



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
CAMPUS URUTAÍ

THAIS BOTELHO

**EFEITO DE COMPOSTOS VOLÁTEIS DE *TRICHODERMA* SPP.
SOBRE *AGROATHELIA ROLFSII***

Urutaí
2026

THAIS BOTELHO

**EFEITO DE COMPOSTOS VOLÁTEIS DE *TRICHODERMA* SPP.
SOBRE *AGROATHELIA ROLFSII***

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

Orientador(a): Prof. Dr^a. Melina Korres Raimundi

Urutaí
2026

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

B748e Botelho, Thais
Efeito de compostos voláteis de *Trichoderma* spp. sobre
Agroathelia rolfsii / Thais Botelho. Urutaí 2026.
55f. il.
Orientadora: Prof^a. Dra. Melina Korres Raimundi.
Monografia (Licenciado) - Instituto Federal Goiano, curso de
0122053 - Licenciatura em Ciências Biológicas - Urutaí (Campus
Urutaí).
1. Bioinsumo. 2. Controle biológico. 3. Crescimento micelial. 4.
Podridão-de-esclerócio. 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)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

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

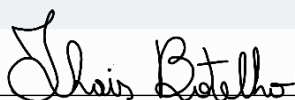
DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

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 inclusos 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.

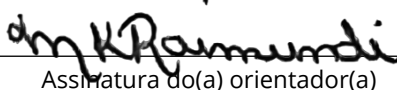
Local

/ /
Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)

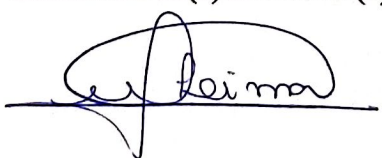
ANEXO II – REGULAMENTO DE TC

FICHA DE AVALIAÇÃO TRABALHO DE CURSO - CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, IF GOIANO, URUTAÍ		
Nome do(a) estudante: <i>Thais Botelho</i>		
(X) Primeira defesa () Segunda defesa		
Data da defesa: <i>26/02/26</i>		
Título do trabalho: <i>Efeito de compostos voláteis de Trichoderma spp. sobre Agrostelia voliginosa</i>		
Nome do(a) Avaliador(a): * <i>Angela Karren Raimundi</i>		
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	0,9
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	0,9
7. A discussão reflete os resultados encontrados?	1	0,9
8. A bibliografia é relevante, coerente e atual?	1	1,0
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)		9,6
Assinatura do(a) Avaliador(a) * <i>Angela Karren Raimundi</i>		
* 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		

ANEXO II – REGULAMENTO DE TC

FICHA DE AVALIAÇÃO TRABALHO DE CURSO - CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, IF GOIANO, URUTAÍ		
Nome do(a) estudante: <i>Thais Botelho</i>		
☒ Primeira defesa ☐ Segunda defesa		
Data da defesa: <i>26/02/26</i>		
Título do trabalho: <i>Efeito de compostos voláteis de TRICHODERMA spp. sobre AGROATHLIA ROLEFII</i>		
Nome do(a) Avaliador(a): * <i>ESTEVÃO OLIVEIRA DA SILVA</i>		
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	0.9
6. Os resultados são relevantes e foram analisados de forma correta?	1	0.9
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)		9.6
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		

ANEXO II – REGULAMENTO DE TC

FICHA DE AVALIAÇÃO TRABALHO DE CURSO - CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, IF GOIANO, URUTAÍ		
Nome do(a) estudante: <u>THAIS BOTELO</u>		
(☒) Primeira defesa (☐) Segunda defesa		
Data da defesa: <u>26/02/2026</u>		
Título do trabalho: <u>EFEITO DE COMPOSTOS VOLÁTEIS DE Trichoderma sp. SOBRE AGROATHETIA POLYSII</u>		
Nome do(a) Avaliador(a): * <u>MILTON LUIZ DA PAZ LIMA</u>		
Critérios	Pontuação máxima	Pontuação obtida
1. O título do trabalho é conciso e reflete com precisão o conteúdo?	1	1,0
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	1,0
4. Os objetivos são claros?	1	0,9
5. A metodologia está de acordo com os objetivos e possui replicabilidade?	1	0,8
6. Os resultados são relevantes e foram analisados de forma correta?	1	1,0
7. A discussão reflete os resultados encontrados?	1	1,0
8. A bibliografia é relevante, coerente e atual?	1	1,0
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)		9,6
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		

Anexo III - REGULAMENTO DE TC

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

Às 09:00 horas do dia 26 de FEVEREIRO DE 2026, reuniu-se

() Por vídeo conferência

(☒) Presencialmente na sala nº _____ do Prédio SALA DO PET-BIO do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí, a Banca Examinadora do Trabalho de Curso intitulado “ EFEITO DE COMPOSTOS VOLÁTEIS DE TRICHODERMA SPP. SOBRE AGROATHETIA ROLEII ” composta pelos avaliadores

1 Melina Korres Raimundi

2 Milton Luiz da Paz Lima

3 Estevão Alves da Silva

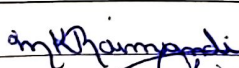
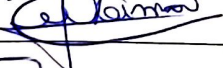
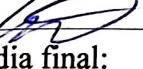
4 (suplente, quando necessário) _____

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) THAIS BOTELHO 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 (9,6) 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.		9,6
3.		9,6
Média final:		9,6

Urutaí-GO, 26 de FEVEREIRO 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.

*Mesmo se eu cair e me machucar, continuo
correndo em direção aos meus sonhos."*

Run, BTS.

AGRADECIMENTOS

Ser professora esteve presente em meus sonhos desde a infância, nas brincadeiras simples e cheias de imaginação. Naquele tempo, sem perceber, eu já me via nesse futuro. Com o passar dos anos, esse caminho deixou de ser minha primeira opção, mas a vida o trouxe de volta de forma inesperada, tornando-o prioridade. Hoje, ao chegar até aqui, compreendo que aquele sonho nunca deixou de existir. Por isso, agradeço também àquela criança que, entre sonhos e descobertas, deu início ao caminho que hoje me torna Licencianda em Ciências Biológicas.

Primeiramente, agradeço a Deus por me capacitar e me conceder força ao longo desses quatro anos de graduação. Nem sempre o percurso universitário é fácil ou gratificante, e em muitos momentos os desafios pareceram maiores do que eu poderia suportar. Nesses momentos de dificuldade, foi na fé que encontrei apoio e força para continuar.

Em seguida, estendo minha gratidão aos meus pais, Ademir e Irene, que, de maneira incondicional, sempre incentivaram minha trajetória. Sou profundamente grata por valorizarem a educação e por me incentivarem a estudar desde a infância. Recordo com carinho do primeiro quadro que me deram, transformando o processo de aprender em uma brincadeira, algo que, sem dúvida, ajudou a moldar quem sou hoje. Foram eles que me ensinaram que o conhecimento poderia ser um dos caminhos mais importantes para a construção do meu futuro. Estar neste momento da minha vida também é resultado do apoio, do cuidado e das mãos que eles sempre estenderam para mim em cada etapa do meu percurso.

Agradeço também à minha mãe Renata, que sempre fez tudo o que esteve ao seu alcance para contribuir com minha formação pessoal e acadêmica. Seu apoio constante, o orgulho demonstrado desde os primeiros anos escolares e a alegria ao celebrar comigo cada conquista foram fundamentais para que eu desenvolvesse carinho pelo estudo. O incentivo e o entusiasmo com que acompanhou minha caminhada foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

À minha avó Maria, expresso minha profunda gratidão pelo apoio ao longo de toda a minha trajetória. Mesmo à distância, sempre esteve presente, incentivando meus estudos e me ajudando sempre que possível. Em muitos momentos, com grande generosidade, contribuiu até mesmo com despesas de transporte, tirando do que tinha para que eu pudesse continuar seguindo meu caminho. Seus gestos de cuidado e apoio foram fundamentais durante essa jornada.

Agradeço também às minhas queridas amigas Gabrielly e Ingrid. Nossa amizade, construída ao longo dos anos, tornou esse percurso mais leve e significativo. Entre trabalhos, avaliações e desafios da vida universitária, o companheirismo de vocês fez toda a diferença. É muito especial perceber que amizades que começaram ainda na infância puderam acompanhar também essa etapa tão importante da minha vida.

À minha amiga Ana Karolina, deixo um agradecimento especial por se fazer presente mesmo à distância, sempre estive ao meu lado nos momentos de angústia, insegurança e cansaço. Sua escuta, suas palavras de incentivo e o apoio constante foram fundamentais para que eu seguisse em frente. Sua amizade sempre foi um pilar importante em minha vida.

Aos meus colegas de turma, agradeço por compartilharem comigo toda a experiência da graduação. Tive a sorte de fazer parte de uma turma acolhedora, marcada pelo companheirismo e pelo apoio mútuo. Entre momentos de alegria, desafios e muito aprendizado, construímos memórias que levarei comigo por toda a vida.

Aos colegas do Programa de Educação Tutorial (PET-BIO), agradeço pela convivência e pelas experiências proporcionadas durante os três anos e meio em que tive a oportunidade de participar do programa. O PET teve um papel muito importante na minha formação acadêmica e pessoal, contribuindo significativamente para a estudante e profissional que estou me tornando. Diante disto, agradeço ao professor e doutor Estevão Alves da Silva, tutor do programa, pelo apoio, orientação e auxílio em diversos momentos, tanto dentro quanto fora das atividades do PET. Sua contribuição foi muito importante para minha trajetória.

Expresso também minha sincera gratidão à minha orientadora, professora doutora Melina Korres Raimundi, que esteve ao meu lado durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Sempre muito dedicada, paciente e disponível, me auxiliou em cada etapa do processo, desde a escrita até a definição da temática. Sua atenção, empatia e disposição para ensinar tornaram essa experiência muito enriquecedora. Além da orientação acadêmica, construímos também uma relação de amizade que levarei comigo com muito carinho.

Agradeço ao professor doutor Milton Luiz da Paz Lima e aos colegas do laboratório pela disponibilidade e pelo apoio que tornaram possível a realização deste trabalho. A infraestrutura, o suporte e a colaboração oferecidos foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

Por fim, agradeço ao Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí e a todos os professores do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas que contribuíram, direta ou indiretamente, para minha formação acadêmica, profissional e pessoal ao longo dessa jornada.

A todos, deixo meu sincero agradecimento.

RESUMO

BOTELHO, T. Efeito de compostos voláteis de *Trichoderma* spp. sobre *Agroathelia rolfsii* Trabalho de Conclusão de Curso, 45 p. 2026.

Resumo – A podridão-de-esclerócio (*Agroathelia rolfsii*), representa uma principais ameaças à cultura da soja, causando perdas de produtividade em razão de sua ampla distribuição e elevada agressividade. Cepas polivalentes de *Trichoderma* spp. têm sido amplamente empregadas no controle biológico de diversas doenças em plantas, sendo reconhecidas por sua eficácia e por contribuírem para alternativas sustentáveis na agricultura. Neste estudo, foram analisados 21 isolados (selvagens e transformados) de *Trichoderma* spp., com o objetivo de identificar aqueles capazes de produzir compostos orgânicos voláteis (COVs) com atividade antagonica contra *A. rolfsii*. O ensaio foi realizado *in vitro* por meio da técnica de placas duplas, que permite a interação dos microrganismos pela atmosfera compartilhada, sem contato direto. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado composto por 21 isolados de *Trichoderma* spp., com três repetições, pareados individualmente com um isolado de *A. rolfsii*, totalizando 63 unidades experimentais (sem considerar os controles do fitopatógeno e dos isolados de *Trichoderma* spp.). As placas foram incubadas a 27 °C com fotoperíodo de 12 horas. Após a colonização total dos 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 comparadas pelo teste de Scott-Knott (1974), a 5 % de significância, com o auxílio do software R. Em relação à área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial dos isolados de *Trichoderma* spp. (AACPCMt), os isolados IF 114, IF 123, IF 132 e IF 135 apresentaram os maiores valores, enquanto os menores valores foram observados para IF 113, IF 124, IF 127, IF 130 e IF 137. No que se refere à taxa aparente do crescimento micelial dos isolados de *Trichoderma* spp. (TACMt), as maiores médias foram observados para IF 113, IF 125, IF 126 e IF 127 e os menores valores para IF 114, IF 124, IF 130, IF 131 e IF 135. Quanto ao efeito antagonista propriamente dito, as menores médias da área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial do fitopatógeno *A. rolfsii* (AACPCa) foram observados para os isolados IF 114, IF 119, IF 132, IF 133, IF 134 e IF 135, enquanto os maiores valores foram observados para os isolados IF 124, IF 126, IF 130 e IF 137, sendo estes considerados menos eficazes na inibição do crescimento de *A. rolfsii*. Os isolados IF 113, IF 119, IF 121, IF 126, IF 127, IF 130, IF 131, IF 132, IF 133 e IF 135 reduziram de forma mais expressiva a velocidade de expansão micelial de *A. rolfsii*, enquanto IF 114, IF 120, IF 122, IF 123, IF 124, IF 125, IF 128, IF 129, IF 134, IF 136 e IF 137 apresentaram menor efeito sobre essa variável. Os isolados de *Trichoderma* spp. apresentaram variação expressiva na capacidade de inibir o crescimento micelial e a taxa de expansão de *A. rolfsii*. Isolados como IF 114, IF 119, IF 132, IF 133, IF 134 e IF 135 demonstraram maior potencial antagonista, indicando sua relevância como candidatos para biocontrole deste patógeno. Dessa forma, os resultados evidenciam que a seleção de isolados promissores para o biocontrole de *A. rolfsii* deve considerar conjuntamente o vigor de crescimento e, principalmente, a eficiência na supressão do patógeno.

Palavras-chave: Bioinsumo, Controle biológico, Crescimento micelial, Podridão-de-esclerócio

ABSTRACT

BOTELHO, T. Effect of volatile compounds from *Trichoderma* spp. on *Agroathelia rolfsii*. Finnal Work, 48 p. 2026.

Abstract: Southern blight (*Agroathelia rolfsii*) is one of the major threats to soybean production, causing significant yield losses due to its wide distribution and high aggressiveness. Polyvalent strains of *Trichoderma* spp. have been widely employed in the biological control of several plant diseases and are recognized for their effectiveness as sustainable alternatives in agriculture. In this study, 21 *Trichoderma* spp. isolates (wild-type and transformed) were evaluated to identify those capable of producing volatile organic compounds (VOCs) with antagonistic activity against *A. rolfsii*. The assay was conducted in vitro using the double-plate technique, which allows interaction between microorganisms through a shared atmosphere without direct contact. The experimental design was completely randomized, consisting of 21 *Trichoderma* spp. isolates with three replicates each, paired individually with one *A. rolfsii* isolate, totaling 63 experimental units (excluding pathogen and *Trichoderma* spp. controls). Plates were incubated at 27 °C under a 12-h photoperiod. After complete colonization of the control plates, 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 (1974) at a 5% significance level, using R software. Regarding the area under the mycelial growth progress curve of *Trichoderma* spp. isolates (AUCMGt), isolates IF 114, IF 123, IF 132, and IF 135 exhibited the highest values, whereas the lowest values were observed for IF 113, IF 124, IF 127, IF 130, and IF 137. Concerning the apparent mycelial growth rate of *Trichoderma* spp. isolates (AMGRt), the highest values were recorded for IF 113, IF 125, IF 126, and IF 127, while the lowest values were observed for IF 114, IF 124, IF 130, IF 131, and IF 135. With respect to the antagonistic effect, the lowest values of the area under the mycelial growth progress curve of *A. rolfsii* (AUCMGa), indicative of greater pathogen suppression, were observed for isolates IF 114, IF 119, IF 132, IF 133, IF 134, and IF 135. In contrast, the highest values were recorded for isolates IF 124, IF 126, IF 130, and IF 137, which were therefore considered less effective in inhibiting pathogen growth. Isolates IF 113, IF 119, IF 121, IF 126, IF 127, IF 130, IF 131, IF 132, IF 133, and IF 135 more markedly reduced the mycelial expansion rate of *A. rolfsii*, whereas IF 114, IF 120, IF 122, IF 123, IF 124, IF 125, IF 128, IF 129, IF 134, IF 136, and IF 137 showed a lower effect on this variable. *Trichoderma* spp. isolates exhibited substantial variability in their ability to inhibit both mycelial growth and expansion rate of *A. rolfsii*. Isolates IF 114, IF 119, IF 132, IF 133, IF 134, and IF 135 demonstrated greater antagonistic potential, highlighting their relevance as candidates for the biological control of this pathogen. Overall, the results indicate that the selection of promising isolates for the biocontrol of *A. rolfsii* should consider both growth vigor and, most importantly, efficiency in pathogen suppression.

Keywords: Bioinput, Biological control, Mycelial growth, Southern blight

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa de distribuição geoespacial dos locais de obtenção de vinte e um isolados ..32
- Figura 2.** Médias da área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) de isolados de *Trichoderma* spp. (t) confrontados com *Agroathelia rolfsii* (a).36
- Figura 3.** Amplitude do crescimento micelial de *Trichoderma* spp. x *Athelia rolfsii*, 7 dias após incubação no ensaio in vitro. A: isolado IF 124; B: isolado IF 119.37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Código dos isolados de *Trichoderma* spp. selvagens e transformados, tipos de substratos de origem e cidade/Estado de obtenção do isolado30

Tabela 2. . Médias + desvio padrão de área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial de *Trichoderma* spp. (AACPCMt) confrontado com *Agroathelia rolfsii* (AACPCMa) e taxa aparente do crescimento micelial de isolados de *Trichoderma* spp. (TACMt) confrontad35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACPCM → Área Abaixo da Curva de Progresso da Severidade da Doença

AACPCMa → Área Abaixo da Curva de Progresso da Severidade da Doença média

AACPCMt → Área Abaixo da Curva de Progresso da Severidade da Doença total

AACPD → Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença

ANOVA → Análise de Variância

APROSOJA → Associação dos Produtores de Soja e Milho

ARS → Agricultural Research Service (Serviço de Pesquisa Agrícola dos Estados Unidos)

CONAB → Companhia Nacional de Abastecimento

COVs → Compostos Orgânicos Voláteis

DD → Delineamento Experimental

DNA → Ácido Desoxirribonucleico

EMBRAPA → Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESALQ → Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

GC → Cromatografia Gasosa

GO → Goiás

ITS → Internal Transcribed Spacer (Espaçador Interno Transcrito do DNA ribossomal)

MALDI → Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization (Ionização/Dessorção a Laser Assistida por Matriz)

MAMPs → Microbe-Associated Molecular Patterns (Padrões Moleculares Associados a Microrganismos)

MAPA → Ministério da Agricultura e Pecuária

EUA → Estados Unidos da América

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
REVISÃO DE LITERATURA.....	21
O fungo <i>Agroathelia rolfsii</i>	21
Controle biológico	24
O gênero <i>Trichoderma</i> spp.....	25
Compostos Orgânicos Voláteis produzidos por <i>Trichoderma</i> spp.....	27
MATERIAL E MÉTODOS	29
RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS.....	39

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill, Fabaceae), originária da China Antiga, é uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo, tanto por sua ampla gama de usos quanto por sua expressiva contribuição econômica. No Brasil, principal produtor mundial do grão na safra 2020/21, foram cultivados 38,5 milhões de ha, com uma produção de 135,9 milhões de t e produtividade média de 3.527 kg ha⁻¹ (Conab, 2024). No Brasil, a safra 2025/26 — referente ao ano agrícola de 2026 — aponta que a produção de soja deve alcançar cerca de 177,1 milhões de t, sendo esta uma das maiores já registradas pelo país, com tendência de recorde histórico, segundo as projeções da Conab. A área plantada de soja está estimada em aproximadamente 49 milhões de ha, com produtividade média também elevada para o período (CONAB, 2026). O grão é amplamente utilizado na alimentação humana e animal, na produção de óleo, farelo, biodiesel, lubrificantes e adubos, o que garante à cultura uma sólida liquidez no mercado global (Gaonkar e Rosentrater, 2019).

As doenças radiculares e de colo têm se mostrado especialmente prejudiciais por comprometerem o desenvolvimento da soja desde os estádios iniciais, podendo causar perdas expressivas e severas. Três patógenos de solo merecem destaque nesse contexto por causarem danos na forma individual ou em complexos como *Agroathelia rolfsii* (podridão-de-escleródio), *Macrophomina phaseolina* (podridão-carvão) e *Sclerotinia sclerotiorum* (mofo-branco) (Belkar e Gade, 2013).

O fungo *Agroathelia rolfsii* (Curzi) C.C. Tu & Kimbr., é um basidiomiceto necrotrófico que pertence à ordem Atheliales e à família Atheliaceae (Kirk, 2021). Causa a murcha-de-esclerócio, doença caracterizada pela podridão do colo seguida de seca total da planta. O patógeno apresenta ótima faixa de desenvolvimento entre 27–30 °C e possui ampla gama de hospedeiros, infectando mais de 500 espécies vegetais (Bulluck e Ristaino, 2002). Os sintomas incluem murcha repentina das plantas, formação de micélio branco abundante e escleródios esféricos que se desenvolvem no colo e raízes. Essas estruturas, com cerca de 1 mm de diâmetro, atuam como fontes de inóculo primário, persistindo no solo por mais de cinco anos. A doença é favorecida por alta umidade, acúmulo de resíduos orgânicos e fechamento das entrelinhas (Granados e Wang, 2008).

O gênero *Trichoderma* possui ampla diversidade, com mais de 468 espécies descritas, sendo reconhecido como o grupo mais utilizado na formulação de biofungicidas no mundo,

respondendo por cerca de 60 % dos registros (Raymaekers et al., 2020). No Brasil, cepas como *T. afroharzianum*, *T. asperellum*, *T. harzianum*, *T. koningiopsis* e *T. stromaticum* estão disponíveis comercialmente, totalizando 42 produtos registrados – 41 como fungicidas microbiológicos e um como nematicida microbiológico (Agrofit, 2025). A capacidade de adaptação a diferentes nichos ecológicos torna esse gênero particularmente interessante para o desenvolvimento de novos bioprodutos.

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* spp. 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 harzianolídeos, peptaibois e vários compostos orgânicos voláteis (COVs) 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* spp. é amplamente utilizado como agente de biocontrole devido à sua eficácia no manejo de várias doenças de plantas de difícil controle, como as doenças radiculares e de colo, que têm se mostrado especialmente prejudiciais por comprometerem o desenvolvimento da planta desde os estádios iniciais, podendo causar perdas severas. Dentre estes patógenos de solo merece destaque o fungo *Agroathelia rolfsii* (Meyer et al., 2019). Esses agentes de biocontrole podem induzir uma combinação de mecanismos antagonísticos, 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, competição por nutrientes ou espaço e indução de resistência em plantas através da produção e secreção de moléculas elicitoras que estimulam as defesas das plantas contra patógenos (Gomes et al., 2015).

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 patógeno (Hermam, 2011; Kredics et al., 2014; Silva et al., 2022).

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 antagonica ao fungo *Agroathelia rolfsii*, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias alternativas no manejo fitossanitário da cultura.

REVISÃO DE LITERATURA

O fungo *Agroathelia rolfsii*

O gênero *Typhula* sp. Tode (= *Sclerotium* sp. Tode) pode ser citado, na sua fase perfeita, como *Athelia* (Curzi) C.C. Tu & Kimbr. O fungo causador do tombamento e murcha que progride para uma podridão seguida de seca. A consulta confirmou que o nome *Agroathelia rolfsii* (Sacc.) Redhead & Mullineux, publicado em *Index Fungorum* 550: 1 (2023), encontra-se registrado sob o identificador 900875 e UUID {B375AFCA-3D6F-48B7-85EE-0D634EC8C690}. Contudo, o status nomenclatural indicado é nom. inval., de acordo com o Artigo 35.1 do Código Internacional de Nomenclatura para Algas, Fungos e Plantas (Código de Shenzhen), indicando que a combinação proposta não atende plenamente aos requisitos formais de validação nomenclatural (Index Fungorum, 2026).

O basônimo do táxon é *Sclerotium rolfsii* Sacc. (1911), denominação amplamente utilizada na literatura fitopatológica clássica. A base também posiciona o táxon na família Amylocorticiaceae, ordem Amylocorticiales, classe Agaricomycetes, subfilo Agaricomycotina, filo Basidiomycota, reino Fungi, refletindo atualizações filogenéticas recentes fundamentadas em dados moleculares (Index Fungorum, 2026).

A consulta ao “protologue” e às informações taxonômicas disponibilizadas pelo Index Fungorum reforça a importância da verificação nomenclatural em trabalhos científicos, especialmente em estudos envolvendo controle biológico, bioinsumos e registros regulatórios, nos quais a correta identificação taxonômica é requisito essencial para reprodutibilidade e segurança científica (Index Fungorum, 2026).

O fitopatógeno *Agroathelia rolfsii* (Sacc.) é um fungo patogênico de solo amplamente distribuído, conhecido por causar doenças como “southern blight” e podridão de colos em diversas culturas agrícolas. Ele pertence ao grupo de fungos que vivem principalmente no solo e pode se comportar como saprófito ao colonizar matéria orgânica antes de infectar tecidos vegetais suscetíveis (You et al., 2025). O micélio vegetativo desse fungo é frequentemente descrito como crescimento branco, denso e cotonoso, que se desenvolve rapidamente em condições de temperatura e umidade favoráveis, tipicamente entre aproximadamente 25 °C e 35 °C em solos úmidos, fatores que aumentam tanto a sobrevivência quanto a capacidade de infecção da espécie. Do ponto de vista morfológico, uma característica distintiva da espécie é a formação de escleródios, que são estruturas compactas de hifas densamente aglomeradas. Esses escleródios funcionam como estruturas de resistência, permitindo que o fungo sobreviva por longos períodos no solo, mesmo sob condições ambientais adversas, e sejam a principal fonte de inóculo para novas infecções em culturas suscetíveis (Patra et al., 2023).

O fitopatógeno *A. rolfsii* tem predominância nas regiões tropicais e subtropicais, onde o fitopatógeno pode causar perdas de até 100 % (Martins et al., 2003). O tombamento ocorre em todas as regiões produtoras de soja e predomina em condições de alta umidade e temperatura, já que este fungo tem seu desenvolvimento ótimo na faixa de 27–30 °C (Aycok, 1966; Punja, 1985). Esse patógeno, mundialmente distribuído, infecta mais de 500 espécies de plantas cultivadas e silvestres, apresentando extensa gama de hospedeiros (Bulluck e Ristaino, 2002).

A consulta realizada na base de dados USDA ARS Fungal Databases (<https://fungi.ars.usda.gov/>) permitiu confirmar a ampla distribuição geográfica e a extensa gama de hospedeiros associados a *Agroathelia rolfsii*. O levantamento indicou registros do patógeno em diferentes continentes, incluindo Ásia, África e América do Norte, infectando culturas de relevância econômica e alimentar. Entre os hospedeiros reportados constam *Colocasia esculenta* (China, 1 ocorrência), *Macrotyloma geocarpum* (Benin, 1 ocorrência), *Nelumbo nucifera* (Estados Unidos, Flórida, 1 ocorrência), *Phyllanthus amarus* (China, 1 ocorrência), *Solanum melongena* (Estados Unidos, Nova York, 1 ocorrência) e *Vigna unguiculata* (China, 1 ocorrência), totalizando 6 ocorrências registradas na busca realizada (USDA, 2026).

A diversidade de hospedeiros evidencia o caráter polífago do patógeno, característica frequentemente associada à sua elevada adaptabilidade ecológica e à sua capacidade de sobrevivência em diferentes condições edafoclimáticas. Além disso, os registros em múltiplos

países reforçam o impacto fitossanitário global da espécie, especialmente em sistemas agrícolas tropicais e subtropicais, onde temperaturas elevadas favorecem o desenvolvimento do fungo. A presença documentada em culturas alimentares estratégicas, como berinjela (*Solanum melongena*) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), ressalta o potencial de perdas econômicas e a importância de estratégias sustentáveis de manejo, incluindo o uso de bioinsumos e agentes de controle biológico. Utilizando o termo *Sclerotium rolfsii*, existem 2023 registros de ocorrência em diferentes hospedeiras no mundo (USDA, 2026).

Do ponto de vista científico e regulatório, a base USDA ARS Fungal Databases é reconhecida pela qualidade curatorial, atualização taxonômica contínua e integração com sistemas internacionais de informação fitossanitária. A confiabilidade dos registros contribui para análises epidemiológicas, estudos de risco fitossanitário e fundamentação técnica de programas de manejo integrado de doenças. Assim, a consulta a essa base fortalece a robustez metodológica de estudos acadêmicos e relatórios técnicos, ao assegurar a consistência taxonômica e a validação de registros de ocorrência do patógeno (USDA ARS, 2026).

Para a soja, os sintomas da doença verificados no campo podem ser de podridão mole, aquosa, que geralmente se inicia logo abaixo do nível do solo (colo) e resulta no tombamento e seca. Plântulas infectadas murcham e, ao serem puxadas, rompem-se com facilidade na área lesionada. Há presença de micélio branco e abundância de escleródios com cerca de 1 mm, de cor creme (inicialmente) a marrom/preto (ao final). Tais escleródios são estruturas resistentes (hifas compactadas) que atuam na sobrevivência do fungo no solo na ausência da hospedeira, e também são fonte de inóculo inicial da doença, podendo permanecer viáveis no solo por um período superior a cinco anos (Pandey et al., 2007; Granados e Wang, 2008).

Após o fechamento das linhas, o fitopatógeno desenvolve-se em substratos orgânicos em decomposição da cultura anterior localizados próximo ao colo da soja. Posteriormente, infecta a planta na região do colo ou parte aérea (ramos, pecíolos, hastes), que permanece verde-clara, murcha e seca. Nos pontos de infecção, ocorre abundante formação de micélio e escleródios apenas na parte externa (Bedendo, 1995).

Entre os métodos empregados no controle da *A. rolfsii*, destacam-se as aplicações de fungicidas químicos, solarização, uso de microrganismos antagonistas, aração profunda, rotação com cultura não hospedeira, incorporação dos resíduos orgânicos e inorgânicos, evitar semeadura adensada e, por fim, ações no solo que provocam ampliação de populações antagonistas como *Trichoderma* sp. (Amorim et al., 2016; Martins et al., 2003).

O uso de fungos antagonistas para controle biológico visa diminuir a densidade do inóculo, visando a destruição dos escleródios ou a sua supressão (Mishra et al., 2011; Blum, 2006). O *Trichoderma* é mais utilizado por apresentar maior capacidade de competição por espaço e nutrientes, produzir enzimas degradadoras de parede celular de outros fungos e produzir antibióticos, além de atuar sobre fungos que produzem estruturas de resistência como *S. sclerotiorum* e *A. rolfsii* (Harmam et al., 2004; Almeida, 2009; Kumar et al., 2012). Auler, Carvalho e De Melo (2013), visando o controle biológico de *A. rolfsii* para a cultura da soja e feijão, alcançaram um percentual médio de plantas saudáveis acima de 88 %, aos 15 dias após as inoculações conjuntas do fitopatógeno e antagonistas do solo.

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. 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 desenvolvimento, ocasionando perdas de colheitas devido a doenças causadas por esses organismos. 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 diante de crescentes preocupações sobre os riscos devido a resíduos no meio ambiente e alimentos (Palmieri et al., 2022).

Campanhola et al. (1998) inferem 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 de pragas e patógenos, 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 de doenças, protege a ecologia 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 (Fontes & 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* (Kumar & Purohit, 2020).

O gênero *Trichoderma* spp.

O *Trichoderma* é um gênero de fungos filamentosos pertencente ao Reino Fungi, classificado na divisão Ascomycota, classe Sordariomycetes, ordem Hypocreales e família Hypocreaceae (Adnan et al., 2019). As espécies desse grupo apresentam elevada plasticidade genética, característica que confere ampla capacidade de adaptação a diferentes habitats e condições ambientais (Benítez et al., 2004; Druzhinina et al., 2012; Zeilinger et al., 2016).

O gênero *Trichoderma* Pers. foi originalmente descrito por Christiaan Hendrik Persoon em 1794 na obra *Neues Magazin für die Botanik*. Posteriormente, o nome foi sancionado por Elias Magnus Fries em *Systema Mycologicum* (1829), consolidando sua estabilidade nomenclatural conforme os princípios do Código Internacional de Nomenclatura para Algas, Fungos e Plantas (Index Fungorum, 2026). A espécie-tipo do gênero é *Trichoderma viride* Pers. (1794), utilizada como referência para a delimitação taxonômica do grupo.

Tradicionalmente, a identificação das espécies baseava-se em características morfológicas, como conidióforos ramificados em padrão piramidal, fiálides ampuliformes e produção abundante de conídios hialinos a verde-claros. Contudo, avanços na sistemática molecular, especialmente com a análise de regiões gênicas como ITS, *tef1-α* e *rpb2*, ampliaram significativamente a resolução filogenética do gênero, permitindo o reconhecimento de complexos de espécies crípticas e refinamentos taxonômicos (Index Fungorum, 2026).

No sistema classificatório atual, *Trichoderma* está inserido na família Hypocreaceae, ordem Hypocreales, subclasse Hypocreomycetidae, classe Sordariomycetes, subfilo Pezizomycotina, filo Ascomycota. Essa posição filogenética reflete sua proximidade evolutiva com outros fungos caracterizados por intensa atividade saprofítica e interações ecológicas complexas com plantas e outros microrganismos (Index Fungorum, 2026).

Do ponto de vista ecológico, espécies de *Trichoderma* são amplamente distribuídas em diferentes tipos de solo e frequentemente associadas à rizosfera das plantas. Nesse ambiente, atuam como organismos saprófitas, participando da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes (Samuels, 1996; Harman et al., 2012). Esses fungos apresentam crescimento rápido em meio de cultura e elevada capacidade de colonização do substrato, o que lhes confere vantagem competitiva em relação a outros microrganismos do solo (Poveda et al., 2024).

Morfologicamente, o gênero apresenta crescimento acelerado em meio de cultura, com formação de estruturas compactas, flocosas ou em tufo. Os conídios podem variar em tamanho e formato, geralmente apresentando coloração verde a amarelada, enquanto clamidósporos podem ocorrer em algumas espécies. Os conidióforos são bem definidos e os conídios formam-se nas extremidades das fiálides de hifas diferenciadas (Samuels, 1996).

Devido à sua elevada atividade metabólica, espécies de *Trichoderma* produzem diversas enzimas extracelulares, como quitinases, glucanases e proteases, que participam da degradação de substratos orgânicos e da interação com outros microrganismos (Kubicek, 1992; Peres &

Melo, 1995; Melo & Costa, 2005). Além disso, esses fungos sintetizam metabólitos secundários, incluindo peptaibóis, harzianolides e compostos orgânicos voláteis, que podem apresentar atividade antifúngica e atuar na modulação das interações com plantas e microrganismos (Khan et al., 2020).

Essas características metabólicas contribuem para a ampla utilização do gênero na agricultura, especialmente como agente de controle biológico. Espécies como *T. harzianum*, *T. virens* e *T. viride* são frequentemente empregadas no manejo de doenças de plantas devido à sua capacidade de antagonizar fitopatógenos por meio de diferentes mecanismos, como micoparasitismo, antibiose, competição por nutrientes e espaço, além da indução de resistência sistêmica nas plantas hospedeiras (Kredics et al., 2015; Meyer et al., 2019; Asghar et al., 2024).

Apesar do amplo potencial benéfico, algumas espécies de *Trichoderma* podem causar impactos negativos em determinados contextos agrícolas. O gênero está associado, por exemplo, à ocorrência de mofo verde em cultivos de cogumelos (Mazin et al., 2018; Sánchez-Montesinos et al., 2021), além de relatos de doenças em plantas, como podridões em cebola e milho (Szczecz et al., 2008; Pfordt et al., 2020).

Ademais, embora raros, há registros de espécies do gênero atuando como patógenos oportunistas em humanos, principalmente em indivíduos imunocomprometidos, podendo causar infecções como sinusite, pneumonia e infecções cutâneas (Muñoz et al., 1997; Ram & Singh, 2018). Também há relatos de contaminação de alimentos associada à produção de micotoxinas por algumas espécies (Yang et al., 2017).

Compostos Orgânicos Voláteis produzidos por *Trichoderma* spp.

Os Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) são metabólitos produzidos por diferentes organismos, incluindo plantas, fungos e bactérias, desempenhando múltiplas funções biológicas. Entre os microrganismos produtores desses compostos, fungos do gênero *Trichoderma* se destacam por apresentarem ampla diversidade de COVs e por serem amplamente investigados quanto ao seu papel ecológico e biotecnológico. Esses metabólitos exercem influência direta nas interações estabelecidas entre *Trichoderma*, plantas hospedeiras e microrganismos fitopatogênicos (Kaddes et al., 2019). A síntese e liberação de COVs por *Trichoderma* spp. não ocorrem de forma constante, sendo moduladas por fatores ambientais e fisiológicos, como temperatura, luminosidade, estágio de desenvolvimento do fungo e

disponibilidade de nutrientes (Guo et al., 2019; Speckbacher et al., 2020). Apesar da crescente quantidade de estudos, os mecanismos moleculares envolvidos no reconhecimento desses compostos pelos organismos-alvo e na ativação das respostas biológicas ainda não estão totalmente esclarecidos. Evidências indicam que os COVs podem atuar na modulação da expressão proteica e da atividade enzimática, refletindo em alterações no crescimento vegetal ou na indução de respostas de defesa (Malmierca et al., 2012; Bitas et al., 2013; Bae et al., 2016).

Do ponto de vista físico-químico, os COVs caracterizam-se por apresentarem baixa massa molecular e natureza hidrofóbica, geralmente contendo cerca de 20 átomos de carbono. Essas propriedades favorecem sua volatilização em condições ambientais normais, bem como sua difusão através de membranas celulares, permitindo sua dispersão no ar e no solo mesmo na ausência de contato direto entre os organismos (Siddiquee et al., 2012; Hung et al., 2013). Em função dessas características, os COVs atuam como importantes mediadores químicos, participando de processos de comunicação, interação e competição entre microrganismos e entre microrganismos e plantas.

Diversos COVs já foram identificados e caracterizados em culturas de *Trichoderma* spp., sendo observado que sua atividade biológica varia conforme o isolado e o patossistema avaliado (Lazazzara et al., 2021). Embora avanços tenham sido alcançados, questões fundamentais permanecem em aberto, como os mecanismos pelos quais esses compostos suprimem fitopatógenos, a forma como misturas de COVs exercem efeitos antifúngicos e os processos envolvidos na promoção do crescimento vegetal (Chen et al., 2016; Piechulla et al., 2017; Lazazzara et al., 2021). Ainda assim, esforços recentes têm sido direcionados à exploração do potencial de *Trichoderma* na agricultura, com destaque para a identificação de genes associados à biossíntese desses metabólitos secundários e para a compreensão de seu papel no biocontrole e na promoção do desenvolvimento das plantas (Druzhinina et al., 2011; Nieto-Jacobo et al., 2017; Guo et al., 2019).

Estudos genômicos revelam que espécies de *Trichoderma* possuem um repertório expressivo de genes envolvidos na produção de metabólitos secundários. Embora tais compostos não sejam essenciais para a sobrevivência do fungo, muitos deles conferem vantagens adaptativas, favorecendo a colonização do ambiente, a inibição de patógenos e o estímulo ao crescimento vegetal. Parte significativa desses genes está relacionada diretamente à produção de COVs (Kubicek et al., 2011; Mukherjee et al., 2012). Estima-se que

aproximadamente 480 COVs distintos já tenham sido detectados em diferentes espécies do gênero (Guo et al., 2019), pertencentes a diversas classes químicas, como terpenos, álcoois, cetonas, lactonas, aldeídos, ésteres e compostos aromáticos (Schenkel et al., 2015; Zeilinger et al., 2016; Kaddes et al., 2019).

A biossíntese desses compostos depende diretamente do metabolismo primário, sendo influenciada pela disponibilidade de carbono, nitrogênio, enxofre e energia (Kaddes et al., 2019). Dessa forma, a produção de COVs por *Trichoderma* apresenta elevada variabilidade qualitativa e quantitativa, condicionada tanto por fatores abióticos, como temperatura, umidade e tipo de substrato, quanto por fatores bióticos, incluindo espécie, linhagem e idade da colônia (Lee et al., 2016; Guo et al., 2019).

Os COVs estão envolvidos em diversos processos biológicos e apresentam considerável potencial para aplicações biotecnológicas (Druzhinina et al., 2011; Jalali et al., 2017). Por meio desses compostos, *Trichoderma* spp. são capazes de estabelecer interações com plantas e de se proteger contra organismos antagonistas ou predadores (Chen et al., 2016; Kaddes et al., 2019). Considerando a ampla diversidade do gênero, que compreende centenas de espécies e milhares de linhagens (Bisset et al., 1984; Wang & Zhuang, 2019), e a variação nos perfis de emissão de COVs entre elas (Lee et al., 2016; Zeilinger et al., 2016), presume-se que ainda exista um grande número de compostos a serem identificados e explorados para uso agrícola.

Evidências experimentais reforçam o potencial dos COVs de *Trichoderma* no controle biológico. Rajani et al. (2021) demonstraram que COVs produzidos por espécies endofíticas desse gênero foram capazes de inibir o crescimento micelial de fitopatógenos como *Sclerotinia sclerotiorum*, *Athelia rolfsii* e *Fusarium oxysporum*, embora *Macrophomina phaseolina* não tenha sido afetado. A análise química por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa revelou a presença de diferentes classes de compostos voláteis, incluindo hidrocarbonetos, álcoois, cetonas, aldeídos, ésteres, ácidos, éteres e terpenos. O aumento no número de estudos voltados ao papel dos COVs no biocontrole está associado, principalmente, aos avanços nas técnicas analíticas, que têm permitido uma caracterização mais detalhada desses metabólitos (Chen et al., 2016; Nieto-Jacobo et al., 2017; Guo et al., 2019).

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Fitopatologia e Bioinsumos 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., 2024).

Tabela 1. 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 124	Transformados	Laboratório de Enzimologia UFG/ICB)
IF 126	Transformados	Laboratório de Enzimologia UFG/ICB)

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 21×1 (21 isolados $\times$ 1 patógeno), com três repetições por combinação, totalizando 63 unidades experimentais.

Para o ensaio, foram utilizadas placas de Petri contendo meio de cultura sólido batata-dextrose-água. 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 *Agroathelia rolfsii* (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 de parafina plástica e envolvido em 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 *A. rolfsii* (antagonista).

As placas foram incubadas a 27 °C, com fotoperíodo de 12 horas. O tratamento controle (testemunha) consistiu em placas contendo apenas os *A. rolfsii*, sem contato com COVs produzidos por isolados de *Trichoderma* spp. A mensuração do crescimento micelial dos patógenos 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 representa 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.

A Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), conforme descrito por Shaner e Finney (1977), foi calculada pelo método do trapézio, segundo a seguinte expressão: $AACPD = \sum [(Y_i + Y_{i+1}) / 2] \times (T_{i+1} - T_i)$.

Onde, Y_i é a intensidade da doença na i -ésima avaliação, Y_{i+1} é a intensidade observada na avaliação subsequente, T_i corresponde ao tempo (em dias) da i -ésima avaliação e T_{i+1} ao tempo da avaliação seguinte. O somatório é realizado para todos os intervalos entre avaliações consecutivas. Esse método estima a integral da curva de progresso da doença ao longo do tempo, permitindo comparar tratamentos quanto à intensidade acumulada da doença durante o período experimental.

As variáveis utilizadas incluíram: 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 AACPCMa representou isolados de *A. rolfsii*.

Os dados foram submetidos à verificação das pressuposições para aplicação da ANOVA. A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade das variâncias, pelo teste de Bartlett. Quando as pressuposições foram violadas, aplicou-se o teste não paramétrico de Scott-Knott ranqueado, por meio do pacote ScottKnott (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 21 isolados de *Trichoderma* estudados encontram-se geograficamente representados no Estado de Goiás, sendo a maioria localizados nas regiões de Goiânia e Urutaí, em Goiás, Brasil.

Embora a visão inicial abranja uma área mais ampla do Brasil, a progressão do zoom direciona a atenção para o Estado de Goiás. As representações indicam uma presença significativa dos isolados nas proximidades de Goiânia e, implicitamente, em Urutaí (assumindo que os pontos mais ao sul no zoom final representam essa região, com base no contexto geográfico) (Figura 1). Os marcadores azuis e os agrupamentos numerados (como o de 18 isolados próximo a Goiânia) ilustram a densidade e a dispersão dos pontos de coleta nessas localidades específicas de Goiás, fornecendo uma base geográfica para a compreensão da variabilidade desses isolados (Figura 1).



Figura 1. Mapa de distribuição geoespacial dos locais de obtenção de vinte e um isolados

Todas as variáveis avaliadas - área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial de *Trichoderma* spp (AACPCMt), taxa aparente do crescimento micelial de *Trichoderma* spp. (TACMt), área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial de *A. rolfsii* (AACPCMa) e taxa aparente do crescimento micelial de *A. rolfsii* (TACMa) apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os isolados ($p < 0,05$), indicando ampla variabilidade funcional entre os isolados de *Trichoderma* spp. avaliados (Tabela 2). Essa variabilidade é desejável em programas de seleção de agentes de biocontrole, pois reflete diferentes estratégias de crescimento e antagonismo.

Inicialmente, analisando o crescimento próprio dos isolados de *Trichoderma* spp. (AACPCMt), observou-se que os isolados IF 114, IF 123, IF 132 e IF 135 apresentaram os maiores valores, indicando elevado vigor micelial (Tabela 2). Esses isolados formaram o grupo mais eficiente quanto à colonização do meio, característica frequentemente associada à maior competitividade por espaço e nutrientes, conforme descrito para isolados de *Trichoderma* spp. em diferentes patossistemas (Rahman et al., 2009; MEDRADO et al., 2022). Em um grupo intermediário situaram-se isolados como IF 119, IF 120, IF 121, IF 122, IF 125, IF 126, IF 128, IF 129, IF 131, IF 133, IF 134 e IF 136, enquanto os menores valores de AACPCMt foram observados para IF 113, IF 124, IF 127, IF 130 e IF 137, caracterizando estes como menos vigorosos sob as condições do ensaio (Tabela 2, Figura 1).

A taxa aparente de crescimento micelial dos isolados de *Trichoderma* spp. (TACMt) complementa essa análise, pois expressa a velocidade de expansão do micélio. Os maiores valores foram observados para IF 113, IF 125, IF 126 e IF 127, evidenciando isolados de crescimento rápido, embora não tenha sido acompanhados de alta AACPCMt (Tabela 2, Figura 1). Isolados como IF 114, IF 124, IF 130, IF 131 e IF 135 apresentaram as menores TACMt, caracterizando crescimento mais lento, embora nem sempre acompanhados de baixa AACPCMt (Tabela 2, Figura 1). Esse comportamento indica estratégias fisiológicas distintas, nas quais alguns isolados priorizam velocidade inicial de crescimento, enquanto outros apresentam maior acúmulo de biomassa ao longo do tempo, padrão já observado para *Trichoderma* spp. em estudos comparativos de crescimento e antagonismo (Filizola et al., 2019; Lalhruaitluangi et al., 2022).

Quanto ao efeito antagonista propriamente dito, a variável mais relevante foi a AACPCMa, que reflete o grau de supressão do crescimento de *Agroathelia rolfsii* pelos compostos orgânicos voláteis produzidos pelos isolados de *Trichoderma* spp. Os menores

valores de AACPCMa, indicativos de maior inibição do patógeno, foram observados para os isolados IF 114, IF 119, IF 132, IF 133, IF 134 e IF 135 (Tabela 2, Figura 2), corroborando resultados da literatura que apontam elevada eficiência antagonista de *Trichoderma* spp. frente a *Agroathelia rolfsii* em ensaios *in vitro* (Medrado et al., 2022; Montalvão et al., 2023). Esses isolados foram classificados como altamente eficazes, pois combinaram crescimento próprio vigoroso (elevados valores de AACPCMt) com forte capacidade de supressão do fitopatógeno.

Um grupo de eficácia intermediária incluiu IF 120, IF 121, IF 122, IF 125, IF 128, IF 129 e IF 136, enquanto os isolados IF 124, IF 126, IF 130 e IF 137 apresentaram os maiores valores de AACPCMa, sendo considerados menos eficazes na inibição do crescimento micelial de *A. rolfsii* (Tabela 2, Figura 2).

A análise da taxa de crescimento do patógeno (TACMa) reforçou essa classificação. Isolados como IF 113, IF 119, IF 121, IF 126, IF 127, IF 130, IF 131, IF 132, IF 133 e IF 135 reduziram de forma mais expressiva a velocidade de expansão micelial de *A. rolfsii* (Tabela 2), comportamento semelhante ao observado por Kumari et al. (2024) e Montalvão et al. (2023), que relataram redução significativa da taxa de crescimento do patógeno na presença de *Trichoderma* spp., enquanto IF 114, IF 120, IF 122, IF 123, IF 124, IF 125, IF 128, IF 129, IF 134, IF 136 e IF 137 apresentaram menor efeito sobre essa variável (Tabela 2, Figura 2).

O comportamento superior dos isolados mais eficazes pode estar associado a mecanismos descritos na literatura para espécies de *Trichoderma*. Estudos indicam que isolados com maior capacidade antagonista podem apresentar maior diversidade ou produção de compostos orgânicos voláteis, como álcoois, cetonas e terpenos, capazes de reduzir o crescimento micelial de patógenos, conforme relatado por Ruangwong et al. (2021) e Silva et al. (2022). Entretanto, no presente estudo não foram avaliados diretamente os metabólitos produzidos, de modo que tais mecanismos devem ser interpretados como hipóteses explicativas baseadas na literatura.

Os metabólitos secundários como a gliotoxina, descrita para *Trichoderma virens*, já foram associados na literatura à supressão de *Agroathelia rolfsii* (Hua et al., 2021). Assim, é possível que mecanismos semelhantes estejam envolvidos, embora não tenham sido avaliados diretamente neste estudo. A combinação entre crescimento micelial vigoroso e elevada produção de metabólitos antifúngicos explica o desempenho superior de isolados como IF 114, IF 132, IF 133, IF 134 e IF 135 em comparação aos demais (Tabela 2, Figura 2).

Em contraste, isolados menos eficazes podem apresentar limitação na produção ou no perfil qualitativo dos compostos voláteis, ou ainda priorizar o crescimento próprio em detrimento da síntese de metabólitos antagonistas. Dessa forma, os resultados evidenciam que a seleção de isolados promissores para o biocontrole de *A. rolfsii* deve considerar conjuntamente o vigor de crescimento e, principalmente, a eficiência na supressão do patógeno.

Tabela 2. . Médias + desvio padrão de área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial de *Trichoderma* spp. (AACPCMt) confrontado com *Agroathelia rolfsii* (AACPCMa) e taxa aparente do crescimento micelial de isolados de *Trichoderma* spp. (TACMt) confrontad

Isolados	AACPCMt	TACMt	AACPCMa	TACMa
IF 113	3,96±0,07 d	10,42±1,39 a	154,00±16,36 b	1,00±0,59 b
IF 114	315,50±1,69 a	7,54±0,14 d	66,50±4,17 d	2,82±0,29 a
IF 119	304,00±1,26 b	8,57±0,08 c	72,00±4,50 d	2,18±0,21 b
IF 120	297,50±1,86 c	9,11±0,13 b	110,00±12,33 c	4,50±0,14 a
IF 121	301,00±2,77 b	8,79±0,31 c	105,00±21,83 c	2,25±0,71 b
IF 122	303,50±3,61 b	8,68±0,36 c	111,00±13,51 c	3,64±0,52 a
IF 123	322,00±8,13 a	6,71±0,89 c	119,00±9,58 b	2,93±0,42 a
IF 124	3,39±0,98 d	-13,33±9,69 d	201,50±66,73 a	3,90±3,06 a
IF 125	281,50±2,19 c	10,18±0,17 a	92,00±5,49 c	3,46±0,44 a
IF 126	5,89±0,87 c	73,08±1,28 a	203,00±29,74 a	1,60±0,32 b
IF 127	2,14±0,18 d	40,00±3,33 a	160,00±22,09 b	3,30±0,75 b
IF 128	303,00±1,42 b	8,79±0,08 c	126,00±2,17 b	4,93±0,35 a
IF 129	306,50±2,17 b	8,61±0,15 c	87,00±6,42 c	2,86±0,57 a
IF 130	3,14±0,07 d	1,59±1,83 d	140,50±12,65 a	0,80±0,15 b
IF 131	4,29±0,48 c	0,00±2,40 d	131,00±1,09 b	2,10±0,39 b
IF 132	306,00±0,67 a	8,29±0,05 c	67,50±3,00 d	1,75±0,33 b
IF 133	301,00±4,48 b	9,07±0,34 b	71,00±8,33 d	1,71±0,83 b
IF 134	301,50±0,58 b	9,18±0,06 b	80,50±8,33 d	3,71±1,01 a
IF 135	316,50±1,04 a	7,32±0,05 d	64,00±17,30 d	0,86±0,65 b
IF 136	300,50±1,74 b	8,89±0,17 b	122,00±7,84 b	5,82±1,11 a
IF 137	2,68±0,47 d	25,00±8,48 b	185,00±35,67 a	5,40±3,57 a
P valor	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
C.V. (%)	2,14	43,9	30,06	64,95

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

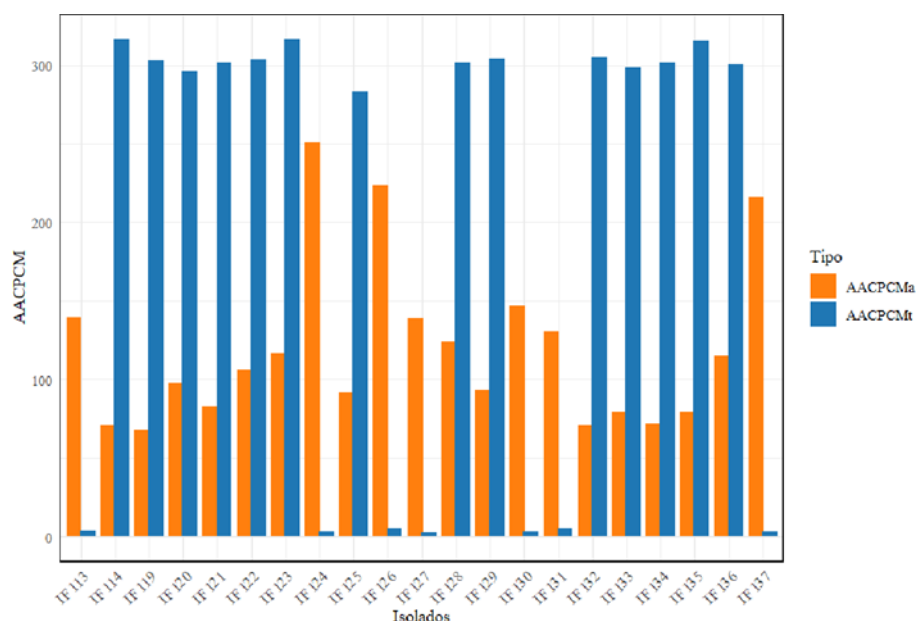


Figura 2. Médias da área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) de isolados de *Trichoderma* spp. (t) confrontados com *Agroathelia rolfsii* (a).

Após sete dias de incubação, observou-se diferença no desenvolvimento do patógeno *Athelia rolfsii* em função dos isolados de *Trichoderma* testados (Figura 3). No ensaio com o isolado IF 124 (Figura 3A), o patógeno apresentou maior amplitude de crescimento micelial, indicando baixo efeito antagonista desse isolado. Por outro lado, na presença do isolado IF 119 (Figura 3B) o crescimento de *A. rolfsii* foi relativamente menor, sugerindo que este isolado apresentou melhor desempenho no confronto direto, ainda que sem inibir completamente o avanço do fitopatógeno. Esses resultados ressaltam a variabilidade entre isolados de *Trichoderma* spp. quanto ao potencial de biocontrole e a importância de selecionar cepas mais eficientes.

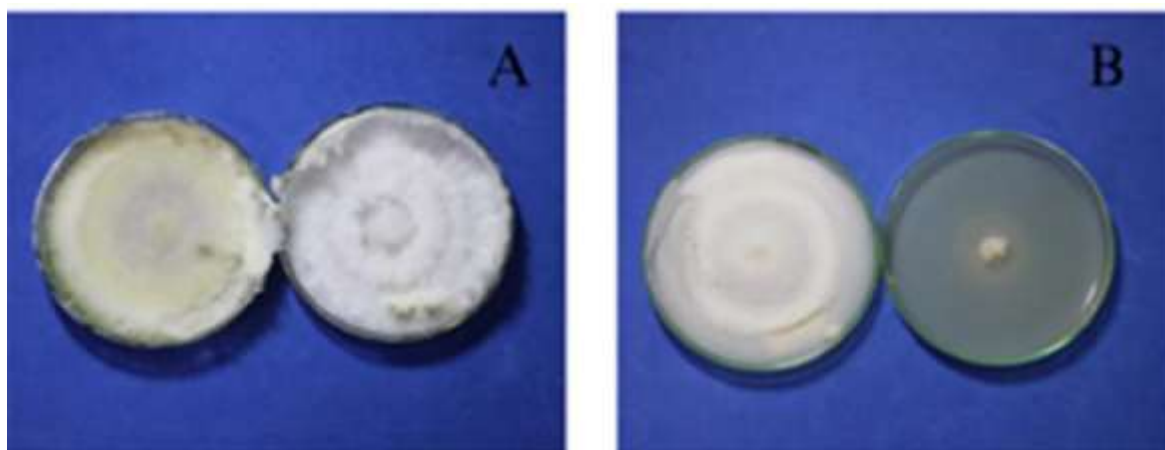


Figura 3. Amplitude do crescimento micelial de *Trichoderma* spp. x *Athelia rolfsii*, 7 dias após incubação no ensaio in vitro. A: isolado IF 124; B: isolado IF 119.

CONCLUSÃO

Os isolados de *Trichoderma* spp. apresentaram variação expressiva na capacidade de inibir o crescimento micelial e a taxa de expansão de *A. rolfsii*. Isolados como IF 114, IF 119, IF 132, IF 133, IF 134 e IF 135 demonstraram maior potencial antagonista, indicando sua relevância como candidatos para biocontrole deste patógeno.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Houve expressiva variação dos isolados de *Trichoderma* spp. com relação à capacidade de inibir o crescimento micelial e a taxa de expansão de *A. rolfsii*. Observou-se que as variáveis AACPCMa e TACMa foram sensíveis para detectar a capacidade inibitória de determinados isolados de *Trichoderma* spp. sobre *A. rolfsii*, como IF 114, IF 119, IF 132, IF 133, IF 134 e IF 135, que demonstraram maior potencial antagonista nas condições do ensaio in vitro. Estes isolados se destacaram por apresentar maior supressão tanto da área acumulada de crescimento quanto da taxa de expansão do micélio do patógeno. Biologicamente, esse resultado pode indicar maior capacidade competitiva desses isolados e sugere a possível participação de metabólitos secundários na restrição do crescimento de *A. rolfsii*. No entanto, a confirmação desses mecanismos requer análises específicas, como caracterização de metabólitos ou avaliação de enzimas associadas ao antagonismo.

Os resultados indicam o potencial de isolados de *Trichoderma* spp. no biocontrole de *Agroathelia rolfsii*, especialmente aqueles com maior capacidade antagonista. 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. Adicionalmente, a identificação molecular, a avaliação da compatibilidade com estratégias de manejo integrado de doenças e estudos sobre formulação e persistência no solo são essenciais para viabilizar a aplicação prática desses isolados como bioinsumos sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ADEKUNLE, A. T. Seed treatment with *Trichoderma* species for control of damping-off of cowpea caused by *Macrophomina phaseolina*. *Biocontrol Science and Technology*, v. 11, n. 4, p. 449–457, 2001.
- ADNAN, M. Plant defense against fungal pathogens by antagonistic fungi with *Trichoderma* in focus. *Microbial Pathogenesis*, v. 129, p. 7–18, 2019.
- AGRIOS, G. N. *Plant pathology*. 5. ed. Burlington: Elsevier Academic Press, 2005.
- AGROFIT. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Brasília: MAPA, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/acesso-a-informacao/tecnologia-da-informacao/sistemas/orgaos/mapa/vegetal/agrofit-sistema-de-agrotoxicos-fitossanitarios>. Acesso em: 4 dez. 2025.
- ALVARADO-MARCHENA, L. 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, e0150454, 2016.
- AMORIM, L. *Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas*. 5. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2016.
- APROSOJA. A soja. 2021. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/>. Acesso em: fev. 2021.
- ARELLANO, A. D. V. Seeds coated with *Trichoderma atroviride* and soil amended with silicon improve the resistance of *Lolium multiflorum* against *Pyricularia oryzae*. *Biological Control*, v. 154, 104499, 2021.
- ARSENIUK, E. Scanning electron microscopy of sclerotia of *Sclerotinia trifoliorum* and related species. *Journal of Phytopathology*, v. 141, p. 275–284, 1994.
- ASGHAR, W. 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, 100455, 2024.
- AULER, A. C. V. Antagonismo de *Trichoderma harzianum* a *Sclerotium rolfsii* nas culturas do feijoeiro e soja. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 7, n. 3, p. 359–365, 2013.
- AYCOCK, R. Stem rot and other diseases caused by *Sclerotium rolfsii*. Raleigh: North Carolina Agricultural Experiment Station, 1966. (Technical Bulletin, 174).
- BAE, S. J. *Trichoderma* metabolites as biological control agents against *Phytophthora* pathogens. *Biological Control*, v. 92, p. 128–138, 2016.

BAI, B. *Trichoderma* species from plant and soil: an excellent resource for biosynthesis of terpenoids with versatile bioactivities. *Journal of Advanced Research*, 2022. In press.

BARNETT, H. L.; HUNTER, B. B. *Illustrated genera of imperfect fungi*. 4. ed. St. Paul: APS Press, 1998.

BEDENDO, I. P. Manual de fitopatologia: princípios e conceitos. In: AMORIM, L. et al. (org.). *Manual de fitopatologia: princípios e conceitos*. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2011. v. 1, p. 473–477.

BEDENDO, I. P. Podridões de raiz e colo. In: AMORIM, L. et al. (org.). *Manual de fitopatologia: princípios e conceitos*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v. 1, p. 829–837.

BEDENDO, M. M.; WANG, A. Efecto de biocontroladores aislados en fincas productoras de cebolla sobre la pudrición blanca (*Sclerotium cepivorum*). *Agronomía Costarricense*, 2008.

BECKER, K. F.; COOK, R. J. *Biological control of plant pathogens*. San Francisco: W. H. Freeman, 1974.

BENÍTEZ, T. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology*, v. 7, n. 4, p. 249–260, 2004.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Princípios gerais de controle. In: AMORIM, L. et al. (org.). *Manual de fitopatologia: princípios e conceitos*. São Paulo: Agronômica Ceres, 2018. v. 1, p. 215–220.

BERNARDO, J. T. 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.

BETTIOL, W. Control biológico de enfermedades de plantas en Brasil. In: _____. *Control biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe*. [S.l.]: Facultad de Agronomía, 2014. p. 91–137.

BISSETT, 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. S. Sniffing on microbes: diverse roles of microbial volatile organic compounds in plant health. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, v. 26, p. 835–843, 2013.

BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. In: CÂMARA, G. M. S. (org.). *Soja: tecnologia de produção II*. Piracicaba: ESALQ, 2000. p. 1–18.

BLUM, L. E. B.; RODRÍGUEZ-KÁBANA, R. Dried powders of kudzu, velvetbean, and pine bark added to soil increase microbial population and reduce southern blight of soybean. *Fitopatologia Brasileira*, v. 31, p. 551–556, 2006.

BORTOLINI, G. L. Controle de *Pratylenchus brachyurus* via tratamento de semente de soja. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 17, p. 818, 2013.

BRETSCHNEIDER, 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.

BUENO, C. J.; AMBRÓSIO, M. M. Q. Production and evaluation of survival of resistance structures of soilborne phytopathogenic fungi. *Summa Phytopathologica*, v. 33, 2007.

BULLUCK, L. R.; RISTAINO, J. B. Effect of synthetic and organic soil fertility amendments on southern blight, soil microbial communities, and yield of processing tomatoes. *Phytopathology*, v. 92, p. 181–189, 2002.

CABANILLAS, C. et al. Sustainable management strategies focused on native bio-inputs in *Amaranthus cruentus* L. in agro-ecological farms in transition. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, n. 1, p. 343–350, 2017.

CÂMARA, G. M. S. *Introdução ao agronegócio soja*. Piracicaba: USP/ESALQ, 2012.

CAMPANHOLA, C.; BETTIOL, W.; RODRIGUES, G. S. Evolução, situação atual, projeção e perspectiva de sucesso de um programa de racionalização do uso de agrotóxicos no Brasil. In: PROCISUR. *Racionalización del uso de pesticidas en el Cono Sur*. Montevideu: PROCISUR, 1998. p. 43–49.

DA SILVA ALMEIDA, W. K. D. Antagonismo de *Trichoderma viride* sobre fungos fitopatogênicos, *Colletotrichum* spp., *Cercospora musae* e *Asperisporium caricae* em fruteiras tropicais. *Cadernos de Agroecologia*, v. 4, n. 1, 2009.

DA SILVA, L. *Trichoderma*: suas interações e uma abordagem metodológica aplicada ao estudo de compostos orgânicos voláteis para o mofo-branco e promoção de crescimento de plantas. *Revisão Anual de Patologia de Plantas*, v. 28, p. 163–183, 2022.

DHINGRA, O. D.; MENDONÇA, H. L.; MACEDO, D. M. Doenças e seu controle. In: SEDIYAMA, T. (org.). *Tecnologias de produção e usos da soja*. Londrina: [s.n.], 2009. p. 133–156.

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

DRUZHININA, I. S. et al. *Trichoderma*: the genomics of opportunistic success. *Nature Reviews Microbiology*, v. 9, p. 749–759, 2011.

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. et al. Bioprotective bacteria: biocontrol traits and induced resistance to phytopathogens. *Microbiology Research*, v. 14, n. 2, p. 689–703, 2023.

EL-HASAN, A.; BUCHENAUER, H. 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, 2009.

ELNAHAL, A. S. M. et al. 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.

EMBRAPA. *Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil*. Londrina: Embrapa Soja, 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/904487/tecnologias-de-producao-de-soja>. Acesso em: 10 set. 2025.

EMBRAPA. Cultivo de soja: dados econômicos. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 10 set. 2025.

EMBRAPA. Brasil é líder mundial em tecnologias de controle biológico. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/46366490/brasil-e-lider-mundial-em-tecnologias-de-controle-biologicos>. Acesso em: set. 2021.

ESPOSITO, E.; SILVA, M. Systematics and environmental application of the genus *Trichoderma* derived antifungal metabolites and cell wall degrading enzymes on enhanced biocontrol of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*. *Biological Control*, v. 94, p. 37–46, 2016.

FARIA, A. Y. K.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; CASSETARI NETO, D. Qualidade fisiológica de sementes de algodoeiro submetidas a tratamentos químico e biológico. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 25, n. 1, p. 121–127, 2003.

FERREIRA, L. B. S. Avaliação de *Trichoderma harzianum* superexpressando o gene de aquaporina para o controle de *Meloidogyne javanica* em feijão comum. 2018. Dissertação (Mestrado) – [Instituição], 2018.

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

FERREIRA, M. G. C. et al. Indução de fitoalexinas em cotilédones de soja e hipocótilos de feijão em função da aplicação de agentes de biocontrole. *Científic@ – Multidisciplinary Journal*, v. 6, n. 1, 2019.

FIGUEIRA, E. P. P. et al. Histochemical changes induced by *Trichoderma* spp. and potassium phosphite in common bean (*Phaseolus vulgaris*) in response to the attack by *Colletotrichum lindemuthianum*. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 41, n. 3, p. 811–828, 2020.

FIGUEIREDO, B. M. et al. Productivity, biological efficiency, and number of *Agaricus blazei* mushrooms grown in compost in the presence of *Trichoderma* sp. and *Chaetomium olivacearum* contaminants. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 38, n. 2, p. 243–247, 2007.

FILIZOLA, P. et al. Biodiversity and phylogeny of novel *Trichoderma* isolates from mangrove sediments and potential of biocontrol against *Fusarium* strains. *Microbial Cell Factories*, v. 18, p. 1–14, 2019.

FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. *Controle biológico de pragas da agricultura*. Brasília: Embrapa, 2020.

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*, v. 7, n. 12, p. 1–12, 2011.

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

GARNICA-VERGARA, A. et al. 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.

GLIESSMAN, S. *Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável*. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

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

GONZÁLEZ-PÉREZ, E. et al. The *Arabidopsis*–*Trichoderma* interaction reveals that the fungal growth medium is an important factor in plant growth induction. *Scientific Reports*, v. 8, p. 1–14, 2018.

GRIGOLETTI JUNIOR, A.; DOS SANTOS, Á. F.; AUER, C. G. Perspectivas do uso do controle biológico contra doenças florestais. [S.l.: s.n.], 2000.

GUO, Y. et al. *Trichoderma* species differ in their volatile profiles and in antagonism toward ectomycorrhiza *Laccaria bicolor*. *Frontiers in Microbiology*, v. 10, p. 1–15, 2019.

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.

- HARMAN, G. E. et al. *Trichoderma* species – opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, v. 2, n. 1, p. 43–56, 2004.
- HARMAN, G. E.; HERRERA-ESTRELLA, A.; HORWITZ, B. A.; LORITO, M. Special issue: *Trichoderma* – from basic biology to biotechnology. *Microbiology*, v. 158, p. 1–2, 2012.
- HENNING, A. A. *Patologia e tratamento de sementes: noções gerais*. 2. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005.
- HENNING, A. A. et al. *Manual de identificação de doenças de soja*. 5. ed. Londrina: Embrapa, 2014.
- HERMAN, G. E. Multifunctional fungal plant symbionts: new tools to enhance plant growth and productivity. *New Phytologist*, v. 189, p. 647–659, 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.
- HUA, L. et al. Gliotoxin is an important secondary metabolite involved in suppression of *Sclerotium rolfsii* by *Trichoderma virens* T23. *Phytopathology*, v. 111, p. 1720–1725, 2021.
- 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. et al. Mycofumigation through production of the volatile DNA-methylating agent N-methyl-N-nitrosoisobutyramide by fungi in the genus *Muscodor*. *Journal of Biological Chemistry*, v. 292, p. 7358–7371, 2017.
- INDEX FUNGORUM. *Agroathelia rolfsii* (Sacc.) Redhead & Mullineux. Index Fungorum, n. 550: 1. Registration Identifier: 900875. Disponível em: <http://www.indexfungorum.org>. Acesso em: 25 fev. 2026.
- INDEX FUNGORUM. Index Fungorum. Disponível em: <http://www.indexfungorum.org>. Acesso em: maio 2024.
- INFANTE, D.; MARTÍNEZ, B.; GONZÁLEZ, N.; REYES, Y. *Trichoderma* mechanisms of action against phytopathogen fungi. *Revista Protección Vegetal*, v. 24, n. 1, p. 14–21, 2009.
- JAISWAL, D. K. et al. Estratégias de biocontrole: uma ferramenta eco-inteligente para o manejo integrado de pragas e doenças. *BMC Microbiology*, v. 22, p. 324, 2022.

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.

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.

KHAN, R. A. A. et al. Bioactive secondary metabolites from *Trichoderma* spp. against phytopathogenic fungi. *Microorganisms*, v. 8, p. 817, 2020.

KIRK, P. Index Fungorum. 2021.

KLERKX, L.; JAKKU, E.; LABARTHE, P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*, v. 90–91, 2019.

KOTTB, M.; GIGOLASHVILI, T.; GROSSKINSKY, D.; PIECHULLA, B. *Trichoderma* volatiles effecting *Arabidopsis*: from inhibition to protection against phytopathogenic fungi. *Frontiers in Microbiology*, v. 6, p. 1–14, 2015.

KRAUSE-SAKATE, R. et al. Doenças da alface. In: AMORIM, L. et al. (org.). *Manual de Fitopatologia: doenças de plantas cultivadas*. 5. ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2016. v. 2, p. 33–40.

KREDICS, L. et al. Biodiversidade do gênero *Hypocrea/Trichoderma* em diferentes habitats. In: GUPTA, V. K. et al. (org.). *Biotechnology and Biology of Trichoderma*. Amsterdam: Elsevier, 2014. p. 3–24.

KUBICEK, C. P. The cellulase proteins of *Trichoderma reesei*: structure, multiplicity, mode of action and regulation of formation. *Advances in Biochemical Engineering and Biotechnology*, v. 45, p. 1–27, 1992.

KUBICEK, C. P. et al. Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral lifestyle of *Trichoderma*. *Genome Biology*, v. 12, p. 1–15, 2011.

KUMAR, A.; PUROHIT, A. K. Biological control and need of a strategic shift in plant disease management. In: _____. *Plant Defence: Biological Control*. Cham: Springer, 2020. p. 119–133.

KUMAR, K. et al. Isolation and characterization of *Trichoderma* spp. for antagonistic activity against root rot and foliar pathogens. *Indian Journal of Microbiology*, v. 52, p. 137–144, 2012.

LALHRUAITLUANGI, C. et al. In vitro evaluation of antagonistic activity of native *Trichoderma* spp. and *Pseudomonas fluorescens* isolates against *Alternaria solani* causing early blight of tomato. *International Journal of Plant & Soil Science*, v. 34, n. 13, p. 120–127, 2022.

- LAZAZZARA, V. et al. *Trichoderma* spp. volatile organic compounds protect grapevine plants by activating defense-related processes against downy mildew. *Physiologia Plantarum*, v. 172, p. 1950–1965, 2021.
- LE TORNEAU, D. Morphology, cytology and physiology of *Sclerotinia* species in culture. *Phytopathology*, v. 69, p. 887–890, 1979.
- LEAL, J. C. *Plantas da lavoura Sul Rio-grandense*. Porto Alegre: UFRGS, 1967.
- LIMA, G. S. A.; ASSUNÇÃO, I. P.; VALLE, L. A. C. Controle genético de doenças radiculares. In: MICHEREFF, S. J. et al. (org.). *Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais*. Recife, 2005. p. 247–278.
- LISBOA, J.; FELIX, C. R. Purification and characterization of a β -glucanase produced by *Trichoderma harzianum* showing biocontrol potential. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 50, p. 21–29, 2007.
- LOMBARD, L. et al. Molecular phylogeny and evolution of fungi. *Persoonia*, v. 36, p. 156–246, 2016.
- LOPES, F. A. C. et al. Biochemical and metabolic profiles of *Trichoderma* strains isolated from common bean crops in the Brazilian Cerrado, and potential antagonism against *Sclerotinia sclerotiorum*. *Fungal Biology*, v. 116, p. 815–824, 2012.
- LORITO, M. et al. Translational research on *Trichoderma*: from omics to the field. *Annual Review of Phytopathology*, v. 48, p. 395–417, 2010.
- LUCON, C. M. M. et al. Bioprospecção de isolados de *Trichoderma* spp. para o controle de *Rhizoctonia solani* na produção de mudas de pepino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 3, p. 225–232, 2009.
- MACEDO, S. A. et al. Combined chitosan and *Cymbopogon citratus* essential oil to inhibit the fungal phytopathogen *Paramyrothecium roridum* and control crater rot in melon. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 51, p. 2057–2065, 2020.
- MACHADO, D. F. M. et al. *Trichoderma* no Brasil: o fungo e o bioagente. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 35, n. 1, p. 274–288, 2012.
- MALMIERCA, M. et al. 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.
- MAPA. Programa Nacional de Bioinsumos. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: 21 out. 2025.
- MAPA. Sanidade vegetal. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: 21 out. 2021.

- MARCELLO, C. M. et al. Expression analysis of the exo- β -1,3-glucanase from the mycoparasitic fungus *Trichoderma asperellum*. *Microbiological Research*, v. 165, p. 75–81, 2010.
- MARQUES, E.; MARTINS, I.; MELLO, S. C. M. Antifungal potential of crude extracts of *Trichoderma* spp. *Biota Neotropica*, v. 18, p. 1–5, 2018.
- MARRA, R. et al. Application of *Trichoderma* strains and metabolites enhances soybean productivity and nutrient content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 67, n. 7, p. 1814–1822, 2019.
- MARTINS, M. V. V. et al. Erradicação de escleródios de *Sclerotium rolfsii* em substrato tratado em coletores solares. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 25, n. 3, p. 421–424, 2003.
- 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, p. 229–241, 2007.
- MATÍĆ, S. et al. Emergence of leaf spot disease on leafy vegetable and ornamental crops caused by *Paramyrothecium* and *Albifimbria* species. *Phytopathology*, v. 109, p. 1053–1061, 2019.
- MAZIN, M. et al. 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.
- MEDRADO, P. H. S. et al. Efficiency of different strains of *Trichoderma* on the control of *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotium rolfsii* and *Sclerotium cepivorum*. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 44, e60072, 2022.
- MELLO, S. C. M. et al. Controle de doenças de plantas. In: FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. (org.). *Controle biológico de pragas da agricultura*. Brasília: Embrapa, 2020. p. 291–325.
- MELO, I. S.; COSTA, F. G. *Desenvolvimento de uma formulação granulada à base de Trichoderma harzianum para controle de fitopatógenos*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005.
- MEYER, M. C. et al. *Trichoderma*: uso na agricultura. [S.l.: s.n.], 2019.
- MEYER, M. C. et al. Chemical control of white mold (*Sclerotinia sclerotiorum*) on soybean in Brazil. *Acta Phytopathologica Sinica*, v. 43, p. 137, 2013.
- MISHRA, D. S. et al. Combination of fungal and bacterial antagonists for management of root and stem rot disease of soybean. *Pakistan Journal of Botany*, v. 43, n. 5, p. 2569–2574, 2011.

- MISHRA, J.; ARORA, N. K. Secondary metabolites of fluorescent pseudomonads in biocontrol of phytopathogens for sustainable agriculture. *Applied Soil Ecology*, v. 125, p. 35–45, 2018.
- MONTALVÃO, S. et al. Suppression of the phytopathogens *Sclerotinia sclerotiorum* and *Sclerotium rolfsii* by *Trichoderma* spp. *Biologia*, v. 78, p. 2941–2952, 2023.
- MONTERO-BARRIENTOS, M. Transgenic expression of the *Trichoderma harzianum* hsp70 gene increases *Arabidopsis* resistance to heat and other abiotic stresses. *Journal of Plant Physiology*, v. 167, n. 8, p. 659–665, 2010.
- MUKHERJEE, P. K.; HORWITZ, B. A.; KENERLEY, C. M. Secondary metabolism in *Trichoderma* – a genomic perspective. *Microbiology*, v. 158, p. 35–45, 2012.
- MULLER, L. Morfologia, anatomia e desenvolvimento. In: _____. *Tecnologias de produção e usos da soja*. Londrina: Mecenias, 2009.
- NAGAMANI, P.; BHAGAT, S.; BISWAS, M. K.; VISWANATH, K. Effect of volatile and non-volatile compounds of *Trichoderma* spp. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v. 6, p. 1486–1491, 2017.
- NICOLAS, C.; ROSTÁS, M.; BRAITHWAITE, M.; STEWART, A.; MENDOZA-MENDOZA, A. *Trichoderma* genes in plants for stress tolerance: status and prospects. *Plant Science*, v. 228, p. 71–78, 2014.
- NIETO-JACOBO, M. F.; STEYAERT, J. M.; SALAZAR-BADILLO, F. B.; NGUYEN, D. V.; ROSTÁS, M.; BRAITHWAITE, M.; DE SOUZA, J. T.; JIMÉNEZ-BREMONT, J. F.; OHKURA, M.; STEWART, A.; MENDOZA-MENDOZA, A. Environmental growth conditions of *Trichoderma* spp. affect indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, p. 1–18, 2017.
- O'BRIEN, P. A. Biological control of plant diseases. *Australasian Plant Pathology*, v. 46, p. 293–304, 2017.
- OLIVEIRA, A. C. B.; ROSA, A. P. S. A. Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2013/2014 e 2014/2015. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 40., 2014, Pelotas. Anais [...]. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014.
- 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 fungal plant diseases. *Horticulturae*, v. 8, n. 7, p. 577, 2022.
- PANDEY, M. K.; SARMA, B. K.; SINGH, D. P.; SINGH, U. P. Biochemical investigations of sclerotial exudates of *Sclerotium rolfsii* and their antifungal activity. *Journal of Phytopathology*, v. 155, p. 84–89, 2007.

PATRA, G. K.; ACHARYA, G. K.; PANIGRAHI, J.; MUKHERJEE, A. K.; ROUT, G. R. The soil-borne fungal pathogen *Athelia rolfsii*: past, present, and future concern in legumes. *Folia Microbiologica*, v. 68, n. 5, p. 677–690, 2023.

NAGAMANI, P.; BHAGAT, S.; BISWAS, M. K.; VISWANATH, K. Effect of volatile and non-volatile compounds of *Trichoderma* spp. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v. 6, p. 1486–1491, 2017.

NICOLAS, C.; ROSTÁS, M.; BRAITHWAITE, M.; STEWART, A.; MENDOZA-MENDOZA, A. *Trichoderma* genes in plants for stress tolerance: status and prospects. *Plant Science*, v. 228, p. 71–78, 2014.

NIETO-JACOBO, M. F.; STEYAERT, J. M.; SALAZAR-BADILLO, F. B.; NGUYEN, D. V.; ROSTÁS, M.; BRAITHWAITE, M.; DE SOUZA, J. T.; JIMÉNEZ-BREMONT, J. F.; OHKURA, M.; STEWART, A.; MENDOZA-MENDOZA, A. Environmental growth conditions of *Trichoderma* spp. affect indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, p. 1–18, 2017.

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

OLIVEIRA, A. C. B.; ROSA, A. P. S. A. Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2013/2014 e 2014/2015. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 40., 2014, Pelotas. Anais [...]. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014.

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 fungal plant diseases. *Horticulturae*, v. 8, n. 7, p. 577, 2022.

PANDEY, M. K.; SARMA, B. K.; SINGH, D. P.; SINGH, U. P. Biochemical investigations of sclerotial exudates of *Sclerotium rolfsii* and their antifungal activity. *Journal of Phytopathology*, v. 155, p. 84–89, 2007.

PATRA, G. K.; ACHARYA, G. K.; PANIGRAHI, J.; MUKHERJEE, A. K.; ROUT, G. R. The soil-borne fungal pathogen *Athelia rolfsii*: past, present, and future concern in legumes. *Folia Microbiologica*, v. 68, n. 5, p. 677–690, 2023.

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.

PERES, E.; MELO, I. S. Variabilidade entre isolados de *Trichoderma harzianum*. I. Aspectos citológicos. *Scientia Agricola*, v. 52, p. 56–59, 1995.

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, p. 547758, 2020.

PIECHULLA, B. *Trichoderma* volatiles affecting *Arabidopsis*: from inhibition to protection against phytopathogenic fungi. *Frontiers in Microbiology*, v. 6, p. 1–14, 2015.

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.

PRAYOGO, Y.; BAYU, M. S. Y. I.; SUSANTO, G. W. A.; INDIATI, S. W. Impact of biopesticide inundation on the diversity of soybean pests and diseases. *IOP Conference Series*, 2003.

PUNJA, Z. K. The biology, ecology and control of *Sclerotium rolfsii*. *Annual Review of Phytopathology*, v. 23, p. 97–127, 1985.

PURDY, L. H. *Sclerotinia sclerotiorum*: history, diseases and symptomatology, host range, geographic distribution, and impact. *Phytopathology*, v. 69, p. 875–880, 1979.

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.

RAM, R. M.; SINGH, H. B. *Trichoderma* spp.: an opportunistic pathogen. *Biotech Today*, v. 8, p. 16–24, 2018.

RAYMAEKERS, K.; PONET, L.; HOLTAPPELS, D.; BERCKMANS, B. Screening for novel biocontrol agents applicable in plant disease management: a review. *Biological Control*, 2020.

ROBERTI, R.; BADIALI, F.; PISI, A.; VERONESI, A.; PANCALDI, D.; CESARI, A. Sensitivity of *Clonostachys rosea* and *Trichoderma* spp. as potential biocontrol agents to pesticides. *Journal of Phytopathology*, v. 154, p. 100–109, 2006.

ROMEIRO, A. R. Perspectivas para políticas agroambientais. In: RAMOS, P. (org.). *Dimensões do agronegócio brasileiro: políticas, instituições e perspectivas*. Brasília: MDA, 2007. p. 283–312.

ROSA, D. R.; HERRERA, C. J. L. Evaluation of *Trichoderma* spp. as biocontrol agents against avocado white root. *Biological Control*, v. 51, p. 66–71, 2009.

RUANGWONG, O.-U.; WONGLOM, P.; SUWANNARACH, N.; KUMLA, J.; THAOCHAN, N.; CHOMNUNTI, P.; PITIJA, K.; SUNPAPAO, A. Volatile organic compound from *Trichoderma asperelloides* TSU1: impact on plant pathogenic fungi. *Journal of Fungi*, v. 7, n. 3, p. 187, 2021.

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

SANCHEZ, A. D.; OUSSET, M. J.; SOSA, M. C. Biological control of *Phytophthora* collar rot of pear using regional *Trichoderma* strains with multiple mechanisms. *Biological Control*, v. 75, p. 42, 2019.

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.

SARAVANAKUMAR, K.; YU, C.; DOU, K.; WANG, M.; LI, Y.; CHEN, J. Synergistic effect of *Trichoderma* spp. *Biota Neotropica*, v. 18, n. 1, 2018.

SAVAZZINI, F.; LONGA, C. M. O.; PERTOT, I.; GESSLER, C. Real-time PCR for detection and quantification of the biocontrol agent *Trichoderma atroviride* strain SC1 in soil. *Journal of Microbiological Methods*, v. 73, p. 185–194, 2008.

SCHENKEL, D.; LEMFACK, M. C.; PIECHULLA, B.; SPLIVALLI, R. A meta-analysis approach for assessing the diversity and specificity of below-ground root and microbial volatiles. *Frontiers in Plant Science*, v. 6, p. 1–11, 2015.

SCHULZ-BOHM, K.; GERARDS, S.; HUNDSCHEID, 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.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. *Biometrics*, v. 30, n. 3, p. 507–512, 1974.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology*, v. 67, n. 8, p. 1051–1056, 1977.

SHARMA, S. K.; SRIVASTAVA, S. K. Fungi associated with soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) diseases. In: *Fungi from Different Substrates*. 2014. p. 331–383.

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, J. M.; CONTE, O.; MESQUITA, C. M. *Determinação de perdas na colheita de soja: copo medidor da Embrapa*. 2. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2017.

SMITH, G. S.; WYLLIE, T. D. Charcoal rot. In: HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. (eds.). *Compendium of soybean diseases*. 4. ed. St. Paul: American Phytopathological Society, 1999. p. 29–31.

SOLIMAN, M. S. Characterization of *Paramyrothecium roridum* (basionym *Myrothecium roridum*) causing leaf spot of strawberry. *Journal of Plant Protection Research*, v. 60, p. 141–149, 2020.

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. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, p. 310–316, 2016.

SZCZECZ, 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.

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.

TOMAH, A. A.; SABAH, I.; ALAMER, A.; LIN, B.; ZHANG, J. A new species of *Trichoderma* and gliotoxin role: a new observation in enhancing biocontrol potential of *Trichoderma virens* against *Phytophthora capsici* on chili pepper. *Journal of Fungi*, 2020.

VICENTE, I.; BARONCELLI, R.; HERMOSA, R.; MONTE, E.; VANNACCI, G.; SARROCCO, S. Role and genetic basis of specialised secondary metabolites in *Trichoderma* ecophysiology. *Fungal Biology Reviews*, v. 39, p. 83–99, 2022.

VIEIRA, P. M. Identificação, expressão e análise de genes de *Trichoderma harzianum* com potencial biotecnológico. 2014. Tese (Doutorado em Biologia Molecular) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

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.

WENDLAND, A.; MOREIRA, A. S.; BIANCHINI, A.; MARINGONI, A. C.; GIAMPAN, J. D.; LOBO JUNIOR, M. Doenças do feijoeiro. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIM FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (eds.). *Manual de Fitopatologia: Doenças de Plantas Cultivadas*. 5. ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2016. p. 383–396.

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.

YANG, Y.; HUANG, X.; LIU, J.; CHEN, L. Toxicity of trichodermin, a trichothecene mycotoxin from *Trichoderma brevicompactum*, and its role in plant diseases and food safety. *Toxicon*, v. 138, p. 89–98, 2017.

YOU, J.; YOU, L.; TANG, T.; WANG, F.; HUANG, H.; DUAN, Y.; ZHENG, L.; WANG, X.; ZHOU, W.; ZHANG, Y. The high-quality genome sequence of *Agroathelia rolfsii* (syn. *Sclerotium rolfsii*), the causal agent of southern blight in *Coptis chinensis*. *Scientific Data*, v. 12, art. 1833, 2025.

ZAMBOLIN, L.; VENANCIO, W. S.; OLIVEIRA, S. H. F. *Manejo da resistência de fungos a fungicidas*. Viçosa: UFV, 2007.

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.

ZENG, W.; KIRK, W.; HAO, J. Field management of *Sclerotinia* stem rot of soybean using biological control agents. *Biological Control*, v. 60, p. 141–147, 2012.

ZHOU, D.; HUANG, X.; GUO, J.; SANTOS, M. L.; VIVANCO, J. M. *Trichoderma gamsii* affected herbivore feeding behaviour on *Arabidopsis thaliana* by modifying the leaf metabolome and phytohormones. *Microbial Biotechnology*, v. 11, n. 6, p. 1195–1206, 2018.