BDA). Em uma das placas, foi colocado um disco de cinco mm de diâmetro de micélio dos isolados de *Trichoderma* spp.; em outra, um disco de *M. phaseolina* (oriundo de soja, Urutaí, GO). As placas foram sobrepostas, de modo que compartilhassem a mesma atmosfera interna (sem contato direto), o qual os antagonistas posicionados em placas contrárias. O conjunto foi selado com filme plástico transparente, visando vedação eficiente e acúmulo dos COVs liberados pelos isolados.

A disposição com o *Trichoderma* sp. na parte inferior teve dois propósitos: (1) facilitar a ascensão dos COVs, que tendem a subir devido ao seu baixo peso molecular, e (2) evitar a contaminação da colônia de *S. sclerotiorum* (antagonista).

As placas foram incubadas a 27 °C, com fotoperíodo de 12 horas. O tratamento controle (testemunha) consistiu em placas contendo apenas *M. phaseolina*, sem contato com COVs produzidos por isolados de *Trichoderma* spp. A mensuração do crescimento micelial dos fitopatógenos foi realizada com paquímetro digital, ao final da colonização completa nas placas controle. A inibição foi calculada utilizando a fórmula: $I = \left(\frac{C-T}{C}\right) \times 100$ onde I representou a porcentagem de inibição, C é o diâmetro médio das colônias no controle e T o diâmetro médio nas placas tratadas com COVs produzidos por isolados de *Trichoderma* spp.

As variáveis utilizadas incluíram a área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) e taxa aparente do crescimento micelial (TACM). A AACPCMt representou a área abaixo da curva de progresso dos isolados de *Trichoderma* spp. e AACPCMm representou isolados de *M phaseolina*.

A formula clássica de Shaner e Finney (1977) utilizada para calcular a AACPD é:

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Onde:

- y_i = severidade ou incidência da doença na avaliação i
- y_{i+1} = severidade ou incidência na avaliação seguinte
- t_i = tempo da avaliação
- t_{i+1} = tempo da avaliação seguinte
- n = número total de avaliações

Essa equação corresponde ao método dos trapézios, que aproxima a área sob a curva por meio da soma de pequenos trapézios formados entre duas avaliações consecutivas. O coeficiente angular ou taxa aparente de crescimento micelial (TACM) é calculado pela seguinte expressão:

A equação geral da regressão linear é:

$$Y = a + bX$$

Onde:

Y = variável dependente (resposta)

X = variável independente (explicativa)

a = intercepto da reta (valor de Y quando X = 0)

b_x (b) = coeficiente angular da reta

O coeficiente **b_x** indica **a taxa de variação de Y em função de X**, ou seja, quanto Y aumenta ou diminui para cada unidade de aumento em X.

$$b = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Onde:

n = número de observações

ΣX = soma dos valores de X

ΣY = soma dos valores de Y

ΣXY = soma dos produtos de X por Y

ΣX² = soma dos quadrados de X

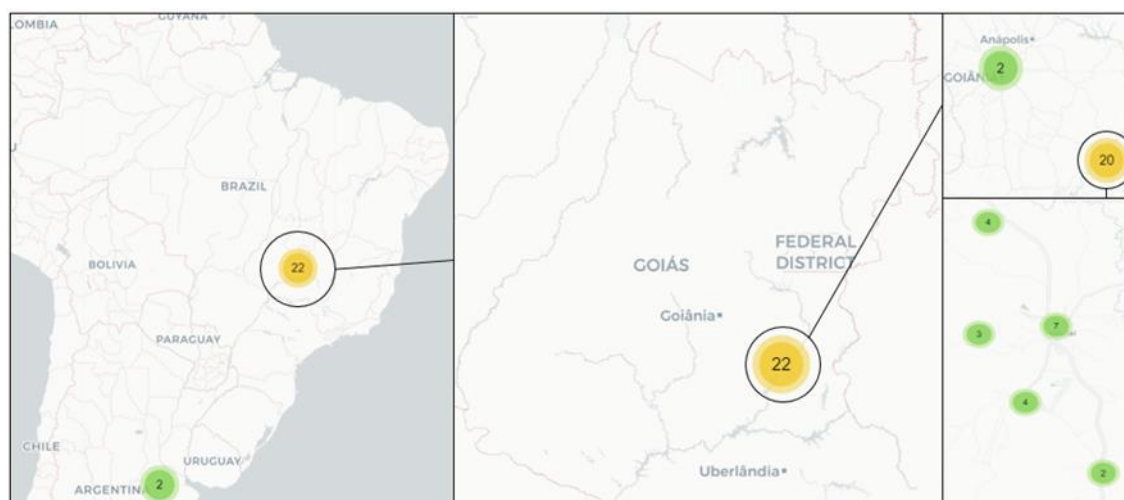
Os dados foram submetidos aos testes de hipótese para verificação se satisfazia pressuposições para aplicação da ANOVA (teste paramétrico), representado pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade das variâncias, pelo teste de Bartlett. Quando as pressuposições não foram satisfeitas, aplicou-se o teste Friedman (não paramétrico) e o teste de comparação de médias Scott-Knott ranqueado (JELIHOVSCHI et al., 2014).

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R, versão 4.4.2 (R Core Team, 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os isolados de *Trichoderma* spp. provenientes da região de GO e do DF demonstraram significativa representatividade na área do Centro-Oeste brasileiro. Esses isolados foram coletados em diversas localidades, com uma notável concentração no estado de GO e arredores, incluindo municípios como Anápolis e Goiânia, além da presença de dois isolados provenientes da Argentina. O mapa de distribuição indicou a diversidade geográfica e o desempenho antagonista desses isolados, que pode estar relacionado às condições edafoclimáticas das regiões de coleta. A predominância de isolados oriundos do Centro-Oeste brasileiro sugere que essa região pode representar um possível “hotspot” para a prospecção de estirpes de

Trichoderma spp. com potencial para o controle biológico de fitopatógenos como *M. phaseolina*. (Figura 1).



Fonte: elaborado pela própria autora

Figura 1 Mapa de distribuição geoespacial dos locais de obtenção de 21 isolados localizados no Centro-Oeste e Argentina.

Na tabela 2 observa-se que os P-valores para todas as variáveis analisadas AACPCMt (Área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial de *Trichoderma* spp.), TACMt (Taxa aparente de crescimento micelial de *Trichoderma*), AACPCMm (Área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina*) e TACMm (Taxa aparente de crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina*) foram consistentemente inferiores a 0,05, ou seja, existem diferenças significativas entre os isolados para cada uma das variáveis dependentes avaliadas. Os coeficientes de variação (C.V. %) para as variáveis demonstraram diferentes níveis de variabilidade nos dados, variando de 6,34 % para AACPCMt a 19,19 % para TACMm, contudo, a presença de agrupamentos estatisticamente distintos foi confirmada pelos P-valores e níveis de significância (Tabela 2).

Para a AACPCMt, os isolados como IF 121, IF 127, IF 132, IF 133, IF 134 e IF 136 exibiram as maiores médias, indicando uma boa precisão de ascensão dos compostos voláteis com efeito inibitório contra o fitopatógeno (JOO; HUSSEIN, 2022). Essa distinção indicou que esses isolados apresentaram um crescimento micelial de *Trichoderma* spp. significativamente superiores em comparação com os demais. Por outro lado, os isolados IF 113, IF 122, IF 123, IF 124, IF 125, IF 126, IF 128 e IF 131, apresentaram menores crescimentos miceliais (Tabela 2), esses resultados sugeriu variabilidade entre os isolados de *Trichoderma* spp., o que pode influenciar o seu desempenho em interações antagonistas com o fitopatógeno.

Na variável resposta TACMt, o isolado IF 113 apresentou a maior média de velocidade de expansão radial do micélio diferindo estatisticamente dos demais. Já os isolados IF 128, IF133 e IF 134, apresentaram as menores TACMt, ou seja, apresentaram as menores velocidades de crescimento quando pareados com o fitopatógeno, logo não produzindo compostos voláteis (Tabela 2), a falta de produção desses compostos voláteis pode estar relacionada a diversos fatores como à variabilidade metabólica entre os isolados avaliados, uma vez que os COVs podem variar entre diferentes isolados da mesma espécie (VAN ZIJLL de JONG et al., 2023).

Os isolados de *Trichoderma* spp. apresentaram respostas contrastantes quanto à capacidade de inibir o crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina* por meio da produção de compostos orgânicos voláteis (COVs). A análise dos parâmetros AACPCMm e TACMm evidenciou diferenças significativas entre os isolados, indicando variabilidade no potencial antagonista (Tabela 2, Figura 2).

Os isolados IF 113, IF 123, IF 126, IF 127, IF 131, IF 134 e IF 135 destacaram-se como os mais eficazes, promovendo reduções expressivas na área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial do fitopatógeno (AACPCMm), além de menores taxas aparentes de crescimento (TACMm) (Tabela 2, Figura 2). Esses resultados indicam forte efeito inibitório sobre *M. phaseolina*, associado à liberação de COVs biologicamente ativos. O desempenho observado para esses isolados esteve de acordo com estudos que relatam a produção, por espécies de *Trichoderma* sp., de metabólitos voláteis com ação antifúngica, capazes de interferir na integridade da membrana celular, na respiração e no metabolismo de fitopatógenos (KUBICEK et al., 2011; GUO et al., 2019; SILVA et al., 2022).

Os isolados IF 129, IF 132, IF 133 e IF 136 apresentaram comportamento intermediário, com redução moderada do crescimento de *M. phaseolina* (Tabela 2, Figura 2). Esse padrão sugeriu produção de COVs em menor quantidade ou com menor toxicidade, resultando no efeito predominantemente fungistático (VAN ZIJLL de JONG et al., 2023).

Diferenças qualitativas e quantitativas no perfil de COVs entre isolados do mesmo gênero são amplamente descritas na literatura e estão relacionadas a fatores genéticos e fisiológicos específicos de cada linhagem (LEE et al., 2016; ZEILINGER et al., 2016).

Por outro lado, os isolados IF 114, IF 119, IF 120, IF 121, IF 122, IF 124, IF 125, IF 128, IF 130 e IF 137 foram classificados como menos eficazes, uma vez que apresentaram valores elevados de AACPCMm, semelhantes à testemunha (Tabela 2, Figura 2), o que indicou menor capacidade inibitória do crescimento micelial do fitopatógeno por meio da produção de compostos orgânicos voláteis (RAJANI et al., 2021). Em especial, o isolado IF 125 permitiu

amplo crescimento do fitopatógeno (Figura 2 e Figura 3), indicando ausência ou baixa produção de COVs com atividade antifúngica. Esses resultados reforçaram que o crescimento micelial do antagonista, isoladamente, não é um bom preditor da eficiência no biocontrole via compostos voláteis (DRUZHININA et al., 2011; KADDES et al., 2019).

De forma geral, os resultados demonstraram que a eficiência antagonista de *Trichoderma* spp. frente a *M. phaseolina* é altamente dependente do isolado avaliado. A identificação dos isolados mais eficazes neste estudo destaca o potencial do uso direcionado de cepas selecionadas como estratégia sustentável para o manejo da podridão-de-carvão, reforçando a importância da prospecção e caracterização funcional de isolados com elevado potencial metabólico.

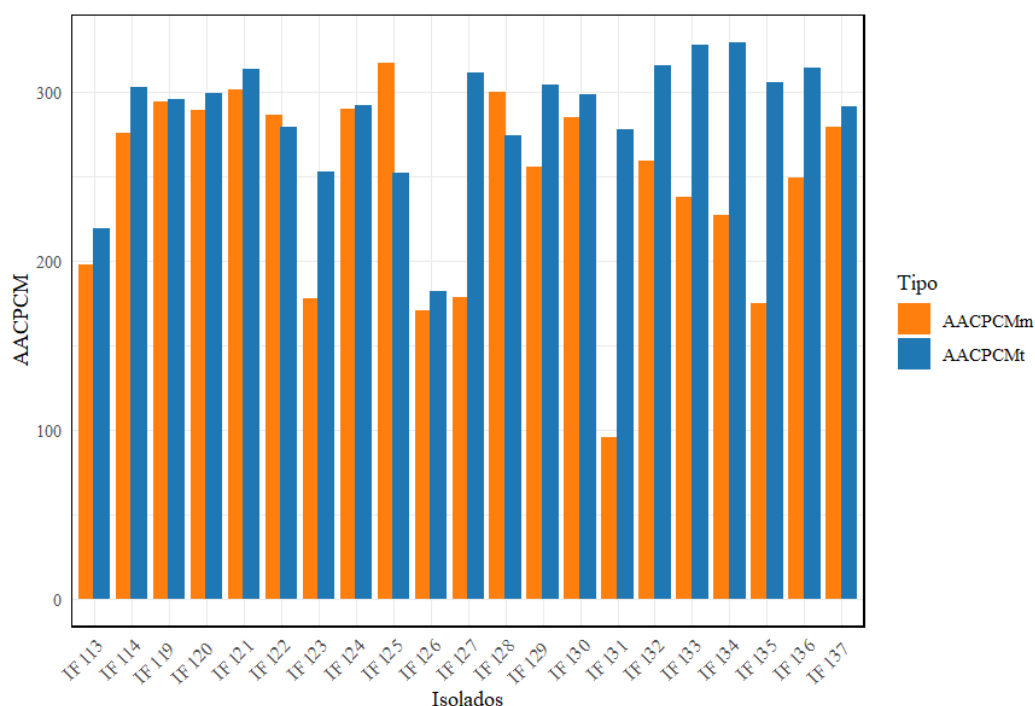
Tabela 2 . Médias + desvio padrão de área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial de *Trichoderma* spp. (AACPCMt) confrontado com *M. phaseolina* (AACPCMm) e taxa aparente do crescimento micelial de isolados de *Trichoderma* spp. (TACMt) confrontados com *M. phaseolina* (TACMm).

Isolados de <i>Trichoderma</i> spp.	<i>Macrophomina phaseolina</i>			
	AACPCMt	TACMt	AACPCMm	TACMm
IF 113	223,00±25,91 c	12,57±0,64 a	234,00±47,12 c	8,57±2,23 b
IF 114	301,00±4,28 b	8,68±0,39 d	279,00±11,10 a	8,93±0,28 b
IF 119	296,50±4,92 b	8,93±0,37 d	282,50±12,50 a	9,64±0,77 a
IF 120	301,50±3,22 b	8,50±0,36 d	289,00±4,33 a	9,43±0,34 a
IF 121	316,00±8,89 a	7,46±0,51 d	299,00±3,28 a	8,82±0,28 b
IF 122	278,50±1,36 c	10,25±0,16 c	279,00±7,67 a	6,61±0,57 b
IF 123	249,00±11,69 c	11,04±0,33 b	178,50±19,49 c	13,71±1,31 a
IF 124	292,50±5,92 c	8,86±0,14 d	295,50±10,49 a	8,93±0,24 b
IF 125	247,50±27,96 c	10,18±0,63 c	330,00±12,83 a	6,43±0,79 b
IF 126	173,00±10,11 c	10,64±0,62 c	183,00±39,59 c	10,50±1,93 a
IF 127	313,50±2,33 a	8,68±0,25 d	181,50±31,93 c	10,46±0,24 a
IF 128	276,50±9,02 c	5,68±0,49 e	298,00±6,12 a	8,64±0,28 b
IF 129	305,00±2,20 b	8,14±0,11 d	249,00±14,13 b	7,18±0,99 b
IF 130	298,50±0,29 b	8,54±0,10 d	284,00±4,49 a	9,39±0,16 a
IF 131	279,00±5,11 c	10,68±0,29 b	53,50±45,28 c	7,86±1,96 b
IF 132	321,00±9,39 a	7,14±0,67 d	259,00±3,04 b	8,54±0,09 b
IF 133	328,00±0,29 a	6,86±0,06 e	227,00±27,97 b	9,14±0,07 a
IF 134	329,50±0,44 a	6,54±0,09 e	228,00±1,20 c	6,11±1,00 b

IF 135	303,00±4,97 b	9,50±0,41 c	154,50±23,49 c	10,75±1,06 a
IF 136	308,00±7,45 a	7,75±0,47 d	229,50±19,50 b	10,00±0,62 a
IF 137	303,00±13,38 b	8,64±0,41 d	283,00±5,13 a	7,21±0,46 b
Pvalor	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05
CV	6,34	8,01	15,35	19,19

Fonte: elaborado pela própria autora

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



Fonte: elaborado pela própria autora

Figura 2 Médias da área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) de isolados de *Trichoderma* sp. (t) confrontados com *Macrophomina phaseolina* (m).

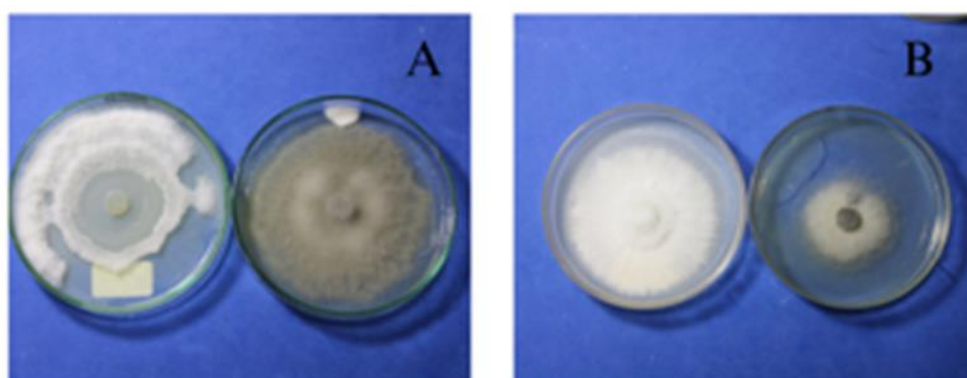
A análise comparativa do desempenho dos isolados de *Trichoderma* spp. frente ao fitopatógeno *M. phaseolina* evidenciou diferenças marcantes na resposta antagonista, revelando não apenas a variabilidade intrínseca dos isolados, mas também a diversidade de mecanismos de interação entre microrganismos.

No confronto com *M. phaseolina*, os isolados IF 113, IF 123, IF 126, IF 127, IF 131, IF 134 e IF 135 demonstraram desempenho expressivo, reduzindo significativamente a progressão micelial do fitopatógeno.

O efeito observado pode estar associado à liberação de compostos voláteis e à rápida colonização do substrato, aspectos amplamente descritos na literatura como mecanismos

fundamentais de antagonismo de *Trichoderma* spp. Esse padrão indicou que determinados isolados apresentam potencial para uso em estratégias de manejo integrado de doenças associadas a *M. phaseolina*, como a podridão de carvão, frequentemente problemática em culturas de importância agrícola (SILVA et al., 2022).

Após sete dias de incubação, verificou-se que os isolados de *Trichoderma* sp. apresentaram efeitos distintos sobre o crescimento de *M. phaseolina* (Figura 3). Na presença do isolado IF 125 (Figura 3A) o fitopatógeno exibiu maior amplitude de crescimento, evidenciando baixa capacidade antagonista desse isolado. Já com o isolado IF 131 (Figura 3B) o crescimento de *M. phaseolina* foi relativamente menor, sugerindo melhor desempenho desse isolado no confronto direto, embora sem supressão completa do fitopatógeno. Esses resultados indicaram diferenças no potencial de biocontrole entre os isolados e reforçam a necessidade de seleção de cepas mais eficientes para estudos posteriores.



Fonte: elaborado pela própria autora

Figura 3 Aspecto do crescimento micelial de *Trichoderma* sp. x *Macrophomina phaseolina* aos sete dias após incubação no ensaio in vitro. A: isolado IF 125; B: isolado IF 131.

CONCLUSÕES

O confronto com *M. phaseolina* evidenciou que isolados como IF 113, IF 123, IF 126, IF 127, IF 131, IF 134 e IF 135 exerceram maior supressão do crescimento micelial do fitopatógeno, revelando a produção de compostos voláteis com efeito inibitório. Esses resultados sugerem que isolados de *Trichoderma* sp. podem representar uma alternativa promissora no manejo da podridão-de-carvão e de outras doenças relacionadas a esse fitopatógeno. Nesse sentido, a identificação e seleção de isolados de *Trichoderma* sp., tanto selvagens quanto transformados que exibem capacidade de inibição contra *M. phaseolina*, são

passos importantes para avançar na pesquisa e aplicação de agentes de biocontrole mais eficazes e sustentáveis na agricultura.

Estudos futuros devem priorizar ensaios *in vivo* para validação da eficiência em condições de casa de vegetação e campo, bem como a investigação dos mecanismos de antagonismo, incluindo a produção de metabólitos secundários e enzimas hidrolíticas. Além disso, a identificação molecular, a avaliação da compatibilidade com estratégias de manejo integrado de doenças e estudos sobre formulação e persistência no solo também são necessários para viabilizar a aplicação prática desses isolados como bioinsumos sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- AGROPAGES. Satis launches TrichoVex, a new Trichoderma-based biofungicide in Brazil. AgroPages, 2025.
- ALMEIDA, ÁLVARO, R. ALMEIDA; DANIEL R. GOMEZ S.; BINNECK E; SILVANA R.; MARIA I.; ZUCCHI; RICARDO V. ABDELNOOR; ELIEZER R. Effect of crop rotation on specialization and genetic diversity of *Macrophomina phaseolina*. Tropical Plant Pathology, v. 33, n. 4, p. 257–264, 2008.
- ALVARADO-MARCHENA, L.; RIVERA-MÉNDEZ, W. Molecular identification of *Trichoderma* spp. in garlic and onion fields and *in vitro* antagonism trials on *Sclerotium cepivorum*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 40, p. e0150454, 2016. DOI: 10.1590/18069657rbcs20150155.
- AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A, Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. 5. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., v. 2. 810 p. 2016.
- APROJOSA, Associação Brasileira dos Produtores De Soja – BRASIL. A soja no Brasil. Brasília: Aprosoja Brasil, 2018.
- ANDREATTA, M. S.; SILVA, R. F.; COSTA, J. T.; OLIVEIRA, L. A. Panorama do registro de biofungicidas e produtos biológicos no Brasil. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 20, n. 1, p. 1-12, 2025.
- BAE, S.J.; MOHANTA.; T.K.; CHUNG, J.Y.; RYU, M., PARK, G.; SHIM, S.; HONG, S.B.; SEO, H.; BAE, D.W.; BAE, I.; KIM, J.J.; BAE, H. *Trichoderma* metabolites as biological control agents against *Phytophthora* pathogens. Biological Control, v. 92, p. 128-138, 2016.
- BERNARDO, J. T.; ARGUILERA, J. G.; SILVA, R. B.; MEDEIROS, Í. R. E.; VIAN, R.; NIELLA, G. R.; ULHOA, C. J. Isolamento *on farm* de *Trichoderma*: uma ferramenta no controle de doenças de solo para agricultores no Brasil. Revista Eletrônica Científica da UERGS, v. 5, p. 263- 270, 2019.
- BISSET J.; GAMS, W.; JAKLITSCH, W.; SAMUELS, G. J.; CHAVERRI, P.; VITERBO, A.; BAKER, S. E.; DRUZHININA, I. S.; GRIGORIEV, I. V.; KUBICEK, C. P.; KOMON-

ZELAZOWSKA, M.; CRESPO, A.; MUKHERJEE, P. K.; ZEILINGER, S.; HERMOSA, R.; MONTE, E. Accepted *Trichoderma* names in the year 2015. *IMA Fungus*, v. 6, p. 263–295, 2015.

BISSET, J. A revision of the genus *Trichoderma*. I. Section *Longibrachiatum* sect. nov. *Canadian Journal of Botany*, v. 62, n. 5, p. 924–931, 1984.

BITAS, V.; KIM, H. S.; BENNETT, J. W.; KANG, S. Sniffing on microbes: diverse roles of microbial volatile organic compounds in plant health. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, v. 26, n. 8, p. 835–843, 2013.

BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. In: CÂMARA, G. M. S. Soja: tecnologia de produção II. Piracicaba: ESALQ/LPV, 2000. p. 1–18. Piracicaba, SP: USP/ESALQ/LPV, 2017.

BRETSCHEIDER, W. *Botanicum sinicum: notes on Chinese botany from native and western sources*. *Journal of the Royal Asiatic Society*, v. 16–17, p. 18–230, 1882.

CÂMARA, G. M. S. *Introdução ao Agronegócio Soja*. Piracicaba: USP/ESALQ, 2012.

CAVALCANTE, A. L. A.; NEGREIROS, A. M. P.; MELO, N. J. A.; SANTOS, F. J. Q.; SILVA, C. S. A. S.; PINTO, P. S. L.; KHAN, S.; SALES, I. M. M.; SALES JÚNIOR, R. Adaptability and sensitivity of *Trichoderma* spp. isolates to environmental factors and fungicides. *Microorganisms*, Basel, v. 13, n. 7, p. 1689, 2025.

CHAVERRI, P.; BRANCO-ROCHA, F.; JAKLITSCH, W.; GAZIS, R.; DEGENKOLB, T.; SAMUELS, G. J. Systematics of the *Trichoderma harzianum* species complex and the re-identification of commercial biocontrol strains. *Mycologia*, v. 107, n. 3, p. 558–590, 2015.

CHAVERRI, P.; SAMUELS, G. J. *Hypocrea/Trichoderma* (Ascomycota, Hypocreales, Hypocreaceae): species with green ascospores. *Studies in Mycology*, v. 48, p. 1–116, 2003.

CHEN, J.L., SUN, S.Z., MIAO, C.P., WU, K., CHEN, Y.W., XU, L.H., GUAN, H.L., ZHAO, L.X. Endophytic *Trichoderma gamsii* YIM PH30019: a promising biocontrol agent with hyperosmolar, mycoparasitism, and antagonistic activities of induced volatile organic compounds on root-rot pathogenic fungi of *Panax notoginseng*. *Journal of Ginseng Research*, v. 40, p. 315–324, 2016.

CHENG, J.; SCHLOERKE, B.; KARAMBELKAR, B.; XIE, Y.; WICKHAM, H.; RStudio, PBC. leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript ‘Leaflet’ Library. R package version 2.2.3. Boston: RStudio, 2025. Disponível em: <https://github.com/rstudio/leaflet>. Acesso em: 2 jan. 2026. CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2025/2026*. Brasília: CONAB, 2026. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2026.

DHINGRA, O. D.; MENDONÇA, H. L.; MACEDO, D. M. Doenças e seu controle. In: SEDIYAMA, T. *Tecnologias de Produção e Usos da Soja*. Londrina-PR, p. 133–156, 2009.

DHINGRA, O. D.; TENNE, F. D.; SINCLAIR, J. B, Method for the determination of competitive saprophytic colonization of soil fungi. Transactions of British Mycological Society, v. 66, n.3, p. 447-456, 1976

DRUZHININA, I. S.; SEIDL-SEIBOTH, V.; HERRERA-ESTRELLA, A.; HORWITZ, B. A.; KENERLEY, C. M.; MONTE, E.; MUKHERJEE, P. K.; ZEILINGER, S.; GRIGORIEV, I. V.; KUBICEK, C. P. *Trichoderma*: the genomics of opportunistic success. *Nature Reviews Microbiology*, v. 9, n. 10, p. 749–759, 2011. DOI: 10.1038/nrmicro2637.

EL-HASAN A, BUCHENAUER H, 2009. Actions of 6-pentyl-alpha-pyrone in controlling seedling blight incited by *Fusarium moniliforme* and inducing defence responses in maize. *Journal of Phytopathology* v. 157, p. 697-707.

EMBRAPA SOJA. Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2011. p. 261 (Embrapa Soja. Sistemas de produção, 15).

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –. Cultivo de soja: dados econômicos. 2021b.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –. Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2011a. 261 p.

FERREIRA, L. P.; LEHMAN, P.S.; ALMEIDA, A.M.R. Doenças da soja no Brasil. Londrina, PR, EMBRAPA-CNPSo, 1979.

FRANCL, L. J.; WYLLIE, T. D.; ROSENBROCK, S. M. Influence of crop rotation on population density of *Macrophomina phaseolina* in soil infested with *Heterodera glycines*. *Plant Disease*, v. 72, p. 760-764, 1988.

FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1–12, 2011.

GAONKAR, V.; ROSENTRATER, K. A. Soybean. In: PAN, Z.; ZHANG, R.; ZICARI, S. (Eds.). *Integrated processing technologies for food and agricultural by-products*. London; San Diego: Academic Press, 2019. p. 73–104.

GARNICA-VERGARA, A.; BARRERA-ORTIZ, S.; MUÑOZ-PARRA, E.; RAYA-GONZÁLEZ, J.; MÉNDEZ-BRAVO, A.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L.; RUIZ-HERRERA, L. F.; LÓPEZ-BUCIO, J. The volatile 6-pentyl-2H-pyran-2-one from *Trichoderma atroviride* regulates *Arabidopsis thaliana* root morphogenesis via auxin signaling and ethylene insensitive 2 functioning. *New Phytologist*, v. 209, p. 1496–1512, 2015.

GONZÁLEZ, F.H., FUENTES, M.N., Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Revista de Ciências Agrícolas*, v. 34, p. 17-31. 2017.

GONZÁLEZ-PÉREZ, E., ORTEGA-AMARO, M.A.; SALAZAR-BADILLO, F.B., BAUTISTA, E.; DOUTERLUNGNE, D., BREMONT, J.F.J., The *Arabidopsis-Trichoderma* interaction reveals that the fungal growth medium is an important factor in plant growth induction. *Scientific Reports* v.8, p. 114, 2018.

GUO, Y., GHIRARDO, A., WEBER, B., SCHNUTZIER, J.P., BENZ, J.P., ROSENKRANZ, M., 2019. *Trichoderma* species differ in their volatile profiles and in antagonism toward ectomycorrhiza *Laccaria bicolor*. *Frontiers in Microbiology*, v. 10, p. 1-15.

HADDAD, P.E.; LEITE, L.G.; LUCON, C.M.M.; HARAKAVA, R. Selection of *Trichoderma* spp. strains for the control of *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 52, p. 1140-1148, 2017.

HERMAN, G. E, Multifunctional fungal plant symbionts: new tools to enhance plant growth and productivity. *New Phytologist*, v. 189, p. 647–649, 2011.

HIDANGMAYUM, A., DWIVEDI, P. (). Plant responses to *Trichoderma* spp., and their tolerance to abiotic stresses: a review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* v. 7, p. 758-766, 2018.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2014.

HUNG, R., LEE, S., BENNETT, J.W., *Arabidopsis thaliana* as a model system for testing the effect of *Trichoderma* volatile organic compounds. *Fungal Ecology*, v. 6, p. 19-26, 2013.

HUTCHINGS, M.L., ALPHA-COBB, C.J., HILLER, D.A., BERRO, J., STROBEL, S.A., Mycofumigation through production of the volatile DNA-methylating agent N-methyl-N-nitrosoisobutyramide by fungi in the genus *Muscodor*. *Journal Biological Chemistry* v. 292, p. 7358-7371, 2017.

INDEX FUNGORUM. *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. Index Fungorum database. 2026. Disponível em: <https://www.indexfungorum.org>. Acesso em: 10 mar. 2026.

INDEX FUNGORUM. *Trichoderma* Pers. Index Fungorum database. 2026. Disponível em: <https://www.indexfungorum.org>. Acesso em: 10 mar. 2026.

JALALI, F.; ZAFARI, D.; SALARI, H. Volatile organic compounds of some *Trichoderma* spp. increase growth and induce salt tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Fungal Ecology*, v. 29, p. 67–75, 2017.

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.

JOO, J. H.; HUSSEIN, K. A. Biological control and plant growth promotion properties of volatile organic compound-producing antagonistic *Trichoderma* spp. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, p. 897668, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.897668.

KAUR, S.; DHILLON, G. S.; BRAR, S. K.; CHAUHAN, V. B. Carbohydrate degrading enzyme production by plant pathogenic mycelia and microsclerotia isolates of *Macrophomina phaseolina* through koji fermentation. *Industrial Crops and Products*, v. 36, n. 1, p. 140–148, 2012

- KADDES, A.; FAUCONNIER, M. L.; SASSI, K.; NASRAOUI, B.; JIJAKLI, M. H. Endophytic fungal volatile compounds as solution for sustainable agriculture. *Molecules*, v. 24, p. 1–16, 2019.
- KOTTB, M.; GIGOLASHVILI, T.; GROSSKINSKY, D.; PIECHULLA, B. *Trichoderma* volatiles affecting *Arabidopsis*: from inhibition to protection against phytopathogenic fungi. *Frontiers in Microbiology*, v. 6, p. 1–14, 2015.
- KREDICS, L.; HATVANI, L.; NAEIMI, S.; KORMOCZI, P.; MONCZINGER, L.; DRUZHININA, I. S. Biodiversidade do gênero *Hypocrea/Trichoderma* em diferentes habitats. In: GUPTA, V. K.; SCHMOLL, M.; HERRERA-ESTRELLA, A.; UPADHYAY, R. S.; DRUZHININA, I.; TUOHY, M. (Org.). *Biotechnology and Biology of Trichoderma*. Amsterdam: Elsevier, 2014. p. 3–24.
- KIRK, P. M.; CANNON, P. F.; MINTER, D. W.; STALPERS, J. A. *Index Fungorum*. Wallingford: CABI Bioscience; Utrecht: CBS Fungal Biodiversity Centre; Lincoln: Landcare Research, 2021. Disponível em: <https://www.indexfungorum.org>. Acesso em: 10 mar. 2026.
- KUBICEK, C. P.; HERRERA-ESTRELLA, A.; SEIDL-SEIBOTH, V.; MARTINEZ, D. A.; DRUZHININA, I. S.; THON, M.; ZEILINGER, S.; CASAS-FLORES, S.; HORWITZ, B. A.; MUKHERJEE, P. K.; GRIGORIEV, I. V. Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral life style of *Trichoderma*. *Genome Biology*, v. 12, p. 1–15, 2011.
- LAZAZZARA, V.; VICELLI, B.; BUESCHL, C.; PARICH, A.; PERTOT, I.; SCHUMACHER, R.; PERAZZOLLI, M. *Trichoderma* spp. volatile organic compounds protect grapevine plants by activating defense-related processes against downy mildew. *Physiologia Plantarum*, v. 172, n. 4, p. 1950–1965, 2021.
- LEE, S.; YAP, M.; BEHRINGER, G.; HUNG, R.; BENNETT, J. W. Volatile organic compounds emitted by *Trichoderma* species mediate plant growth. *Fungal Biology and Biotechnology*, v. 3, p. 1–14, 2016.
- MACHADO, D. F. M.; PARZIANELLO, F. R.; SILVA, A. C. F.; ANTONIO, Z. I. *Trichoderma* no Brasil: o fungo e o bioagente. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 35, n. 1, p. 274–288, 2012.
- MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária. AGROFIT: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Brasília: MAPA, 2026. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2026.
- MALMIERCA, M.; CARDOZA, R.; ALEXANDER, N.; MCCORMICK, S.; HERMOSA, R.; MONTE, E.; GUTIÉRREZ, S. Involvement of *Trichoderma* trichothecenes in the biocontrol activity and in the induction of plant defense related genes. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 78, p. 4856–4868, 2012.
- MARQUES, E.; MARTINS, I.; MELLO, S. C. M. Antifungal potential of crude extracts of *Trichoderma* spp. *Biota Neotropica*, v. 18, p. 1–5, 2018.

MARQUEZ, N.; GIACHERO, M. L.; DECLERCK, S.; DUCASSE, D. A. *Macrophomina phaseolina*: general characteristics of pathogenicity and methods of control. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, p. 634397, 2021.

MASSART, S.; JIJAKLI, H. M. Use of molecular techniques to elucidate the mechanisms of action of fungal biocontrol agents: a review. *Journal of Microbiological Methods*, v. 69, n. 2, p. 229–241, 2007.

MELLO, S. C. M.; ECKSTEIN, B.; MARQUES, E.; CARVALHO, D. D. C. Controle de doenças de plantas. In: FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Org.). *Controle biológico de pragas da agricultura*. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2020. p. 291–325.

MUKHERJEE, P. K.; HORWITZ, B. A.; KENERLEY, C. M. Secondary metabolism in *Trichoderma*: a genomic perspective. *Microbiology*, v. 158, p. 35–45, 2012.

MÜLLER, L. *A soja: produção e utilização*. Porto Alegre: Sagra, 1981.

MYCOBANK. *Mycobank Database: Trichoderma Pers.*, MB#10282. International Mycological Association, 2021. Disponível em: <https://www.mycobank.org/page/Name%20details%20page/name/Trichoderma>. Acesso em: 02 jan. 2026.

NAGAMANI P, BHAGAT S, BISWAS MK, VISWANATH K (2017). Effect of volatile and no volatile compounds of *Trichoderma* spp. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6: 1486-1491.

NEMČOVIČ, M.; JAKUBÍKOVÁ, L.; VÍDEN, I.; FARKAS, V. Induction of conidiation by endogenous volatile compounds in *Trichoderma* spp. *FEMS Microbiology Letters*, v. 284, n. 2, p. 231–236, 2008.

NIETO-JACOBO, M. F.; STEYAERT, J. M.; SALAZAR-BADILLO, F. B.; NGUYEN, D. V.; ROSTÁS, M.; BRAITHWAITE, M.; DE SOUZA, J. T.; JIMENEZ-BREMONT, J. F.; OHKURA, M.; STEWART, A.; MENDOZA-MENDOZA, A. Environmental growth conditions of *Trichoderma* spp. affects indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, p. 102, 2017.

O'BRIEN, P. A. Biological control of plant diseases. *Australasian Plant Pathology*, v. 46, p. 293–304, 2017.

PEARSON, C. A.; SCHWENK, F. W.; CROWE, F. J.; KELLEY, K. Colonization of soybean roots by *Macrophomina phaseolina*. *Plant Disease*, v. 68, n. 12, p. 1086–1088, 1984.

PIECHULLA, B.; LEMFACK, M. C.; KAI, M. Effects of discrete bioactive microbial volatiles on plants and fungi. *Plant, Cell and Environment*, v. 40, n. 8, p. 2042–2067, 2017.

RAJANI, P.; RAJASEKARAN, C.; VASANTHAKUMARI, M. M.; OLSSON, S. B.; RAVIKANTH, G. R.; UMA SHAANKER, R. Inhibition of plant pathogenic fungi by endophytic *Trichoderma* spp. through mycoparasitism and volatile organic compounds. *Microbiological Research*, v. 242, p. 1–12, 2021.

SAMUELS, G. J. *Trichoderma*, a review of biology and systematics of the genus. *Mycological Research*, v. 100, n. 8, p. 923–935, 1996.

- SCHENKEL, D.; LEMFACK, M. C.; PIECHULLA, B.; SPLIVallo, R. A meta-analysis approach for assessing the diversity and specificity of belowground root and microbial volatiles. *Frontiers in Plant Science*, v. 6, p. 1–11, 2015.
- SCHULZ-BOHM, K.; GERARDS, S.; HUNDSCHIED, M.; MELENHORST, J.; DE BOER, W.; GARBEVA, P. Calling from distance: attraction of soil bacteria by plant root volatiles. *The ISME Journal*, v. 12, p. 1252–1262, 2018.
- SCHULZ-BOHM, K.; GEISEN, S.; WUBS, E. J.; SONG, C.; DE BOER, W.; GARBEVA, P. The prey's scent – volatile organic compound mediated interactions between soil bacteria and their protist predators. *The ISME Journal*, v. 11, p. 817–820, 2017.
- SCHUSTER, A.; SCHMOLL, M. Biology and biotechnology of *Trichoderma*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 87, n. 3, p. 787–799, 2010.
- SHOKES, F. M.; LYDA, S. D.; JORDAN, W. R. Effect of water potential on the growth and survival of *Macrophomina phaseolina*. *Phytopathology*, v. 67, p. 239–241, 1977.
- SHORT, G. E.; WYLLIE, T. D.; AMMON, V. D. Quantitative enumeration of *Macrophomina phaseolina* in soybean tissues. *Phytopathology*, v. 68, p. 736–741, 1978.
- SHORT, G. E.; WYLLIE, T. D.; BRISTOW, P. R. Survival of *Macrophomina phaseolina* in soil and residue of soybean. *Phytopathology*, v. 70, n. 1, p. 13–17, 1980.
- SIDDIQUEE, S.; CHEONG, B. E.; TASLIMA, K.; KAUSAR, H.; MAINUL, H. M. Separation and identification of volatile compounds from liquid cultures of *Trichoderma harzianum* by GC-MS using three different capillary columns. *Journal of Chromatographic Science*, v. 50, p. 358–367, 2012.
- SILVA, L. R.; RODRIGUES, L. L. B.; ZACARONI, A. B.; CASTRO, B. S.; SIFUENTES, D. N.; BOTELHO, A. S.; MORAES, M. C. B. *Sclerotium rolfsii* mycelial profile analysis by MALDI-TOF related to biological control, volatile organic compounds diversity and onion growth promotion, as influenced by *Trichoderma* spp. *Biological Control*, v. 172, p. 1–14, 2022.
- SILVEIRA-FILHO, A.; ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; HENNING, A. A. Desafios fitossanitários para a produção de soja. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 34, n. 276, p. 66–75, set./out. 2013.
- SMITH, G. S.; WYLLIE, T. D. Charcoal rot. In: HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. (Ed.). *Compendium of soybean diseases*. 4. ed. St. Paul: American Phytopathological Society, 1999. p. 29–31.
- SPECKBACHER, V.; RUZSANYI, V.; WIGGER, M.; ZEILINGER, S. The *Trichoderma atroviride* strains P1 and IMI 206040 differ in their light-response and VOC production. *Molecules*, v. 25, p. 1–16, 2020.
- SRIVASTAVA, M.; KUMAR, V.; SHAHID, M.; PANDEY, S.; SINGH, A. *Trichoderma*: a potential and effective biofungicide and alternative source against notable phytopathogens: a review. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, p. 310–316, 2016.

USDA-ARS – United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service. Fungal Databases – Systematic Mycology and Microbiology Laboratory (SMML). Beltsville: USDA-ARS, 2026. Disponível em: <https://fungi.ars.usda.gov>. Acesso em: 10 mar. 2026.

VAN ZIJLL DE JONG, E. E.; KANDULA, J. J.; ROSTÁS, M.; KANDULA, D. D.; HAMPTON, J.; MENDOZA-MENDOZA, A. Fungistatic activity mediated by volatile organic compounds is isolate-dependent in *Trichoderma* sp. “atroviride B”. *Journal of Fungi*, v. 9, n. 2, p. 238, 2023.

WANG, C.; ZHUANG, W. Y. Evaluating effective *Trichoderma* isolates for biocontrol of *Rhizoctonia solani* causing root rot of *Vigna unguiculata*. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 18, p. 2072–2079, 2019.

WRATHER, J. A.; ANDERSON, T. R.; ARSYAD, D. M.; GAI, J.; PLOPER, D. L.; PORTA-PUGLIA, A.; RAM, H. H.; YORINORI, J. T. Soybean disease loss estimates for the top 10 soybean producing countries in 1994. *Plant Disease*, v. 81, n. 1, p. 107–110, 1997.

WRATHER, J. A.; SHANNON, J. G.; CARTER, T. E.; BOND, J. P.; RUPE, J. C.; ALMEIDA, A. M. R. Reaction of drought-tolerant soybean genotypes to *Macrophomina phaseolina*. *Plant Management Network*, 2008.

ZEILINGER, S.; GRUBER, S.; BANSAL, R.; MUKHERJEE, P. K. Secondary metabolism in *Trichoderma*: chemistry meets genomics. *Fungal Biology Reviews*, v. 30, p. 74–90, 2016.

ZEILINGER, S. Gene disruption in *Trichoderma atroviride* via *Agrobacterium*-mediated transformation. *Current Genetics*, v. 45, n. 1, p. 54–60, 2004.