

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM AGRONOMIA

João Vitor Medeiros Oliveira

**USO DE *Trichoderma* spp. COMO POTENCIAL BIOCONTROLADOR DA
ANTRACNOSE DA SOJA**

São João Evangelista

2025

JOÃO VITOR MEDEIROS OLIVEIRA

USO DE *Trichoderma* spp. COMO POTENCIAL BIOCONTROLADOR DA ANTRACNOSE DA SOJA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Minas Gerais – *campus* São João Evangelista para obtenção do grau de bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof. Dra. Natália Risso Fonseca

São João Evangelista

2025

O48u Oliveira, João Vitor Medeiros.
Uso de *Trichoderma spp.* como potencial biocontrolador da antracnose da soja/ João Vitor Medeiros Oliveira– 2025.

40f.: il.

Orientador: Dra. Natália Risso Fonseca.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2025.

1. Controle biológico. 2. *Colletotrichum truncatum*. 3. Pareamento de culturas. 4. Antibiose. I. Oliveira, João Vitor Medeiros. II. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 632.96


Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/4333

João Vitor Medeiros Oliveira


USO DE *Trichoderma* spp. COMO POTENCIAL BIOCONTROLADOR DA ANTRACNOSE DA SOJA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Bacharelado em Agronomia, do Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* São João Evangelista para obtenção do grau de bacharel em Agronomia.


Aprovado em: 14 / 07 / 2025 pela banca examinadora.

Documento assinado digitalmente
 NATALIA RISSO FONSECA
Data: 21/07/2025 09:09:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Natália Risso Fonseca - IFMG *campus* São João Evangelista (Orientadora)

Documento assinado digitalmente
 ROSIANE FATIMA DE ALMEIDA
Data: 16/07/2025 20:46:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Rosiane Fátima de Almeida - IFMG *campus* São João Evangelista

Documento assinado digitalmente
 JOAO PAULO LEMOS
Data: 22/07/2025 10:02:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. João Paulo Lemos- IFMG *campus* São João Evangelista

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, que me fortaleceu e amparou em todos os momentos, permitindo-me alcançar este objetivo em minha vida com sua infinita bondade, graça e misericórdia.

À minha mãe, Maria Nilde Medeiros, meu alicerce e grande exemplo de força, por todo seu apoio e amor incondicional em cada passo da minha jornada.

À minha família, especialmente à minha irmã Gleisi e ao cunhado João Alexandre, pelo inestimável suporte e incentivo ao longo dessa caminhada.

À minha professora e orientadora, Dra. Natália Risso Fonseca, a quem sou imensamente grato por ter me apresentado e ensinado a Fitopatologia. Sua dedicação, paciência e o vasto conhecimento transmitido, além de todo o apoio fornecido, foram essenciais para a realização deste trabalho.

À Dra. Adriane Wendland (Embrapa Arroz e Feijão) e ao Dr. Gustavo Bezerra (UFG) por terem doado os isolados utilizados nesta pesquisa.

Aos técnicos do laboratório de Fitopatologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *campus* – São João Evangelista (IFMG-SJE), Lucas e Ricardo, e à minha amiga Taiane Maria, por toda colaboração para com este trabalho.

Aos meus amigos(as), Mariana, Vitória, André, Eliete, Patrícia, Clinton, pelo apoio, amizade e companheirismo durante a jornada acadêmica.

A todos os professores do IFMG-SJE por muito contribuírem para minha formação intelectual e pessoal.

A igreja Presbiteriana, que me acolheu desde minha chegada na cidade, em especial Edson e Verence, Moara e Dênio.

Por fim, meu agradecimento se estende a todos que, de alguma forma, participaram e contribuíram para a realização deste trabalho e para o enriquecimento desta jornada.

RESUMO

A soja é uma das principais culturas plantadas no Brasil, considerada a commodity agrícola de maior importância econômica global. Entre os fatores que limitam a produção da cultura no Brasil, se destacam as doenças fúngicas, como a antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum truncatum*, que pode gerar perdas de até 100% na produção, caso não sejam adotadas medidas de controle adequadas. O uso de agentes de biocontrole de doenças de plantas vem se desenvolvendo nas últimas décadas, sendo uma alternativa economicamente viável e ambientalmente sustentável ao controle químico. Dentre estes organismos, destaca-se o gênero *Trichoderma*, com muitas espécies potencialmente antagonistas e diversos mecanismos de ação contra fitopatógenos. Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar isolados de *Trichoderma* spp. no controle *in vitro* de *C. truncatum*. Os experimentos foram realizados utilizando seis isolados das espécies *T. koningiopsis*, *T. asperellum* e *T. harzianum* contra um isolado de *C. truncatum*. O antagonismo foi avaliado por meio do método de pareamento de culturas e produção de metabólitos voláteis inibitórios. O crescimento das colônias fúngicas foi mensurado aos 7 e 12 dias após a montagem de ambos os testes para a determinação da porcentagem de inibição de crescimento micelial (PIC). No teste de pareamento de culturas, o grau de antagonismo dos isolados de *Trichoderma* spp. também foi determinado de acordo com uma escala de notas. Pela avaliação da escala de notas, todos os isolados de *Trichoderma* spp. obtiveram notas maiores que zero e menores ou iguais a três, classificando-os como potenciais antagonistas a *C. truncatum*, com destaque ao isolado TR-25 (*T. asperellum*) que obteve nota 1, considerado de máxima eficiência no controle do patógeno *in vitro*. Quanto a capacidade de inibição do crescimento micelial de *C. truncatum*, analisada no teste de médias, os isolados TR-96, TR-14 e TR-25 se destacaram por inibirem 56,52%, 51,26% e 51,04%, respectivamente, pelo método de pareamento de culturas. Na avaliação da inibição por produção de metabólitos voláteis, foi possível observar diferença na inibição do crescimento do *C. truncatum*, através do biocontrole exercido pelos isolados de *Trichoderma* spp. Os isolados TR-35 (*T. koningiopsis*) e TR-155 (*T. harzianum*) se destacaram, apresentando percentuais de inibição de crescimento micelial do patógeno de 30,16% e 23% no 7º dia e 37,56% e 26% no 12º dia, respectivamente, superiores ao restante dos isolados avaliados.

Palavras-chave: Controle biológico. *Colletotrichum truncatum*. pareamento de culturas. antibiose.

ABSTRACT

Soybean is one of the main crops planted in Brazil and is considered the agricultural commodity of greatest global economic importance. Among the factors that limit crop production in Brazil, fungal diseases such as anthracnose, caused by the fungus *Colletotrichum truncatum*, stand out. This disease can cause losses of up to 100% of production if adequate control measures are not adopted. The use of biocontrol agents for plant diseases has been developing in recent decades and is an economically viable and environmentally sustainable alternative to chemical control. Among these organisms, the genus *Trichoderma* spp. stands out, with many potentially antagonistic species and diverse mechanisms of action against phytopathogens. Given the above, the objective of this study was to evaluate isolates of *Trichoderma* spp. for in vitro control of *C. truncatum*. The experiments were performed using six isolates of the species *T. koningiopsis*, *T. asperellum* and *T. harzianum* against one isolate of *C. truncatum*. Antagonism was assessed by means of the culture pairing method and production of inhibitory volatile metabolites. The growth of fungal colonies was measured at 7 and 12 days after the assembly of both tests to determine the percentage of mycelial growth inhibition (PIC). In the culture pairing test, the degree of antagonism of the *Trichoderma* spp. isolates was also determined according to a rating scale. By evaluating the rating scale, all *Trichoderma* spp. isolates obtained scores greater than zero and less than or equal to three, classifying them as potential antagonists to *C. truncatum*, with emphasis on the TR-25 isolate (*T. asperellum*) which obtained a score of 1, considered to be of maximum efficiency in controlling the pathogen in vitro. Regarding the ability to inhibit mycelial growth of *C. truncatum*, isolates TR-96, TR-14 and TR-25 stood out for inhibiting 56.52%, 51.26% and 51.04%, respectively, by the culture pairing method. In the evaluation of inhibition by production of volatile metabolites, it was possible to observe the biocontrol exerted by the isolates of *Trichoderma* spp. on the pathogen, with all isolates inhibiting the growth of *C. truncatum* and statistically differentiating themselves from the control. The isolates TR-35 (*T. koningiopsis*) and TR-155 (*T. harzianum*) stood out, presenting percentages of inhibition of mycelial growth of the pathogen of 30,16% and 23% on the 7th day and 37,56% and 26% on the 12th day, respectively, higher than the rest of the isolates evaluated.

Keywords: Biological control. *Colletotrichum truncatum*. culture pairing. antibiosis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Pareamento de culturas entre isolados de <i>Trichoderma</i> spp. e o patógeno <i>Colletotrichum truncatum</i> aos 12 dias após montagem do teste.	24
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Informações sobre os isolados utilizados nos testes.....	20
Tabela 2 - Percentual de inibição do crescimento micelial (PIC) de <i>Colletotrichum truncantum</i> pelo método de pareamento de culturas com isolados de <i>Trichoderma</i> spp.	25
Tabela 3 - Percentual de inibição do crescimento micelial (PIC) de <i>Colletotrichum truncantum</i> por meio da produção de metabólitos voláteis contra isolados de <i>Trichoderma</i> spp.	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	Aspectos gerais da cultura da soja	13
2.2	Antracnose da soja	14
2.3	Controle biológico de doenças em plantas	16
2.4	<i>Trichoderma</i> spp.	17
3	METODOLOGIA	20
3.1	Local de realização dos ensaios, obtenção e armazenamento dos isolados de <i>Trichoderma</i> spp.....	20
3.2	Obtenção do patógeno.....	21
3.3	Pareamento de culturas	21
3.4	Avaliação e delineamento experimental	21
3.5	Avaliação do efeito antagônico dos metabólitos voláteis de <i>Trichoderma</i> spp.....	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5	CONCLUSÃO	30
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é uma das principais commodities agrícolas de alta importância econômica global (ROGÉRIO *et al.*, 2019). Além disso, é considerada a principal oleaginosa cultivada no mundo (HIRAKURI *et al.*, 2021). No Brasil e mundialmente, é considerada uma cultura de grande relevância devido suas características composicionais apresentarem teores elevados em óleo vegetal e proteínas, sendo utilizadas para alimentação humana e animal (SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015).

De acordo com o levantamento feito pela CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) (2024), estimou-se uma produção de 145,52 milhões de toneladas de soja pelo Brasil na safra de 2023/24. Já o relatório desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2023), projetou uma safra mundial de soja em 2023/24 de 396,85 milhões de toneladas, sendo o Brasil responsável pela produção de 155 milhões de toneladas. Ambas as estimativas apresentadas demonstram que o Brasil segue como maior produtor da commodity no mundo.

Nesse sentido, entre os fatores limitantes que impedem que a soja alcance o máximo potencial produtivo estão as doenças, podendo comprometer a cultura desde a germinação, até a fase final do enchimento de grãos/sementes, ocasionadas muitas vezes por fungos, bactérias, vírus e nematoides. Estima-se que as perdas anuais de produção atribuídas às doenças se situem entre 15% e 20%. No entanto, algumas delas podem acarretar perdas de 100% (SEIXAS *et al.*, 2020).

Dentre essas doenças, uma de grande importância econômica é a antracnose da soja, causada pelo fungo *Colletotrichum truncatum* (Schw.) Andrus e WD Moore, devido á suscetibilidade da cultura em qualquer fase de desenvolvimento, tornando-se um fator limitante para a produção da oleaginosa em regiões de clima favorável, como alta temperatura e umidade, comuns na região do Cerrado, onde comumente são relatadas perdas de produtividade (HENNING *et al.*, 2014; YANG; HARTMAN, 2015; ROGÉRIO *et al.*, 2019).

A antracnose em condições favoráveis de desenvolvimento é uma doença que pode provocar morte das plântulas, necrose dos pecíolos e manchas nas folhas, hastes e vagens. As vagens infectadas nos estádios R3-R4 adquirem coloração castanho claro-escuro a negra e ficam retorcidas. Estes sintomas podem gerar queda total das vagens ou deterioração das sementes quando há atraso na colheita em razão de ocorrência de chuvas (HENNING *et al.*, 2014; GRIGOLLI, 2015; GODOY *et al.*, 2016).

Para o controle da antracnose é recomendado o uso de sementes saudáveis, tratamento de sementes com fungicidas químicos, rotação de culturas, maior espaçamento entre fileiras e estande, controle de plantas daninhas, manejo eficiente do solo, principalmente em relação a adubação potássica (HENNING *et al.*, 2014; GODOY *et al.*, 2016) e controle químico, utilizando fungicidas (GRIGOLLI, 2015).

Dias *et al.* (2016), consideram o controle químico como umas das práticas mais usuais para combater a antracnose, porém tem-se mostrado insuficiente. Através de seus estudos, evidenciaram uma correlação negativa entre produtividade e incidência de antracnose nas vagens, demonstrado que para cada incremento de 1% na incidência da doença nas vagens, cerca de 90 kg de soja são perdidos por hectare Além do mais, pesquisas têm relatado a baixa eficiência de controle da antracnose utilizando alguns fungicidas, como carbedazim e o grupo dos triazóis, como flutriafol, fenbuconazol, tebuconazol, metconazol e miclobutanil (GRIGOLLI, 2015; CHEN, S. *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2017; CHEN *et al.*, 2018).

Métodos sustentáveis, como o controle biológico com microrganismos antagonistas, têm se destacado no manejo integrado de doenças, por aliam eficácia ao menor impacto ambiental.

No Brasil, o fungo *Trichoderma* spp. é considerado um dos principais agentes biocontroladores, em razão de sua ampla adaptação às condições do país e pela grande variabilidade de controle a determinados patossistemas (FARIAS, 2019).

Fungos do gênero *Trichoderma* spp. são habitantes do solo, encontrados facilmente na fração orgânica e na rizosfera das plantas, que vem sendo estudados e utilizados com êxito na agricultura como biocontroladores de fitopatógenos por meio de diferentes mecanismos de ação. Entre esses mecanismos podem ser citados o micoparasitismo, a antibiose (por meio da liberação de metabólitos secundários voláteis e não-voláteis tóxicos aos patógenos) e a competição por água e nutrientes. Adicionalmente, são capazes de interagir com as plantas induzindo resistência à patógenos (MONTE *et al.*, 2019) e, quando comparados a outros fungos atuantes no biocontrole de doenças, *Trichoderma* spp. se diferencia pela aptidão em favorecer o crescimento e o desenvolvimento das plantas (HARMAN, 2000).

Estudos como de Carvalho (2011), verificaram que isolados de *T. harzianum* reduziram cerca de 61% a ocorrência de *Aspergillus* spp. e diminuiu em 67% a incidência de *Cladosporium* spp. em sementes de feijão da cultivar 'Jalo precoce'. Farias *et al.* (2020), ao testar o potencial antagônico de cinco isolados de *Trichoderma* spp. contra *C. truncatum* isolado de feijão fava, por meio de pareamento de culturas, evidenciaram que todos foram

agrupados com nota 1 pela escala de Bell *et al.* (1982), crescendo sobre a colônia do patógeno e ocupando toda placa de Petri. O antagonismo também foi confirmado no teste de produção de metabólitos voláteis, com inibição do crescimento micelial e esporulação do patógeno em 74,7% a 89,3%, respectivamente.

Segundo Barbosa *et al.* (2021), treze isolados de *Trichoderma* spp. tiveram potencial antagônico no teste de pareamento de culturas sobre o fungo *C. musae*, especialmente o isolado Amambai AB 101, o qual ocupou 95,6% da placa da Petri, recebendo nota 1. Ademais, análises sobre a atividade antagônica *in vitro* do fungo no biocontrole de *Sclerotinia sclerotiorum* demonstraram que o crescimento micelial de isolados de *Trichoderma* spp. se sobrepôs ao patógeno, ocupando em torno de 83% da placa da Petri e, considerado, portanto, de elevado potencial antagônico (OLIVEIRA; CARVALHO; MELLO, 2008).

O antagonismo de espécies de *Trichoderma* spp. é uma realidade, no entanto, ainda são escassos estudos envolvendo a avaliação do uso do antagonista no controle do patógeno causador da antracnose da soja. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar e selecionar isolados de *Trichoderma* spp. quanto ao seu potencial antagônico ao fungo fitopatogênico *C. truncatum* em condições *in vitro*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) é uma leguminosa pertencente à família Fabaceae, originária da região do leste da Ásia, mais especificamente no nordeste da China (SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015). Esta cultura representa a principal oleaginosa anualmente mais produzida e consumida no mundo. No Brasil é o principal produto do agronegócio brasileiro (SEIXAS *et al.*, 2020).

A soja é uma cultura anual, herbácea, de porte ereto, autógama, e possui características morfológicas variadas (NOGUEIRA *et al.*, 2009). O ciclo de vida desta cultura, desde a emergência até atingir a maturidade varia em torno de 75 dias para cultivares mais precoces a 200 dias para as tardias, possui hábito de crescimento ereto a prostrado, podendo variar entre os tipos de crescimento determinado, semideterminado ou indeterminado, tem-se hastes e vagens pubescentes com coloração acinzentada ou marrom, podendo variar em tons diferentes (MATSUO *et al.*, 2015).

A cultura da soja tem seu ciclo de desenvolvimento dividido em duas fases, o primeiro deles é o de emergência (VE) que acontecem quando os cotilédones estão acima da superfície do solo até a emissão da última folha trifoliolada (VN), antes da abertura da primeira flor, já a segunda fase refere-se aos estádios reprodutivos, do florescimento a maturação, em que se inicia com a abertura da primeira flor (R1) até a maturação total (R8). Esta cultura possui características edafoclimáticas exigente, sendo necessária temperaturas entre 20 °C a 30 °C, igualmente, a temperatura do solo, na faixa ideal de 20 °C a 30 °C, os índices de volume total de água durante o ciclo da cultura devem estar entre 450mm a 800mm, havendo maior necessidade durante a fase de floração e enchimento de grãos, reduzindo após esse período (NEUMAIER *et al.*, 2020).

A planta de soja apresenta sistema radicular constituído pela raiz principal e secundária. O caule se desenvolve a partir do epicótilo, tendo como resultado a separação gradativa do nó cotiledonar e da plúmula com os primórdios das folhas primárias, logo são formados os internódios em direção ao ápice da planta, em cada nó desenvolve-se uma folha e uma gema lateral que pode se modificar em ramificações ou inflorescência (MATSUO *et al.*, 2015).

As flores possuem coloração branca ou roxa e se desenvolvem em racemos axilares ou terminais, variando de 2 a 35 por inflorescência. O fruto da soja é do tipo legume,

chamado também de vagem, advindo do ovário completamente desenvolvido. Nele pode conter de uma a cinco sementes (MATSUO; FERREIRA; SEDIYAMA, 2015).

Entre os fatores que propiciam aumento significativo da produção da oleaginosa está o uso de sementes de alta qualidade e a utilização de cultivares melhoradas geneticamente, sendo adaptadas aos diferentes climas nas regiões produtoras do Brasil (KRZYZANOWSKI *et al.*, 2018; SEIXAS *et al.*, 2020).

Apesar do destaque da soja no agronegócio brasileiro, diversos fatores limitam seu potencial produtivo, especialmente as doenças, que podem afetar a cultura desde a germinação até o enchimento dos grãos. Essas enfermidades, causadas por fungos, bactérias, vírus e nematoides, são responsáveis por perdas anuais de 15% a 20%, podendo chegar a 100% em casos severos (SEIXAS *et al.*, 2020). Dentre elas, destaca-se a antracnose da soja.

2.2 Antracnose da soja

A antracnose da soja, uma doença fúngica causada pelo *Colletotrichum truncatum* (Schw.) Andrus e WD Moore, de ocorrência mundial em todas áreas de produção de soja, no Brasil ocorre principalmente nas regiões quentes e úmidas do Cerrado, por possuir clima propício para o desenvolvimento e disseminação do patógeno (YANG; HARTMAN, 2015; GODOY *et al.*, 2016).

Esta doença pode infectar a soja em todas as fases de desenvolvimento (GALLI *et al.*, 2007; ROGÉRIO *et al.*, 2019;), sendo capaz de atingir todas as partes da planta durante a fase vegetativa, floração, frutificação e sementes. Além do mais é considerada a principal doença que acomete a soja no estágio inicial de formação de vagens (GOULART, 2018).

Os sintomas da antracnose incluem morte de plântulas, necrose nos pecíolos e manchas em folhas, hastes e vagens. O inóculo proveniente de restos culturais e sementes contaminadas pode causar necrose nos cotilédones, progredindo para o hipocótilo e resultando em tombamento (GODOY *et al.*, 2016). Atrasos na colheita favorecem a queda das vagens ou a deterioração das sementes. Vagens infectadas nos estádios R3 e R4 adquirem coloração castanho-escura a negra e tornam-se retorcidas. Durante a granação, as lesões iniciam-se por estrias que evoluem para manchas negras, com presença de acérvulos, frutificações do fungo visíveis como pontuações negras (HENNING *et al.*, 2014).

Em condições de baixa umidade relativa do ar e temperaturas amenas, variando entre 20 °C a 25 °C são consideradas ideais para esporulação e crescimento do fitopatógeno, (WONG *et al.*, 1983; GRIGOLLI, 2015). Segundo Yang & Hartman (2015), para que haja

germinação dos esporos, é necessário, pelo menos, 12 horas de molhamento foliar. A principal forma de disseminação do patógeno acontece por sementes e restos culturais de soja, além do mesmo possuir diversos hospedeiros alternativos (HYDE *et al.*, 2009; YANG; HARTMAN, 2015).

A utilização de sementes contaminadas e plantio em áreas com deficiência nutricional, principalmente de potássio, favorecem a ocorrência da doença. Em um estudo feito por Meyer e Klepker (2007), foi constatado que tratamentos com constante fornecimento de potássio apresentou menores porcentagens de incidência de antracnose, independente do efeito da aplicação de fungicidas. Henning *et al* (2014) afirma que sementes advindas de lavouras em que houve atraso na colheita em razão de chuvas, podem apresentar maiores índices de infecção pelo patógeno.

É recomendado para o controle da antracnose o uso de sementes saudáveis, tratamento de sementes, aumento do espaçamento entre fileiras por volta de 50 a 55cm para propiciar maior arejamento das plantas, população de plantas adequada, manejo adequado do solo, principalmente a adubação potássica (GODOY *et al.*, 2016) e controle químico, utilizando fungicidas (GRIGOLLI, 2015).

É sabido que o controle químico é uma das práticas utilizadas para o manejo da antracnose, ademais tem-se o registro de 83 produtos comerciais para o controle desta doença (AGROFIT, 2023).

Nos últimos anos, diversos estudos tem comprovado que a taxa de eficiência dos fungicidas tem diminuído gradualmente contra a antracnose da soja. Na pesquisa feita por Dias *et al.*, (2016), ao analisarem duas safras da produtividade da soja sob efeito de fungicidas no controle da antracnose, evidenciaram que somente na primeira houve eficácia do controle químico com uso azoxystrobina (estrobilurinas) associada a ciproconazol (triazóis), porém na segunda safra este método não foi eficaz.

Dias *et al.*, (2016) através de seus estudos demonstram que o controle químico é ineficiente, pois para cada 1% no aumento de incidência da doença nas vagens, em torno de 90 kg de grãos de soja são perdidos por hectare.

Nesse sentido, isolados de *C. truncatum* apresentaram resistência a múltiplos triazóis como flutriafol, fenbuconazol, tebuconazol, metconazol, miclobutanil e também apresentaram sensibilidade reduzida para difenoconazol e propiconazol, (CHEN, S. *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2017; CHEN *et al.*, 2018). Também, segundo Grigolli (2015) o fungicida carbendazim, pertencente ao outro grupo químico benzimidazol, demonstrou em um estudo que possui baixa eficiência de controle da antracnose.

Ainda assim, os meios mais comuns para a proteção de doenças em plantas no campo são por meio da utilização de agrotóxicos, em evidência, os fungicidas. O uso destes a longo prazo, de maneira indiscriminada ou em dosagens acima do recomendado traz graves riscos à saúde humana e consequências ao meio ambiente, como o surgimento de fitopatógenos resistentes e drásticos efeitos no equilíbrio da microbiota do solo (VINALE *et al.*, 2008). Adicionalmente, de acordo com Bettiol & Ghini (2001), sem a tecnologia de aplicação correta, calcula-se que aproximadamente 90% pesticidas não atingem o alvo e assim são disseminados no ambiente, podendo atingir o solo e cursos d'água.

Todavia, no Brasil agrotóxicos a comercialização de fungicidas tem demonstrado crescimento expressivo nos últimos anos, ressaltando a importância do controle de fitopatógenos e a necessidade de desenvolvimento de métodos alternativos de manejo. Entre essas alternativas, destaque-se o controle biológico (MORANDI; BETTIOL, 2009).

2.3 Controle biológico de doenças em plantas

As atividades agrícolas atuais vêm sendo atingidas por numerosos problemas devido ao uso excessivo de agrotóxicos. Sabe-se que o uso exacerbado destes, de maneira indiscriminada, sem preceitos técnicos científicos, tem potencializado problemas de ordem ambiental, como a contaminação dos solos, lençóis freáticos e animais; intoxicação humana; surgimento de fitopatógenos e ervas daninhas resistentes; aparecimento de patologias iatrogênicas (devido a utilização de agrotóxicos); desequilíbrio biológico e outros (MORANDI; BETTIOL, 2009; SRIVASTAVA *et al.*, 2016).

Bettiol *et al* (2018) afirma que a ideia de agricultura sustentável está atrelada ao manejo consciente dos recursos naturais, evitando sua destruição, preservando-as para as gerações futuras, buscando reduzir a dependência de agrotóxicos e aumentar o uso de métodos biológicos. Devido a grande repercussão dos danos trazidos pelos agrotóxicos, muitos agricultores passaram a ter consciência sobre a importância da redução destes e, conseqüentemente, a busca por agentes de biocontrole vem sendo explorados.

Segundo Cook & Beker (1983), controle biológico é “a redução da soma de inóculo ou das atividades determinantes da doença, provocada por um patógeno, realizada por um ou mais organismos, que não o homem”. É a supressão de um organismo fitopatogênico por um microrganismo biocontrolador (BETTIOL, 1991).

O controle biológico está relacionado aos mecanismos e modos de ação resultantes de interações diretas ou indiretas entre um agente biocontrolador e o patógeno, sob

a influência das condições ambientais e pela presença de outros microrganismos (MELLO *et al.*, 2020).

Os agentes biocontroladores podem atuar através de diversos mecanismos de ação, utilizando de um ou mais destes, garantindo maior estabilidade do controle e ampliando o espectro de ação. Dentre estes mecanismos estão a antibiose, indução de resistência, competição, parasitismo, predação e promoção de crescimento (MEDEIROS *et al.*, 2018).

Para ser considerado um agente de controle biológico de competência, o organismo deve ser geneticamente estável, funcional em baixas concentrações, ter extenso espectro de ação, ser facilmente produzido em grandes quantidade, ser simples para manuseio e aplicabilidade, e não produzir substâncias nocivas às plantas (SHARMA *et al.*, 2009).

O biocontrole de doenças em plantas tem sido aplicado para diversas doenças, como as que afetam o sistema radicular, no qual diversos fungos e bactérias tem sido utilizados com resultados satisfatórios. Entre os agentes descritos com aptidão no biocontrole estão: *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas putida*, *Trichoderma* spp., *Gliocladium virens*, *Pythium oligandrum*, *Agrobacterium radiobacter*, *Talaromyces flavus*, *Penicillium* spp., *Coniothyrium militans*, *Sporidesmium sclerotivorum*, *Pasteuria penetrans* e *Peniophora gigantea* (MELO, 1998). Entre eles, *Trichoderma* spp. vem se destacando, por ser um gênero que possui amplo espectro de ação físico-químico contra fitopatógenos, alta adaptabilidade a diferentes tipos de ecossistemas e ser um constituinte ativo na microbiota do solo (SILVA, 2000; ALMEIDA *et al.*, 2007).

2.4 *Trichoderma* spp.

O fungo *Trichoderma* spp. pertence ao reino Fungi, filo Ascomycota, ordem Hypocreales, família Hypocreaceae e gênero *Hypocrea* (teleomorfo), é facilmente encontrado nos solos, em regiões de clima temperado e tropical, podendo ser localizado na rizosfera das plantas, material vegetal em decomposição e até em basidiocarpos de outros fungos (ABREU; PFENNING, 2019).

O gênero *Trichoderma* spp. tem sido um agente biológico de grande interesse dos pesquisadores devido à sua elevada diversidade genética e ao potencial para produzir compostos bioativos com aplicação comercial na agricultura sustentável e ecológica (HARMAN, 2000; HARMAN *et al.*, 2004). No Brasil, o primeiro relato da utilização do *Trichoderma* spp. no biocontrole de doenças em plantas foi descrito por Forster (1950), com a inativação do vírus do mosaico do fumo por filtrados de *Trichoderma* spp.

De acordo com os estudos realizados, *Trichoderma* spp. é considerado um agente controlador versátil, capaz de produzir enzimas que degradam paredes celulares de outros microrganismos e realizar antibiose, por meio da produção de metabólitos secundários com efeito antimicrobiano. Dentre seus outros mecanismos de ação, pode-se citar o parasitismo, a competição por espaço e nutrientes, a solubilização de nutrientes do solo, disponibilizando-os para as plantas e promovendo seu crescimento, além da indução de resistência (MONTE *et al.*, 2019; VINALE *et al.*, 2008; HARMAN *et al.*, 2004).

O uso e comercialização de produtos à base de *Trichoderma* spp. já ocorrem em escala mundial, podendo ser citadas formulações como Trichodermil[®], Trichodermax EC[®], Trichotech WP[®], Trichodry[®], Trichoinpro WP[®], Unite[®], Trichoplus TM[®], Agroderma[®], Bioderma H[®], Antagon WP[®], Bio-tricho[®], Trichosil 50 WP[®], Trichosav-34[®], Tricone V[®], Bioprotector[®], entre outros (BETTIOL *et al.*, 2019). Estes produtos podem ser aplicados de diferentes formas, como incorporado ao substrato ou solo, via pulverizações foliar e sistemas de irrigação, como tratamento de sementes (antes do plantio), em sulcos de semeadura ou por imersão de mudas em suspensões do produto. A escolha do método de aplicação considera aquele que maximize a eficiência do agente biológico (BETTIOL *et al.*, 2012).

Na literatura, é possível encontrar diversos estudos atestando a eficácia de *Trichoderma* spp. contra diferentes fitopatógenos. Em estudo feito por Chagas Júnior *et al.* (2016) testando 56 estirpes de *Trichoderma* spp. contra os patógenos *Colletotrichum clivae* e *Colletotrichum truncatum* de plantas de soja, 46 estirpes de *Trichoderma* spp. foram eficientes no controle dos dois fitopatógenos, sendo que 22 foram considerados excelentes antagonistas com inibição superior a 75% de *C. clivae* e três inibiram mais de 90% do crescimento de *C. truncatum*.

Farias *et al.* (2020) analisaram o controle *in vitro* de *C. truncatum* isolado de feijão fava, pela ação de isolados de *Trichoderma* spp. e constataram que o biocontrolador produziu metabólitos voláteis capazes de inibir o crescimento do patógeno em até 82% quando comparado com a testemunha.

Medeiros *et al.* (2020) ao analisar o controle de *Fusarium moniliforme*, observaram que *T. viride* inibiu 95% do crescimento micelial do fitopatógeno em meio de cultura e segundo Ávila *et al.* (2005), isolados de *Trichoderma* spp. foram capazes de expressar atividade antagônica *in vitro* sobre os patógenos *Sclerotium rolfsii* e *Sclerotinia sclerotiorum*.

Além do potencial antagônico, a capacidade de promover o crescimento das plantas é relatada por Rawat *et al.* (2011), em que foi observado que sementes de trigo

tratadas com *T. harzianum* obtiveram maior índice de germinação, maior taxa fotossintética e maior crescimento do sistema radicular e emissão de brotos. Na cultura do mamão, Tavares (2009) demonstrou que o uso de *Trichoderma* spp. promoveu aumento de até 110, 73% do volume de matéria seca.

3 METODOLOGIA

3.1 Local de realização dos ensaios, obtenção e armazenamento dos isolados de *Trichoderma* spp.

Os ensaios foram realizados no laboratório de Fitopatologia do (IFMG-SJE), localizado no município de São João Evangelista – MG. Segundo a classificação de Köppen (1948), o município possui altitude média de 690 m, com clima predominante do tipo Cwa, invernos secos e verões chuvosos, na qual a temperatura média máxima anual é de 26,1 °C e média mínima anual de 15 °C, precipitação média anual é de 1.081 mm (ANTUNES, 1986).

Os isolados de *Trichoderma* spp. utilizados foram obtidos por meio de doação a partir da coleção de culturas da Embrapa Arroz e Feijão (Tabela 1). Os isolados utilizados pertencem as espécies *T. koningiopsis* (TR-12 e TR-35), *T. asperellum* (TR-14 e TR-25) e *T. harzianum* (TR-96 e TR-155). Os isolados, que estavam armazenados em tiras de papel, foram cultivados em meio Batata-Dextrose-Ágar (BDA) e, após crescimento, foram armazenados em novas tiras de papel, de acordo com a metodologia de Alfenas e Mafia (2016) modificada. Para isso, foram retirados discos de meio de cultura contendo crescimento micelial de cada um dos isolados e transferidos para placas de Petri contendo meio BDA coberto por tiras de papel-filtro esterilizadas, com cerca de 1cm². Após o crescimento micelial sobre os fragmentos de papel, eles foram transferidos para placas estéreis de 90 mm de diâmetro e permaneceram em incubadora do tipo Biochemical Oxygen Demand (B.O.D.) a 25 °C durante 10 dias para secagem dos fragmentos de papel contendo o micélio do fungo. Em seguida, os fragmentos de papel foram transferidos para microtubos de 2 mL contendo sílica gel esterilizada e armazenados em geladeira.

Tabela 1- Informações sobre os isolados utilizados nos testes.

Local de coleta	Substrato em que foi coletado	Espécie	Identificação	Hospedeiro
Bahia	Solo	<i>T. koningiopsis</i>	TR-12	Batata
Bahia	Solo	<i>T. asperellum</i>	TR-14	Batata
Bahia	Solo	<i>T. asperellum</i>	TR-25	Feijão
Bahia	Solo	<i>T. koningiopsis</i>	TR-35	Feijão
Minas Gerais	Solo	<i>T. harzianum</i>	TR-96	Tomate
Tocantins	Solo	<i>T. harzianum</i>	TR-155	Milheto + Brachiaria

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.2 Obtenção do patógeno

O isolado de *C. truncatum* foi obtido por isolamento direto a partir de plantas de soja naturalmente infectadas com o patógeno obtidas de plantios no Estado do Mato Grosso. A técnica foi realizada de acordo com a metodologia de Alfenas e Mafia (2007) adaptada. Vagens de soja sintomática foram visualizados sob microscópio estereoscópico e, com o uso de uma agulha esterilizada por flambagem, foi realizada a coleta de acérvulos presentes nas lesões e a transferência para placas de Petri contendo meio de cultura BDA. As placas foram mantidas em incubação por 12 dias em B.O.D. a 25 °C e fotoperíodo de 12 horas.

3.3 Pareamento de culturas

Para avaliação do efeito antagônico dos isolados de *Trichoderma* spp. sobre *C. truncatum* utilizou-se o método do pareamento de cultura, de acordo com Dennis & Webster (1971a). Discos de micélio de 8 mm do isolado de *Trichoderma* spp. e do patógeno com sete dias de cultivo foram repicados em extremidades opostas de uma placa de Petri contendo meio BDA, com uma distância de 1,0 cm da borda da placa. O patógeno foi repicado três dias antes do antagonista devido ao seu crescimento lento. As placas foram seladas com plástico filme e incubadas em temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas por um período de dez dias ou até o preenchimento de toda a placa de Petri contendo a testemunha. O crescimento das colônias foi avaliado por meio da medição das colônias, diariamente, utilizando uma régua graduada.

3.4 Avaliação e delineamento experimental

Os ensaios com cada isolado de *Trichoderma* spp. foram realizados de forma independente, seguindo delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. Cada placa contendo os dois discos de micélio foi considerada uma unidade experimental. Como testemunha, foi adicionado apenas um disco de micélio de *C. truncatum* em uma das extremidades da placa.

O grau de antagonismo dos isolados de *Trichoderma* spp. foi determinado de acordo com a escala descrita por Bell *et al.* (1982), que atribui notas de zero a cinco de acordo com o desenvolvimento das colônias no final do período de avaliação. Nota 0: *Trichoderma* spp. e patógeno não se desenvolvem; Nota 1: *Trichoderma* spp. cresce sobre o patógeno e

ocupa toda superfície da placa de Petri; Nota 2: *Trichoderma* spp. cresce sobre 2/3 da placa de Petri inibindo o crescimento do patógeno; Nota 3: *Trichoderma* spp. ocupa metade da área da placa de Petri sem colonizar o patógeno; Nota 4: *Trichoderma* spp. cresce em 1/3 da placa de Petri; e Nota 5: o patógeno cresce ocupando toda a área da placa de Petri e o antagonista não se desenvolve. O isolado é considerado um antagonista eficiente quando obter nota maior que zero, e menor ou igual a três.

Adicionalmente, foram feitas medições diárias com o auxílio de uma régua milimetrada para observar o crescimento micelial (mm) das colônias do fitopatógeno em cada tratamento ao 7° e 12° dia. A partir dos dados obtidos, calculou-se a porcentagem de inibição do crescimento micelial (PIC) (MENTEN *et al.*, 1976), com a fórmula: % inibição = $[(crtest - crtrat) / crtest] \times 100$, em que crtest = crescimento radial da testemunha; crtrat = crescimento radial do tratamento. As porcentagens médias foram submetidas à análise estatística pelo teste Tukey, empregando o software R versão 3.5.2 (R CORE TEAM, 2018), ao nível de significância de 1% de probabilidade.

3.5 Avaliação do efeito antagônico dos metabólitos voláteis de *Trichoderma* spp.

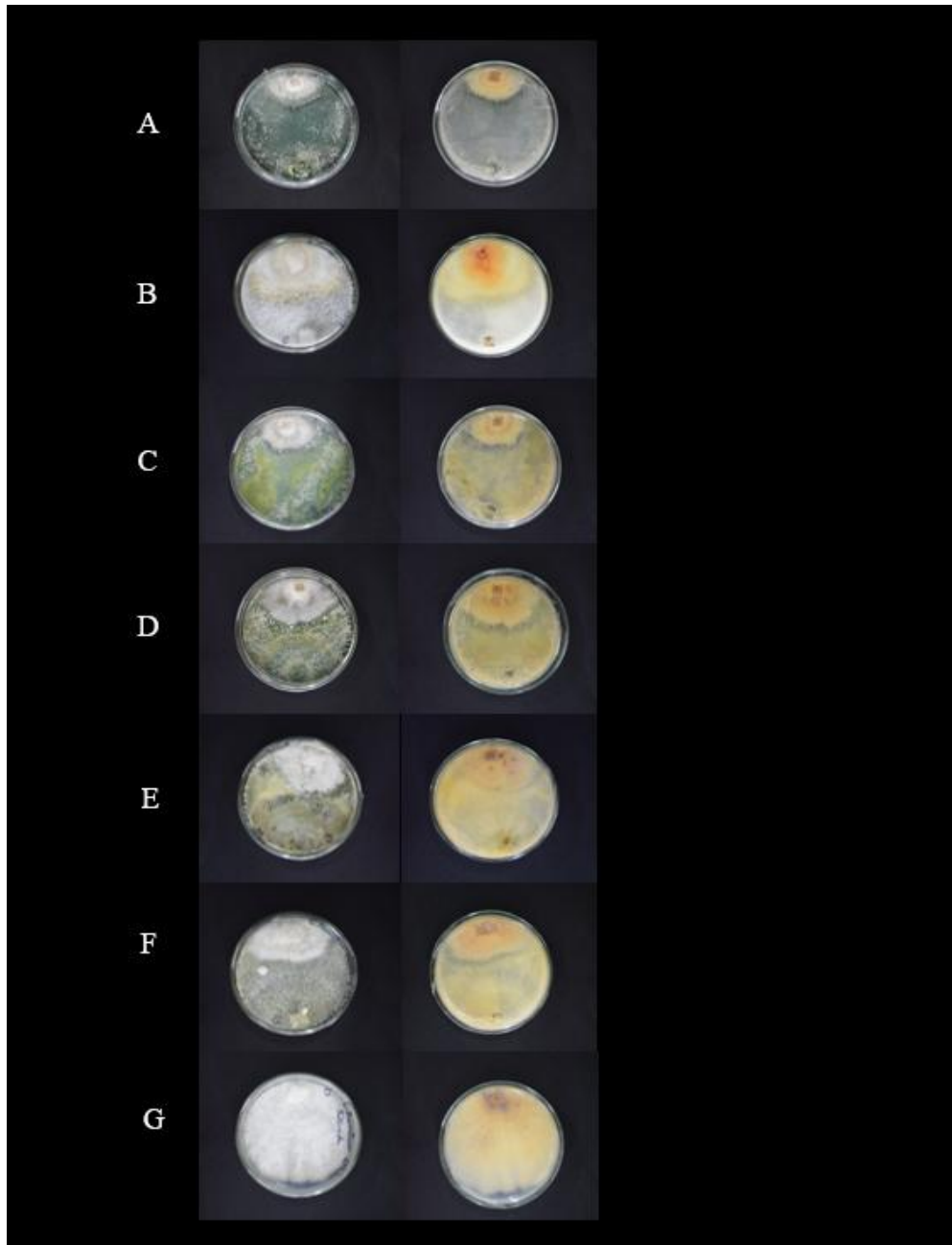
Para a avaliação do efeito inibidor dos metabólitos voláteis foi utilizada a metodologia descrita por Dennis & Webster (1971b). Duas bases de placas de Petri com diâmetro de 90 mm contendo meio BDA receberam individualmente um disco de micélio de 8 mm de um dos isolados de *Trichoderma* spp. em uma das bases e um disco do patógeno na outra base. As bases foram cobertas com suas respectivas tampas e incubadas por 24h a 25 °C e fotoperíodo de 12 horas. Após esse período, as bases contendo o antagonista e o patógeno foram sobrepostas e seladas com filme plástico. Em seguida, as placas foram incubadas nas mesmas condições já descritas anteriormente. Como testemunha, foram utilizadas duas bases de placas contendo um disco do patógeno em apenas uma delas. Cada tratamento foi composto por cinco repetições (conjunto de duas placas sobrepostas), seguindo delineamento inteiramente casualizado.

A avaliação foi realizada durante 12 dias, medindo-se diariamente o diâmetro das colônias de *C. truncatum* com auxílio de uma régua milimetrada, em dois eixos ortogonais. Esses dados foram utilizados no cálculo da porcentagem de inibição do crescimento micelial (PIC) referente ao 7° e 12° dia conforme descrito no tópico anterior, e submetidos à análise estatística pelo teste Scott-Knott, empregando o software R versão 3.5.2 (R CORE TEAM, 2018), ao nível de significância de 1% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os isolados de *Trichoderma* spp. avaliados no teste de pareamento de culturas apresentaram efeito antagônico ao fitopatógeno pela classificação de notas descrita por Bell *et al.* (1982), com notas maiores que 0 e menores ou iguais a 3. O isolado que alcançou melhor resultado, foi o isolado TR-25 (*T. asperellum*) com nota 1, a qual descreve que o antagonista cresceu sobre o patógeno e ocupou toda a superfície da placa de Petri (Figura 1). Os isolados TR-14 (*T. asperellum*) e TR-96 (*T. harzianum*) obtiveram nota 2 e os isolados TR-12 (*T. koningiopsis*), TR-35 (*T. koningiopsis*) e TR-155 (*T. harzianum*) receberam nota 3 (Figura 1).

Figura 1 - Pareamento de culturas entre isolados de *Trichoderma* spp. e o patógeno *Colletotrichum truncatum* aos 12 dias após montagem do teste.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A imagem contém os tratamentos (A) TR-25 (*T. asperellum*), (B) TR-12 (*T. koningiopsis*), (C) TR-14 (*T. asperellum*), (D) TR-96 (*T. harzianum*), (E) TR-155 (*T. harzianum*), (F) TR-35 (*T. koningiopsis*) e (G) testemunhas. O disco contendo o patógeno foi colocado na parte superior da placa, enquanto o disco com o isolado de *Trichoderma* spp. avaliado foi posicionado na parte inferior. À direita, imagens da vista inferior das placas de Petri; à esquerda, imagens da vista superior.

Resultados semelhantes foram obtidos por Farias *et al.* (2020), em um teste de controle *in vitro* de *C. truncatum*, com todos os isolados de *Trichoderma* spp. avaliados sendo capazes de atuar como biocontroladores do patógeno, recebendo nota 1 e apresentando alto potencial para avaliação em condições de casa de vegetação e campo.

Não foi possível observar diferença significativa entre as porcentagens de inibição de crescimento micelial (PIC) dos isolados de *Trichoderma* spp. avaliados, com inibição máxima de 37,1% e 51,26% aos 7 e 12 dias, respectivamente, causada pelo isolado TR-25 (*T. asperellum*) (Tabela 2).

Tabela 2 - Percentual de inibição do crescimento micelial (PIC) de *Colletotrichum truncatum* pelo método de pareamento de culturas com isolados de *Trichoderma* spp.

Pareamento entre isolados	PIC%	
	7º dia	12º dia
TR-25 x <i>C. truncatum</i>	37,10 a	51,26 a
TR-35 x <i>C. truncatum</i>	27,74 a	40,54 a
TR-14 x <i>C. truncatum</i>	40,32 a	51,04 a
TR-155 x <i>C. truncatum</i>	23,22 a	33,78 a
TR-12 x <i>C. truncatum</i>	24,86 a	35,30 a
TR-96 x <i>C. truncatum</i>	30,00 a	56,52 a
Testemunha	0,00 b	0,00 b

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Médias seguidas com letras iguais na coluna não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Os valores de inibição obtidos nessa pesquisa superaram aos descritos por Fantinel *et al.* (2018), que avaliaram o potencial antagônico de diferentes isolados de *Trichoderma* spp. sobre *Colletotrichum siamense*, os quais nos 6º e 12º dia atingiram um PIC de 32% e 44,2%, respectivamente.

Em trabalho de Oliveira *et al.* (2016), ao avaliar a atividade de antagonistas a *Colletotrichum musae*, constataram que um isolado de *Trichoderma* spp. foi capaz de inibir 84% do crescimento do fitopatógeno. Da mesma maneira, Chagas Júnior *et al.* (2016), analisando o potencial antagônico de 56 isolados de *Trichoderma* spp. contra *C. cliviae* e *C. truncatum*, classificaram 46 como eficientes antagonistas para os dois fitopatógenos pela avaliação de notas, sendo que 22 causaram mais de 75% de inibição do crescimento micelial de *C. cliviae* e três mais de 90% de inibição de *C. truncatum*.

Segundo Vinale *et al.* (2008), os principais mecanismos de ação que reduzem o crescimento micelial está relacionada a interação do *Trichoderma* spp. com o fitopatógeno, em que o antagonista possui crescimento rápido, produção de esporos em excesso e enzimas

degradadoras da parede celular do fungo (celulases, quitinases e glucanases). Estudo realizado por Monte *et al.* (2019), relatam também que genes relacionados ao micoparasitismo apresentam transcricionalmente uma resposta ao fitopatógeno, com a produção de enzimas degradadoras de parede celular (*Cell Wall Degrading Enzyme – CWDE*), expressas durante as interações de *Trichoderma* spp. com fungos fitopatogênicos. Sendo que, de acordo com trabalhos feitos por Kubicek *et al.* (2011), as espécies *T. virens* e *T. atroviride* possuem o maior número de enzimas quitinolíticas.

O complexo processo de micoparasitismo consiste em vários eventos, incluindo reconhecimento do hospedeiro, ataque e subsequente penetração e morte. Durante este processo, o *Trichoderma* spp. secreta CWDEs que hidrolisam a parede celular do fungo hospedeiro, liberando, posteriormente, oligômeros da parede celular do patógeno (KUBICEK *et al.*, 2001; HOWELL, 2003; WOO *et al.*, 2006). De acordo com Vinale *et al.* (2008), esse é o principal mecanismo de biocontrole que *Trichoderma* spp. utiliza em confronto direto, bem como a produção de substâncias tóxicas que agem contra o patógeno.

Na avaliação do biocontrole exercido pelos isolados de *Trichoderma* spp. por meio da produção de metabólitos voláteis, observou-se diferença na inibição do crescimento do *C. truncatum*, destacando-se os isolados TR-35 (*T. koningiopsis*) e TR-155 (*T. harzianum*), com um PIC de 30,16% e 23% no 7º dia e, 37,56% e 26% no 12º dia, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 - Percentual de inibição do crescimento micelial (PIC) de *Colletotrichum truncatum* por meio da produção de metabólitos voláteis contra isolados de *Trichoderma* spp.

Metabólitos voláteis	PIC% (mm)	
	7º dia	12º dia
TR-35 x <i>C. truncatum</i>	30,16 a	37,56 a
TR-155 x <i>C. truncatum</i>	23,00 a	26,00 a
TR-12 x <i>C. truncatum</i>	17,32 b	8,66 b
TR-14 x <i>C. truncatum</i>	13,44 b	18,66 b
TR-25 x <i>C. truncatum</i>	12,84 b	12,22 b
TR-96 x <i>C. truncatum</i>	10,74 b	8,88 b
Testemunha	1,80 c	0,00 b

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Médias seguidas com letras iguais na coluna não se diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 1% de probabilidade.

Os fungos do gênero *Trichoderma* spp. possuem diversas linhagens que são potenciais produtores de metabólitos secundários bioativos (KHAN *et al.*, 2020). A produção desses metabólitos é dependente da cepa e abrange diferentes classes de compostos

antifúngicos, incluindo antibióticos voláteis, como a molécula 6-pentil- α -pirona (6PP), além de derivados de isocianeto, compostos solúveis em água como o ácido heptelídico e o ácido koníngico, e peptídeos não ribossomais, como peptaibióticos, peptaibols, sideróforos, gliotoxina e gliovirina (ZEILINGER *et al.*, 2016; LORITO *et al.*, 2010).

Dentre os compostos com ação inibitória sobre o crescimento micelial de fungos fitopatogênicos, destacam-se o ácido acético, dimetil dissulfeto, 6-pentil- α -pirona, dibenzofurano, metanotiol, além de substâncias pertencentes às classes das cetonas, policetídeos e terpenoides (CASTILLO *et al.*, 2011; CHEN, J. *et al.*, 2016; ZEILINGER *et al.*, 2016).

O composto 6PP, inicialmente isolado de *T. viride*, foi um dos primeiros compostos antifúngicos voláteis identificados em espécies do gênero *Trichoderma*. Posteriormente, sua presença foi confirmada em diversas outras espécies do gênero (SIVASITHAMPARAM; GHISALBERTI, 1998; ZEILINGER *et al.*, 2016). Esse composto tem sido associado à inibição do crescimento de uma ampla variedade de fitopatógenos, incluindo *Botrytis*, *Rhizoctonia solani*, *Armillaria mellea*, *Penicillium expansum* e *Fusarium graminearum* (DAOUBI *et al.*, 2009).

As estruturas químicas dos antibióticos produzidos por *Trichoderma* indicam a atuação de, ao menos, dois mecanismos distintos. Compostos voláteis, apolares e de baixo peso molecular, como o composto 6PP, tendem a se acumular em altas concentrações no solo, exercendo influência em um raio mais amplo sobre a comunidade microbiana. Em contrapartida, compostos polares e peptaibóis, devido à sua natureza química, atuam localmente, próximos às hifas do microrganismo produtor, desempenhando um papel significativo no controle de fitopatógenos no solo (VINALE *et al.*, 2008; CHEN, J *et al.*, 2016).

Pesquisas têm explorado o potencial dos compostos orgânicos voláteis (COVs) no controle de patógenos e na promoção do crescimento vegetal (LEE *et al.*, 2016; NIETO-JACOBO *et al.*, 2017). Os COVs produzidos por *Trichoderma* spp. são capazes de permear pelos poros do solo e atingir longas distâncias, desempenhando um papel relevante no controle de fitopatógenos no ambiente edáfico (CHEN, J. *et al.*, 2016).

Silva *et al.* (2019), observaram que a inibição do crescimento micelial de *S. sclerotiorum* por COVs variou entre as linhagens de *Trichoderma* spp. testadas, o que evidencia a diversidade na produção desses compostos. Essa variabilidade pode estar associada a estágios específicos do ciclo celular ou à diferenciação morfológica, contribuindo para uma maior capacidade competitiva e adaptativa do fungo (ZEILINGER *et al.*, 2016).

Hoffmann *et al.* (2024), observaram ação antagônica de isolados de *Trichoderma* spp. contra *C. truncatum* por meio do teste de metabólitos voláteis, com valores de inibição variando entre 37,09% e 45,71%, com os isolados mais eficientes, e entre 28,08 % a 32,89% com os de menor desempenho. Resultados superiores foram registrados por Silva *et al.* (2020), com 50,75% de inibição com o isolado UFPIT03 (*T. koningiopsis*), e por Farias *et al.* (2020), que obtiveram média de 82% de inibição com o isolado TCH04 (*Trichoderma* spp.).

A menor capacidade de inibição obtida pelos isolados testados nesse trabalho pode estar relacionada a composição metabólica e a variabilidade na capacidade produtiva de compostos antifúngicos entre os isolados de *Trichoderma* (SIVASITHAMPARAM; GHISALBERTI, 1998). Dennis e Webster (1971b) também afirmam que essa variação está relacionada a diversidade dos compostos voláteis produzidos entre as espécies. Nos estudos de Dilley *et al.* (2014), é evidenciada a variabilidade entre os isolados de *Trichoderma* spp. na produção de metabólitos voláteis, o que interferiu significativamente no crescimento do *S. sclerotiorum*, corroborando com os resultados deste trabalho.

A instabilidade metabólica de *Trichoderma* spp. já foi evidenciada em outros trabalhos, como o de Bomfim *et al.* (2010), que relataram a retomada de crescimento do patógeno *Rhizopus stolonifer* após alguns dias sob controle exercido pelos metabólitos produzidos por isolados de *T. stromaticum* e *T. virens*. De forma semelhante, Martin-Corder & Melo (1998), por meio do teste de antibiose, verificaram que o isolado TW6 (*T. koningii*), apesar da rápida colonização do substrato e atividade antagonista inicial, permitiu a retomada do crescimento de *V. dahliae* após algumas horas, indicando instabilidade metabólica na produção de metabólitos voláteis. Nesse sentido, ao observar as médias de PIC dos isolados TR-12 (*T. koningiopsis*), TR-25 (*T. asperellum*) e TR-96 (*T. harzianum*), pode se verificar que há uma redução na inibição do patógeno entre o 7º e 12º dia, sugerindo uma possível instabilidade metabólica, o que permitiu que *C. truncatum* retomasse seu crescimento.

Ao comparar os resultados dos testes de pareamento de culturas e metabólitos voláteis, é possível observar diferenças no desempenho dos isolados de *Trichoderma* spp., com exceção do isolado TR-35 (*T. koningiopsis*), que se destacou nas duas análises. Essa variação pode estar relacionada à origem dos isolados, como sugerem Isaias *et al.* (2014), que relataram maior eficácia no biocontrole ao se utilizar isolados de *Trichoderma* oriundos do mesmo ambiente do patógeno-alvo. Em seu trabalho, 20 isolados de *Trichoderma* spp. provenientes de solo/rizosfera de morangueiro foram testados contra *Sclerotium rolfsii* e *Verticillium dahliae*. *V. dahliae* (isolado de morangueiro) foi inibido por 19 dos 20 isolados

testados, enquanto *S. rolfsii*, isolado de plantas de áster, foi inibido apenas por um (*T. harzianum* CEN691).

Essa relação de origem e eficácia é relatada também por Howell (2003), que recomenda a obtenção e seleção de biocontroladores como *Trichoderma* spp. em regiões da planta ou do solo sob pressão do patógeno alvo e que apresentem condições edafoclimáticas semelhantes às do ambiente natural, como temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes.

De acordo com Martin-Corder & Melo (1998), os mecanismos de ação de *Trichoderma* spp. podem ocorrer simultaneamente ao longo do seu ciclo de vida, variando entre espécies, isolados e pelos diferentes tipos de metabólitos antimicrobianos produzidos (LORITO *et al.*, 2010).

Dessa forma, a triagem sistemática e a seleção de isolados com potencial para o biocontrole constituem etapas essenciais, que devem ser investigadas inicialmente em ensaios *in vitro* para melhor compreensão da interação entre *Trichoderma* spp. e fitopatógenos. No entanto, é imprescindível a validação do biocontrole em condições de campo, uma vez que a eficácia do controle biológico pode variar de acordo com o isolado utilizado e sua capacidade de adaptação aos fatores bióticos e abióticos do ambiente (ISAIAS *et al.*, 2014; DENNIS; WEBSTER, 1971a; DENNIS; WEBSTER., 1971b).

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos *in vitro* demonstram o potencial antagônico dos isolados de *Trichoderma* spp. contra *C. truncatum*, agente causal da antracnose da soja. O isolado TR-25 (*T. asperellum*) destacou-se no teste de pareamento de culturas, obtendo a nota 1 na escala de Bell *et al.* (1982). No teste de produção de metabólitos voláteis, o isolado TR-35 (*T. koningiopsis*) apresentou a maior taxa de inibição do crescimento micelial, com aumento de 30,16% para 37,56% entre as duas avaliações. Em contrapartida, os isolados TR-12 (*T. koningiopsis*), TR-25 (*T. asperellum*) e TR-96 (*T. harzianum*) demonstraram redução na eficácia após o 7º dia, o que pode estar relacionado a uma instabilidade metabólica na produção dos compostos voláteis.

De forma geral, os isolados TR-25 (*T. asperellum*) e TR-35 (*T. koningiopsis*) se destacaram com maior potencial para o biocontrole de *C. truncatum*, sendo recomendada a continuidade das pesquisas com esses isolados em condições *in vivo*, como estufas, casas de vegetação e campo, a fim de validar sua eficácia sob a influência de fatores ambientais.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. M.; PFENNING, L.H. O gênero *Trichoderma*. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. eds. **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília: EMBRAPA, 2019, pp. 163-179. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1117296>. Acesso em: 21 dez. 2023.
- AGROFIT. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Agrofit: sistema de agrotóxicos fitossanitários**. 2023. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 28 maio. 2023.
- ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. Armazenamento de microorganismos em cultura com ênfase em fungos fitopatogênicos. In: ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. (Ed.). **Métodos em Fitopatologia**, Viçosa: Editora UFV, 2007. p. 91–102.
- ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. Armazenamento de Microrganismos em Cultura com Ênfase em Fungos Fitopatogênicos. In: _____ (Ed.). **Métodos em Fitopatologia**, p. 101-102, 2016.
- ALMEIDA, F. B. R.; CERQUEIRA, F. M.; SILVA, R. N.; ULHOA, C. J; LIMA, A. L. Mycoparasitism studies of *Trichoderma harzianum* strains against *Rhizoctonia solani*: evaluation of coiling and hydrolytic enzyme production. **Biotechnology Letters**, v. 29, p. 1189- 1193, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/6300653_Mycoparasitism_studies_of_Trichoderma_harzianum_strains_against_Rhizoctonia_solani_Evaluation_of_coiling_and_hydrolytic_enzyme_production. Acesso em: 22 mar. 2024.
- ANTUNES, F. Z. **Caracterização climática do estado de Minas Gerais. Informe Agropecuário**, v. 12, p. 9-13, 1986.
- AVILA, Z. R; CARVALHO, S. S; BRAUNA, L. M; GOMES, D. M. P. A; MELLO, S. C. M. **Seleção de isolados de *Trichoderma* spp. antagonísticos a *Sclerotium rolfsii* e *Sclerotinia sclerotiorum***. Brasília, DF: Embrapa recursos genéticos e biotecnologia, 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/187173>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- BARBOSA, G. G; COSTA, F. A; COSTA, A. C DA; ULHOA, C. J. Avaliação do potencial de isolados de *Trichoderma* spp. nativos do estado de Mato Grosso do Sul contra o fungo *Colletotrichum musae*. **Brazilian Journal of Development**, 2021. 7 (3), 29484–29502. Disponível: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/26863/21256>. Acesso em: 27 nov. 2023.
- BELL, D. K; WELLS, H. D; MARKHAM, C. R. In vitro antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. **Phytopathology**, Sanit Paul, USA, v. 72, n. 4, p. 379-382, 1982. Disponível em: https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1982Articles/Phyto72n04_379.pdf. Acesso em: 25 nov. 2023.

BETTIOL, W. (Org.). **Controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 1991. p. 1-5. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/10080/control-biologico-de-doencas-de-plantas>. Acesso em: 22 mar. 2024.

BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B.; PINTO, Z. V.; JÚNIOR, T. J. P.; CORRÊA, E. B.; MOURA, A. B.; LUCON, C. M. M.; COSTA, J. C. DO BOMFIM.; BEZERRA, J. L. **Produtos comerciais à base de agentes de biocontrole de doenças de plantas**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/930378/1/Doc881.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2024.

BETTIOL, W.; GHINI, R. Proteção de Plantas em Sistemas Agrícolas Alternativos. In: MICHEREFF, S. J.; BARROS, R (Ed.). **Proteção de Plantas na Agricultura Sustentável**, p. 1-13, 2001. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/defesa/livros/PROTECAO%20DE%20PLANTAS%20NA%20AGRICULTURA%20SUSTENTAVEL.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2023.

BETTIOL, W.; PINTO, Z. V.; SILVA, J. C.; FORNER, C.; FARIA, M. G. P.; COSTA, L. S. A. S. Produtos comerciais a base de *Trichoderma*. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. **Trichoderma: uso na agricultura**. Editores técnicos – Brasília, DF: Embrapa, 2019. cap. 2, p. 45-160. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1117296/trichoderma-uso-na-agricultura>. Acesso em: 22 jan. 2024.

BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B.; BERNADO, E. R. A.; PAULA JÚNIOR, T. J. Controle Biológico. In: DALLA PRIA, M; SILVA, O. C, Org(s). **Cultura do feijão: doenças e controle**. Ponta Grossa: UEPG, 2018. p. 321-325. Disponível em: <https://www.editora.uepg.br/ebooks/ebook-cultura-do-feijao-doencas-e-control>. Acesso em: 16 jan. 2024.

BOMFIM, M. P.; SÃO JOSÉ, A. R.; REBOUÇAS, T. N. H.; ALMEIDA, S. S.; SOUZA, I. V. B.; DIAS, N.O. Avaliação antagonista in vitro e in vivo de *Trichoderma* spp. a *Rhizopus stolonifer* em maracujazeiro amarelo. **Summa Phytopathologica**, v. 36, p. 61-67, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/tXRrsX9YkZjvbbbrDnYMRXcrP/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 mar. 2025

CARVALHO, D. D. C. **Controle biológico de *Sclerotinia sclerotiorum* e *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* e promoção de crescimento do feijoeiro com *Trichoderma***. 2011. 89p. Tese (Doutorado em Fitopatologia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em: <http://repositorio2.unb.br/handle/10482/36158>. Acesso em: 25 nov. 2023.

CASTILLO, F. D. H.; PADILLA, A. M. B.; MORALES, G. G.; SILLER, M. C.; HERRERA, R. R.; GONZALES, C. N. A.; REYES, F. C. In vitro antagonist action of *Trichoderma* strains against *Sclerotinia sclerotiorum* and *Sclerotium cepivorum*. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 6, n. 3, p. 410-417, 2011. Disponível em: <https://thescipub.com/pdf/ajabssp.2011.410.417.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2025.

CHAGAS JUNIOR, A. F.; GODOY, V. H. da S.; MILLER, L. de O.; CARVALHO FILHO, M. R. de. Bioprospecção de *Trichoderma* spp. sobre o crescimento micelial de *Colletotrichum cliviae* e *C. truncatum*. **Revista Brasileira de Biociências**, [S. l.], v. 14, n.4, 2016. Disponível

em: <https://www.seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/114658>. Acesso em: 30 fev. 2023.

CHEN, S. N.; LUO, C. X.; HU, M. J.; SCHNABEL, G. Sensitivity of *Colletotrichum* species, including *C. fioriniae* and *C. nymphaeae*, from peach to demethylation inhibitor fungicides. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 100, n. 12, p. 2434-2441, dec. 2016. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-04-16-0574-RE>. Acesso em: 18 nov. 2023.

CHEN, J. L.; SUN, S. Z.; MIAO, C. P.; WU, K.; CHEN, Y. W.; XU, L. H.; GUAN, H. L.; ZHAO, L. X. Endophytic *Trichoderma gamsii* YIM PH30019: a promising biocontrol agent with hyperosmolar, mycoparasitism, and antagonistic activities of induced volatile organic compounds on root-rot pathogenic fungi of *Panax notoginseng*. **Journal of Ginseng Research**, v. 40, p. 315-324, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27746683/>. Acesso em: 28 mar. 2025.

CHEN, S.; WANG, Y.; SHCNABEL, G.; PENG, C. A.; LAGISHETTY, S.; SMITH, K.; LUO, C.; YUAN, H. Inherent resistance to 14 α -demethylation inhibitor fungicides in *Colletotrichum truncatum* is likely linked to CYP51A and/or CYP51B gene variants. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 108, n. 11, p. 1263-1275, nov. 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29792573/>. Acesso em: 19 nov. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 7 sétimo levantamento, abril 2024. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safra/ultimos-boletins-de-safra/e-book_boletimzdezsafraz-z7zlevantamento.pdf. Acesso em: 12 nov. 2024.

COOK, R. J.; BAKER, K. F. The nature and practice of biological control of plant pathogens. **American Phytopathological Society**, v. 539, 1983.

COONEY, J. M.; LAUREN, D. R. *Trichoderma*/pathogen interactions: measurement of antagonistic chemicals produced at the antagonist/pathogen interface using a tubular bioassay. **Letters in Applied Microbiology**, v. 27, p. 283-286, 1998. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9830146/>. Acesso em: 06 mar. 2025.

DAOUBI, M.; PINEDO-RIVILLA, C.; RUBIO, M. B.; HERMOSA, R.; MONTE, E., ALEU, J.; COLLADO, I.G. Hemisynthesis and absolute configuration of novel 6-pentyl-2-pyran-2-one derivatives from *Trichoderma* spp. **Tetrahedron**, v. 65, p. 4834-4840, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/244189350_Hemisynthesis_and_absolute_configuration_of_novel_6-pentyl-2_H-pyran-2-one_derivatives_from_Trichoderma_spp. Acesso em: 06 mar. 2025.

DENNIS, C.; WEBSTER, J. Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma*. III. Hyphal interactions. **Transactions British Mycological Society**, Manchester, v. 57, n. 1, p. 363-369, 1971a.

DENNIS, C.; WEBSTER, J. Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma*. II. Production of volatile antibiotics. **Transactions British Mycological Society**, Manchester, v. 57, n. 11, p. 41-48, 1971b.

DIAS, M. D.; PINHEIRO, V. F.; CAFÉ-FILHO, A. C. Impact of anthracnose on the yield of soybean subjected to chemical control in the north region of Brazil. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 42, n. 1, p. 18-23, 2016. Disponível em : https://www.researchgate.net/publication/299074913_Impact_of_anthracnose_on_the_yield_of_soybean_subjected_to_chemical_control_in_the_north_region_of_Brazil. Acesso em: 15 nov. 2024.

DILDEY, O. D. F.; BARBIAN, J. M.; GONÇALVES, E. D. V.; BROETTO, L.; ETHUR, L. Z.; KUHN, O. J.; BONETT, L. P. Inibição do crescimento in vitro de *Sclerotinia sclerotiorum*, causador de mofo branco, por isolados de *Trichoderma* spp. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 12, n. 3, 2014. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/114833>. Acesso em: 21 mar. 2025.

FANTINEL, V. S.; MUNIZ, M. F. B.; POLETTO, T.; DUTRA, A. F.; KRAHN, J. T.; FAVARETTO, R. F.; SARZI, J. S. Biocontrole in vitro de *Colletotrichum siamense* utilizando *Trichoderma* spp. e *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. **Ciência Agrícola**, v. 16, n. 3, p. 43-50, 2018. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/4818/4809>. Acesso em: 05 maio. 2024.

FARIAS, J. R. B. Apresentação. In: MEYER, C. M.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Ed.). **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1117296/trichoderma-uso-na-agricultura>. Acesso em: 21 nov. 2023.

FARIAS, O. R.; CRUZ, J. M. F. DE . L. C.; DUARTE, I. G. Controle in vitro de *Colletotrichum truncatum* do feijão fava (*Phaseolus lunatus*) por *Trichoderma* spp. **Caderno De Ciências Agrárias**, 2020. 12, 1–6. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/18464>. Acesso: 23 nov. 2023.

FORSTER, R. **Inativação do vírus do mosaico comum do fumo pelo filtrado de culturas de *Trichoderma* spp.** Bragantia, 1950. 10(5), 138–148. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/PygzyLLNS8S7Q5RGDxCKLLN/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 mar. 2024.

GALLI, J. A.; PANIZZI, R. C.; VIEIRA, R. D. I. Resistência de variedades de soja à morte de plântulas causada por *Colletotrichum truncatum*. **Arquivo Instituto Biológico**, São Paulo, v. 74, n. 2, p. 163-165, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aib/a/pK7LRQ43g6TyHQfqsqwRLFW/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 jan. 2024.

GODOY, C. V.; ALMEIDA, A. M. R.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M. C.; DIAS, W. P.; SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; HENNING, A. A.; YORINORI, J. T.; FERREIRA, L. P.; SILVA, J. F. V. Doenças da Soja. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de Fitopatologia: volume 2 - Doenças das Plantas Cultivadas**. 5ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2016. cap. 67, p. 657-675.

GOULART, A. C. P. **Fungos em sementes de soja: detecção, importância e controle**. Embrapa Agropecuária Oeste. 2 ed., 2018. Disponível em:

https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1097768/1/LIVRODOENCAS_FINAL.pdf. Acesso em. 17 jan. 2024.

GRIGOLLI, J. F. J. Manejo de doenças na cultura da soja. In: PITOL, C.; GITTI, D. C.; GRIGOLLI, J. F. J.; LOURENÇÃO, A. L. F.; MELOTTO, A. M. **Tecnologia e produção: soja 2014/2015**. Curitiba: Midiograf, cap. 8, p. 134-156, 2015. Disponível em: <https://www.fundacaoms.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Tecnologia-Producao-Soja-20142015.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2023.

HARMAN, G. E. Myths and dogmas of biocontrol: changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. **Plant Disease**, 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/249303541_Myths_and_Dogmas_of_Biocontrol_Changes_in_Perceptions_Derived_from_Research_on_Trichoderma_harzinum_T-22. Acesso em: 21 nov. 2023.

HARMAN, G. E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. *Trichoderma* species – opportunistic, avirulent plant symbiont. **Nature Reviews Microbiology**, 2: 43-56, 2004. Disponível em: http://www.hort.cornell.edu/departament/faculty/harman/pubs/Trichoderma_species_pub.pdf. Acesso em. 19 nov. 2023

HENNING, A. A., ALMEIDA, A. M. R., GODOY, C. V., SEIXAS, C. D. S., YORINORI, J. T., COSTAMILAN, L. M., FERREIRA, L. P., MEYER, M. C., SOARES, R. M., DIAS, W. P. **Manual de identificação de doenças de soja**, 5ª ed. Londrina: Embrapa Soja, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/991687/manual-de-identificacao-de-doencas-de-soja>. Acesso em: 31 mar. 2023.

HIRAKURI, M. H.; DALL'AGNOL, A.; OLIVEIRA, A. B. de; LAZZAROTTO, J. J. **Socioeconomia da Soja**. Portal Embrapa. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/preproducao/socioeconomia> . Acesso em: 31 de março de 2023.

HOFFMANN, J. V. B., ALMEIDA, M. V. P., GOMES, C. L. DE A., ULHOA, C. J., & COSTA, F. A. Controle do fungo causador da antracnose na cultura da soja utilizando isolados de *Trichoderma* spp. nativos do estado do Mato Grosso do Sul. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 7, n. 2, p. e70035-e70035, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.34188/bjaerv7n2-073>. Acesso em: 12 mar. 2025.

HOWELL, C. R. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. **Plant disease**, v. 87, n. 1, p. 4-10, 2003. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/epdf/10.1094/PDIS.2003.87.1.4>. Acesso em: 05 jun. 2024.

HYDE, K. D; CAI, L; CANNON, P. F; CROUCH, J. A; CROUCH, P. W; DAMM, U; GOODWIN, P. H; CHEN, H; JOHNSTON, P. R, JONES; E. B. G, LIU; Z. Y, MCKENZIE; E. H. C, MORIWAKI, J; NOIREUNG, P; PENNYCOOK, S. R, PFENNING, L. H; PRIHASTUTI, H; SATO, T; SHIVAS, R. G; TAN, Y.P; TAYLOR, P. W. J; WEIR, B. S; YANG, Y. L; ZHANG, J. Z. *et al.* *Colletotrichum* – names in current use. **Fungal Diversity**, v. 39, p. 147-182, 2009. Disponível em: <https://www.fungaldiversity.org/fdp/sfdp/FD39-7.pdf>. Acesso em 18 jan. 2024.

ISAIAS, C.O.; MARTINS, I.; SILVA, J. B. T.; SILVA, J. P.; MELLO, S. C. M. Ação antagônica e de metabólitos bioativos de *Trichoderma* spp. contra os patógenos *Sclerotium rolfsii* e *Verticillium dahliae*. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n.1, p. 34-41, 2014.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/sp/a/McsgynHvwMmYysbwGVnqvww/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 25 mar. 2025.

KHAN, R. A .A.; NAJEEB, S.; MAO, Z.; LING. J.; YANG, Y.; LI, Y.; XIE, B. Bioactive Secondary Metabolites from *Trichoderma* spp. against Phytopathogenic Bacteria and Root-Knot Nematode. **Microorganisms**, v. 8, n. 3, p. 401, 13 mar. 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/microorganisms8030401>. Acesso em: 01 mar. 2025.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: FCE, p. 482-487, 1948.

KUBICEK, C. P., HERRERA-ESTRELLA, A.; SEIDL-SEIBOTH, V. *et al.* Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral life style of *Trichoderma*. **Genome biology**, v. 12, p. 1-15, 2011. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1186/gb-2011-12-4-r40>. Acesso em: 12 nov. 2024.

KUBICEK, C. P.; MACH, R. L.; PETERBAUER, C. K.; LORITO, M. *Trichoderma*: from genes to biocontrol. **Journal of Plant Pathology**, p. 11-23, 2001. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/279903368_Trichoderma_From_genes_to_biocontrol. Acesso em: 07 nov. 2024.

KRZYŻANOWSKI, F.; FRANÇA-NETO, J. de B.; HENNING, A. A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura. **Circular técnica**, v. 136, n. 1, 2018. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1091765/1/CT136online.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2024.

LEE, S.; YAP, M.; BEHRINGER, G.; HUNG, R.; BENNETT, W. Volatile organic compounds emitted by *Trichoderma* species mediate plant growth. **Fungal Biology and Biotechnology**, v. 3, n. 7, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28955466/>. Acesso em: 12 mar. 2025.

LORITO, M.; WOO, S.L.; HARMAN, G.E.; MONTE, E. Translational research on *Trichoderma*: from 'omics to the field. **Annual Review Phytopathology**, Palo Alto, v. 498, p. 395–417, 2010. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/44585657_Translational_Research_on_Trichoderma_From_'Omics_to_the_Field. Acesso em: 08 jun. 2025.

MARTIN-CORDER, M. P.; MELO, I. S. Antagonismo “in vitro” de *Trichoderma* spp. a *Verticillium dahliae* Kleb. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, p. 1-7, 1998. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/12954>. Acesso em: 25 mar. 2025.

MATSUO, E.; FERREIRA, S. C.; SEDIYAMA, T. Botânica e fenologia. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Ed.) **Soja: do plantio à colheita**. UFV, Viçosa, 2015, p. 27-53.

MEDEIROS, F. H. V.; SILVA, J. C. P.; PASCHOLATI, S. F. Controle biológico de doenças de plantas. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia**: volume 1 - Princípios e conceitos. 5ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2018. cap. 17, p. 261-274.

MEDEIROS, J. C. D.; MARTINS, W. S.; DE MIRANDA, F. F. R. Antagonismo de *Trichoderma* spp. no biocontrole de *Fusarium moniliforme* na cultura do milho. **Revista Sítio Novo**, v. 4, n. 4, p. 169-178, 2020. Disponível em: <https://sitionovo.ifto.edu.br/index.php/sitionovo/article/view/717>. Acesso em: 23 jan. 2024.

MELLO, S. C. M.; ECKSTEIN, B.; MARQUES, E.; CARVALHO, D. D. C. Controle de doenças de plantas. In: FONTES, E. M. G.; VALADORES-INGLIS, M. C. **Controle biológico de pragas na agricultura**. Brasília: Embrapa, 2020. cap. 10, p. 291-325. Disponível: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1121825/1/CBdocument.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2024.

MELO, I. S. Agentes microbianos de controle de fungos fitopatogênicos. In: Melo, I. S.; Azevedo, J. L. (Eds.) **Controle biológico**. Jaguariúna. EMBRAPA-CNPMA. v.1, 1998. pp.17- 67. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/12980>. Acesso em: 18 mar. 2024.

MENTEN, J. O. M.; MINUSSI, C. C.; CASTRO, C.; KIMATI, H. Efeito de alguns fungicidas no crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina* (Tass.) Goid. “*in vitro*”. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 57-66, 1976.

MEYER, M. C.; KLEPKER, D. **Manejo da antracnose em soja**. Empraba soja, Balsas+MAp. 3, 2007. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/470260/1/Manejodaantracnoseemsoja.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2024.

MONTE, E.; BETTIOL, W.; HERMOSA, R. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. In: MEYER, M. C. *et al.* **Trichoderma: uso na agricultura**. Editores técnicos – Brasília, DF: Embrapa, 2019. cap. 4, p. 181 - 199. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1117296/trichoderma-uso-na-agricultura> Acesso em: 23 nov. 2023.

MORANDI, M. A. B.; BETTIOL, W. Controle biológico de doenças em plantas no Brasil. In: BETTIOL, W; MORANDI, M. A. B. **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 7-14. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/579954/1/livrobiocontrole.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2024.

NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCEMO, A. L.; MERTZ-HENNING, L. M.; FOLONI, J. S. S.; MORAES, L. A. C.; GONÇALVES, S. L. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. cap. 2, p. 33-54. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1123928/1/SP-17-2020-online-1.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2024.

NIETO-JACOBO, M. F.; STEYAERT, J. M.; SALAZAR-BADILLO, F. B.; VINGUYEN, D.; ROSTÁS, M.; BRAITHWAITE, M.; DE SOUZA, J. T.; JIMENEZBREMONT, J. F.; OHKURA, M.; STEWART, A.; MENDOZA-MENDOZA, A. Environmental Growth Conditions of *Trichoderma* spp. Affects Indole Acetic Acid Derivatives, Volatile Organic Compounds, and Plant Growth Promotion. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 102, 2017. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5299017/>. Acesso em: 08 mar. 2025.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; BARROS, H. B.; TEIXEIRA, R. C. Morfologia, crescimento e desenvolvimento. In: SEDIYAMA, T. **Tecnologia de produção e usos da soja**. 1ed. Londrina: Mecenas, 2009. cap. 2, 314 p.

OLIVEIRA, E. S.; VIANA, F. M. P.; MARTINS, M. V. V. Alternativas a fungicidas sintéticos no controle da antracnose da banana. **Summa Phytopathologica**, 2016, 42, 4, 340-350. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/VsTJ6jqVfmGwgJGJk35KHRL/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 05 maio. 2024.

OLIVEIRA, T. A. S.; CARVALHO, D. D. C.; MELLO, S. C. M. **Avaliação da atividade antagônica in vitro de Isolados de *Trichoderma* spp para biocontrole de *Sclerotinia sclerotiorum***. Brasília, DF: Embrapa, 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/190441/1/cot1770808.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2023.

RAWAT, L.; SINGH, Y.; SHUKLA, N.; KUMAR, J. Alleviation of the adverse effects of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) by seed biopriming with salinity tolerant isolates of *Trichoderma harzianum*. **Plant and Soil**, v 347, p. 387-400, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/225412718_Alleviation_of_the_adverse_effects_of_salinity_stress_in_wheat_Triticum_aestivum_L_by_seed_biopriming_with_salinity_tolerant_isolates_of_Trchoderma_harzianum. Acesso em: 26 jan. 2024.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2018.

ROGÉRIO, F.; GLAUDIEUX, P.; J. R. MASSOLA, N. S.; CIAMPI-GUILLARDI, M. Multiple introductions without admixture of *Colletotrichum truncatum* associated with soybean anthracnose in Brazil. **Phytopathology**, v. 109, n. 4, p. 681-689, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329049219_Multiple_Introductions_Without_Admixture_of_Colletotrichum_truncatum_Associated_with_Soybean_Anthracnose_in_Brazil. Acesso em: 18 out. 2024.

SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; GODOY, C. V.; MEYER, M. C.; COSTAMILAN, L. M.; DIAS, W. P.; ALMEIDA, A. M. R. Manejo de doenças. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. C. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. cap. 10, p. 227-264. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1123928/1/SP-17-2020-online-1.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2023.

SHARMA, R. F.; SINGH, D.; SINGH, R. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: a review. **Biological Control**. 2009. p. 205-221. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Houda-Kawas/post/Hello-Is-there-are-any-references-or-explanation-for-antagonistic-activity-of-Penicillium-sp-as-a-bioagent/attachment/59d642e079197b807799e75a/AS%3A440609329684481%401482060858517/download/541967840cf2218008bf73ae.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2024.

SILVA, H. F.; SANTOS, A. M. G.; AMARAL, A. C. T.; BEZERRA, J. L.; LUZ, E. D. M. N. Bioprospecção de *Trichoderma* spp. originadas de um ecótono Cerrado-Caatinga sobre *Colletotrichum truncatum*, em soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 1, p. 1-7, 2020. DOI: 10.5039/agraria.v15i1a7680. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v15i1a7680>. Acesso em: 12 mar. 2025.

SILVA, L. R.; DE MELLO, S. C M.; MARTINS, I.; VALARES-INGLIS, M. C. Efeitos de compostos orgânicos voláteis de *Trichoderma* spp. no crescimento de *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. Brasília, DF: **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1108841/efeito-de-compostos-organicos-volateis-de-trichoderma-spp-no-crescimento-de-sclerotinia-sclerotiorum-lib-de-bary>. Acesso em: 11 mar. 2025.

SILVA, P. R. Q. **Transformação de *Trichoderma harzianum* com genes egfp e (-tubulina)**. 2000. 129p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2000. Disponível em: http://icts.unb.br/jspui/bitstream/10482/34471/1/2018_MarianaSantosTamietti.pdf. Acesso em: 21 mar. 2024.

SIVASITHAMPARAM, K.; GHISALBERTI, E. L. Secondary metabolism in *Trichoderma* and *Gliocladium*. In: KUBICEK, Christian P.; HARMAN, Gary E. (Ed.). ***Trichoderma and Gliocladium. Volume 1: Basic biology, taxonomy and genetics***. 1998. p. 139- 191.

SRIVASTAVA, M; KUMAR, V; SHAHID, M; PANDEY, S; SINGH, A. *Trichoderma* a potential and effective bio fungicide and alternative source against notable phytopathogens: A review. **African Journal of Agricultural Research**, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/294109695_Trichoderma_a_potential_and_effective_bio_fungicide_and_alternative_source_against_notable_phytopathogens_A_review. Acesso em: 15 jan. 2024.

TAVARES, G. M. **Podridão do pé do mamoeiro: infestação em solos de cultivo, controle alternativo com indutores de resistência e *Trichoderma* e avaliação dos mecanismos de defesa envolvidos**. 2009. 113p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. Disponível em: <http://www.tede2.ufpe.br:8080/tede2/bitstream/tede2/6598/2/Giltemberg%20Macedo%20Tavares.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2024.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. Washington, D.C.: World Agricultural Outlook Board, abril 2024. Disponível em: <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usdaesmis/files/3t945q76s/0g3563734/0c4856877/wasde0424.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2024. ISSN 1554-9089.

VINALE, F.; SIVASITHAMPARAM, K.; GHISALBERTI, E.L.; MARRA, R.; WOO, S.L.; LORITO, M. *Trichoderma*-plant-pathogen interactions. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 40, p. 1-10, 2008.

WOO, S L.; SCALA, F.; RUOCCO, M.; LORITO, M. The Molecular Biology of the Interactions Between *Trichoderma* spp., Phytopathogenic Fungi, and Plants. **Phytopathology**, 2006. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/epdf/10.1094/PHYTO-96-0181>. Acesso em: 05 jun. 2024.

WONG, C. F. J.; NIK, W. Z.; LIM, T. K. Studies of *Colletotrichum dematium* f. sp. *truncatum* on soybean. **Pertanika J. Sci. Technol**, v. 6, p. 28-33, 1983. Disponível em: <http://psasir.upm.edu.my/id/eprint/2241/>. Acesso: 30 mar. 2023.

YANG, H. C.; HARTMAN, G.L. Methods and evaluation of soybean genotypes for resistance to *Colletotrichum truncatum*. **Plant Disease**, v. 99, n. 1, p. 143-148, 2015. Disponível em: https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-03-14-0228-RE?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%20pubmed. Acesso em: 14 fev. 2023.

ZEILINGER, S.; GRUBER, S. G.; BANSAL, R.; MUKHERJEE, P. K. Secondary metabolism in *Trichoderma*—chemistry meets genomics. **Fungal biology reviews**, v. 30, n. 2, p. 74-90, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303687916_Secondary_metabolism_in_Trichoderma_-_Chemistry_meets_genomics. Acesso em: 06 mar. 2025.

ZHANG, C.; DIAO, Y.; WANG, W.; HAO, J.; IMRAN, M.; DUAN, H.; LIU, X. Assessing the risk for resistance and elucidating the genetics of *Colletotrichum truncatum* that is only sensitive to some DMI fungicides. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 8, n. 1779, sep. 2017. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5609536/>. Acesso em: 19 dez. 2023.