



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS-CAMPUS ARAGUATINS
CURSO LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

MAGNUM JHONNY DE FRANÇA SANTOS

**CONTROLE BIOLÓGICO: Uso de fungos *Trichoderma spp.* na produção
agrícola**

MAGNUM JHONNY DE FRANÇA SANTOS

CONTROLE BIOLÓGICO: Uso de fungos *Trichoderma spp.* na produção agrícola

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins - *Campus Araguatins*, como requisito à obtenção do grau de Biólogo

Orientadora: Profa. Dra. Roberta de Freitas Souza Lobo

Coorientadora: Profa. Esp. Arlene Silva Botentuit

Araguatins - TO
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S237c Santos, Magnum Jhonny de França
Controle biológico: uso de fungos *Trichoderma spp.* na produção agrícola / Magnum Jhonny de França Santos. – Araguatins, TO, 2021.

44 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Araguatins*, Araguatins, TO, 2021.

Orientadora: Dra. Roberta de Freitas Souza Lobo

Coorientadora: Esp. Arlene Silva Botentuit

1. Controle biológico. 2. Fungo. 3. Produção. I. Lobo, Roberta de Freitas Souza. II. Botentuit, Arlene Silva. III. Título.

CDD 570

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Campus Araguatins

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “CONTROLE BIOLÓGICO: USO DE FUNGOS *Trichodermas spp.* NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA”

AUTOR: Magnum Jhonny de França Santos

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a Roberta de Freitas Souza Lobo

COORDINADORA: Prof.^a Esp. Arlene Silva Botentuit

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins - Campus Araguatins, como requisito à obtenção do grau de Biólogo.



Documento assinado eletronicamente por **Roberta de Freitas Souza Lobo, Servidora**, em 27/10/2021, às 21:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Samuel de Deus da Silva, Servidor**, em 27/10/2021, às 21:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabiana Bezerra dos Santos, Usuário Externo**, em 27/10/2021, às 22:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1435958** e o código CRC **32EA98D4**.

DEDICATÓRIA

Dedico à minha Filha, pois o desejo de formar não era só meu, era nosso. Por todos os momentos difíceis que passamos; SEGUIMOS, RESISTIMOS. Foi por você, para você. Vencemos!

AGRADECIMENTOS

Aos velhotes de minha testa – minha mãe Iolanda de França Santos e ao meu pai Feliz Queiroz dos Santos, por terem honrado minha fé, sempre acrescentando coragem aos meus medos e alegrias no meu caminho. Ainda por estarem se doando todos os dias pra me erguer, encorajando em forças e, por segurarem as pontas diante das dificuldades sempre acreditando em mim. Gratidão!

Aos meus irmãos Rejane e Marcos. Especialmente a Rejane que com muita fé e insistência cismou em acreditar em mim, me poupando de obrigações que certamente não saberia lidar, pois sou leigo da vida preocupante em que vivem os adultos, por ser minha mãe-irmã e me conduzir com incentivos ao caminho certo, me abastecendo com incentivos em dias difíceis - foram estas as lições que eu tanto recebi. Aos meus irmãos eu digo obrigado por tudo e acrescento, a reciprocidade de minhas retaliações não é por gratidão de cunho físico, químico, mas biológico. Amo tê-los ao meu lado!

A minha primogênita Madalena, por estar me ensinando, lapidando, alegrando e enchendo meus dias de vida, que apesar dos caminhos conflitantes que passamos o nosso amor prevalece e tem me feito o homem mais feliz desse mundo. Em você tive mais forças para não desanimar porque os planos que tenho a ti são maravilhosos. Você me trouxe de volta o brilho nos olhos - Filha, Amo-te!

A família IFTO/2015.1, na pessoa do Jair Cabral, Richard Allef, Jaksom Almeida, pois somos “os benditos ao fruto” da turma e, nesse caso, merecemos estar em primeiro lugar. Todos de uma simpatia enorme, de um caráter ímpar, cujas amizades me deram ânimo ao longo do trajeto. Em poder ter compartilhado miudezas na rotina, pelos conselheiros que foram nos desabafos de horas superadas. Foi um privilégio tê-los na mesma caminhada.

À Natiele Piedade, por ser tão gente boa e solícita - gosto de gente assim, pés no chão. À Geisyele “meu brother”, por muitos conselhos, puxões de orelha, por ser tão de boa e humana – Grato!

À Jaqueline Matos “jackpower”, por ser prestativa, amiga e, contrariar igual a mim, as normas e o mundo por acreditar nas possibilidades de fazer o novo de várias maneiras (risos).

À Dorania Fernandes, por ser de um coração bom, por me ajudar incansavelmente, por ser minha agenda, por me ajudar em tudo por tudo.

À Géssica Carvalho, “Nossa krikati”, por partilharmos a delicadeza de uma mula, por ser direta, verdadeira, por sempre está disponível quando precisei de ajuda. Gente assim tem meu respeito!

À Leticia Nunes, pelo repasse de informações, pelo deboche que me faz rir, por ser uma menina de boíssima com todo mundo, cuja personalidade soma.

À Ana Clara, por ser compreensível e não julgar as muitas falhas. Pelo contrário, incentivou-me.

À Paula Silva, “a nossa Diva”, por me interpretar, me entender, por ser ombro e me suportar, por incontáveis vezes ter me ajudado - sempre solícita e, ainda à “intrusa do 6º período” Luana Silva, por transmitir um olhar tão gentil, tão compreensível, sem dúvida uma menina de fé. Isso me deixava bem tranquilo, por também acreditar que tudo isso seria possível.

À Lauanda Cunha, por me dar o melhor dos presentes - nossa filha. Também à Weslla Gomes, minha parceira forte, à Tainara Brito, uma pessoa de coração e humildade sem tamanho. À Rayna Hortência, pela empolgação em fazer as coisas, pela rapidez em decidir - “pois fechou”, só bora!

Sou igualmente grato ainda, à Renata Souza, Alina, Angélica Roberto, Gutenberg Sousa e Lívia Alves, por contribuírem muito com essa realização. Vocês têm participação honrosa nessa conquista indescritível.

À Cristieley Maria de Sousa Alves de Oliveira, por ter cedido a sua família, sua casa para me sentir acolhido, por apontar o caminho menos dolorido, mostrando saberes de vida e recursos possíveis com a simpatia de sempre - Obrigado!

Às minhas vizinhas, a dona Carmem, dona Dora e a Lucivane, por terem me dado apoio financeiro, alimentar e familiar, por me aceitarem em suas casas, em sua rotina com todas as minhas dificuldades e sem julgamento, mas compaixão e amizade. Reitero, também pelos muitos cuidados com minha filha, sempre atenciosas e preocupadas com o nosso bem-estar, permitindo desta forma que eu sonhasse e continuasse a lutar. Com vossos incentivos eu insisti, lutei e venci, essa conquista também é destinada a vocês - Gratidão!

À minha orientadora Profa. Dra. Roberta de Freitas Souza Lobo, por ter sugerido, contribuído e intermediado a transformação da ideia de pesquisa, até a conclusão deste trabalho. Também por ter sido tão solícita como professora. Certamente usarei de todos os adjetivos para transmitir o quão você é eficiente no que faz, uma excelente profissional - Obrigado!

Aos meus professores, pelos quais tenho grande respeito e admiração pelos vossos trabalhos, pelo desempenho e por terem contribuído de forma bastante significativa para essa etapa acadêmica. Cito: Juliana Carvalho, Janaina Costa, Alessandro Oliveira, Quitéria Alcântara, Thiago de Loiola, Danilo da Matta, Rosangela Martins, Ana Gabriela, Francinete Barroso, Lucinalva Ferreira, Maria Josinete, José Brito, Robson José, Tarcísio Vieira, José Menezes, Cláudio Galvão e Pedrosa.

À servidora Edileuza, pelo cafezinho diuturnamente que bebia pra espantar o sono. Obrigado!

Finalmente e não menos importante, ao IFTO, Campus Araguatins.

A todos, o meu muito obrigado!

EPÍGRAFE

Em honra à minha coragem, não desistirei
da vida que mereço.

Magnum Jhonny de França Santos

RESUMO

As projeções apontam um crescimento populacional acelerado e contínuo, em 2050 será superior a 9,7 bilhões de pessoas e elevará também a demanda por alimentos. Assim, é necessário expandir a produtividade e as áreas de plantio, porém é latente a enorme preocupação da sociedade no que diz respeito aos impactos ambientais decorrentes dos manejos adotados na agricultura. Agentes biológicos constituem uma alternativa viável para reduzir o potencial de inóculo de diversos patógenos que além de apresentar especificidade ao alvo, utiliza diferentes meios para atingi-lo. Dos fungos empregados no controle biológico, as espécies do gênero *Trichoderma* são as mais utilizadas. A supressão da doença é alcançada tradicionalmente em quatro categorias: competição, antibiose, micoparasitismo e indução de resistência. É possível que uma combinação de vários modos de ação seja responsável pela proteção vegetal proporcionada por *Trichoderma spp.* Em experimentos realizados, cepas de *Trichoderma spp.* mostraram eficiência no antagonismo de *Meloidogyne enterolobii* em alface, *Alternaria solani*, *Alternaria alternata* em tomateiro, mofo branco em feijão e a cinco outros patógenos da soja, chegando até o nível de 100% de inibição da doença. Existem muitas metodologias para a produção e multiplicação do fungo, sendo que o substrato mais utilizado para este fim são os grãos de arroz com umidade na faixa de 75%. De modo geral, os resultados mostrados permitem concluir que os fungos do gênero *Trichoderma* têm grande potencial de uso e são promissores na estratégia do controle biológico, trazendo uma maior mitigação dos danos já causados pelas moléculas químicas ao meio ambiente, redução nos custos de produção, maior rentabilidade econômica e garantir mais qualidade de vida ao agricultor e suas gerações futuras. O presente estudo tem por objetivo realizar um levantamento por meio de revisão de literaturas a respeito do controle biológico com uso do fungo *Trichoderma* na agropecuária.

Palavras-chave: Controle Biológico. Fungo. Produção.

ABSTRACT

The projections point to an accelerated and continuous population growth, in 2050 it will exceed 9.7 billion people and will also increase the demand for food. Thus, it is necessary to expand productivity and planting areas, but there is latent the enormous concern of society concerning the environmental impacts resulting from the management adopted in agriculture. Biological agents are a viable alternative to reduce the potential for inoculation of various pathogens that in addition to presenting specificity to the target, uses different means to reach it. Among the fungi used in biological control, species of the genus *Trichoderma* are the most used. Suppression of the disease is traditionally achieved in four categories: competition, antibiosis, mycoparasitism, and resistance induction. A combination of several modes of action may be responsible for the plant protection provided by *Trichoderma spp.* In experiments carried out strains of *Trichoderma spp.* showed efficiency in the antagonism of *Meloidogyne enterolobii* in lettuce, *Alternaria solani*, *Alternaria alternata* in tomato, white mold in beans, and five other soybean pathogens, reaching the level of 100% inhibition of the disease. There are many methodologies for the production and multiplication of the fungus, with the substrate most used for this purpose being rice grains with humidity in the range of 75%. In general, the results shown allow us to conclude that fungi of the genus *Trichoderma* have great potential for use and are promising in the strategy of biological control, bringing greater mitigation of the damage already caused by chemical molecules to the environment, reduction in production costs, greater economic profitability, and guaranteeing a better quality of life for the farmer and their future generations. This study aims to carry out a survey through literature review on biological control using the *Trichoderma* fungus in agriculture.

Key-words: Biological Control. Fungus. Production.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Seções do gênero <i>Trichoderma</i> e suas espécies, conforme estudos de Bisset (1984,1991).	20
Quadro 2 - Metabólitos antibióticos produzidos por fungos <i>Trichoderma spp.</i> agentes de controle biológico contra seus patógenos-alvo.....	24
Quadro 3 - Fases do método de replicação e multiplicação de <i>Trichoderma spp.</i>	33
Quadro 4 - Gravidade da pinta preta no tomateiro (cultivar Santa Clara) tratada com isolados de <i>Trichoderma spp.</i> aos 7 dias antes da inoculação com <i>Alternaria solani</i>	29

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Parcela de feijão comum tratada com *Trichoderma harzianum*, testando efeitos de micoparasitismo, antibiose e indução de resistência (à esquerda) e testemunha (à direita).....27
- Figura 2** - Inibição de colônias de *Sclerotinia sclerotiorum* (Mofo Branco) por cepas de *Trichoderma spp.* Destacando as letras (D): CEN1241 - *T. azevedoi* e (G): Controle. 28
- Figura 3** - Germinação de escleródios de *S. sclerotiorum* em atmosfera controlada, compartilhada com *T. azevedoi* CEN1241. A) Escleródios expostos a compostos voláteis de *T. azevedoi* na fase de crescimento micelial; B) Controle; C) Escleródios expostos a compostos voláteis de *T. azevedoi* na fase de esporulação e; D) Controle. 29
- Figura 4** - Teste de inibição da Antracnose em plantas de morango - (A): *in vitro* - planta com agente causal da doença e tratada com *T. harzianum*, (B): planta infectada e não tratada, (C): *in vivo* - planta infectada e tratada com *T. harzianum*, (D): controle. 31
- Figura 5** - Multiplicação de cultura pura de *Trichoderma spp.* em grãos de arroz. ... 16
- Figura 6** - Uso de grãos de arroz para a produção de fungos do gênero *Trichoderma* em laboratório agrícola..... 17

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Controle Biológico	17
2.1.1 Controle biológico por importação	17
2.1.2 Controle biológico conservativo	17
2.1.3 Controle biológico aumentativo	18
2.2 Fungo <i>Trichoderma</i>: aspectos gerais.....	18
2.3 Classificação taxonômica de <i>Trichoderma spp</i>	19
2.4 Mecanismos de ação de fungos do gênero <i>Trichoderma</i> no Biocontrole ...	21
2.4.1 micoparasitismo de <i>Trichoderma spp</i>	21
2.4.2 Competição	22
2.4.3 Antibiose.....	23
2.4.4 Indução de resistência de plantas por isolados de <i>Trichoderma spp</i>	24
2. 5 <i>Trichoderma spp</i> aplicado ao controle de doenças em culturas agrícolas	27
2.6 Produção, replicação de <i>Trichoderma spp</i>. em laboratório agrícola ou na própria fazenda.....	33
2.7 Multiplicação de isolados de <i>Trichoderma spp</i>. em grãos de arroz	15
3 Considerações finais	18
REFERÊNCIAS	19

1 INTRODUÇÃO

As projeções apontam para um crescimento populacional acelerado e contínuo nas próximas décadas. Conforme estudos da ONU (2019), a população mundial em 2030 será superior a 8,5 bilhões, já em 2050 será superior a 9,7 bilhões de pessoas. Fato que elevará também a demanda por alimentos de forma geral.

Segundo a FAO (2013), a disponibilidade de áreas agrícolas propícias à produção de alimentos está centrada em poucos países, sendo que algo em torno de 90% das terras com potencial de expansão agrícola estão na América Latina.

Neste contexto, o Brasil é um dos líderes mundiais na produção agropecuária. As vantagens comparativas do país fomentam a tendência crescente de participação no comércio mundial. Isto somado à crescente demanda mundial por alimentos, coloca o país numa posição de destaque e ao mesmo tempo traz o grande desafio do desenvolvimento com sustentabilidade (SILVA, A., 2012).

De acordo com Saath & Fachinello (2018), para o país atender ao aumento da demanda por produtos de origem agropecuária até o ano de 2024, é necessário expandir a produtividade e as áreas de plantio. Porém recentemente, as preocupações ambientais têm levado a um maior controle sobre essa expansão.

No Brasil, com tantas tecnologias de melhoramento genético e métodos de manejo de doenças de plantas, as quais representam grandes problemas para agricultura, notadamente, no que tange à produção de alimentos, é latente a enorme preocupação da sociedade no que diz respeito aos impactos ambientais decorrentes dos manejos adotados na agricultura (RUFINO, 2018).

Os sistemas de produção agrícola com base nos princípios agroecológicos, que visam a sustentabilidade da produção agrícola, estão cada vez mais voltados para a melhor compreensão e utilização dos processos microbiológicos que ocorrem no solo e na planta (MARTINS, 2010).

Assim, minimizar os impactos ambientais negativos da produção requer esforços, pois melhorar a produtividade de maneira sustentável demanda empenho de todos os elos da cadeia produtiva para tornar a agricultura ambientalmente correta e economicamente viável (SILVA, A., 2012).

De acordo com Bettiol & Morandi (2009), os compostos químicos vêm sendo utilizados de forma indiscriminada na agricultura há mais ou menos 70 anos no intuito de controlar pragas e doenças, no entanto, o uso abusivo destes compostos vem

desencadeando a contaminação do solo, intoxicação de produtores, desequilíbrio biológico e uma série de outros problemas ambientais.

Ferraz *et al.* (2010), afirma que diante dos efeitos negativos sobre o ambiente, promovido pelos agroquímicos, na tentativa de amenizar os impactos causados durante décadas, a adoção do uso de produtos biológicos tem-se mostrado uma alternativa viável e promissora em diferentes práticas agrícolas.

Em culturas de alta rentabilidade, os fungicidas propiciam a obtenção das fibras e alimentos necessários à população mundial, mas mesmo para essas culturas o controle biológico de fitopatógenos apresenta uma série de vantagens em relação ao uso de fungicidas químicos (LOUZADA *et al.*, 2009).

Ávila *et al.* (2005), ressalta que enquanto os produtos químicos possuem efeitos por tempo determinado, necessitando de aplicações repetidas ao longo do ciclo da cultura, os biocontroladores podem colonizar, se estabelecer e dispersar no ecossistema. Corroborando, Mello *et al.* (2007), diz ainda que um aspecto importante a ser levado em conta, é que esses agentes biológicos constituem uma alternativa viável para reduzir o potencial de inóculo de diversos patógenos que habitam o solo, sem causar danos ao meio ambiente.

Neste sentido, muitos microrganismos estão sendo estudados com esses objetivos, incluindo várias espécies de fungos do gênero *Trichoderma* (RESENDE *et al.*, 2004). Estes fungos são de grande importância econômica para a agricultura, uma vez que são capazes de atuarem como agentes de controle de doenças de várias plantas cultivadas (MOHAMED & HAGGAG, 2006; FORTES *et al.*, 2007).

O controle biológico, além de apresentar especificidade ao alvo, utiliza diferentes meios para atingi-lo, restringindo as chances de selecionar linhagens resistentes de fitopatógenos. Com relação aos microrganismos antagonistas utilizados, Monte (2001), diz que 90% das aplicações na agricultura são com isolados de fungos *Trichoderma spp.* No entanto, ainda são poucas as pesquisas que abordam especificamente o assunto. Neste sentido, esta revisão busca reunir os principais aspectos e pontos mais relevantes acerca do potencial de uso agrícola de espécies do gênero *Trichoderma*. O presente estudo tem por objetivo realizar um levantamento por meio de revisão de literaturas a respeito do controle biológico com uso do fungo *Trichoderma* na agropecuária.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Controle Biológico

O controle biológico de doenças de plantas pode ser conceituado como sendo o controle de um microrganismo por meio de outro microrganismo (BETTIOL, 2009). No entanto, para outros autores o conceito é um pouco mais complexo. Desta forma, para Cook & Baker (1983), o termo é definido como a redução da soma de inóculo ou das atividades determinantes da doença, provocada por um patógeno, realizada por um ou mais organismos que não seja o homem. Este processo ocorre de forma rotineira na natureza.

De acordo com os relatos de Bettiol (1991), para que haja o controle de forma biológica, é imprescindível a presença de alguns componentes conhecidos, como o patógeno, o hospedeiro e os antagonistas, todos sendo influenciados pelo ambiente e interagindo no sistema biológico. Ele é baseado na relação antagônica entre microrganismos e fitopatógenos, podendo ser caracterizado por diferentes modos de atuação: competição por espaço e nutrientes, antibiose, parasitismo e indução de resistência da planta hospedeira (MORAES, 1991; MELO & AZEVEDO, 1998).

Quanto aos tipos de Controle Biológico, existem basicamente três formas de manipulação do mesmo: importação, Aumentativo e conservação de inimigos naturais, conforme descrito a seguir.

2.1.1 Controle biológico por importação

Quando uma espécie exótica é introduzida em uma nova região. Esse método consiste em buscar inimigos naturais de uma praga exótica em outras áreas geográficas distintas para introdução, liberação e estabelecimento na área onde a praga exótica foi introduzida, visando o seu controle (FONTES, PIRES e SUJII, 2020).

2.1.2 Controle biológico conservativo

Baseia-se no entendimento de que os agroecossistemas podem ser manejados com objetivo de preservar e aumentar as populações de inimigos naturais e assim promover o controle das populações de pragas (FONTES, PIRES e SUJII, 2020). O

autor ressalta ainda que esse tipo de controle confere ao ambiente local, alta estabilidade, maior resistência às perturbações, bem como melhor resiliência do agroecossistema.

2.1.3 Controle biológico aumentativo

Este método é utilizado quando os inimigos naturais que ocorrem naturalmente no agroecossistema não conseguem fornecer o nível de controle desejado de determinada praga, então se faz o aumento artificial da população de uma ou mais espécies de inimigos naturais (FONTES, PIRES e SUJII, 2020).

Assim, Fontes, Pires e Sujii (2020), afirmam que este tipo de aumento é feito pela liberação do agente biocontrolador, utilizando técnicas inoculativa e inundativa. Geralmente, o procedimento mais usado é a produção massal do inimigo natural. Para os pesquisadores, o processo é feito em fábricas comerciais altamente especializadas e conseqüentemente, é feita a liberação destes indivíduos em campo no intuito de suprimir a praga em um curto espaço de tempo.

Esta estratégia de controle, segundo eles, é a mais adequada quando o agente é um microrganismo e é muito utilizada no Brasil para o controle de doenças de plantas. A mesma é bem sucedida quando o inimigo natural é passível de produção massal.

É importante ressaltar que cada organismo apresenta um determinado potencial de controlar naturalmente determinados patógenos. Os fungos são os mais estudados e entre os fungos, sem dúvida, os mais estudados pertencem ao gênero *Trichoderma* (BETTIOL *et al.*, 2009). A eficiência do controle biológico evolui com a geração de novos conhecimentos a cada década, fato que é citado por vários autores, como por exemplo Junior (2016).

2.2 Fungo *Trichoderma*: aspectos gerais

São fungos de vida livre, ubíquos e altamente interativos na raiz e solo, bem como no interior de plantas. São considerados saprófitos e têm despertado interesse científico e aplicado como agentes de controle biológico e produtores de enzimas para uso industrial (POMELLA e RIBEIRO, 2009). Segundo Adnan *et al.* (2019), este gênero possui fungos muito diversificados que podem ser encontrados em todos os

tipos de solos, tanto temperados quanto em solos tropicais. Além disso, também é encontrado em diferentes materiais vegetais, bem como em raízes, serapilheira, madeira e cascas em decomposição (LEE *et al.*, 2012). Sua concentração na maioria das vezes varia em torno de 10^1 a 10^3 propágulos por grama de solo.

WOO *et al.* (2006), diz que dos fungos empregados no controle biológico, as espécies do gênero *Trichoderma* são as mais utilizadas e demonstram maior sucesso no controle de fitopatógenos, principalmente pela sua grande capacidade de proteger as plantas através de seus diversos mecanismos de ação.

Por cerca de 70 anos, *Trichoderma spp.* são conhecidos por terem um impacto parasitário ou antagônico em outros microrganismos causadores de doenças de plantas (KHALILI *et al.*, 2012). Assim, Gveroska e Ziberoski (2012), afirmam que os mesmos são utilizados no controle biológico contra vários patógenos de plantas, suprimindo com sucesso tanto os patógenos do solo, quanto os fitopatógenos de folhas.

2.3 Classificação taxonômica de *Trichoderma spp*

O gênero *Trichoderma* Pers (1794), é um dos gêneros mais estudados devido à grande versatilidade e importância biotecnológica. Pertence ao filo *Ascomycota*, subfilo *Pezizomycotina*, classe *Sordariomycetes*, subclasse *Hypocreomycetidae*, ordem *Hypocreales* e família *Hypocreaceae*.

Rifai (1969) introduziu o conceito de espécies agregadas baseado em características micromorfológicas. Em outros estudos feitos as espécies foram agrupadas em cinco seções: a) *Longibrachiatum*, b) *Pachybasium*, c) *Trichoderma*, d) *Hypocreanum* e e) *Saturnisporum* (Quadro 1).

Já na descrição de Samuels (1996), o *Trichoderma* é pertencente ao domínio *Eucarea*, reino *Fungi*, sub-reino: *Dicarea*, divisão: *Ascomycota*, classe: *Sordariomycetes*, ordem *Hypocreales*, família *Hypocreaceae* e gênero: *Trichoderma*. Vale ressaltar que muitos trabalhos já foram feitos posteriormente por vários cientistas para decidir sua base morfológica ou molecular de classificação.

Os dados contidos no GenBank apontam para a seguinte classificação: Domínio *Eucaryota*, "Grupo" *Fungi/Metazoa*, Reino *Fungi*, Filo *Ascomycota*, Subfilo *Pezizomycotina*, Classe *Sordariomycetes*, Subclasse *Hypocreomycetidae*, Ordem

Hypocreales, “Família” *Hypocreaceae* mitospóricos e Gênero *Trichoderma* (CORABI-ADELL, 2004).

Quadro 1 - Seções do gênero *Trichoderma* e suas espécies, conforme estudos de Bisset (1984,1991).

Seção		Espécies
1	<i>Pachybasium</i>	<i>T. hamatum</i> ; <i>T. polysporum</i> ; <i>T. piluliferum</i> ; <i>T. harzianum</i> , <i>T. virens</i>
2	<i>Trichoderma</i>	<i>T. koningii</i> ; <i>T. aureoviride</i> ; <i>T. viride</i> ; <i>T. atroviride</i>
3	<i>Saturnisporum</i>	<i>T. saturnisporum</i>
4	<i>Longibrachiatum</i>	<i>T. longibrachiatum</i> (= <i>T. reesei</i>); <i>T. pseudokoningii</i>
5	<i>Hypocreanum</i>	<i>Hypocrea anam.</i>

Fonte: CORABI-ADELL, (2014) - modificada pelo autor.

Atualmente, o conceito de espécie morfológica em *Trichoderma spp.* deve ser utilizado somado a métodos moleculares, uma vez que esses fungos apresentam sinapomorfia em relação aos caracteres morfológicos utilizados para a identificação das espécies (ALMEIDA, 2016). Por outro lado, conforme o mesmo autor, o conceito de espécie biológica não deve ser aplicado ao gênero *Trichoderma* devido à dificuldade de se obter a fase sexuada em cruzamentos controlados.

Com a adoção de métodos filogenéticos e molecular para estudo sistemático e taxonômico do gênero, as espécies descritas aumentaram bastante dos anos 2000 em diante, demonstrando que a simplicidade morfológica de *Trichoderma spp.* guarda uma grande diversidade de linhagens filogenéticas (DRUZHININA *et al.*, 2011).

Complementando, com a comprovação de outros estudos Bissett *et al.* (2015), diz que até o momento, já foram descritas 252 espécies. Por outro lado, alguns autores como Plessis *et al.* (2018), afirmam que o número atual dessas espécies de *Trichoderma* já catalogadas é de aproximadamente 300.

Para Almeida (2016), este gênero possui uma ampla diversidade genética e metabólica de espécies adaptadas aos mais diferentes ecossistemas. São fungos tipicamente oportunistas e desempenham funções determinantes para a manutenção do ecossistema (EVANS; HOLMES; THOMAS *et al.*, 2003). Sendo também patógenos de outros fungos (SAMUELS *et al.*, 2002).

2.4 Mecanismos de ação de fungos do gênero *Trichoderma* no Biocontrole

Os efeitos benéficos que os microrganismos exercem são muitos, principalmente na nutrição e manutenção da sanidade das plantas. Esta última, realiza-se por meio de diversos mecanismos de ação. Os mecanismos pelos quais a supressão da doença é alcançada tradicionalmente se resumem em quatro categorias: competição, antibiose, micoparasitismo e indução de resistência de plantas (VENANCIO *et al.*, 2019).

É importante observar que, embora muitas pesquisas sejam dirigidas ao entendimento de mecanismos específicos, os agentes de controle de fitopatógenos mais efetivos estudados até o momento parecem utilizar mecanismos distintos, simultaneamente (MELLO *et al.*, 2020). Por outro lado, Contreras-Cornejo *et al.* (2016), dizem que o sucesso do processo de antagonismo depende inteiramente de fatores como a produção de enzimas hidrolíticas ou antibióticos, bem como a capacidade do fungo de competir por nutrientes presentes na rizosfera.

2.4.1 micoparasitismo de *Trichoderma spp*

Segundo Bettiol (1991), o micoparasitismo decorre de um processo físico onde ocorre a destruição física da parede celular do patógeno, sendo tal processo mediado pela ação de enzimas hidrolíticas liberadas pelos agentes de biocontrole. Ainda conforme este autor, as referidas enzimas envolvidas podem ser quitinases, proteases, glucanases e lipases.

Neste gênero de fungos a capacidade para parasitar outros fungos é uma das características mais relevantes. De acordo com Druzhinina *et al.* (2018), por meio de estudos ecofisiológicos já foi demonstrado que, em escala maior ou menor, todas as espécies de *Trichoderma* são parasitas eficientes de fungos fitopatogênicos.

Os fungos micoparasitas atacam hifas e estruturas de reprodução e sobrevivência dos patógenos de planta, reduzindo a infecção e o inóculo do patógeno (ETHUR, 2006). Complementando, Druzhinina *et al.* (2018), diz que muitas espécies de *Trichoderma* apresentam uma versatilidade nutricional única, tendo a capacidade de se alimentarem da biomassa de outros fungos fitopatogênicos. O autor ressalta ainda que embora haja outros fungos micoparasitas, este é um traço funcional característico, presente somente em espécies deste gênero.

Harman *et al.* (2004), relatam que são por volta de 20 a 30 genes encontrados em fungos do gênero *Trichoderma* que são responsáveis pelo processo de micoparasitismo, isto devido a quantidade de metabólitos e de proteínas que estão diretamente envolvidos nessa interação.

2.4.2 Competição

A competição é um mecanismo que ocorre quando dois ou mais organismos necessitam do mesmo recurso (espaço, nutrientes, água) e o uso deste diminui a quantidade disponível para o outro (MELLO *et al.*, 2020). A falta de nutrientes é a causa de morte mais comum de microrganismos, por isso a competição por nutrientes resulta em controle biológico de fitopatógenos. *Trichoderma spp.* tem uma capacidade superior para mobilizar e obter nutrientes do solo em comparação com outros organismos (RIBEIRO, 2009).

Uma observação marcante citada por Mello *et al.* (2020), é que as espécies de *Trichoderma* consideradas maiores competidoras são as mais evoluídas quanto aos mecanismos de sobrevivência e metabolismo de fontes nutritivas, adquirindo tolerância ao estresse competitivo para se estabelecer no espaço habitado.

Competição é considerada um dos mais eficientes mecanismos de ação utilizados por *Trichoderma*. Baseia-se no fato de que os microrganismos competem uns com os outros para obter fontes a base de carbono, nitrogênio, oxigênio, ferro e outros micronutrientes (FILHO, R., 2013). Esta competição pode ser ainda por outros aspectos básicos como nutrientes e espaço, afirma Nachtigal (2012).

De acordo com Chet *et al.* (1997), a eficiência de uso dos nutrientes está relacionada a habilidade do fungo em obter ATP do metabolismo de diferentes açúcares, como os derivados de diversos polímeros encontrados na natureza, seja a quitina, as celulosas, glucanos e outros.

A ubiquidade de *Trichoderma* em solos naturais e agrícolas, em todas as partes do mundo, é uma prova de que é um bom competidor por espaço e pelos recursos nutricionais. Sua versatilidade metabólica lhe permite crescer utilizando uma ampla gama de fontes de CO₂ e N. (MONTE *et al.*, 2019). Seu desempenho aumenta significativamente se, além de utilizar eficientemente os nutrientes, também for capaz de secretar substâncias nocivas aos fitopatógenos, entre elas antibióticos e enzimas degradadoras de parede celular de fungos fitopatogênicos (MELLO, *et al.*, 2020).

2.4.3 Antibiose

A antibiose é definida como a interação entre organismos na qual indivíduos de uma população secretam metabólitos capazes de inibir ou impedir o desenvolvimento dos indivíduos de uma população de outra espécie (BEDENDO *et al.*, 2011).

Para Dilley *et al.* (2014), os compostos voláteis produzidos por *Trichoderma spp.* têm ação sobre outros fungos suscetíveis, causando a inibição do crescimento micelial destes patógenos.

A produção de metabólitos secundários por cepas de *Trichoderma* também apresenta grande variedade e potencial de aplicação, com milhares de compostos distribuídos em mais de 120 estruturas moleculares, constituem uma das fontes de maior diversidade metabólica do reino *Fungi* (HERMOSA *et al.*, 2014). Estas substâncias produzidas pelo fungo incluem antibióticos, enzimas líticas, compostos voláteis, sideróforos, peptídeos, proteínas, fenóis, terpenos, polipeptídios e muitos outros compostos.

Tamanha é a importância da antibiose para os microrganismos, que muitos agentes de controle biológico direcionam boa parte de sua energia para sua realização (MELLO *et al.*, 2020). Contudo, Stein (2005), escreveu que em alguns microrganismos biocontroladores de fitopatógenos seu genoma é constituído em média de 4 a 5% por genes responsáveis pela síntese de substâncias antimicrobianas.

Para Mukherjee *et al.* (2012), esse potencial de biossíntese de vários tipos de metabólitos secundários que *Trichoderma spp.* possui é um reflexo do sequenciamento do genoma das três principais espécies do gênero. Assim, o genoma de *T. virens* contém 440 genes relacionados esta produção, enquanto *T. atroviride* possui 349 e *T. reesei* 262. Complementando, Zeilinger *et al.* (2016), relatou que ainda há o sequenciamento de mais 6 genomas em bancos de dados público esperando por análise, sendo estes, o *Trichoderma asperellum*, *T. harzianum*, *T. paareesei*, *T. gamsii*, *T. longibrachiatum* e *T. citroviride*.

A seguir é mostrado uma lista dos principais compostos antimicrobianos ou metabólitos produzidos por algumas espécies de *Trichoderma spp.* capazes de promover antibiose sobre vários patógenos alvos (Quadro 2).

Quadro 2 - Metabólitos antibióticos produzidos por fungos *Trichoderma spp.* agentes de controle biológico contra seus patógenos-alvo.

Espécie	Metabólito	Alvo	Fonte
<i>Trichoderma virens</i>	Gliotoxin	<i>Rhizoctonia solani</i>	Howell (2003)
	Gliovirin	<i>Pythium</i>	
<i>Trichoderma cerinum</i>	Cerinolactona	<i>Pythium ultimum</i> , <i>R. solani</i> e <i>Botrytis cinerea</i>	Vinale et al. (2014)
<i>Trichoderma koningii</i> , <i>Trichoderma viride</i> e <i>Trichoderma virens</i>	Viridin	<i>T. koningii</i> , <i>T. viride</i> , <i>T. virens</i> , <i>B. allii</i> , <i>Colletotrichum lini</i> , <i>Fusarium caeruleum</i> , <i>Penicillium expansum</i> e <i>Aspergillus niger</i>	Reino et al. (2008), Vinale et al. (2014)
<i>Trichoderma polysporum</i> , <i>T. koningii</i> , <i>T. viride</i> e <i>Trichoderma harzianum</i>	Trichodermin, Trichodermol, Harzianum A	<i>Cladosporium spp.</i>	Patil et al. (2016)
<i>Trichoderma brevocompacum</i> , <i>T. harzianum</i>	Trichodermin	<i>R. solani</i>	Xu-Ping et al. (2015)
<i>T. viride</i> , <i>T. atroviride</i> , <i>T. harzianum</i> e <i>T. koningii</i>	6-pentyl-2H-pyran- 2-one [6-pentyl- apyrone (6PP)]	<i>Fusarium moniliforme</i>	El-Hasan e Buchenauer (2009), Patil et al. (2016)
<i>T. harzianum</i>	Harzianopiridona	<i>B. cinerea</i> , <i>R. solani</i> , <i>Gaeumannomyces</i> <i>graminis</i> var. <i>tritici</i> e <i>P. ultimum</i>	Vinale et al. (2014) Patil et al. (2016)
	Ácido harziânico	<i>P. irregulare</i> , <i>S. sclerotiorum</i> e <i>R. solani</i>	Vinale et al. (2014), Patil et al. (2016)
	Azaphilone	<i>R. solani</i> , <i>P. ultimum</i> e <i>G. graminis</i> var. <i>tritici</i>	Vinale et al. (2014), Patil et al. (2016)

Fonte: MELLO et al., (2020) - modificada pelo autor.

2.4.4 Indução de resistência de plantas por isolados de *Trichoderma spp.*

Sabe-se que a indução de resistência por isolados deste gênero tem um papel importante em vários patossistemas, e que vários mecanismos operando simultaneamente podem atuar aditiva ou sinergisticamente para incremento do biocontrole (JUNIOR, 2016).

Neste caso, Michereff *et al.* (1993), explicam que o processo se desenvolve por meio do estímulo dos mecanismos de defesa do hospedeiro, pelo emprego de organismos não patogênicos, por seus metabólitos ou linhagens fracas ou avirulentas do patógeno.

Diversos fungos possuem a capacidade de ativar o sistema de defesa das plantas. Esse é um mecanismo indireto, pois o agente indutor não age diretamente sobre o patógeno, mas produz estímulos para ativação de mecanismos de defesa da planta contra o agressor (MELLO *et al.*, 2020). Linhagens de *Trichoderma* quando adicionadas à rizosfera protegem as plantas contra numerosas classes de patógenos, como os que produzem infecções na parte aérea da planta, incluindo além dos fungos, vírus e bactérias, o que indica a indução de mecanismos de resistência (RIBEIRO, 2009).

A relação simbiótica entre espécies de *Trichoderma* e a planta pode resultar na indução de resistência sistêmica. Ela ocorre pelo desencadeamento de uma série de alterações morfológicas e bioquímicas na planta, levando à ativação dos seus mecanismos de defesa contra vários fitopatógenos (JUNIOR, 2016).

Misaghi (1982), explicou que a defesa da planta pode ser induzida localmente, quando é ativada apenas na região onde houve o ataque ou contato do agente indutor ou pode ser sistêmica, quando ocorre em outras partes da planta que não entraram em contato com o patógeno ou indutor. De acordo com o mesmo autor, esta última é desencadeada pelo envio de sinais para ativação de rotas metabólicas, mediada pelo ácido salicílico ou ácido jasmônico e etileno.

A resistência sistêmica divide-se em duas vias, a da resistência sistêmica adquirida e da resistência sistêmica induzida. Onde, embora fenotipicamente as duas se assemelhem e os termos sejam usados como sinônimos, elas se diferem em alguns fatores (MELLO *et al.*, 2020).

2.4.4.1 resistência sistêmica adquirida

A Resistência Sistêmica Adquirida (RSA) é caracterizada pelo acúmulo de ácido acetil salicílico, produzido com frequência após a infecção por patógenos e que tipicamente leva a expressão de proteínas relacionadas a patogênese. Diz respeito a reação de resistência na planta em razão da infecção por patógenos (MELLO, 2020). Entretanto, Carvalho (2012), diz que ela também pode ser caracterizada como sendo

um processo onde ocorre uma transmissão de sinais bioquímicos e outras regiões da planta são induzidas a iniciar a produção de substâncias de defesa.

A indução da resistência sistêmica adquirida constitui um importante método alternativo de controle de doenças de plantas, em face da praticidade de uso no campo. Ela pode ser distinguida de outros tipos de resistência pela expressão contra um largo espectro de patógenos (CARVALHO, 2012).

2.4.4.2 resistência sistêmica induzida

Choudhary *et al.* (2007), observaram que ao contrário da anterior, esta pode ser mediada tanto pelo ácido jasmônico, quanto pelo etileno, produzidos quando ocorre a indução de resistência, causada normalmente através de microrganismos ou ainda por insetos. E vários outros fatores bióticos e abióticos denominados elicitores, refletindo um potencial adaptativo do organismo. Vale ressaltar que a resistência induzida em plantas ativa os mesmos mecanismos de defesa que é operado na resistência determinada geneticamente (NASERINASAB *et al.*, 2011).

No caso dos microrganismos, espécies de fungos do gênero *Trichoderma* induzem este tipo de resistência ao colonizarem a rizosfera e ativarem a via de defesa mediada por ácido jasmônico na planta (MELLO *et al.*, 2020).

Medeiros (2014), cita resultados que comprovam a eficiência de *Trichoderma spp.* na indução de resistência a diversos fitopatógenos, dentre eles a *Plasmopara viticola* em videira, *Fusarium oxysporum* em tomateiro e pepino, *Uromyces appendiculatus* em feijoeiro e ainda, *Phytophthora capsici* em pimenta.

De acordo com Choudhary *et al.* (2007), a indução de resistência contra fitopatógeno pode contribuir em escala de maior ou menor grau para suprimir a doença. O potencial de defesa da planta contra o patógeno através desse mecanismo é influenciado pela velocidade com a qual a mesma expressa os fatores de defesa, bem como a quantidade de substâncias produzida.

Romeiro (2007), observou que plantas quando induzidas a resistência, aumentam a atividade das enzimas glucanases, quitinases e peroxidases, envolvidas nas rotas de detecção da presença do patógeno e nas rotas de sinalização bioquímica a pontos distantes da origem do sinal.

Desta forma, é possível que uma combinação de vários modos de ação pode ser responsável pela proteção vegetal proporcionada por cepas distintas de *Trichoderma* contra doenças diferentes (FONTENELLE *et al.*, 2011).

Diversos autores como JUNIOR (2016), salientam que isolados de *Trichoderma* ao colonizar sistema radicular de plantas cultivadas como é o caso do feijão comum, pode ativar mecanismos de proteção contra o ataque de patógenos, seja por micoparasitismo e antibiose, indução de resistência, etc. (Figura 1).

Figura 1 - Parcela de feijão comum tratada com *Trichoderma harzianum*, testando efeitos de micoparasitismo, antibiose e indução de resistência (à esquerda) e testemunha (à direita).



Fonte: LOBO JUNIOR, (2019).

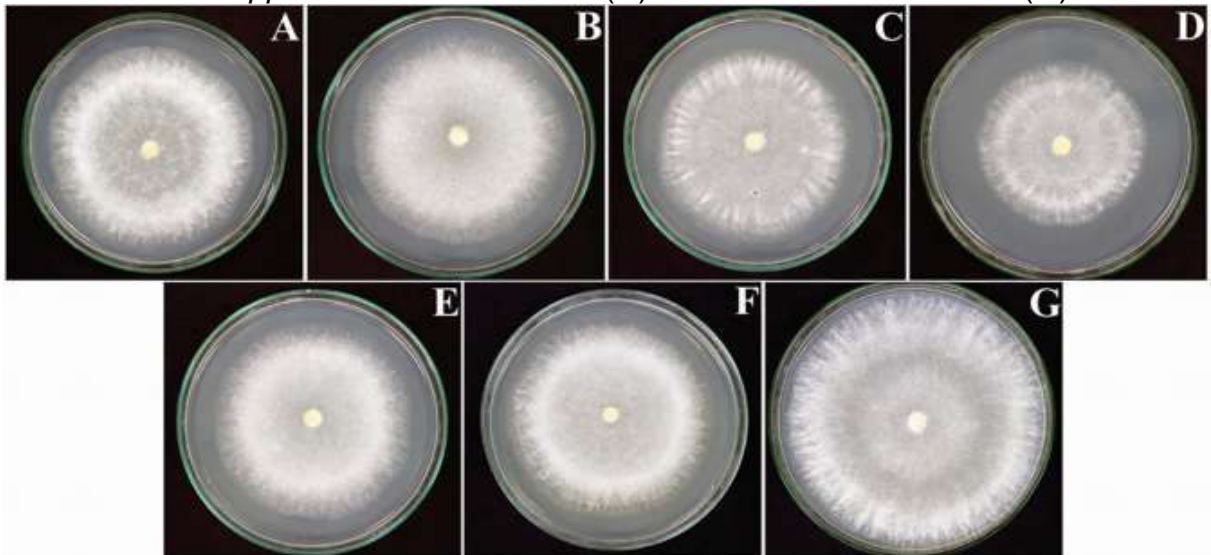
Shoresh *et al.* (2010), citam que em resposta ao ataque de microrganismos as plantas promovem a deposição de caloses e celulose nas paredes celulares como meio de defesa, bem como a liberação de compostos fenólicos. Porém algumas formas de defesa são ativadas apenas após o ataque do patógeno.

2. 5 *Trichoderma spp.* aplicados ao controle de doenças em culturas agrícolas

Em experimentos realizados *in vitro* e somados aos ensaios feitos em casa de vegetação foi verificado por Filho, R. (2013), que diversas cepas de *Trichoderma spp.* possuem um grande potencial como agentes de biocontrole para o mofo branco na

cultura do feijoeiro comum. Em sentido semelhante, Amin *et al.* (2010), também observaram que isolados de *T. harzianum* e *T. viride* promoveram a inibição de micélios e a diminuição da produção de escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum* e de outros dois patógenos, *Sclerotinia rolfii* e *Rhizoctonia solani*. Considerando esta atividade biológica, a cepa CEN 1241 (*T. azevedoi*) mostrou-se, entre as demais estudadas, a mais promissora como agente de biocontrole do mofo branco (SILVA, L. *et al.*, 2020), como pode ser visto abaixo (Figura 2).

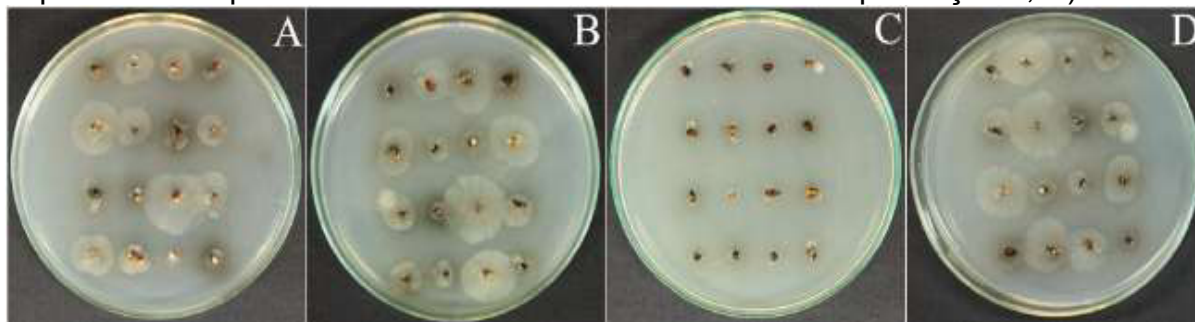
Figura 2 - Inibição de colônias de *Sclerotinia sclerotiorum* (Mofo Branco) por cepas de *Trichoderma spp.* Destacando as letras (D): CEN1241 - *T. azevedoi* e (G): Controle.



Fonte: SILVA, L. *et al.*, (2020).

A cepa de *T. azevedoi* CEN1241 também foi testada na cultura da alface por Silva, R. *et al.* (2021), onde os autores observaram no experimento que a cepa produz cerca de 33 compostos voláteis diferentes. Estes compostos foram capazes de inibir a germinação de micélios de *S. sclerotiorum*, fato que culminou com a redução do mofo branco nas plantas (Figura 3).

Figura 3 - Germinação de escleródios de *S. sclerotiorum* em atmosfera controlada, compartilhada com *T. azevedoi* CEN1241. A) Escleródios expostos a compostos voláteis de *T. azevedoi* na fase de crescimento micelial; B) Controle; C) Escleródios expostos a compostos voláteis de *T. azevedoi* na fase de esporulação e; D) Controle.



Fonte: SILVA, R. *et al.*, (2021).

Resultados satisfatórios também foram encontrados por Chaves (2015), onde cepas de *Trichoderma spp.* aplicadas em duas cultivares de alface mostraram eficiência no antagonismo de nematoides de galhas (*Meloidogyne enterolobii*) com redução na massa de ovos e galhas nas plantas inoculadas.

Já em tomateiro, Fontenelle (2011), verificou que *Trichoderma spp.* incrementou a indução de resistência contra *Alternaria solani*. De acordo com o autor, as reduções na severidade da doença foram bastante expressivas, alcançando níveis de até 95.23%, variando de acordo com cada isolado (Quadro 4).

Quadro 4 - Gravidade da pinta preta no tomateiro (cultivar Santa Clara) tratada com isolados de *Trichoderma spp.* aos 7 dias antes da inoculação com *Alternaria solani*.

Tratamentos	<i>Alternaria solani</i>	
	Porcentagem de área foliar doente por planta (%)	Porcentagem de proteção (%)
Controle	12.12 +- 0.36 a	—
IB 01/03	8.37 +- 0.26 b	30.69
IB 15/06	3.76 +- 0.15 d	68.98
IB 28/07	0.73 +- 0.07 h	93.99
IB 28/15	2.71 +- 0.19 e	77.64
IB 30/07	0.58 +- 0.13 h	95.23
IB 31/06	2.77 +- 0.14 e	77.14
IB 32/06	2.11 +- 0.12 f	82.59
IB 37/01	1.46 +- 0.17 g	87.95
IB 38/11	4.46 +- 0.32 c	63.20
IB 42/03	0.89 +- 0.28 h	92.66
IB 42/15	3.19 +- 0.25 e	73.68
IB 46/10	1.59 +- 0.14 fg	86.88
CV (%)	32.23	

Fonte: FONTENELLE *et al.*, (2011) - modificada pelo autor.

Como visto no quadro 4, todos os tratamentos feitos com *Trichoderma spp.* diferiram do controle. Entretanto, diferentes níveis de proteção foram conferidos por cada isolado. Meirelles (2014), concluiu que a aplicação do *T. harzianum* em planta de tomateiro foi capaz de suprimir a mancha foliar causada por *Alternaria alternata*, promovendo a indução de resistência nas plantas testadas. O autor afirma que tal resistência é conferida pelas respostas do ácido jasmônico, da atenuação da resposta do ácido salicílico e da biossíntese do etileno na planta.

Dois isolados de *Trichoderma* foram testados por Al-Hazmi e TariqJaveed (2016), em densidades diferentes contra *Meloidogyne javanica* em tomateiro. Os resultados mostraram que *T. harzianum* e *T. viride* reduziram significativamente as galhas de raízes, número de ovos e juvenis no solo. Resultados semelhantes também foram encontrados por Oyekanmi *et al.* (2007), em experimento tanto em vaso, quanto em campo o *T. pseudokoningii* agiu na supressão e redução das populações de nematoides *Meloidogyne incognita* no cultivo da soja.

Na cultura da soja, Oliveira *et al.* (2021), destaca que o *T. harzianum* (ALL42) e *T. asperellum* (T00) mostraram um grande potencial de biocontrole contra *Pratylenchus brachyurus* na cultivar BRSGO Caiapônia, onde os mesmos mostraram uma taxa de mortalidade de até 65%, em um intervalo de 24 h. Foi constatado ainda que nas plantas testadas houve uma redução de 89% na penetração do nematóide nas raízes da cultivar após o tratamento com os dois isolados de *Trichoderma*.

Görgen *et al.* (2009), trabalhando com a aplicação de *T. harzianum* (1306) na concentração de 2×10^9 esporos viáveis/ml⁻¹ e nas doses de 0,5 e 1 (L ha⁻¹) diz que tal aplicação promoveu um aumento significativo na taxa de parasitismo de escleródios de *S. sclerotiorum* por *Trichoderma spp.* Desta forma, reduzindo assim a incidência do mofo-branco e aumentando o rendimento da soja.

Já em plantas de tabaco, Peng *et al.* (2021), descobriram que L-aminoácido oxidase, uma enzima secretada por *T. harzianum* tem capacidade de ativar genes de defesa que foram capazes de promover resistência na planta contra fitopatógenos, suprimindo a ação de *Sclerotinia sclerotiorum* e *Botrytis cinerea*.

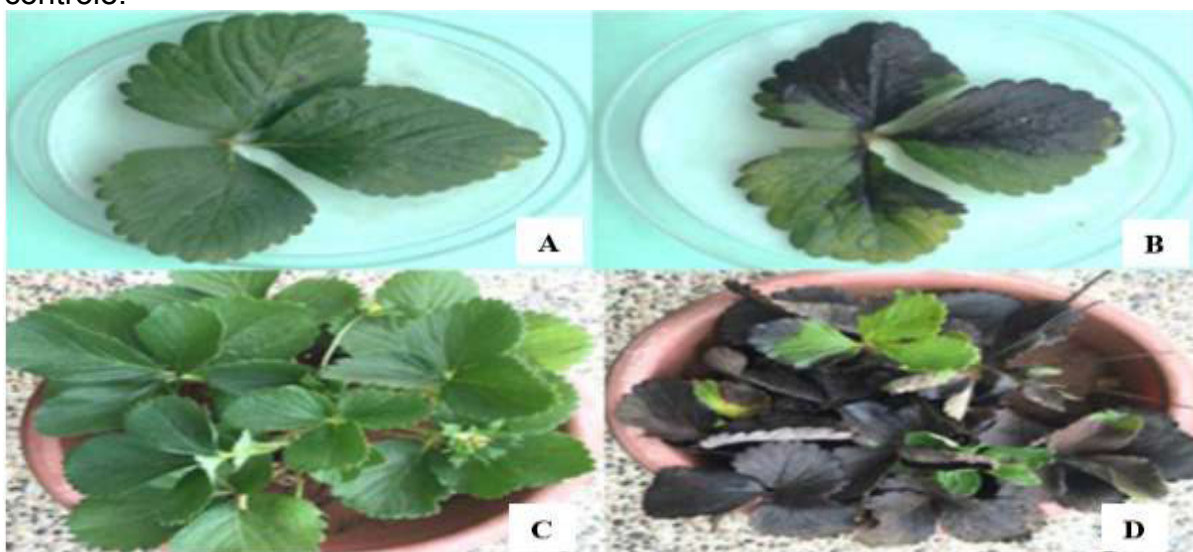
Em ensaio de coinoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e cepas do fungo, *T. harzianum* demonstrou ser antagonista a cinco patógenos da soja. Este método de coinoculação pode permitir benefícios do *T. harzianum* na atividade de controle biológico (ITURRALDE *et al.*, 2020). Desta forma, Zin e Badaluddin (2020), relata que

os benefícios da aplicação de *Trichoderma spp.* quando combinado com outros produtos são capazes de controlar diferentes doenças de plantas.

As espécies de *Trichoderma harzianum*, *T. asperellum*, *T. atroviride*, *T. strigosum*, *T. longibrachiatum*, e *T. koningiopsis* ou *T. ovalisporum* são eficientes como indutores de resistência à antracnose. *Trichoderma spp.* quando introduzidos no substrato reduziram os sintomas da doença, conferindo um nível de proteção sistêmica que variou de 56,36 a 88,39% (SILVA, V. *et al.*, 2011).

Trichoderma harzianum inibiu completamente o aparecimento de antracnose em morangueiros em condições de laboratório e de campo (Figura 4). Os resultados deste estudo indicam ainda que *Trichoderma spp* é eficaz no biocontrole de mofo cinzento e oídio em morangos cultivados em condições de campo (ES-SOUFI *et al.*, 2020).

Figura 4 - Teste de inibição da Antracnose em plantas de morango - (A): *in vitro* - planta com agente causal da doença e tratada com *T. harzianum*, (B): planta infectada e não tratada, (C): *in vivo* - planta infectada e tratada com *T. harzianum*, (D): controle.



Fonte: ES-SOUFI *et al.*, (2020).

Recentemente, pesquisadores da Índia como Manzar *et al.* (2021), mostraram que isolados de *T. asperellum* também controlam eficientemente a antracnose na cultura do milheto (*Sorghum bicolour* L.). Os pesquisadores salientam que o fungo pode reduzir a severidade da doença tanto em cultivo protegido, quanto em condições de campo.

Na supressão de *Fusarium moniliforme* em milho, a espécie *T. viride* apresentou os maiores resultados em ambos os ensaios, *in vivo* e *in vitro*, com 95% de inibição do crescimento do patógeno em meio de cultura, apresentando-se como agente de biocontrole (MEDEIROS, MARTINS e MIRANDA, 2020). Ademais, estes autores frizam que 4 espécies testadas têm potencial antagônico contra *F. moniliforme*.

Aplicado via solo as cepas de *Trichoderma* apresentaram maior potencial de biocontrole, chegando a taxa de 90% e quando aplicado via foliar atingiu o nível de até 85% nas plantas. Corroborando o assunto, Zhi-Xiang, *et al.* (2020), mostraram que cepas de *Trichoderma spp.* foram eficientes na inibição da infecção promovida por patógenos causadores da podridão do caule do milho, principalmente na fase de crescimento da planta. Sendo também eficiente no controle de outras pragas do solo.

O antagonismo de doenças do arroz por cepas de *Trichoderma* já foi observado em diversas pesquisas. *Trichoderma harzianum* (cepa A-34) e seus filtrados alcançaram eficiências entre 60% e 93,2% no controle das doenças conhecidas como mancha parda (*Bipolaris oryzae*), podridão da bainha (*Sarocladium oryzae*) e queima do arroz (*P. grisea*), produzindo uma diminuição na área sob a curva de progresso dessas doenças (PÉREZ-TORRES *et al.* 2018). Não obstante, Pérez-Torres *et al.* (2017), também já haviam mostrado resultados que provaram que esta mesma cepa teve uma grande capacidade de controlar a doença da queima do arroz causada por *P. grisea*, o antagonismo nesse caso se deu em até 100% de inibição do patógeno por competição.

Em experimento *in vitro* e *in vivo* feitos por Cruz (2018), com a doença que ataca a cultura do arroz conhecida como mancha parda, causada pelo fungo *B. oryzae* foi possível comprovar que todas as cepas utilizadas mostraram eficiência no controle da doença e, conseqüentemente, a severidade e a incidência da mesma foi reduzida em função da aplicação do fungo.

Rondoy e Severino (2019), também utilizaram isolados de *Trichoderma harzianum* em ensaios na rizicultura e observaram que o fungo testado apresentou uma significativa capacidade antagônica contra *Rhizoctonia solani* nesta cultura. De acordo com os pesquisadores citados acima, a grande vantagem é que o tratamento das plantas feito com *Trichoderma spp.* não causa nenhum prejuízo sobre outras linhagens nativas benéficas já presentes no local de cultivo.

2.6 Produção, replicação de *Trichoderma spp.* em laboratório agrícola ou na própria fazenda

No processo de produção destes fungos Cárdenas (2010), afirma que para se obter um produto final a base de *Trichoderma spp.* com uma vida útil mais longa, é necessário seguir alguns parâmetros básicos dentro do local de produção, como o controle da temperatura e umidade no local de armazenamento. Neste caso, é possível que se produza ou multiplique o fungo até mesmo na própria fazenda.

Existem muitas formas de replicação do fungo, este trabalho pode ser realizado com estrutura física e equipamentos simples nas fazendas, aliado a um conhecimento básico do fungo que permita reconhecê-lo e criar condições favoráveis ao seu desenvolvimento (BERNARDO *et al.*, 2019).

No quadro 3, Bernardo *et al.* (2019), mostra a partir dos resultados obtidos em sua pesquisa que na propriedade rural e em condições de campo, o produtor também pode obter seus próprios isolados de *Trichoderma spp.* seguindo o passo a passo deste processo.

Quadro 3 - Fases do método de replicação e multiplicação de *Trichoderma spp.*

Fase	Descrição	DAFA*	Insumos
1	Distribuição de iscas no campo	-	Toletes de cana (20 a 30 cm)
2	Coleta de iscas no campo e traslado a laboratório com condições controladas na fazenda	7	Bandejas de plástico
3	Câmara úmida para iscas de campo	7	Gerbox ou plásticos com tampa, papel toalha, água não clorada
4	Captura do fungo e re-isolamento	7 -15	Toletes limpos (5 a 10 cm), palito de dente, gerbox ou plásticos com tampa, papel toalha, água não clorada
5	Isolamento em meio de cultivo	7	Meio BDA, placas de Petri (8 a 10 cm de diâmetro), palitos de dente, fluxo laminar
6	Caracterização de gênero	15	Trabalho de pessoal especializado
7	Uso na inoculação de novos substratos	5	Substratos (arroz, toletes de cana, etc.), palitos de dente

Fonte: BERNARDO *et al.*, (2019) - modificada pelo autor.

* Dias após a fase anterior

Após estas etapas, o produtor poderá utilizar os isolados na inoculação de novos substratos ou utilizá-los diretamente no campo como ferramenta de controle biológico, lavando os toletes de cana e diluindo a suspensão de conídios em uma quantidade maior de água no pulverizador e aplicar na cultura quando se trata de cultivos em áreas menores.

2.7 Multiplicação de isolados de *Trichoderma spp.* em grãos de arroz

Atualmente, o processo de produção se baseia na multiplicação por meio da fermentação em substrato sólido (MUNIZ *et al.*, 2018). De maneira geral, o processo de produção sólida empregado atualmente no país é simples e pouco automatizado, mas é eficiente e de custo compatível com a agricultura nacional (LOPES, 2009). O substrato mais utilizado para este fim são os grãos de arroz, seguindo metodologias adequadas.

Existem muitas metodologias para a produção e multiplicação do fungo, assim cada pesquisador adota ou adequa aquela que atende melhor suas necessidades, dependendo de suas condições de trabalho.

Braúna (2011), utilizou frascos de 125 ml, adicionando 20 g de substrato em cada. Em seguida o substrato foi umedecido com água destilada, testando as proporções de 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100% de água. Vedando-se os frasco com tampão de algodão e deixando-os em repouso por 3, 6, 12, 15, 18, 21 e 24 h, antes de autoclavar a 120°C por 20 min.

Os frascos foram acondicionados em câmara de crescimento, à 25°C e 12 h de luz, por 6 dias. A cada 2 dias, os substrato foram revolvidos para promover a aeração e quebra do micélio, promovendo um aumento da superfície de contato com o ar, para favorecer a esporulação do fungo (BRAÚNA 2011).

Pode-se também, adicionar 100 gramas de arroz parboilizado e 50 ml de água destilada em embalagens de polipropileno (aproximadamente 20 x 30 cm), fechar as embalagens com fita crepe e esterilizar em autoclave durante 25 minutos a 121°C. (STEFFEN e MALDANER, 2019). Processo semelhante também foi utilizado por Fortes *et al.* (2007), em experimento para a obtenção de isolados do fungo *Trichoderma harzianum*.

Uma vez resfriados (12 a 24 h), os sacos com o arroz foram transferidos para uma câmara de fluxo laminar para a inoculação (AGUILERA *et al.*, 2020). Em seguida,

de acordo com Steffen e Maldaner (2019), transferiu-se 5 discos de 9 mm de diâmetro com micélios de *Trichoderma spp.* provenientes de cultura pura do fungo crescidos em meio BDA (Figura 5).

Seguindo o mesmo método, as embalagens foram mantidas em local com luminosidade e temperatura controlada ($25 \pm 1^\circ \text{C}$), permanecendo 12 h no escuro e 12 h com luz, durante cinco dias, o que segundo Steffen e Maldaner (2019), após este período os grãos estarão completamente colonizados pelo fungo. Em seguida, deve-se revolver as embalagens promovendo a aeração do substrato e a fragmentação do micélio do fungo, visando aumentar a superfície de contato e a taxa de esporulação.

Figura 5 - Multiplicação de cultura pura de *Trichoderma spp.* em grãos de arroz.



Fonte: STEFFEN E MALDANER, (2019).

Braúna (2011), testou os isolados CEN162 e CEN238 de *T. asperellum* para a produção de esporos em arroz e milho. As maiores taxas de esporulação foram obtidas no arroz parboilizado, sendo que os valores médios de esporos foram de $3,63 \times 10^{10}$ conídios/grama e $10,91 \times 10^{10}$ conídios/grama, respectivamente.

O arroz tem sido um dos substratos mais utilizados para o crescimento e esporulação de fungos agentes de controle biológico (MARQUES *et al.*, 2007).

Para Thangavelu *et al.* (2004) e Fortes *et al.* (2007), os grãos de cereais têm sido utilizados pelo fato de geralmente, oferecerem diversas vantagens como por exemplo: o baixo custo, a disponibilidade, o rendimento, bem como a praticidade no cultivo de bioagentes. Adicionalmente, eles apresentam facilidade para quantificação dos propágulos produzidos (Figura 6).

Figura 6 - Uso de grãos de arroz para a produção de fungos do gênero *Trichoderma* em laboratório agrícola.



Fonte: FOTOS DO AUTOR, (2021).

No entanto, Marques *et al.* (2007), recomendam que se deve desenvolver novas pesquisas no sentido de descobrir ou produzir outros substratos de menor valor, que sejam tão eficientes quanto o arroz, mas que não sejam insumos empregados na alimentação humana. Especialmente quando o intuito é o desenvolvimento de biofungicidas (FILHO, M. *et al.*, 2008).

Já em termos de esporulação em substrato sólido, os isolados de *Trichoderma* spp. apresentam respostas variáveis, com o tipo de substrato e período de avaliação utilizado (FILHO, M. *et al.*, 2008). Corroborando o entendimento, Braúna (2011), diz que a esporulação é uma característica dependente dos isolados, fazendo parte da triagem para a seleção do agente biocontrolador, fato importante na produção de grandes quantidades de biomassa quando objetivo é a utilização em larga escala.

Com relação ao teor de umidade, Aguilera *et al.* (2020), afirma que há muita divergência nas pesquisas a respeito da porcentagem adequada da umidade dos grãos de arroz. Para o referido pesquisador, os melhores resultados obtidos por ele em seus experimentos foi no teor de 45%. Por outro lado, outros autores afirmam que o fungo tem crescimento ideal em uma faixa de umidade no intervalo de 30 a 75%, embora Costa, (2012) recomende que a umidade ideal seria na faixa de 75% para uma produção eficiente de esporos do fungo *Trichoderma* spp.

3 Considerações finais

Este trabalho de conclusão de curso é uma tentativa resumida e compacta de melhorar o entendimento acerca do controle biológico com *Trichoderma spp.* na produção agrícola. É uma revisão de caráter técnico e científico que expõe os benefícios do uso do fungo na proteção de plantas cultivadas tanto em escala comercial, quanto em pequena escala, contra os patógenos causadores das principais doenças de importância agrônômica.

Através do levantamento de pesquisas publicadas em artigos científicos, é possível notar a eficiência das diferentes cepas de *Trichoderma* como agente de biocontrole. E essa eficiência é dependente de fatores como a linhagem do fungo utilizada, pragas ou doença alvo e ainda a cultura na qual se pretende promover este controle.

Os resultados mostrados pelos autores permitem concluir que os fungos do gênero *Trichoderma* têm grande potencial de uso e são candidatos promissores na estratégia do controle biológico no meio de produção agrícola. Porém, é de extrema relevância o desenvolvimento de novas pesquisas, no que diz respeito aos seus mecanismos de ação, bem como no sentido de se desenvolver novos produtos comerciais a base de *Trichoderma spp.* principalmente, produtos com mais especificidade para determinadas culturas.

O aumento no uso deste agente de controle biológico no campo poderá trazer inúmeros benefícios aos produtores rurais e ao meio ambiente, uma vez que o uso do fungo como antagonista de doenças de plantas pode ser uma alternativa eficaz na redução dos impactos ambientais.

A adoção dessa prática pode trazer maior mitigação dos danos já causados pelas moléculas químicas ao meio ambiente, promover a redução nos custos de produção, trazendo maior rentabilidade econômica e garantir mais qualidade de vida ao agricultor e as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

- ADNAN, M. *et al.* Plant defense against fungal pathogens by antagonistic fungi with *Trichoderma* in focus. **Microbial Pathogenesis**, 28 jan. 2019. p.7-18. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/micpath>. Acesso em: 26/01/2021.
- AGUILERA, J. G. *et al.* Otimização do método de produção massal de *Trichoderma asperellum* (Ascomycota: Hypocreaceae) em arroz. **Acta Biológica Catarinense**, v. 7, n. 3, p. 46-58, jul.-set., 2020.
- AMIN, F. *et al.* Potential of *Trichoderma* species as biocontrol agents of soil borne fungal propagules. **Journal of Phytology**. vol. 2, p. 38-41. 2010.
- ALMEIDA, A. **Trichoderma: diversidade genética e fusão de protoplastos**. Universidade Federal de Lavras. Lavras, p. 54. 2016.
- AL-HAZMI, A. S.; TARIQJAVEED, M. Effects of different inoculum densities of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* against *Meloidogyne javanica* on tomato. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 23, n. 2, p. 288–292, Mar. 2016.
- ÁVILA, Z. R. *et al.* Seleção de isolados de *Trichoderma* spp. antagônicos a *Sclerotium rolfii* e *Sclerotinia sclerotiorum*. **Embrapa Recursos Genéticos: Boletim Técnico de Desenvolvimento e Pesquisa** 177, 30p. Brasília, 2005.
- BEDENDO, I. P.; MASSOLA JUNIOR, N. S.; AMORIM, L. Controle cultural, físico e biológico de doenças de plantas. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIM FILHO, A. (Ed.). **Manual de fitopatologia**. 4 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2011. p. 367-388.
- BETTIOL, W. *et al.* Supressividade a Fitopatógenos Habitantes do Solo. In: BETTIOL, W. **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa, 2009. Cap. 12, p. 187-208. ISBN 978-85-85771-48-5.
- BETTIOL, W. (Org.). **Controle biológico de doenças de plantas**. EMBRAPA-CNPDA, (Documentos, 15). 388 p. Jaguariúna, 1991.
- BERNARDO, J. T. *et al.* Isolamento on farm de *Trichoderma*: uma ferramenta no controle de doenças de solo para os agricultores no Brasil. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 5, n. 3, p. 263-270, dez. 2019.
- BISSETT, J. A. revision of the genus *Trichoderma*. II. Infrageneric classification, **Canadian Journal of Botany**. v. 69, n. 11 p. 2357-2372, nov. 1991. DOI: 10.1139/b91-297.
- BISSETT, J. *et al.* Accepted *Trichoderma* names in the year 2015. **IMA Fungus**, v. 6, n. 2, p. 263–295, dez. 2015.

BRAÚNA, L. M. **Controle Biológico do Mofo Branco por Isolados de *Trichoderma* nas Culturas de Soja e Feijão Comum**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília - Departamento de Fitopatologia. Brasília. 2011.

CÁRDENAS, Y. G. Métodos de conservación y formulación de *Trichoderma harzianum* rifai. **Fitosanidad**, v. 14, n. 3, p. 189-195, set. 2010.

CARVALHO, N. L. Resistência genética induzida em plantas cultivadas. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v 7, nº 7, p. 1379-1390, 2012.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A. *et al.* Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. **FEMS Microbiology Ecology**. v. 92, n. 4 fiw036. 2016. DOI: 10.1093/femsec/fiw036

COSTA, J. da L. **Seleção de fungos endofíticos produtores de ácido indol acético (AIA) para formulação de inoculantes**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 67. 2012.

CHAVES, P. P. N. **Qualidade de mudas de alface inoculadas com *Trichoderma* e reação de plantas adultas de alface a nematoides de galhas na presença de *Trichoderma***. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Tocantins - Câmpus de Gurupi. Gurupi, p. 144. 2015.

CHET, I.; INBAR, J.; HADAR, I. Fungal antagonists and mycoparasites. In: WICKLOW, D. T.; SÖDERSTRÖM, B. (Org.). **The Mycota IV: Environmental and microbial relationships**. Berlin-Germany: Springer-Verlag, 1997. p.165-184.

CHOUDHARY, D. K.; PRAKASH, A.; JOHRI, B. N. Induced systemic resistance (ISR) in plants: mechanism of action. **Indian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 4, p. 289-297, 2007. DOI: 10.1007/s12088-007-0054-2.

CRUZ, J. M. F. D. L. **Controle Biológico de *Bipolaris oryzae* em arroz vermelho**. (TCC) - Universidade Federal da Paraíba. Areia-PE, p. 76. 2018.

DILDEY, O. D. F. *et al.* Inibição do crescimento in vitro de sclerotinia sclerotiorum, causador de mofo branco, por isolados de *Trichoderma* spp. **Revista brasileira biociência**, v. 12, n. 3, p. 132-136, 2014.

DRUZHININA, I. S. *et al.* Massive lateral transfer of genes encoding plant cell wall-degrading enzymes to the mycoparasitic fungus *Trichoderma* from its plant-associated hosts. **PLoS Genetics**, v. 14, n. 4, 2018. DOI: 10.1371/journal.pgen.1007322.

DRUZHININA, I. S. *et al.* *Trichoderma*: the genomics of opportunistic success. **Nature Reviews Microbiology**, v. 9, n. 10, p. 749, 2011.

ES-SOUFI, R. *et al.* Biocontrol Potential of *Bacillus amyloliquefaciens* Bc2 and *Trichoderma harzianum* TR against Strawberry Anthracnose under Laboratory and Field Conditions. **Agricultural Sciences**, v. 11, n. 3, p. 260-277, Mar. 2020. ISSN Online: 2156-8561.

ETHUR, L. Z. **Dinâmica populacional e ação de *Trichoderma* no controle de fusariose em mudas de tomateiro e pepineiro**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, curso de Pós-Graduação em Agronomia. 154 f. 2006.

EVANS, H.; HOLMES, K.; THOMAS, S. Endophytes and mycoparasites associated with an indigenous forest tree, *Theobroma gileri*, In: Ecuador and a preliminary assessment of their potential as biocontrol agents of cocoa diseases. **Mycological Progress**, v. 2, p. 149-160, 2003.

FAO; Fao statistical yearbook 2013 world food and agriculture. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome p. 307, 2013.

FERRAZ, S.; DIAS, C. R.; FREITAS, L. G. Controle de nematoides com práticas culturais. In: Zambolim, L. (Ed.) - **Manejo Integrado-Fitossanidade: Cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Viçosa: Editora UFV, 52 p., 2010.

FILHO, R. D. C. **Identificação e relações filogenéticas, potencial de uso de isolados de *Trichoderma* no controle do mofo branco e como promotores de crescimento do feijoeiro**. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília. Brasília-DF, p. 123. 2013.

FILHO, M. R. C. *et al.* **Avaliação de Isolados de *Trichoderma* no Controle da Mancha Foliar do Eucalipto in Vitro e Quanto a Esporulação em Dois Substratos Sólidos**. EMBRAPA-Recursos Genéticos e Biotecnologia. Brasília, DF, p. 21. 2008. ISSN 1676-1340, 225.

FONTENELLE, A. D. B. *et al.* Growth promotion and induction of resistance in tomato plant against *Xanthomonas euvesicatoria* and *Alternaria solani* by *Trichoderma spp.* **Crop Protection**, v. 30, n. 11, p. 1492-1500, 2011.

FONTES, E. M. G.; PIRES, C. S. S.; SUJII, E. R. Estratégias de uso e histórico. In: FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Controle biológico de pragas da agricultura**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2020. Cap. 1, p. 21-43. ISBN 978-65-86056-01-3.

FORTES, F. O. *et al.* Promoção de enraizamento de microestacas de um clone de *Eucalyptus* sp. por *Trichoderma* spp. **Revista Árvore**, vol. 31, n. 2, p. 221-228, 2007.

GÖRGEN, C. A. *et al.* Controle do mofo-branco com palhada e *Trichoderma harzianum* 1306 em soja. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n. 12, p. 1583-1590, Dez. 2009.

GVEROSKA, B.; ZIBEROSKI, . *Trichoderma harzianum* as a biocontrol agent against *Alternaria alternata* on tobacco. **ATI - Applied Technologies & Innovations**, vol. 7, n. 21, p. 67-76, jun. 2012.

HARMAN, G. E. *et al.* *Trichoderma* species - opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews. Microbiology**, v. 2, n. 1, p. 43-56, 2004.

HERMOSA, R. *et al.* Secondary metabolism and antimicrobial metabolites of *Trichoderma*. In: GUPTA, V. K. *et al.* (Ed.). **Biotechnology and biology of *Trichoderma***. Amsterdam: Elsevier, cap. 10, p. 125-137. 2014. DOI: 10.1016/B978-0-444-59576-8.0010-2

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, jan. 2003. DOI: 10.1094/PDIS.2003.87.1.4.

ITURRALDE, E. T. *et al.* Coinoculation of soybean plants with *Bradyrhizobium japonicum* and *Trichoderma harzianum*: Coexistence of both microbes and relief of nitrate inhibition of nodulation. **Biotechnology Reports**, v. 26, junho 2020. ISSN 2215-017X.

JUNIOR, M.. Controle Biológico de Patógenos de Solo. In: HALFELD-VIEIRA, D. A., *et al.* **Defensivos agrícolas naturais: uso e perspectivas**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2016. Cap. 5, p. 80-100. ISBN 978-85-7035-642-0.

KHALILI, E. *et al.* Controle biológico da mancha marrom do arroz com isolados nativos de três espécies de *Trichoderma*. **Brazilian Journal Microbiology**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 297-305, mar. 2012. DOI: 10.1590/S1517-83822012000100035.

LEE, J. *et al.* The antagonistic properties of *Trichoderma* spp. inhabiting woods for potential biological control of wood-damaging fungi. **Holzforschung**, vol. 66, n. 7, 09, Oct, 2012. p. 883–887.

LOPES, R. B. Indústria no controle biológico: Produção e comercialização de microrganismos no Brasil, in: Bettiol, W.; Morandi, M. A. B., (Ed.). **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa, 2009. Cap. 2, p. 15-28. ISBN 978-85-85771-48-5.

LOUZADA, G. A. S. *et al.* Potencial antagônico de *Trichoderma* spp. originários de diferentes agroecossistemas contra *Sclerotinia sclerotiorum* e *Fusarium solani*. **Biota Neotrop.**, vol. 9, n. 3, 2009.

MANZAR, N. *et al.* Biocontrol potential of native *Trichoderma* spp. against anthracnose of great millet (*Sorghum bicolor* L.) from Tarai and hill regions in India. **Biological Control**, v. 152, jan. 2021.

MARQUES, G. A. *et al.* **Cultivo de *Trichoderma* spp. e *Dicyma pulvinata* em substratos sólidos**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, p. 5. 2007. ISSN: 9192-0099.

MARTINS, C. Y. S. **Promoção de crescimento e colonização radicular por *trichoderma* spp em pinhão manso (*Ricinus communis* L)**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. Cruz das Almas-Ba, 2010.

MEDEIROS, A. D. **Indução de resistência em tomateiro à *Meloidogyne javanica* por *Pochonia chlamydosporia* e *Trichoderma atroviride***. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa. VIÇOSA, MG, p. 94. 2014.

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**, Palmas, v. 4, n. 4, p. 169-178, dez. 2020. e-ISSN: 2594-7036.

MEIRELLES, B. **Resistência induzida por *Trichoderma harzianum* em resposta a *Alternaria alternata* em tomateiro**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia. Porto Alegre, p. 80. 2014.

MELLO, S. C. M. *et al.* Controle de doenças de plantas. In: FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Controle biológico de pragas da agricultura**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2020. Cap. 10, p. 291-328. ISBN 978-65-86056-01-3.

MELLO, S. C. M. *et al.* Cepas de *Trichoderma* para el control biológico de *Sclerotium rolfsii* Sacc. **Fitosanidad**, v. 11, n.1, p. 3-9. 2007.

MICHEREFF, S. J. & MARIANO, R. **Controle Biológico de doenças de plantas**. Recife. Imprensa Universitária-UFRPE, 1993.

MISAGHI, I. J. **Physiology and biochemistry of plant - pathogen interactions**. New Work: Plenum Press, 1982. 287 p. DOI: 10.1007/978-1-4684-1149-2.

MONTE, E; BETTIOL, W; HERMOSA, R. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. In: MEYER, M.; MAZARO,; SILVA, C. D. **Trichoderma: uso na agricultura**. 1. ed. Brasília - DF: EMBRAPA, 2019. Cap. 4, p. 181-199. ISBN 978-85-7035-943-8.

MOHAMED, H. A. L. A. & HAGGAG, W. M. Biocontrol potential of salinity tolerant mutants of *Trichoderma harzianum* against *Fusarium oxysporum*. **Brazilian Journal Microbiology**, vol. 37, n. 2, p.181-191. 2006.

MORANDI, M. A.; BETTIOL, W. Controle Biológico de Doenças de Plantas no Brasil. In: BETTIOL, W. **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa, 2009. Cap. 1, p. 7-14.

MUNIZ, P. H. P. C. *et al.* Produção de conídios em substrato sólido e colonização superficial por *Trichoderma harzianum*. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 4, p. 40-44, out./dez. 2018. ISSN 2358-6303.

MUKHERJEE, P. K.; HORWITZ, B. A.; KENERLEY, C. M. Secondary metabolism in *Trichoderma* – a genomic perspective. **Microbiology**, v. 158, n. 1, p. 35-45, 2012. DOI: 10.1099/mic.0.053629-0.

NACHTIGAL, G.F. **Espécies de *Trichoderma*: fungos benéficos a serem favorecidos por práticas adequadas de manejo**. 2012. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2012_1/Trichoderma/index.html>. Acesso em: 30/10/2021

NASERINASAB, F.; SAHEBANI, N.; ETEBARIAN, H. R. Biological control of *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum* BI and salicylic acid on tomato. **African Journal of Food Science**, v. 54, n. 4, p. 276-280. 2011. ISSN: 1996-0794

OYEKANMI, E. O. *et al.* Improving root-knot nematode management on two soybean genotypes through the application of *Bradyrhizobium japonicum*, *Trichoderma pseudokoningii* and *Glomus mosseae* in full factorial combinations. **Crop Protection**, v. 26, n. 7, p. 1006-1012, jul. 2007.

OLIVEIRA, C. M. de *et al.* Biological control of *Pratylenchus brachyurus* with isolates of *Trichoderma*. **Biological Control**, v. 152, jan. 2021.

ONU. Department of Economic and Social Affairs/Population Division World Population Prospects, Volume II: Demographic Profiles, 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Volume-II-Demographic-Profiles.pdf> acesso em: 08/01/2021.

PENG, K.-C. *et al.* Expression of L-amino acid oxidase of *Trichoderma harzianum* in tobacco. **Revista Plant Science**, v. 303, fev. 2021. ISSN: 0168-9452.

PÉREZ-TORRES, E. J. *et al.* Actividad antagónica de *Trichoderma harzianum* Rifai sobre el agente causal del tizón del arroz (*Pyricularia grisea* Sacc.). **Revista Centro Agrícola**, v. 44, n. 4, p. 13-19, jul.-sept. 2017. ISSN Imprensa: 0253-5785; ISSN on line: 2072-2001.

PÉREZ-TORRES, E. J. *et al.* EFICIENCIA DE *Trichoderma harzianum* (CEPA A-34) Y SUS FILTRADOS EN EL CONTROL DE TRES ENFERMEDADES FÚNGICAS FOLIARES EN ARROZ. **Revista Bioagro**, v. 30, n. 1, p. 17-26, 2018.

POMELLA, A. W. V.; RIBEIRO, R. T. D. S. Controle Biológico com *Trichoderma* em Grandes Culturas – Uma Visão Empresarial. In: BETTIOL, W. **Biocontrole de Doenças de Plantas: Uso e Perspectivas**. 1ª. ed. Jaguariúna: [s.n.], 2009. Cap. 15, p. 235-241.

PLESSIS, I. L. *et al.* The diversity of *Trichoderma* species from soil in South Africa, with five new additions. **Mycologia**, v. 110, n. 3, p. 559-583, 2018.

RESENDE, M. L. *et al.* Inoculação de sementes de milho utilizando o *Trichoderma harzianum* como promotor de crescimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras-MG, v. 28, n. 4, p. 793-798, 2004.

RIBEIRO, T. D. S. **o fungo *Trichoderma spp.* no controle de fitopatógenos: dificuldades e perspectivas**. (Monografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, p. 35. 2009.

RIFAI, M. A. A revision of the genus *Trichoderma*. **Mycological Papers**, vol. 116, p. 1-56, 1969.

RONDOY, M. G.; SEVERINO, N. V. Capacidad antagónica de *Trichoderma harzianum* frente a *Rhizoctonia*, *Nakatea sigmoidea* y *Sclerotium rolfsii* y su efecto en cepas nativas de *Trichoderma* aisladas de cultivos de arroz. **Scientia Agropecuaria**, v. 10, n. 2, p. 199-206, 2019.

ROMEIRO, R. S. **Controle biológico de doenças de plantas - procedimentos**. Viçosa, Editora UFV, 172 p 2007.

RUFINO, C. P. B.; ARAÚJO, C. da S.; NOGUEIRA, S. R. **Desafios na utilização do Controle Biológico de doenças de plantas na Amazônia**. SOUTH AMERICAN Journal of Basic Education, Technical and Technological. ISSN:2446-4821. v. 5. n. 1, Ano 2018. P. 248-262.

SAATH, K. C. de O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 56, n. 2, p. 195-212, jun., 2018.

SAMUELS, G. J. *et al.* The *Trichoderma koningii* aggregate species. **Studies in Mycology**, vol. 56, n. 1, p. 67–133, 2006.

SILVA, A. P. D. da. **O crédito rural e a situação do programa de agricultura de baixo carbono no agronegócio brasileiro**. Universidade Federal do Paraná - Departamento de Economia Rural e Extensão. Curitiba-PR, 2012.

SILVA, L. R. da *et al.* Morphological and protein alterations in *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary after exposure to volatile organic compounds of *Trichoderma spp.* **Biological Control**, v. 147, ago. 2020.

SILVA, R. D. *et al.* Volatile organic compounds emitted by *Trichoderma azevedoi* promote the growth of lettuce plants and delay the symptoms of white mold. **Biological Control**, jan 2021.

SILVA, V. N. da *et al.* Promoção de crescimento e indução de resistência à antracnose por *Trichoderma spp.* em pepineiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1609-1618, dez. 2011.

SHORESH, M.; HARMAN, G. E.; MASTOURI, F. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 21-43, 2010.

STEFFEN, G. P. K.; MALDANER, J. **Metodologia para multiplicação de *Trichoderma sp.* em substratos orgânicos-** (Boletim Técnico: pesquisa e desenvolvimento). Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, n. 1. 22 p. 2019.

STEIN, T. *Bacillus subtilis* antibiotics: structures, syntheses and specific functions. **Molecular Microbiology**, v. 56, n. 4, p. 845-857, 2005. DOI: 10.1111/j.1365-2958.2005.04587.x.

THANGAVELU, R.; PALANISWAMI, A.; VELAZHAHAN, R. Produção em massa de *Trichoderma harzianum* para o manejo da murcha *fusarium* da banana. **Agriculture**,

Ecosystems & Environment, vol. 103 n. 1, p. 259–263, 2004. DOI: 10.1016/j.agee.2003.09.026.

VENANCIO, W. S. *et al.* Uso do *Trichoderma* na cultura da batata. In: MEYER, C.; MAZARO, S. M; SILVA, C. D. **Trichoderma: uso na agricultura**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2019. Cap. 16, p. 381-391. ISBN 978-85-7035-943-8.

VIEIRA, B. de A. H. *et al.* **Defensivos agrícolas naturais: uso e perspectivas**. Brasília, DF: Embrapa, 2016.

WOO, S. L., *et al.* The molecular biology of the interactions between *Trichoderma spp*, phytopathogenic fungi and plants. **Phytopathology**, v.96, p.181-185, 2006.

ZEILINGER, S.; GRUBER, S.; BANSAL, R; MUKHERJEE, P. K. Secondary metabolism in *Trichoderma*-chemistry meets genomic. **Fungal Biology Reviews**, v. 30, n. 2, p. 74-90, 2016. DOI: 10.1016/j.fbr.2016.05.001.

ZIN, N. A.; BADALUDDIN, N. A. Biological functions of *Trichoderma spp.* for agriculture applications. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65, n. 2, p. 168-178, Dez. 2020.

ZHI-XIANG, L. *et al.* Screening of antagonistic *Trichoderma* strains and their application for controlling stalk rot in maize. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 19, n. 1, p. 145-152, Jan. 2020.