

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO**  
**CAMPUS CRISTALINA**  
**BACHARELADO EM AGRONOMIA**

POTENCIAL DE AGENTES BIOLÓGICOS E COMBINAÇÃO DE MÉTODOS NA  
INIBIÇÃO DE *FUSARIUM Sp. IN VITRO*.

**ANA CAROLINA PEREIRA DA FONSECA**  
**2024**

**ANA CAROLINA PEREIRA DA FONSECA**

**POTENCIAL DE AGENTES BIOLÓGICOS E COMBINAÇÃO DE MÉTODOS NA INIBIÇÃO DE *Fusarium*  
*sp. In vitro.***

Trabalho de curso apresentado ao curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Cristalina, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharelado em Agronomia.

Orientador(a): Profa. Dra. Geisiane Alves Rocha

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas (SIBI) – Instituto Federal Goiano**

F676p

Fonseca, Ana Carolina Pereira da.

Potencial de agentes biológicos e combinação de métodos na inibição de *Fusarium sp. in vitro* [manuscrito] / Ana Carolina Pereira da Fonseca. – Cristalina, GO: IF Goiano, 2024.

44 fls. : tabs.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Geisiane Alves Rocha.

Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Campus Cristalina, 2024.

1. Compatibilidade. 2. Controle químico. 3. Controle biológico. I. Rocha, Geisiane Alves. II. Título. III. Instituto Federal Goiano.

CDU 632

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese  | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação                                 | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação                  | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |   |

Nome Completo do Autor: Ana Carolina Pereira da Fonseca

Matrícula: 2020110200240097

Título do Trabalho: Potencial de agentes biológicos e combinação de métodos na inibição de *Fusarium* sp. *In vitro*

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: \_\_02/\_01\_/ 2025\_\_

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente  
 ANA CAROLINA PEREIRA DA FONSECA  
Data: 23/12/2024 08:00:30-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

\_\_\_\_Cristalina\_\_\_\_, \_\_22\_\_/\_12\_\_/\_2024\_\_\_.  
Local Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Documento assinado digitalmente  
 GEISIANE ALVES ROCHA  
Data: 23/12/2024 09:41:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a)



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

**Documentos 34/2024 - GENS-CRIS/CMPCRIS/IFGOIANO**

**BACHARELADO EM AGRONOMIA**

**Potencial de agentes biológicos e combinação de métodos na inibição de *Fusarium* sp. *in vitro***

**Autora: Ana Carolina Pereira da Fonseca**

**Orientadora: Geisiane Alves Rocha**

**TITULAÇÃO: Bacharel em Agronomia**

**APROVADA em 22 de Novembro de 2024**

**Profa. Dra. Geisiane Alves Rocha**

**Presidente da Banca**

**IF Goiano Campus Cristalina**

**Profa. Dra. Roberta Camargos de Oliveira**

**Membro da Banca**

**IF Goiano Campus Cristalina**

**Prof. Dr. Cássio Jardim Tavares**

**Membro da Banca**

**IF Goiano Campus Cristalina**

Documento assinado eletronicamente por:

- Geisiane Alves Rocha, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/11/2024 12:27:55.
- Cassio Jardim Tavares, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/11/2024 12:29:47.
- Roberta Camargos de Oliveira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/11/2024 21:04:52.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 22/11/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 654125

Código de Autenticação: ab9018de67



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Cristalina

Rua Araguaia, Loteamento 71, SN, Setor Oeste, CRISTALINA / GO, CEP 73850-000

(61) 3612-8500

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me concedeu serenidade, força e sabedoria para trilhar este caminho e concluir este trabalho. Sem sua graça, essa conquista não seria possível. Durante todos os momentos de dificuldade, foi nele que encontrei o equilíbrio e a paz necessários para continuar.

À minha amada família, meus pais Helisjane de Fatima e Diniz Geraldo, dedico todo e qualquer sucesso, que sob muito sol, me fizeram chegar aqui pela sombra e com água fresca. Vocês, que trabalharam incansavelmente para me proporcionar o melhor, me ensinaram o valor da honestidade, da perseverança e do amor ao próximo. Vocês, que me apoiaram em cada decisão, me incentivaram em cada desafio e me ampararam em cada queda. Vocês são a minha base e minha fortaleza. Agradeço a Deus todos os dias por ter me dado pais tão maravilhosos. Amo vocês mais do que as palavras podem expressar, esse diploma é de vocês.

A minha irmã, Juliana Aquino, pelo companheirismo. Agradeço por cada abraço, cada risada, cada palavra de apoio e incentivo durante essa faculdade. E ao meu sobrinho Caetano, que me apresentou o amor mais puro, te amo pequeno!

Ao meu namorado, David Almeida que esteve ao meu lado em todos os momentos, compartilhando alegrias e desafios. Sua presença e apoio constante foram fundamentais para que eu pudesse me dedicar e concluir essa etapa na minha vida.

À minha orientadora, Geisiane Alves, minha mais sincera gratidão. Sua paciência, dedicação e competência foram fundamentais para a realização deste trabalho. Agradeço pela disponibilidade e pela forma prática com que me ajudou a superar os desafios durante o desenvolvimento desse projeto.

Agradeço ao Instituto Federal Goiano - campus Cristalina, pela estrutura, conhecimento e oportunidades oferecidas ao longo da minha trajetória acadêmica.

Por fim, mas não menos importante, meu sincero agradecimento a todos que de alguma forma, fizeram parte desta etapa tão importante da minha vida. Cada palavra de apoio, cada gesto de carinho e cada sorriso de incentivo foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Levarei cada um comigo em minha jornada.

## RESUMO

A compatibilidade entre fungicidas químicos e biológicos é uma consideração importante no manejo integrado de doenças. Desse modo, o objetivo do trabalho foi verificar a compatibilidade entre fungicidas químicos e biológicos no crescimento *in vitro* de *Fusarium*. O experimento foi conduzido no Instituto Federal Goiano Campus Cristalina, na cidade de Cristalina-GO, em condições de laboratório. Todos os ensaios foram realizados em delineamento inteiramente casualizado (DIC), foram testadas diferentes concentrações de *Trichoderma asperellum* e de *Bacillus velezensis* no crescimento de *Fusarium* pelo método de culturas pareadas. O diâmetro das colônias foi medido a cada 24 horas por 7 dias. Todas as concentrações de *Trichoderma* e de *Bacillus* foram capazes de inibir o crescimento de *Fusarium*, o mesmo ocorreu com os fungicidas químicos testados. No teste de compatibilidade o *Trichoderma* teve crescimento micelial com Bixafem + Proticonozal + Trifloxtrobina e esporulação com Pidiflumetofen, e não houve crescimento com fungicida Metominostrobin + Tebuconazol. Os resultados mostram que a combinação de microrganismos e fungicidas químicos é uma ferramenta importante no manejo integrado de doenças de plantas.

**Palavras-chave:** compatibilidade; controle químico; controle biológico; manejo integrado.

## ABSTRACT

Compatibility between chemical and biological fungicides is an important consideration in integrated disease management. Thus, the objective of this study was to verify the compatibility between chemical and biological fungicides on the in vitro growth of *Fusarium*. The experiment was conducted at the Instituto Federal Goiano, Cristalina Campus, in the city of Cristalina-GO, under laboratory conditions. All tests were performed in a completely randomized design (CRD), and different concentrations of *Trichoderma asperellum* and *Bacillus velezensis* were tested on the growth of *Fusarium* by the paired culture method. Colony diameters were measured every 24 hours for 7 days. All concentrations of *Trichoderma* and *Bacillus* were able to inhibit the growth of *Fusarium*, as were the chemical fungicides tested. In the compatibility test, *Trichoderma* showed mycelial growth with Bixafem + Proticonozal + Trifloxtrobin and sporulation with Pidiflumetofen, and there was no growth with the fungicide Metominostrobin + Tebuconazole. The results show that the combination of microorganisms and chemical fungicides is an important tool in the integrated management of plant diseases.

**Keywords:** compatibility; chemical control; biological control; *integrated management*.

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Experimento avaliando o efeito de diversas concentrações de <i>Bacillus velezensis</i> em culturas pareadas com <i>Fusarium</i> sp.....	18
<b>Quadro 2</b> - Fungicidas químicos e doses utilizados para realizar os ensaios de compatibilidade.....	20
<b>Quadro 3</b> - Tratamentos dos ensaios de compatibilidade de <i>T. asperellum</i> e fungicidas químicos .....	20
<b>Quadro 4</b> - Experimento avaliando o efeito de diversas concentrações de <i>Bacillus velezensis</i> em culturas pareadas com <i>Fusarium</i> sp .....	21

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Inibição do crescimento de <i>Fusarium</i> sp. pelo <i>T. asperellum</i> na concentração de $1.10^6$ conídios.mL <sup>-1</sup> .....	23
<b>Figura 2</b> - Crescimento ao longo do tempo de <i>Fusarium</i> sp. e <i>T. asperellum</i> em ensaio de culturas pareadas (experimento 1).....	25
<b>Figura 3</b> - Crescimento ao longo do tempo de <i>Fusarium</i> sp. e <i>T.asperellum</i> em ensaio de culturas pareadas (experimento 2).....	27
<b>Figura 4</b> - Cultivo pareado de <i>T. asperellum</i> e <i>Fusarium</i> sp. em meio de cultura com o Fungicida 1 após 120 horas de incubação. ....	29
<b>Figura 5</b> - Crescimento de <i>T. asperellum</i> e <i>Fusarium</i> sp. ao longo do tempo em meios de cultura com e sem Fungicida Químico 1.....	30
<b>Figura 6</b> - Inibição do crescimento de <i>T. asperellum</i> e <i>Fusarium</i> sp. na presença do Fungicida Químico 1.....	31
<b>Figura 7</b> - <i>T. asperellum</i> em meio de cultura com Fungicida Químico 1 e em meio de cultura sem fungicida (à direita). ....	31
<b>Figura 8</b> - Crescimento de <i>T. asperellum</i> e <i>Fusarium</i> sp. ao longo do tempo em meios de cultura com e sem Fungicida 2.....	32
<b>Figura 9</b> - Inibição do crescimento de <i>T. asperellum</i> e <i>Fusarium</i> sp. na presença do Fungicida Químico 2.....	32
<b>Figura 10</b> - Cultivo pareado de <i>T. asperellum</i> e <i>Fusarium</i> sp. meio de cultura com o Fungicida 2 após 144 horas de incubação... ..	33
<b>Figura 11</b> - Esporulação de <i>T. asperellum</i> em meio de cultura com Fungicida Químico 2.....	34
<b>Figura 12</b> - Cultivo pareado de <i>T. asperellum</i> e <i>Fusarium</i> sp. em meio de cultura com o Fungicida Químico 3 após 120 horas de incubação.....	35
<b>Figura 13</b> - Inibição do crescimento de <i>Fusarium</i> sp. pelo <i>B. velezensis</i> na menor concentração. ....	36
<b>Figura 14</b> - Inibição do crescimento de <i>Fusarium</i> sp. pelo <i>B. velezensis</i> na maior concentração. ....	36
<b>Figura 15</b> – Crescimento ao longo do tempo de <i>Fusarium</i> sp em ensaio de culturas pareadas com <i>B. velezensis</i> na concentração de $1.10^8$ a $1.10^2$ UFC. mL <sup>-1</sup> .....	38
<b>Figura 16</b> - Porcentagem de inibição do <i>Fusarium</i> sp. ao longo do tempo em meio de cultura com a presença de <i>B.velezensis</i> na concentração de $1.10^8$ UFC.mL <sup>-1</sup> .....	38

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
2.1 <i>Trichoderma</i> sp.....	13
2.2 <i>Bacillus</i> sp.....	14
2.3 <i>Fusarium</i> sp e a importância do manejo integrado .....	15
<b>3 OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>16</b>
<b>4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>16</b>
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
5.1 Instalação e condução dos experimentos com <i>Trichoderma asperellum</i> .....	17
5.2 Instalação e condução dos experimentos de compatibilidade.....	18
5.3 Instalação e condução dos experimentos com <i>Bacillus velezensis</i> .....	20
5.4 Cálculo de porcentagem de inibição e Análise estatística .....	21
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>23</b>
6.1 Efeito de diferentes concentrações de <i>T. asperellum</i> na inibição do crescimento de <i>Fusarium</i> sp.....	23
6.2 Compatibilidade de <i>Trichoderma asperellum</i> com fungicidas químicos .....	28
6.3 Efeito de <i>Bacillus velezensis</i> na inibição do crescimento de <i>Fusarium</i> sp. ....	35
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>8 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As espécies de *Fusarium* constituem um grupo de fungos que podem ser encontrados em todo o mundo, sendo frequentemente localizadas no solo. Esses fungos têm a capacidade de agir como patógenos em várias culturas agrícolas de importância econômica, causando doenças como a murcha vascular, o tombamento de plântulas (*damping off*), podridões nas raízes e na base do caule (Wakelin *et al.*, 2008). Após ser introduzido em áreas de cultivo, esse patógeno pode persistir por muitos anos, em virtude de sua capacidade de produzir estruturas de resistência, como os clamidósporos (Agrios, 2005).

O uso de fungicidas, tanto químicos quanto biológicos, desempenha um papel importante no manejo de doenças em plantas. No entanto, é essencial compreender os impactos desses produtos, tanto positivos quanto negativos, para garantir um equilíbrio adequado entre a proteção das plantas e a preservação do meio ambiente. O uso irracional de fungicida químico pode levar ao surgimento de populações de fungos resistentes (Reis, 2021). Além disso, muitas moléculas químicas não são aceitas em produtos para exportação. Desse modo, a utilização de fungicidas biológicos torna-se uma ferramenta essencial para manejo de doenças de plantas em diferentes culturas (Kupper *et al.*, 2003).

O manejo integrado de doenças de plantas visa a utilização de diferentes métodos de controle utilizados em combinação para minimizar o efeito da doença. Para que isso seja viável é necessário que esses métodos sejam compatíveis entre si. Nesse contexto, existe uma crescente demanda para produtos biológicos compatíveis com os químicos já existentes no mercado, entretanto, poucas informações se têm sobre o efeito dessa combinação no desenvolvimento dos patógenos (Rocha *et al.*, 2014).

No Brasil, tem aumentado a adoção de defensivos biológicos para o controle e manejo integrado de pragas (Bettiol; Medeiros, 2023). Entretanto, mesmo com a assistência técnica das empresas comercializadoras de tais defensivos, muitos produtores ainda utilizam os produtos biológicos de forma inadequada, seja pela aplicação em condições ambientais desfavoráveis para o microrganismo, seja pelas inúmeras misturas nos tanques de pulverização (Bettiol; Morandi, 2009).

A compatibilidade entre fungicidas químicos e biológicos é uma consideração importante no manejo integrado de doenças. Essa compatibilidade refere-se à capacidade de utilizar esses dois tipos de fungicidas juntos, de modo que não haja interferência negativa na eficácia de nenhum deles. Em determinados casos o princípio ativo do agrotóxico

químico não é capaz de inibir o crescimento do microrganismo benéfico, mas como existem diferentes formulações no mercado, alguns inertes presentes nessas formulações podem ser nocivos aos microrganismos, isso pode acontecer com fungicidas, inseticidas e até mesmo adjuvantes (Petter *et al.*, 2012). Desse modo, a compatibilidade pode variar dependendo dos produtos específicos utilizados, das condições de aplicação e do momento em que são usados. É importante considerar as características de cada fungicida e entender como eles podem interagir entre si.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os agrotóxicos começaram a ser usados no Brasil na década de 60, quando o governo lançou um plano nacional de defensivos agrícolas. Essa ação fazia parte das iniciativas da "Revolução Verde" e buscava modernizar a agricultura, oferecendo crédito rural para incentivar o uso desses produtos (Giraldo, 2001). Desde a Revolução Verde até o presente, o uso de agrotóxicos no Brasil tem crescido de forma significativa. A partir de 2008, o país se tornou o maior consumidor de agrotóxicos do mundo (Dutra; Souza, 2017).

Apesar da efetividade dos produtos químicos no controle das doenças, o uso excessivo ou inadequado desses fungicidas pode ter impactos negativos. O uso repetido de um único modo de ação pode levar ao desenvolvimento de resistência por parte dos fungos, tornando os fungicidas menos eficazes ao longo do tempo. Além disso, os resíduos de alguns fungicidas podem persistir no ambiente. Desse modo, métodos alternativos que reduzem o uso intensivo desses produtos devem ser utilizados (Lenz *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2014).

Em contraste, os fungicidas biológicos são baseados no uso de microrganismos, como bactérias e fungos benéficos, que têm a capacidade de suprimir ou controlar diferentes patógenos de plantas. Esses agentes biológicos podem agir por meio de diferentes mecanismos, como a competição por nutrientes e espaço, pela produção de metabólitos antimicrobianos ou a ativação do sistema de defesa das plantas. Além disso, os fungicidas biológicos são mais seguros ao meio ambiente e a saúde humana (Kupper *et al.*, 2003; Meyer *et al.*, 2022).

Dentre os defensivos biológicos, os a base de *Trichoderma* e de *Bacillus* são os mais comumente utilizados na agricultura. O sucesso desses microrganismos é devido ao elevado número de alvos que eles conseguem controlar e devido a sua versatilidade de aplicação, controlando desde patógenos radiculares quanto patógenos foliares (Benítez *et al.*, 2004; Machado *et al.*, 2012; Bortolin *et al.*, 2019; Rabbee *et al.*, 2019; Da Silva *et al.*, 2022; Mosela *et al.*, 2022).

### 2.1 *Trichoderma* sp.

O *Trichoderma* é um gênero de fungo benéfico de vida livre que habita o solo, possuindo uma grande importância para a agricultura. Os fungos pertencentes a esse gênero são utilizados como agente de controle biológico, além de estimular o crescimento e aumentar a resistência das plantas contra doenças (Fortes *et al.*, 2007; Mohamed; Haggag, 2006). Devido a esses diversos fatores, o *Trichoderma* se tornou o agente de controle biológico de doenças de plantas mais estudado tanto no Brasil quanto em outros países da América Latina (Bettiol *et al.*, 2008). Já existem diferentes trabalhos sobre sua efetividade no manejo doenças fúngicas em diferentes

culturas (Bortolin *et al.*, 2019; Monte *et al.*, 2019).

Michereff *et al.* (1993) relataram por meio de experimentos *in vitro* com culturas pareadas a inibição do crescimento de *Colletotrichum graminicola* por isolados de *Trichoderma* spp. Além disso, constataram que esses organismos produziram metabólitos extracelulares que impediram o crescimento do patógeno.

Outro exemplo tem-se por Azevedo *et al.* (2020) que testaram isolados de *Trichoderma* sp. como antagonistas de *Fusarium solani* e *Fusarium oxysporum*, e os resultados mostraram que esses isolados são competidores eficazes, produzindo metabólitos que inibem o crescimento micelial dos patógenos. Por fim, foi observado também por Sundaramorthy Balabaskar (2013) que a espécie de *Trichoderma harzianum* foi capaz de inibir o crescimento micelial *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* em condições de testes *in vitro* e também *in vivo*. Todos esses trabalhos mostram a eficácia dos mecanismos de *Trichoderma* como agente de controle biológico para diferentes patógenos de plantas.

## **2.2 *Bacillus* sp.**

As espécies de *Bacillus*, em sua maioria saprófitas, estão amplamente disseminadas no ambiente, especialmente no solo, que é seu habitat natural. Elas têm a capacidade de ocupar variados nichos ecológicos em interação com plantas, colonizando diferentes partes vegetativas. Essas bactérias podem ser encontradas na rizosfera, no rizoplano (como rizobactérias), no filoplano (de maneira epifítica) e até mesmo nos tecidos internos das plantas (Ongena *et al.*, 2005).

As bactérias do gênero *Bacillus* se caracterizam por células em formato de bastonete e são Gram-positivas. Elas podem ser aeróbias ou facultativas, possuem catalase positiva e costumam ser móveis, devido ao flagelos dispostos ao redor da célula. Outra característica importante é a capacidade de formar endósporos, que servem como estruturas de proteção e resistência em condições adversas (Kotiranta *et al.*, 2000).

Os produtos derivados de *Bacillus* são amplamente utilizados no controle biológico de doenças, contribuindo para o aumento da produtividade das culturas. Essa eficácia está ligada a várias características do gênero, incluindo a capacidade de formar endósporos, promover o crescimento das plantas, produzir compostos antimicrobianos (como antibióticos e lipopeptídeos), competir por espaços de colonização e nutrientes, além de gerar enzimas degradantes e induzir resistência nas plantas (Whipps, 2001). Sua eficácia contra fungos, bactérias e nematoides, combinada com a facilidade de cultivo, juntamente com *Trichoderma*, torna-o uma escolha popular para produtos biológicos. No Brasil, estão registrados 142

produtos à base de *Bacillus* spp. (Agrofit, 2023).

### **2.3 *Fusarium* sp. e a importância do manejo integrado**

O gênero *Fusarium* inclui fungos necrotróficos que vivem no solo e são fitopatogênicos, com várias espécies causando doenças severas em plantas em diferentes regiões. O patógeno apresenta, dois tipos de conídios: os macroconídios, que são multicelulares que são formados por mais do que uma célula, e os microconídios, que são menores, com apenas uma célula e um núcleo. As particularidades no desenvolvimento dos macroconídios e microconídios, além da formação de clamidósporos, constituem critérios essenciais para a distinção entre espécies de *Fusarium* sp. (Ventura, 1999).

As espécies de *Fusarium* podem persistir no solo como saprófita ou na forma de clamidósporos, que são estruturas de resistência bem comum nas espécies desse gênero. Esse fungo pode ser propagado por meio de sementes contaminadas, vento, água e implementos agrícolas. Muitas espécies desse fungo são conhecidas como causadores da doença fusariose em diversas plantas cultivadas. A compactação do solo, altos níveis de acidez, umidade elevada e o uso excessivo de matéria orgânica como adubo são fatores que intensificam a severidade da doença (Barbosa *et al.*, 2012).

Diversas estratégias são recomendadas para mitigar danos fitossanitários, mas muitas podem contaminar o ambiente ou tornar o agroecossistema insustentável se não forem aplicadas adequadamente. Mesmo as práticas biocompatíveis, quando utilizadas isoladamente, frequentemente não garantem um controle eficaz, destacando a necessidade de um manejo integrado das doenças (Bettiol; Morandi, 2009). A estratégia mais eficaz para o controle da fusariose consiste em prevenir a introdução do patógeno na área de cultivo, utilizando solo e plantas não contaminados (Granata, 2001).

O manejo integrado de doenças de plantas utiliza um conjunto de técnicas em um programa coeso, com o objetivo de controlar a população de patógenos abaixo do limiar de dano econômico, reduzindo assim os impactos adversos ao meio ambiente (Nas, 1969). Diversos métodos, incluindo culturais, mecânicos, químico, físicos, biológicos, legislativos e de resistência genética, podem ser integrados de forma sinérgica para prevenir e mitigar a gravidade das doenças (Bettiol; Morandi, 2009).

As práticas de controle devem ser integradas para criar um sistema de manejo eficaz e o mais sustentável possível (Colla *et al.*, 2012). Para o controle da fusariose é fundamental abordar uma estratégia de controle associada ao uso de fungicidas químicos e biológicos, que podem ser facilmente integradas a outros métodos de controle.

### **3. OBJETIVO GERAL**

Verificar a compatibilidade entre fungicidas químicos e biológicos e seu efeito no crescimento *in vitro* de *Fusarium* sp.

### **4. OBJETIVO ESPECÍFICO**

Verificar o efeito de diferentes doses de produtos biológicos no desenvolvimento de *Fusarium* sp.

Verificar o efeito de diferentes fungicidas químicos no desenvolvimento de *Fusarium* sp.

Verificar o efeito de fungicida biológico na presença de produto químico na inibição do desenvolvimento de *Fusarium* sp.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Federal Goiano Campus Cristalina, na cidade de Cristalina-GO (coordenadas: -16.771306,-47.619042 a 1.225 metros de altitude) em condições de laboratório. O *Fusarium* foi disponibilizado pelo laboratório da Universidade Federal de Goiás (UFG), onde foi isolado de plantas sintomáticas de trigo. A placa contendo o *Fusarium* passou por uma repicagem no Instituto Federal Goiano - campus Cristalina, com o objetivo de evitar perda de viabilidade do patógeno. O fungo isolado foi mantido em meios de cultura BDA (Batata-Dextrose-Ágar) até a instalação dos experimentos.

### 5.1 Instalação e condução dos experimentos com *Trichoderma asperellum*.

A primeira etapa foi iniciada com dois bioensaios na avaliação de doses de fungicida a base de *Trichoderma asperellum* isolado BV10 (Produto comercial Tricho-Turbo<sup>®</sup>) na concentração de  $1,0 \times 10^{10}$  conídios viáveis.mL<sup>-1</sup>. Os tratamentos foram diferentes concentração do produto, que foram obtidas através da diluição seriada e posteriormente colocadas em cada placa de Petri contendo 10 mL de meio de cultura BDA. O método utilizado foi o de culturas pareadas, no qual em um lado da placa foi colocado 100 µL do produto biológico e no lado oposto um disco de micélio do fungo *Fusarium*.

O primeiro experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 5 tratamentos e 8 repetições, foi testado até a concentração  $1,0 \times 10^6$ . Posteriormente, foi realizado um segundo experimento com o intuito de verificar a velocidade de crescimento do *Trichoderma* sozinho na placa, e a concentração testada foi até a  $1,0 \times 10^2$ . O segundo experimento também foi conduzido em DIC, com 6 tratamentos e 6 repetições. Os tratamentos utilizados nos dois experimentos estão apresentados no quadro 1.

**Quadro 1:** Experimentos com diferentes concentrações de *Trichoderma asperellum* em culturas pareadas com *Fusarium* sp

Experimento	Tratamentos		Concentração*
1	T1	Somente <i>Fusarium</i> sp.	-
	T2	<i>Fusarium</i> sp. com <i>T. asperellum</i>	1,0 x 10 <sup>9</sup>
	T3	<i>Fusarium</i> sp. com <i>T. asperellum</i>	1,0 x 10 <sup>8</sup>
	T4	<i>Fusarium</i> sp. com <i>T. asperellum</i>	1,0 x 10 <sup>7</sup>
	T5	<i>Fusarium</i> sp. com <i>T. asperellum</i>	1,0 x 10 <sup>6</sup>
2	T1	Somente <i>Fusarium</i> sp.	-
	T2	Somente <i>T. Asperellum</i>	1,0 x 10 <sup>6</sup>
	T3	<i>Fusarium</i> sp. com <i>T. asperellum</i>	1,0 x 10 <sup>5</sup>
	T4	<i>Fusarium</i> sp. com <i>T. asperellum</i>	1,0 x 10 <sup>4</sup>
	T5	<i>Fusarium</i> sp. com <i>T. asperellum</i>	1,0 x 10 <sup>3</sup>
	T6	<i>Fusarium</i> sp. com <i>T. asperellum</i>	1,0 x 10 <sup>2</sup>

\*Concentração de conídios.mL<sup>-1</sup> de *Trichoderma asperellum* isolado BV10

Após o plaqueamento dos microrganismos, as placas foram revestidas com papel alumínio para que não recebessem luz, visto que esses fungos são habitantes do solo e a luminosidade pode interferir em seu desenvolvimento. Durante toda a condução do experimento, as placas foram mantidas em temperatura média de 28°C. A avaliação consistiu na medição dos diâmetros da colônias dos dois fungos, a qual foi realizada todos os dias, sempre no mesmo horário, com o auxílio de uma régua. As medições foram encerradas quando a colônia de *Fusarium* sp. plaqueado sem a presença de *T. asperellum* atingiu todo o diâmetro da placa (90 mm). Desse modo, as avaliações se encerram com 144 horas.

## 5.2 Instalação e condução dos experimentos de compatibilidade

Para o teste de compatibilidade foram realizados 3 ensaios. Os ensaios foram conduzidos segundo o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 6 tratamentos e 6 repetições. Em cada ensaio foi testado um fungicida químico no meio de cultura BDA. Para cada ensaio o fungicida químico foi misturado ao meio de cultura antes do total resfriamento (aproximadamente 40°C). Esse meio de cultura foi distribuído em placas de Petri, nas quais posteriormente foram plaqueados *Fusarium* sp. e *T. asperellum*.

O primeiro ensaio foi realizado com o fungicida químico (Referido no presente trabalho como Fungicida Químico 1), que possui o nome comercial Fox<sup>®</sup> Xpro, composto por três ingredientes ativos: Bixafem, um SDHI (Inibidores de succinato- desidrogenase), Protioconazol, uma nova geração de DMIs (Inibidores da Desmetilação C-14) e por

Trifloxistrobina, uma estrobilurina, pertencente ao grupo dos QoIs (Inibidores da Quinona Oxidase).

O segundo fungicida químico (Referido no presente trabalho como Fungicida Químico 2) testado foi o Miravis<sup>®</sup>, ele é um fungicida composto por pidiflumetofeno. Este ingrediente ativo apresenta mecanismo de ação de contato multi-sítio, no sítio de ação no complexo II: Succinatodesidrogenase, pertencente ao grupo C2, segundo classificação internacional do FRAC (Comitê de Ação à Resistência de Fungicidas).

O último produto testado (Referido no presente trabalho como Fungicida Químico 3) foi o, fungicida Fusão<sup>®</sup> EC, que é composto por dois ingredientes ativos: metominostrobrina e tebuconazol, que apresentam mecanismos de ação: inibidor do complexo III/citocromo bc1 e na 14C- demetilase na biosíntese de esterol, pertencentes aos Grupo C3 e Grupo G1, segundo classificação internacional do FRAC (Comitê de Ação à Resistência de Fungicidas). O fungicida biológico utilizado foi a base de *Trichoderma asperellum*, o mesmo produto utilizado no experimento de doses descrito anteriormente. A dose testada foi na concentração de  $1,0 \times 10^9$  conídios viáveis.mL<sup>-1</sup>.

Como parâmetros de avaliação do desempenho dos fungos em relação aos diferentes agrotóxicos adicionados ao meio de cultura, foram avaliados o crescimento vegetativo das colônias e a produção de esporos. O crescimento vegetativo foi quantificado através da medição, em milímetros, do diâmetro das colônias, com o auxílio de uma régua milimetrada. Foram medidas em dois sentidos perpendiculares, na parte externa do fundo da placa de Petri, e a produção de esporos foi observada em microscópio óptico com avaliação apenas visual da presença de esporos, sem sua quantificação, devido à falta de equipamentos necessários para tal análise. As avaliações foram finalizadas quando a testemunha (tratamento apenas com *Fusarium*) atingiu toda a da placa (90 mm).

Os ensaios foram realizados em placas de Petri contendo aproximadamente 10 mL de meio de cultura BDA (Batata-Dextrose-Agar). A dose utilizada do Fungicida Químico 1, foi de 100 µL, diluída em 125 ml de meio cultura, Fungicida Químico 2 e Fungicida Químico 3 a dose foi 200 µL. Nos três ensaios, foi utilizado o mesmo delineamento experimental, alterando apenas o fungicida e a dose utilizada, conforme apresentado no quadro 2. Os tratamentos foram conforme descrito no quadro 3.

**Quadro 2:** Fungicidas químicos e doses utilizados para realizar os ensaios de compatibilidade.

Nome comercial	Fungicida	Ingrediente Ativo	Composição	Dose utilizada
Fox <sup>®</sup> Xpro	Químico 1	Bixafem Protioconazol Trifloxistrobina	Bixafem 125 g/L (12,5% m/v); Protioconazol 175 g/L (17,5 % m/v); Trifloxistrobina 50 g/L (15,0 % m/v) Outros Ingredientes 730 g/L (73,0 % m/v)	0,8 µL.mL <sup>-1</sup>
Miravis <sup>®</sup>	Químico 2	Pidiflumetofem	Pidiflumetofem 200,0 g/L (20,0 % m/v) Outros ingredientes: 893,0 g/L (89,3 % m/v)	1,6 µL.mL <sup>-1</sup>
Fusão <sup>®</sup> EC	Químico 3	Metominostrobrina Tebuconazol	Metominostrobrina 110 g/L (11,0% m/v) Tebuconazol 165 g/L (16,5% m/v) Outros Ingredientes: 775 g/L (77,5% m/v)	1,6 µL.mL <sup>-1</sup>

**Quadro 3:** Tratamentos dos ensaios de compatibilidade de *T. asperellum* e fungicidas químicos.

Tratamento		Fungicida Químico
T1	<i>T. asperellum</i>	Sem
T2	<i>Fusarium</i> sp.	Sem
T3	<i>T. asperellum</i> + <i>Fusarium</i> sp.	Sem
T4	<i>T. asperellum</i>	Com
T5	<i>Fusarium</i> sp.	Com
T6	<i>T. asperellum</i> + <i>Fusarium</i> sp.	Com

Para manter os fungos na ausência de luz para seu melhor desenvolvimento, todas as placas foram revestidas com papel alumínio. As avaliações consistiram na mediação do diâmetro do micélio a cada 24 horas, encerrando quando as colônias plaqueadas isoladamente e na ausência do fungicida químico tomassem todo o diâmetro da placa (90 mm). Todas as placas foram mantidas em temperatura ambiente durante todo o experimento.

### 5.3 Instalação e condução dos experimentos com *Bacillus velezensis*

Para testar outro microrganismo como possível agente de controle de *Fusarium*, foi utilizado o produto à base de *Bacillus velezensis* (antiga classificação *Bacillus subtilis* UFV 3918). O produto é registrado como inoculante microbiológico com ação solubilizadora de fósforo, não tendo relatos sobre seu efeito direto em patógenos de solo, como o *Fusarium*. O experimento contou com 6 repetições e 7 tratamentos sendo os tratamentos as doses do produto comercial (Meli-X Turbo®) em culturas pareadas com *Fusarium* sp., conforme descrito no quadro 4.

**Quadro 4:** Experimento avaliando o efeito de diversas concentrações de *Bacillus velezensis* em culturas pareadas com *Fusarium* sp.

Tratamento		Concentração UFC.mL <sup>-1</sup> *
T1	Somente <i>Fusarium</i> sp.	-
T2	<i>Fusarium</i> sp com <i>B. Velezensis</i>	1,0 x 10 <sup>8</sup>
T3	<i>Fusarium</i> sp com <i>B. Velezensis</i>	1,0 x 10 <sup>7</sup>
T4	<i>Fusarium</i> sp com <i>B. Velezensis</i>	1,0 x 10 <sup>6</sup>
T5	<i>Fusarium</i> sp com <i>B. Velezensis</i>	1,0 x 10 <sup>5</sup>
T6	<i>Fusarium</i> sp com <i>B. Velezensis</i>	1,0 x 10 <sup>4</sup>
T7	<i>Fusarium</i> sp com <i>B. Velezensis</i>	1,0 x 10 <sup>3</sup>

\*Concentração de *Bacillus velezensis* em UFC.mL<sup>-1</sup>.

Para obtenção de dados para o cálculo de porcentagem de inibição de *Fusarium* sp. na presença de *B. velezensis* foi conduzido um outro ensaio, no qual o *B. velezensis* foi espalhado com alça de Drigalski sobre meio BDA solidificado na placa de Petri e posteriormente foi colocado o disco de *Fusarium*. O ensaio contou com 2 tratamentos, presença e ausência de *B. velezensis* com 6 repetições, totalizando em 20 parcelas.

O tratamento 1 foi somente o disco de micélio do *Fusarium* no centro da placa, com meio de cultura, e o segundo tratamento foi pipetado uma dose do *B. velezensis* na concentração de  $1 \times 10^8$  UFC.mL<sup>-1</sup> no centro da placa espalhado em toda a placa com uso de alça de Drigalski de vidro previamente esterilizada, logo em seguida um disco de micélio de *Fusarium* foi colocado no centro da placa. Após o plaqueamento as placas foram incubadas na estufa com a temperatura de 28°C. Neste ensaio, as placas foram mantidas em estufa devido à baixa temperatura do ambiente na época da condução do experimento. Foi escolhida a temperatura de 28°C por estar no intervalo de melhor crescimento do *Fusarium*. As avaliações foram baseadas na medição do diâmetro da colônia do patógeno a cada 24 horas, com o auxílio de uma régua.

#### 5.4 Cálculo de porcentagem de inibição e Análise estatística

Os dados referentes ao diâmetro das colônias de todos os ensaios foram submetidos à análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas ao longo do tempo utilizando o teste F a 5% de significância, com o objetivo de verificar se havia diferenças significativas entre os tratamentos ao longo do tempo. Além disso, foi calculada a porcentagem de inibição do crescimento das colônias utilizando a equação abaixo:

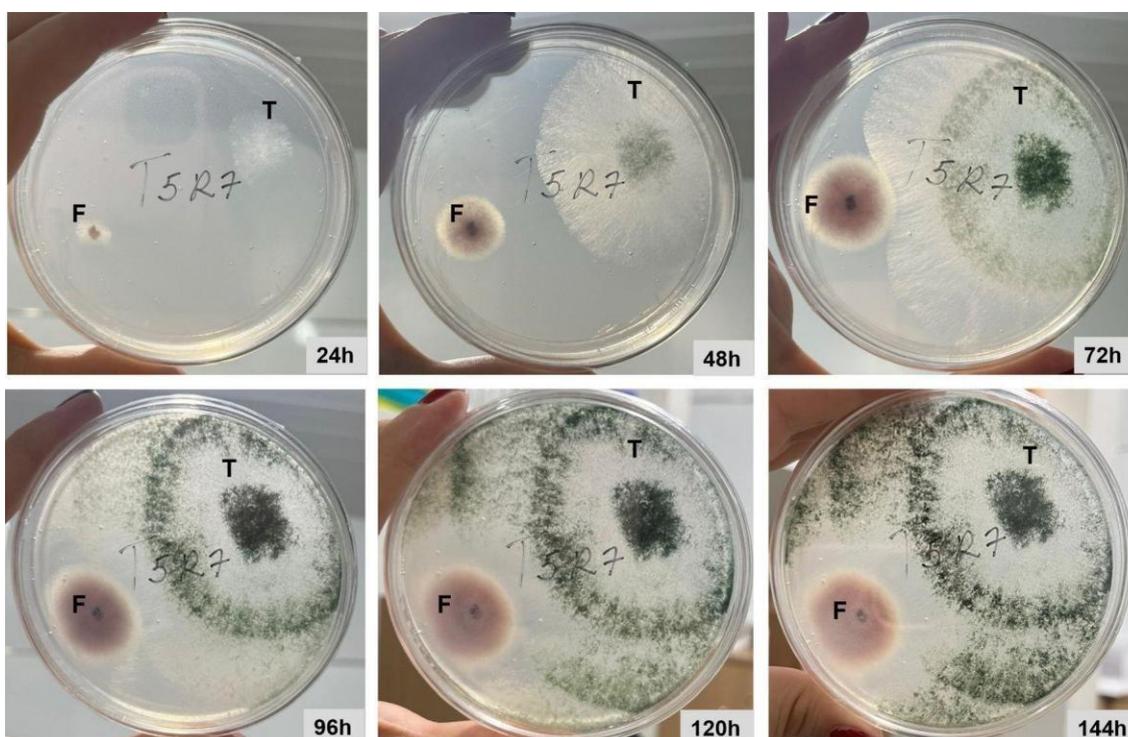
$$\% \text{ de inibição} = \frac{\text{diâmetro do tratamento} - \text{diâmetro da testemunha}}{\text{diâmetro da testemunha}} \times 100$$

Essa equação permitiu quantificar a efetividade de cada tratamento em relação à testemunha (fungo plaqueado isoladamente). Os dados atenderam aos pressupostos de análise de variância de normalidade, homoscedasticidade e independência pelos testes de Shapiro-Wilk, Bartlett e Durbin-Watson, respectivamente. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa R (R Core Team, 2013).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Efeito de diferentes concentrações de *Trichoderma asperellum* na inibição do crescimento de *Fusarium sp.*

Foi observado um crescimento mais rápido de *T. asperellum* em relação ao *Fusarium sp.* desde as primeiras 24 horas. Além disso, após 144 horas de plaqueamento, mesmo nas concentrações mais baixas o *T. asperellum* foi capaz de inibir o crescimento de *Fusarium sp.* (Figura 1).



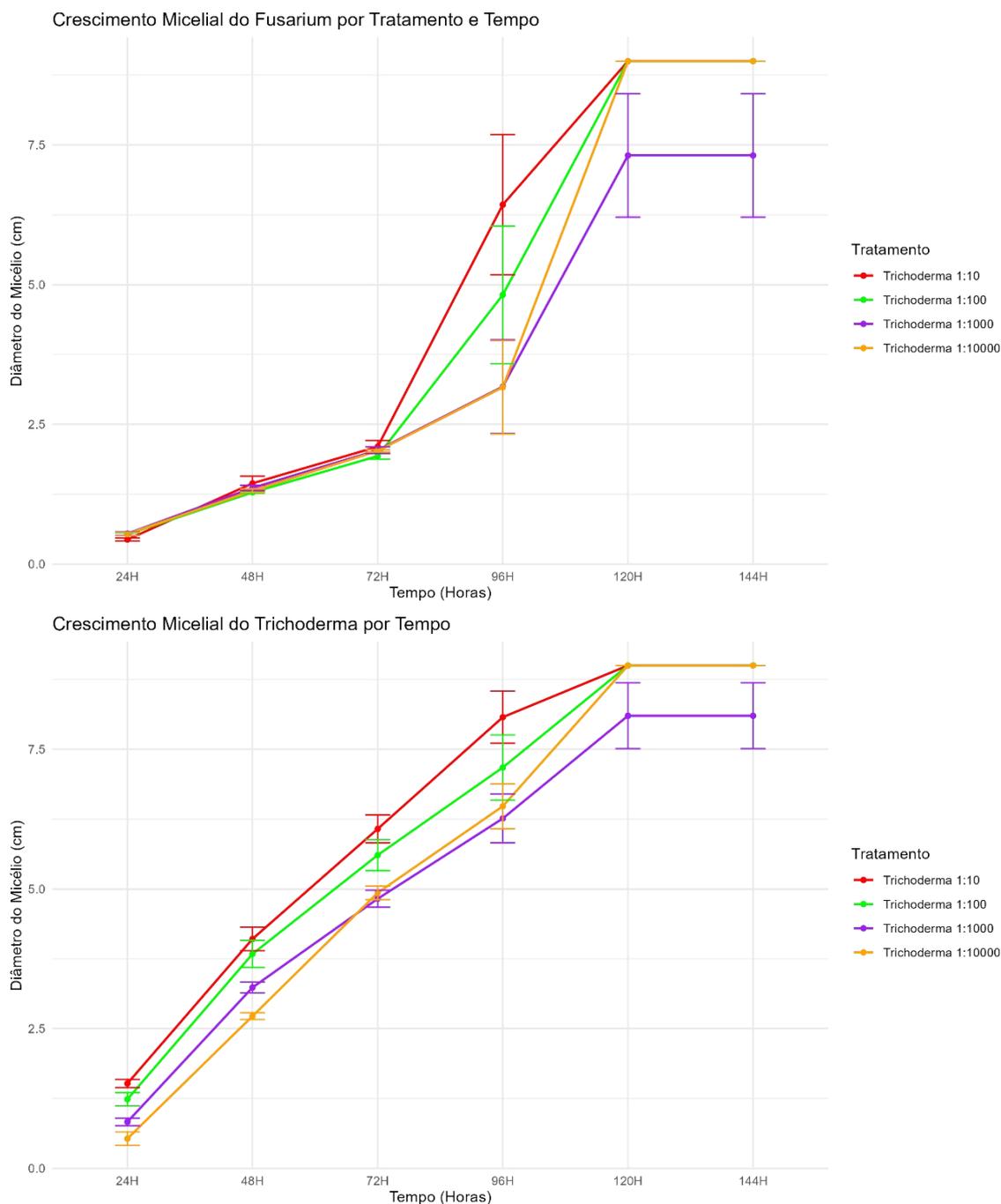
**Figura 1.** Inibição do crescimento de *Fusarium sp.* pelo *T. asperellum* na concentração de  $1.10^6$  conídios.mL<sup>-1</sup> em relação ao tempo 24 h de avaliação. F: crescimento micelial de *Fusarium*; T: crescimento micelial de *T. asperellum*.

Na Figura 2 representa dois gráficos, que retrata o crescimento micelial do *Fusarium sp.* e do *T. asperellum* por tratamento e tempo nas concentrações de  $1.10^9$  a  $1.10^6$  conídios.mL<sup>-1</sup>.

No gráfico do crescimento micelial do *Fusarium sp.* observa-se uma elevação acentuada entre 72 e 120 horas, seguida por uma estabilização nos tratamentos representados pelas diluições de 1:10, 1:100 e 1:10000. Esse comportamento indica que esses tratamentos passaram por uma fase de crescimento intenso até atingirem um ponto de estabilidade em torno de 120 horas. Já a diluição de 1:1000, por outro lado, parece atingir essa estabilidade de forma antecipada, sugerindo uma resposta distinta dos demais tratamentos.

Já o gráfico, que representa o crescimento micelial do *T. asperellum* por sua vez, mostra uma tendência de crescimento mais gradual e uniforme nos valores do crescimento ao longo do tempo. Todos os tratamentos seguem um padrão de aumento contínuo e linear, alcançando um ponto de estabilidade por volta de 120 horas.

Diferentemente do primeiro gráfico, os valores entre os tratamentos do crescimento micelial do *T. asperellum* são mais próximos, indicando uma resposta mais homogênea ao tratamento. A uniformidade das barras de erro ao longo do tempo sugere menor variabilidade nos dados, o que implica maior consistência nas respostas dos tratamentos.

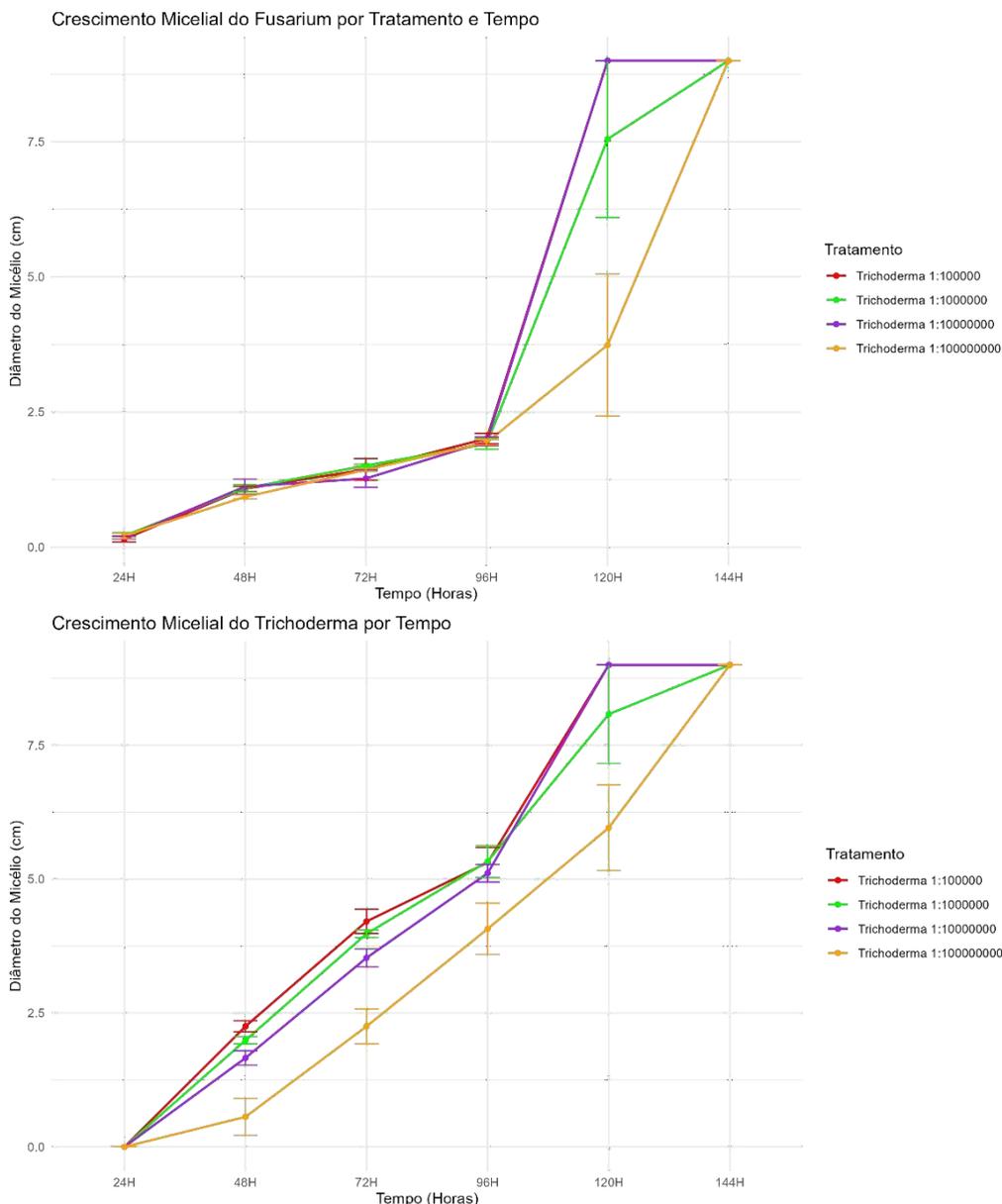


**Figura 2.** Crescimento ao longo do tempo de *Fusarium* sp. e *T. asperellum* em ensaio de culturas pareadas (experimento 1, *Trichoderma asperellum* nas concentrações de  $1.10^9$  a  $1.10^6$  conídios.mL<sup>-1</sup>).

Comportamento de crescimento semelhante foi observado no segundo experimento, o qual as concentrações de *T. asperellum* foram mais baixas que as do primeiro. No gráfico do crescimento micelial do *Fusarium* sp. (Figura 3) no início, entre 24 e 72 horas, todos os tratamentos apresentam um aumento gradual e bastante similar, o que sugere uma resposta inicial uniforme entre eles. A partir de 96 horas, o gráfico mostra uma mudança significativa: todos os tratamentos experimentam um aumento acentuado. Essa fase de

crescimento acelerado indica que, a partir desse ponto, o efeito do tratamento ou da condição se intensifica rapidamente. Após 120 horas, o crescimento se estabiliza para todos os tratamentos, sem apresentar aumentos ou flutuações significativas até o último ponto medido em 144 horas.

Esse comportamento sugere que o efeito do tratamento ou condição se estabilizou, atingindo um ponto de equilíbrio ou saturação, onde mudanças adicionais no tempo não causam impacto no crescimento do *Fusarium*. No entanto, o crescimento do *T. asperellum* não foi tão uniforme (Figura 3), sendo que na concentração mais baixa ( $1.10^2$ ) o crescimento foi mais lento que nos tratamentos com maiores concentrações. Entretanto, nas primeiras 96 horas o crescimento de *T. asperellum* foi mais rápido que o de *Fusarium* (Figura 3).



**Figura 3.** Crescimento ao longo do tempo de *Fusarium* sp. e *T. asperellum* em ensaio de culturas pareadas (experimento 2, *Trichoderma* nas concentrações de  $1.10^5$  a  $1.10^2$  conídios.mL<sup>-1</sup>).

O *Trichoderma* é um gênero de fungos que desempenha papéis cruciais na proteção e no desenvolvimento das plantas. Ele atua por meio de diversos mecanismos, como a inibição de patógenos e a ativação de defesas naturais. Os fungos desse grupo produzem metabólitos secundários que promovem a resistência das plantas, além de estimular o crescimento e otimizar a fotossíntese. Esses atributos tornam o *Trichoderma* uma ferramenta versátil com aplicações relevantes na agricultura (Contreras-Cornejo, 2016). Os metabólitos de *Trichoderma* spp. estimulam o crescimento das raízes, aumentando sua capacidade de absorção de nutrientes e beneficiando o desenvolvimento das plantas (Zin et

al, 2020).

O *Trichoderma* atua no biocontrole de fungos fitopatogênicos por meio de diversos mecanismos. Os principais incluem a competição por espaço e nutrientes, micoparasitismo e antibiose. Esses mecanismos exercem uma ação direta sobre os fungos patogênicos, regulando seu desenvolvimento e contribuindo para a proteção das plantas (Infante *et al*, 2009). Esses mecanismos de biocontrole são potencializados pela habilidade dos isolados de *Trichoderma* em colonizar a rizosfera das plantas. Essa colonização permite uma interação mais eficaz com o ambiente, favorecendo a competição e o controle dos fungos patogênicos. Ademais, o *Trichoderma* apresenta mecanismos de ação biorreguladora indireta, como a indução de defesas fisiológicas e bioquímicas nas plantas. Isso inclui a ativação de compostos de resistência, a desintoxicação de toxinas de patógenos e a inativação de suas enzimas (Harman, 2004).

Todas as concentrações do *T. asperellum* testadas no experimento mostraram-se eficientes para o controle de *Fusarium* sp. A análise do crescimento micelial revelou que a aplicação do *T. asperellum* como agente antagonista resultou em uma diminuição significativa no desenvolvimento do crescimento do patógeno em comparação ao grupo controle. Os resultados indicaram diferenças relevantes entre o crescimento do patógeno nas amostras tratadas com os isolados de *T. asperellum* e o tratamento testemunha somente *Fusarium*. Empregando a técnica de pareamento de culturas, Krahn (2017) avaliou-se a eficácia antagonista de *Trichoderma* spp. no controle de *Fusarium* spp. em condições *in vitro* que todos os isolados de *Fusarium* spp. mostraram uma diminuição no crescimento micelial, com variações entre 18,84 mm e 29,92 mm.

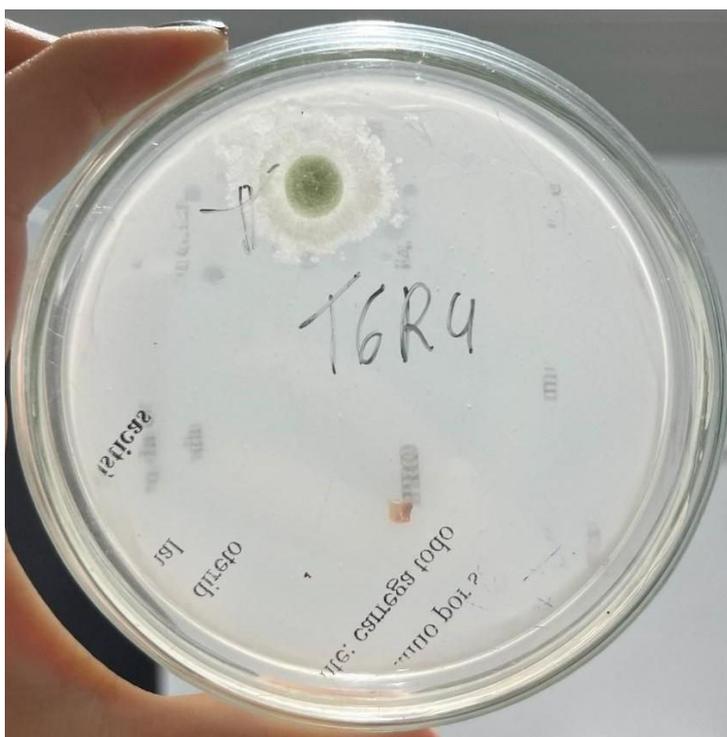
DE Sá *et al.* (2019), aplicando a mesma técnica para avaliar a atividade antagonista de bactérias do gênero *Bacillus* e do fungo *Trichoderma* sp. no controle a *Fusarium* sp., responsável por prejuízos em feijão-caupi, observou-se uma redução significativa no crescimento micelial de *Fusarium* sp., atingindo 56 mm quando associado com *Trichoderma* sp. Esses resultados corroboram com os encontrados no presente estudo, tendo em vista que os isolados de *T. asperellum* reduziram o crescimento micelial do patógeno *Fusarium* sp.

## **6.2 Compatibilidade de *Trichoderma asperellum* com fungicidas químicos**

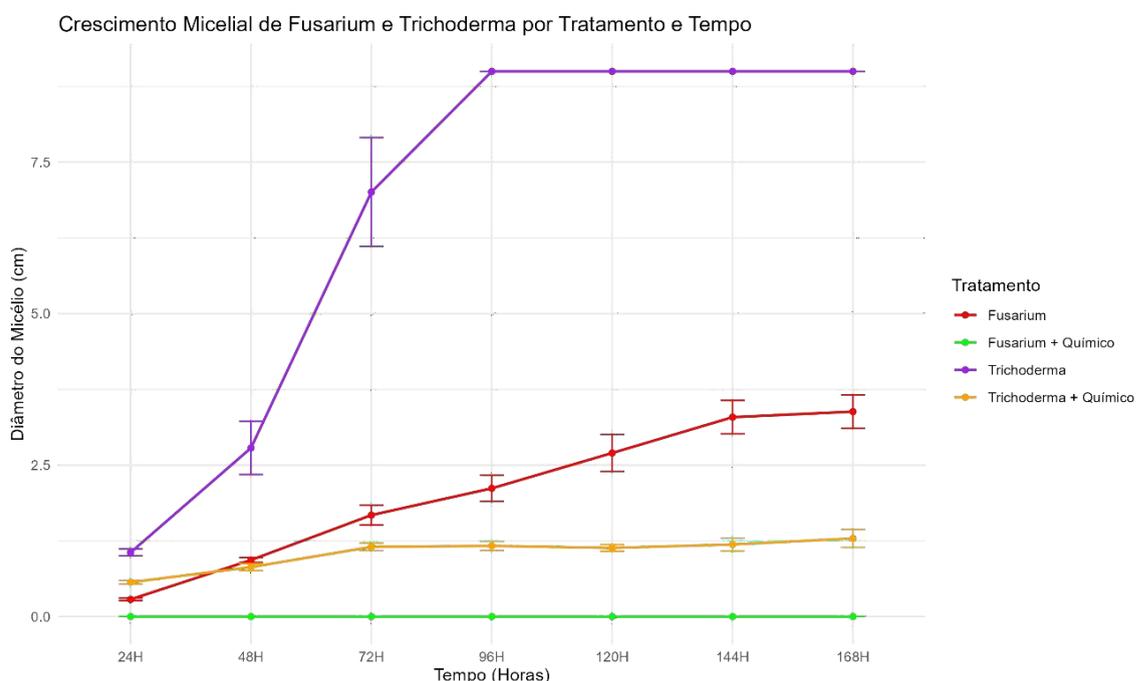
Como todas as concentrações de *T. asperellum* foram capazes de inibir o crescimento de *Fusarium* sp., a maior concentração do fungicida biológico foi testada com os fungicidas químicos em meios de cultura com o intuito de verificar a compatibilidade dos produtos e

seu efeito no controle de *Fusarium* sp.

O Fungicida Químico 1 (Quadro 2) apresentou compatibilidade, pois teve crescimento micelial de *T. asperellum* enquanto não houve crescimento de *Fusarium* sp. (Figura 4). O mesmo comportamento foi confirmado pelos dados de diâmetro das colônias (Figura 5), onde os tratamentos que estavam com *Fusarium* sp + fungicida químico não houve crescimento micelial. Por outro lado, as testemunhas com *T. asperellum* e com *Fusarium* sp., apresentou um crescimento exponencial, o tratamento somente com *T. asperellum* cresceram até as 96 horas, logo após esse período se estabilizou. Em contrapartida, o tratamento de *T. asperellum* + químico houve um crescimento mais lento nas primeiras 72 horas estabilizando posteriormente (Figura 5).

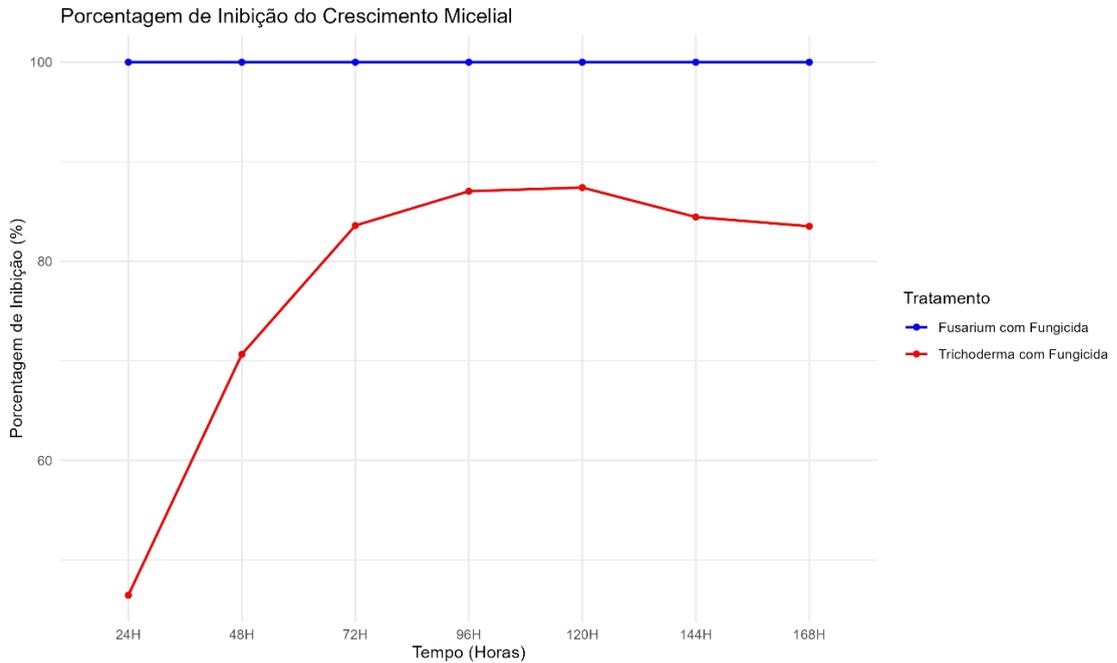


**Figura 4.** Cultivo pareado de *T. asperellum* e *Fusarium* sp. em meio de cultura com o Fungicida 1 (Bixafem 125 g/L; Protiokonazol 175 g/L; Trifloxistrobina 150 g/L) após 120 horas de incubação.

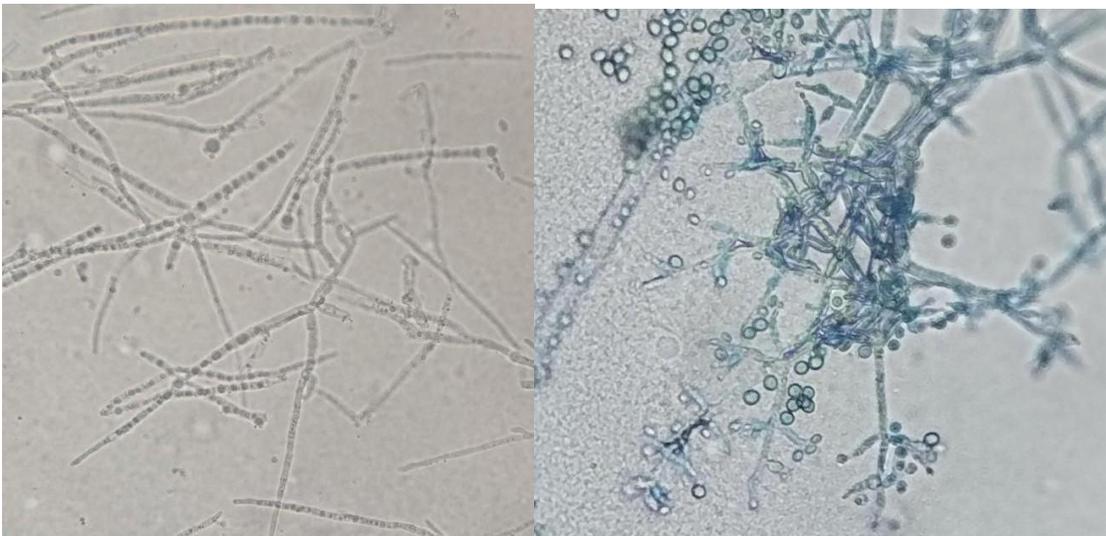


**Figura 5.** Crescimento de *T. asperellum* e *Fusarium* sp. ao longo do tempo em meios de cultura com e sem Fungicida Químico 1 (Bixafem 125 g/L; Protioconazol 175 g/L; Trifloxistrobina 150 g/L).

Quando se calculou a porcentagem de inibição foi possível notar que o *Fusarium* teve 100% de seu crescimento inibido na presença do Fungicida Químico 1, confirmando a eficácia do produto no controle desse patógeno. Enquanto o *T. asperellum* teve inibição acima de 80% até 120 horas e uma leve redução na inibição a partir desse tempo, mostrando que o fungo pode crescer e retomar seu crescimento mesmo na presença do fungicida químico (Figura 6). Entretanto, ao analisar o tipo de crescimento do *T. asperellum* na presença do fungicida químico, notou-se que não houve esporulação até o momento da última avaliação (168 horas) enquanto no meio de cultura sem fungicida houve a esporulação. Esse resultado indica que apesar de não ocorrer a morte do fungo há um certo atraso no seu ciclo (Figura 7).

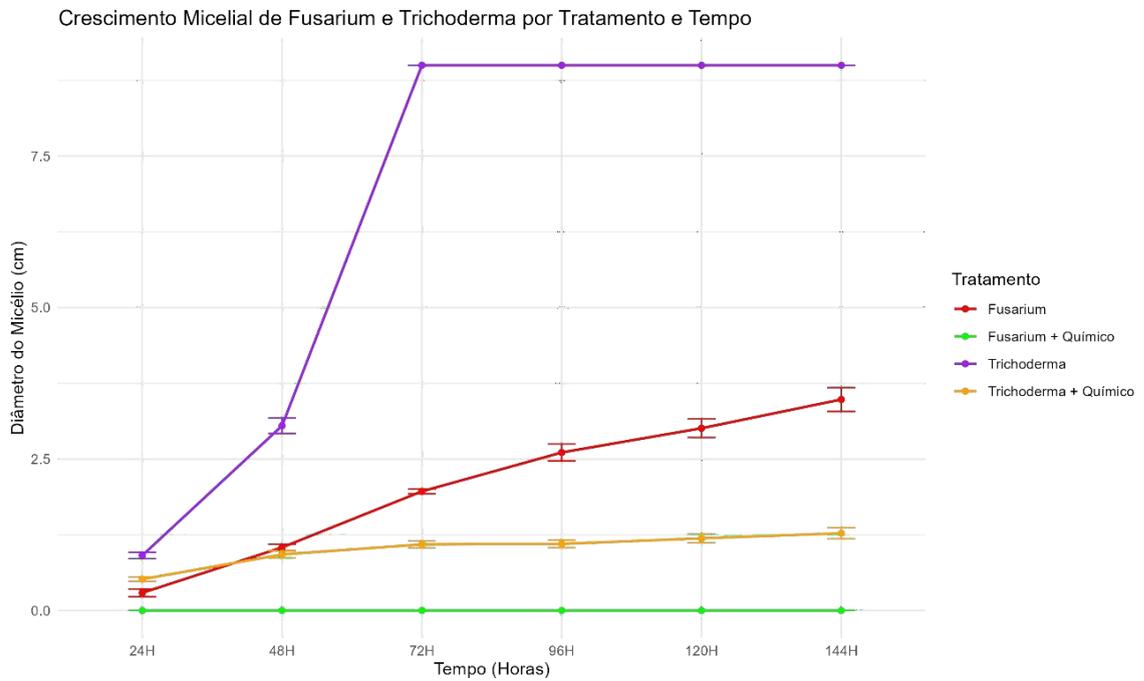


**Figura 6.** Inibição do crescimento de *T. asperellum* e *Fusarium* sp. na presença do Fungicida Químico 1 (Bixafem 125 g/L; Protioconazol 175 g/L; Trifloxistrobina 150 g/L).

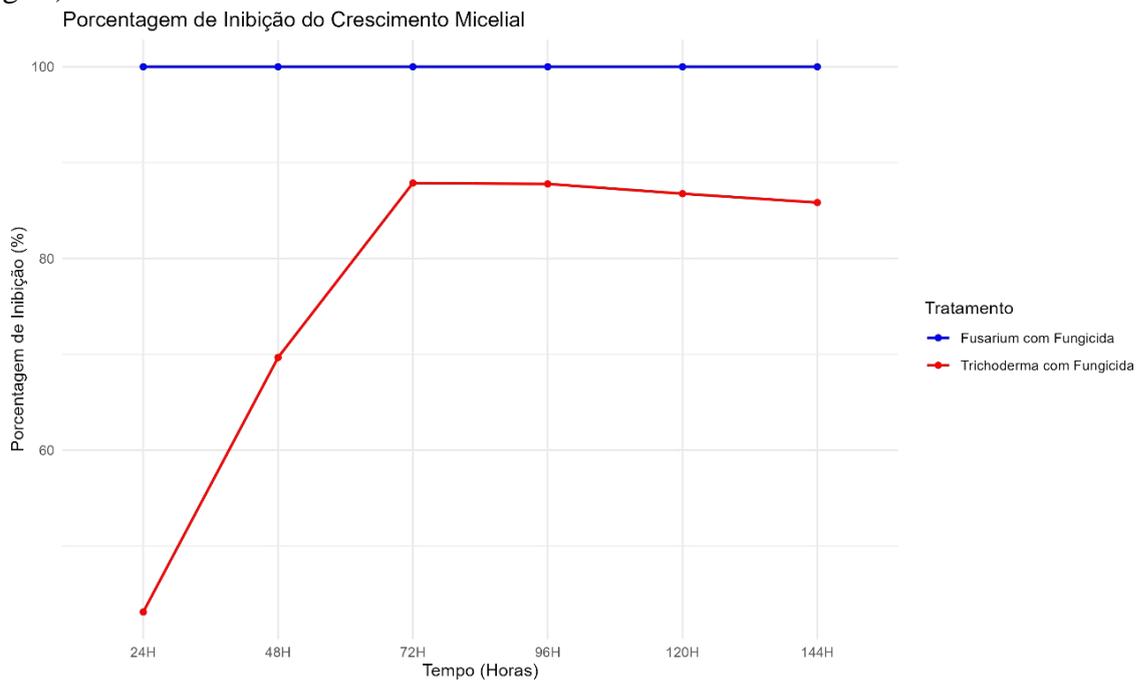


**Figura 7.** *T. asperellum* em meio de cultura com Fungicida Químico 1 (à esquerda) e em meio de cultura sem fungicida (à direita).

Para o fungicida químico 2 notou-se o crescimento micelial de *T. asperellum* e o não crescimento de *Fusarium* sp., resultado semelhante ao apresentado no Fungicida Químico 1 (Figura 8, 9 e 10).



**Figura 8.** Crescimento x diâmetro de *T. asperellum* e *Fusarium* sp. ao longo do tempo (h) em meios de cultura (BDA) com e sem Fungicida Químico 2 (Pidiflumetofem 200,0 g/L).



**Figura 9.** Inibição do crescimento de *T. asperellum* e *Fusarium* sp. na presença do Fungicida Químico 2 (Pidiflumetofem 200,0 g/L).



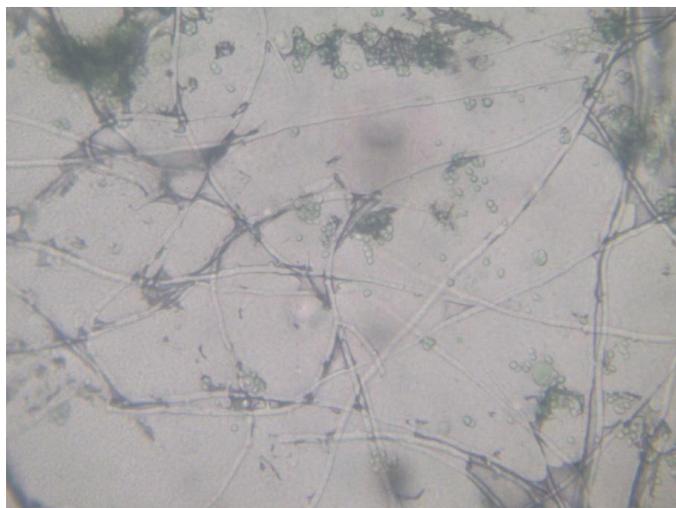
**Figura 10.** Cultivo pareado de *T. asperellum* e *Fusarium* sp. em meio de cultura com o Fungicida 2 (Pidiflumetofem 200,0 g/L) após 144 horas de incubação.

Apesar do comportamento de crescimento micelial e inibição dos fungos no meio de cultura com Fungicida Químico 2 terem sido semelhantes ao do Fungicida Químico 1, foi observada a esporulação de *T. asperellum* (Figura 11). Esse resultado sugere uma compatibilidade diferente, na qual não há interferência no ciclo reprodutivo do *T. asperellum*.

No campo a utilização de *Trichoderma* associado com fungicidas químicos potencializa o controle de patógenos, permitindo que ambas as estratégias atuem em sinergia, aumentando a eficácia no manejo de doença, reduz os custos e o impacto ambiental. Além disso, contribui para a prevenção ou retardamento do desenvolvimento de resistência dos patógenos em relação aos fungicidas, ao oferecer uma estratégia de manejo integrada que combina múltiplas abordagens de controle.

A esporulação abundante do *Trichoderma* no campo oferece vantagens importantes para o controle biológico de doenças. Seus esporos são altamente resistentes a condições ambientais adversas, o que garante uma presença duradoura no solo. Além disso, essa capacidade de esporulação permite uma dispersão rápida e ampla, favorecendo a colonização das raízes e competindo eficazmente com fungos patogênicos por espaço e nutrientes. Essa adaptabilidade e produção facilitada tornam

o *Trichoderma* uma alternativa viável e sustentável aos defensivos químicos na agricultura.



**Figura 11.** Esporulação de *T. asperellum* em meio de cultura com Fungicida Químico 2 (Pidiflumetofem).

Diferente dos outros dois fungicidas, para o Fungicida Químico 3 não houve crescimento micelial nem de *T. asperellum* nem de *Fusarium* sp. (Figura 12), mostrando que apesar do fungicida químico ser eficaz no controle de *Fusarium* sp., não há compatibilidade com o produto biológico testado no presente trabalho.

Os princípios ativos testados dos (fungicidas 1 e 2): bixafem, protioconazol, trifloxistrobina, e pidiflumetofem, exerceram efeitos variáveis sobre o crescimento vegetativo e esporulação do isolado de *T. asperellum*. O pidiflumetofem foi o ingrediente ativo, que houve melhores resultados na compatibilidade com o *T. asperellum* isolado BV10, pois foi observado o crescimento vegetativo e esporulação do fungo na presença do fungicida. O pidiflumetofem é um fungicida SDHI inovador no mercado de moléculas. Ele faz parte de uma nova classe química chamada N-metoxi-(fenil-etil)-pirazol-carboxamidas (Olaya *et al.*, 2016).

O fungicida 3, que possui os ingredientes ativos metominostrobin e tebuconazol, não apresentaram compatibilidade com o *Trichoderma*, como na tabela de compatibilidade do produto comercial que foi usado no trabalho a base de *Trichoderma* foi disponibilizada pela empresa registrante do produto, e esse fungicida químico não está disponível na tabela.

Testes *in vitro* são úteis para avaliar a toxicidade de princípios ativos em microrganismos, oferecendo um ambiente controlado para observar seus efeitos diretos. A compatibilidade demonstrada no laboratório sugere que o microrganismo pode suportar o princípio ativo sob condições ideais. No entanto, resultados tóxicos *in vitro* não indicam

necessariamente alta toxicidade em campo, onde fatores como degradação ambiental e competição microbiana podem mitigar os efeitos do produto químico. Assim, testes em condições reais são essenciais para validar o impacto dos princípios ativos no ambiente natural (Moino Jr.;Alves, 1999).

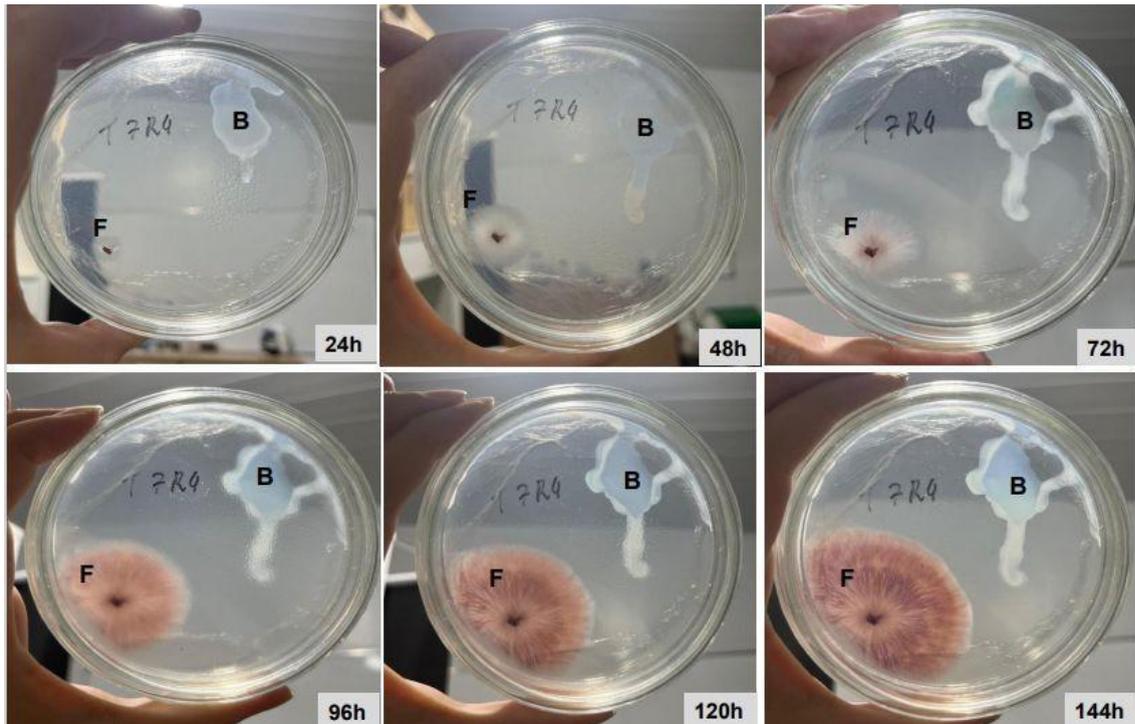
Futuramente, com o objetivo de complementar e da continuidade esse trabalho é possível considerar a combinação desses produtos em plantas para explorar se algum outro mecanismo de ação pode ser ativado. Essa abordagem pode incluir monitorar a ativação de respostas de defesa nas plantas, como a produção de compostos químicos ou a ativação de genes relacionados à resistência. A exploração dessas combinações pode levar a descobertas que resultem em práticas agrícolas mais sustentáveis e efetivas.



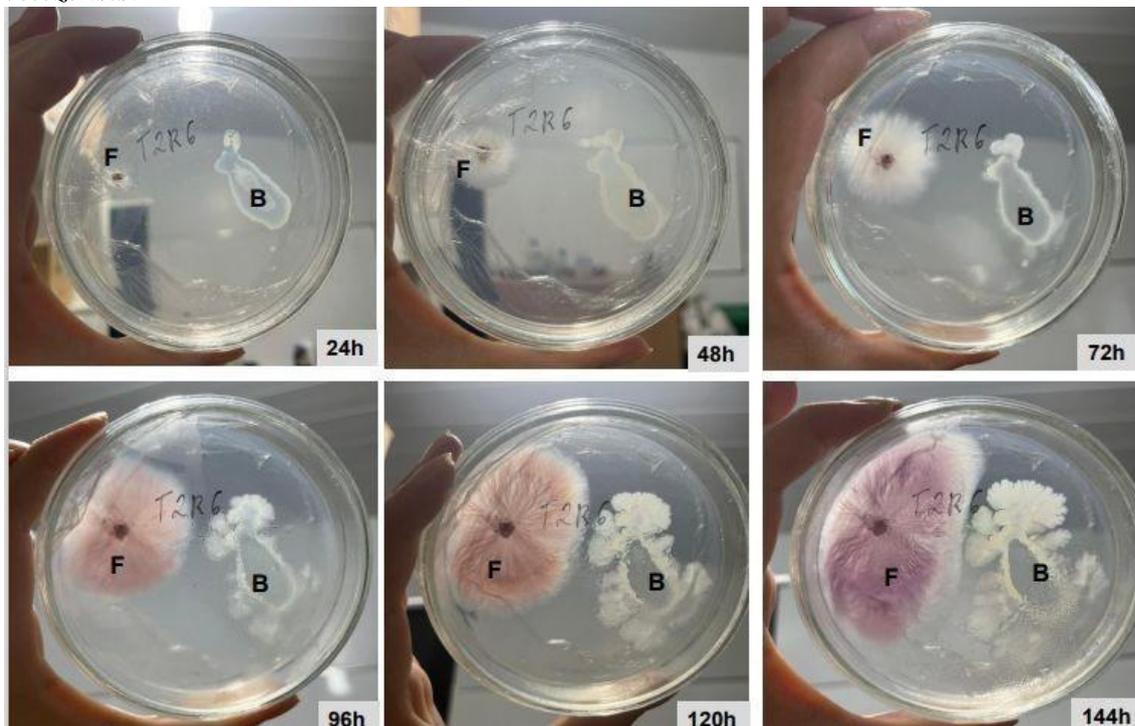
**Figura 12.** Cultivo pareado de *T.asperellum* e *Fusarium* sp em meio de cultura com o Fungicida 3 (Metominostrobin 110 g/L; Tebuconazol 165 g/L) após 120 horas de incubação.

### **6.3 Efeito de *Bacillus velezensis* na inibição do crescimento de *Fusarium* sp.**

Foram realizadas avaliações durante 7 dias, foi observado que *B. velezensis* em diferentes concentrações foi capaz de inibir o crescimento micelial do fungo fitopatogênico *Fusarium* sp. (Figura 13).



**Figura 13:** Inibição do crescimento de *Fusarium* sp pelo *B. velezensis* na menor concentração. F: crescimento micelial de *Fusarium* sp; B: crescimento micelial de *B. velezensis*.



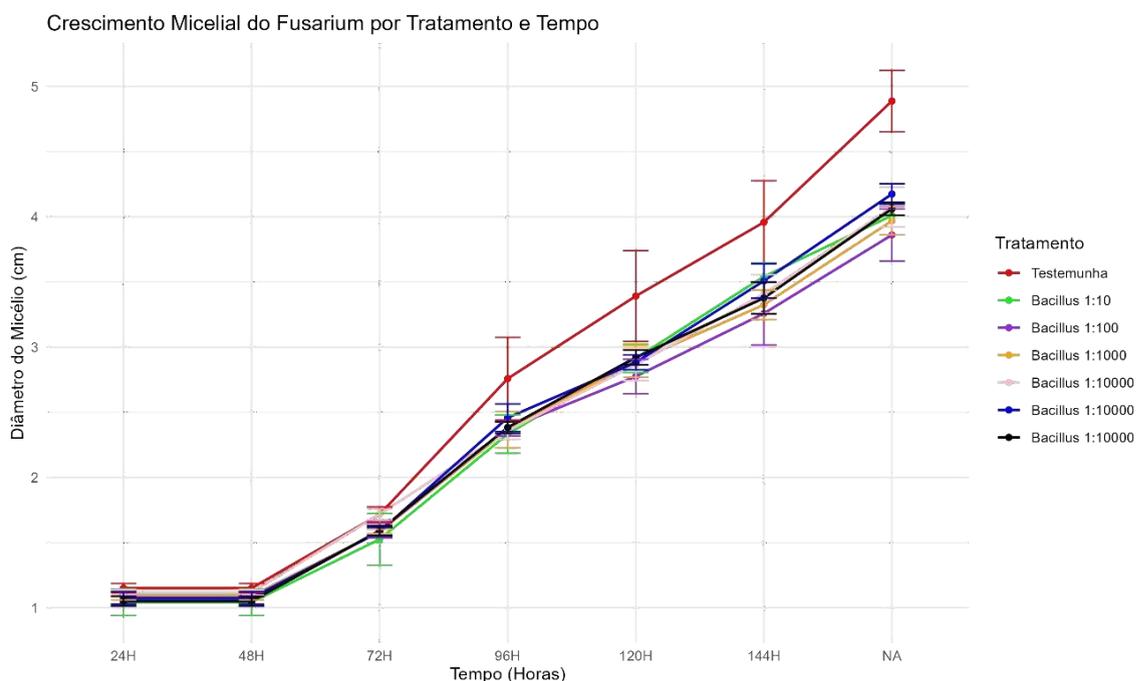
**Figura 14:** Inibição do crescimento de *Fusarium* sp. pelo *B. velezensis* na maior concentração em função do tempo (h) de avaliação . F: crescimento micelial de *Fusarium* sp; B: crescimento micelial de *B. velezensis*.

Produtos à base de *Bacillus* spp. são utilizados comercialmente para o biocontrole de doenças, contribuindo para o aumento da produtividade das culturas. Além da formação de endósporos, esse gênero oferece diversas vantagens, como promoção do crescimento de

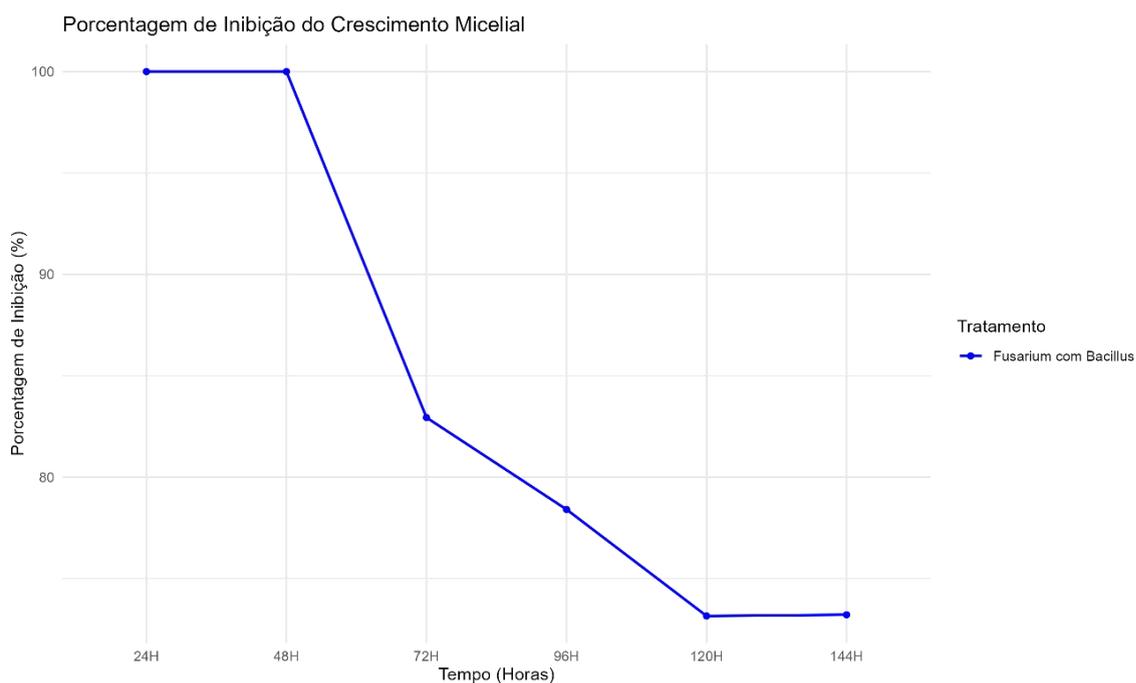
plantas, produção de compostos antimicrobianos (como antibióticos e lipopeptídeos), competição por locais de colonização e nutrientes, produção de enzimas degradantes e indução de resistência (Thomas *et al.*, 2001).

Além disso, a espécie *Bacillus subtilis* pode induzir resistência sistêmica em plantas hospedeiras, fortalecendo suas defesas naturais contra doenças causadas por *Fusarium*. Por exemplo, pesquisas como as de Zhang *et al.* (2018) demonstram que outras espécies de *Bacillus*, além de *Bacillus subtilis*, também possuem potencial significativo como agentes de controle biológico contra *Fusarium*. Esses estudos mostram que essas bactérias podem colonizar eficazmente o sistema radicular das plantas, competir com *Fusarium* por nutrientes e produzir metabólitos secundários que inibem o crescimento e a patogenicidade do fungo.

Portanto, a utilização de *Bacillus* como agentes de controle biológico contra *Fusarium* baseia-se em uma variedade de mecanismos que não só combatem diretamente o fungo, mas também fortalecem a resistência das plantas hospedeiras. Essas estratégias oferecem uma abordagem promissora e sustentável para o manejo integrado de doenças em sistemas agrícolas. Na figura 15, mostra que nas primeiras 48 horas não houve crescimento de nenhum tratamento, após esse período de tempo apenas a testemunha que se destacou pelo seu crescimento. Nos demais tratamentos, com as diferentes concentrações de *B. velezensis* houve crescimento, evidenciando que todas as concentrações inibiram o crescimento do *Fusarium* sp. No gráfico 16, o *Fusarium* sp. na presença do *B. velezensis* nas primeiras 48 horas de avaliação, não apresentou crescimento (100% de inibição), após esse período houve um crescimento exponencial e depois se estabilizou.



**Figura 15.** Crescimento ao longo do tempo de *Fusarium* sp em ensaio de culturas pareadas com *B. velezensis* nas concentrações de  $1.10^8$  a  $1.10^2$  UFC.mL<sup>-1</sup>.



**Figura 16.** Porcentagem de inibição de *Fusarium* sp. ao longo do tempo (h) em meio de cultura com a presença *B. velezensis* na concentração de  $1.10^8$  UFC.mL<sup>-1</sup>.

Bactérias do gênero *Bacillus* demonstram atividades antagonistas em relação a fitopatógenos por meio de três mecanismos principais: competindo por substratos, gerando substâncias químicas inibidoras e promovendo a resistência sistêmica nas plantas (Dorighello

*et al.*, 2020). Essas bactérias são conhecidas por produzir lipopeptídeos antimicrobianos, como fengicina, surfactina e iturina, que demonstraram eficácia na inibição de fungos patogênicos. Esses compostos não apenas danificam as membranas celulares, mas também afetam processos metabólicos essenciais, destacando o potencial dos *Bacillus* como agentes de controle biológico (Ongena *et al.* 2005).

De acordo com Kupper *et al.* (2003) esse grupo de bactérias, em particular a espécie *Bacillus subtilis*, se destaca como um eficaz agente de controle biológico devido à sua habilidade de produzir metabólitos que resistem a altas temperaturas. Essa característica é fundamental para o desenvolvimento de bioprodutos estáveis e eficientes. O crescimento promovido por *Bacillus subtilis* ocorre devido à maior fixação de nitrogênio, solubilização de nutrientes, síntese de fitormônios e à melhoria das condições do solo.

## 7. CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que todas as concentrações de *Trichoderma asperellum* testadas são eficazes na inibição do crescimento de *Fusarium* sp.. Além disso, os experimentos de compatibilidade revelam diferentes efeitos entre fungicidas químicos e o fungicida biológico. O Fungicida Químico 1 (Bixafem, Proticonazol e Trifloxistrobina) é compatível com o *Trichoderma*, mas não induz esporulação, enquanto o Fungicida Químico 2 (Pidiflumetofem) apresenta compatibilidade e permite esporulação. Em contraste, o Fungicida Químico 3 (Metominostrobin e Tebuconazol) não é compatível com o *T. asperellum* isolado BV10. Assim como ocorre para *T. asperellum*, o *Bacillus velezensis* inibe o crescimento micelial de *Fusarium* sp. em todas as doses testadas. Esses resultados evidenciam a importância de integrar fungicidas químicos e biológicos no manejo de doenças de plantas, promovendo um controle mais eficaz e sustentável. Além disso, a utilização de inoculantes microbiológicos podem trazer benefícios no manejo de doenças e não somente na disponibilização de nutrientes.

## 8. REFERÊNCIAS

- AGRIOS, GEORGE N. **Plant pathology**. Elsevier, 2005.
- AGROFIT. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (2023)**, 2023.
- AZEVEDO, D. M. Q.; DA SILVA ROCHA, F.; FERNANDES, M. D. F. G.; DA COSTA, C. A.; MUNIZ, M. D. F. S.; BARROSO, P. D.; DO ROSÁRIO BARBOSA, D. M. C. Antagonistic effect of *Trichoderma* isolates and its metabolites against *Fusarium solani* and *F. oxysporum* in chickpea/Efeito antagonista de isolados de *Trichoderma* e seus metabólitos contra *Fusarium solani* e *F. oxysporum* em grão-de-bico. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 36344-36361, 2020.
- BARBOSA, R. S.; CALVALCANTI, V. A. L.; LOPES, E. B.; ARAÚJO, E., E. B. Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido **Doenças da palma forrageira**. In: LOPES, E. B. **Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino**. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 2012.
- BENÍTEZ, T.; RINCÓN, A. M.; LIMÓN, M. C.; CODON, A. C. **Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains**. **International microbiology**, v. 7, n. 4, p. 249-260, 2004.
- BETTIOL, W.; DE MEDEIROS, Flávio HV. **Como o Brasil se tornou o maior produtor e consumidor de produtos de biocontrole**. 2023.
- BETTIOL, W.; GHINI, R.; MORANDI, M.A.B.; STADNIK, M.J.; KRAUS, U.; STEFANOVA, M.; PRADO, A.M.C. **Controle biológico de doenças de plantas na América Latina**. In: Alves, S.B. & Lopes, R.B. (Eds.) **Controle Microbiano de Pragas na América Latina – Avanços e desafios**. Piracicaba. FEALQ, p. 303-331, 2008.
- BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (Ed.). **Biocontrole de doenças de plantas**. Uso e perspectivas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009.
- BORTOLIN, G. S.; WIETHAN, M. M. S.; VEY, R. T.; OLIVEIRA, J. C. P.; KÖPP, M. M.; DA SILVA, A. C. F. *Trichoderma* na promoção do desenvolvimento de plantas de *Paspalum regnellii* Mez. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 135. 2019.
- COLLA P, GILARDI G, GULLINO ML (2012). **A review and critical analysis of the European situation of soilborne disease management in the vegetable sector**. *Phytoparasitica* 40:515-523.
- CONTRERAS-CORNEJO, H. A., MACÍAS-RODRÍGUEZ, L., DEL-VAL, E. LARSEN, J. Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants, **FEMS Microbiology Ecology**, n.92, 2016.
- DA SILVA, L. R.; ZACARONI, A. B.; PEREIRA, P. H.; MUNIZ, C.; BOTELHO, A. S.; DE MELLO, S. C. M. *Trichoderma*: suas interações e uma abordagem metodológica aplicada ao estudo de compostos orgânicos voláteis para o mofo-branco e promoção de crescimento de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 28, p. 163-183, 2022.

DE SÁ, M. N. F., DE SOUZA LIMA, J., DE JESUS, F. N., PEREZ, J. O., & GAVA, C. A. T. (2019). Seleção in vitro de agentes de biocontrole visando o controle de *Fusarium* sp. *Acta Brasiliensis*, 3(1), 14-16.

DORIGHELLO, Dalton Vinicio et al. Manejo da ferrugem asiática da soja com *Bacillus subtilis* em aplicações fungicidas sequenciais e alternadas. **Patologia Vegetal da Australásia**, v. 49, p. 79-86, 2020.

DUTRA, R. M. S; SOUZA, M. M. O. de. Cerrado, revolução verde e evolução do consumo de agrotóxicos. **Sociedade e Natureza**, v. 29, n. 3, p. 469- 484, 2017.

FORTES, Fabiano de Oliveira et al. Promoção de enraizamento de microestacas de um clone de *Eucalyptus* sp. por *Trichoderma* spp. **Revista Árvore**, v. 31, p. 221-228, 2007.

GRANATA, G. Doenças bióticas e abióticas. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMENTABARRIOS, E. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Roma/Brasília: FAO/Sebrae, 2001. p. 112-122.

GIRALDO, Lia. Há muitas evidências de danos dos agrotóxicos à saúde. **Entrevista concedida a fundação Oswaldo Cruz**. Disponível em: < <http://www.epsjv.fiocruz.br/index.php>, 2011.

HARMAN, Gary E. et al. *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature reviews microbiology**, v. 2, n. 1, p. 43-56, 2004.

HOU, Yiping et al. Application of tetra primer ARMS-PCR approach for detection of *Fusarium graminearum* genotypes with resistance to carbendazim. **Australasian Plant Pathology**, v. 42, p. 73-78, 2013.

KOTIRANTA A, LOUNATMAA K, HAAPASALO M. Epidemiology and pathogenesis of *Bacillus cereus* infections. **Microbes and Infection**, 2: 189-198, 2000.

KRAHN, J. R. T. **Microbiota do solo em três sistemas de cultivo de citros e patogenicidade de *Fusarium* spp.** 2017. 95 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

KUPPER, K. C.; GIMENES-FERNANDES, N.; GOES, A. D. Controle biológico de *Colletotrichum acutatum*, agente causal da queda prematura dos frutos cítricos. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, p. 251-257, 2003.

INFANTE, D., MARTÍNEZ, B., GONZÁLEZ, N., & Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. **Revista de protección vegetal**, 24(1), 14-21.

LENZ, G.; COSTA, I. F. D. D.; ARRÚÉ, A.; CORADINI, C.; DRESSLER, V. L.; MELLO, P. D. A. Severidade de doenças e manutenção da área foliar verde em função da aplicação de micronutrientes e fungicidas em trigo. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 2, 2011.

MACHADO, D. F. M.; PARZIANELLO, F. R.; DA SILVA, A. C. F.; ANTONIOLLI, Z. I. Trichoderma no Brasil: o fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012.

MEYER, Maurício Conrado; MAZARO, S. M.; GODOY, C. V. **Controle biológico de mofo-branco na cultura da soja**. 2022.

MICHEREFF, S.J.; MENEZES, M.; MARIANO, R.L.R. Antagonismo de espécies de Trichoderma sobre Colletotrichum graminicola, agente da antracnose do sorgo em condições de laboratório. **Summa Phytopathologica**, (19): 14-17, 1993.

MOHAMED, Hassan Abdel-Latif A.; HAGGAG, Wafaa Mohamed. Potencial de biocontrole de mutantes tolerantes à salinidade de Trichoderma harzianum contra Fusarium oxysporum. **Revista Brasileira de Microbiologia**, v. 37, p. 181-191, 2006.

MOINO JR, Alcides; ALVES, Sérgio B. Efeito de imidacloprid e fipronil sobre Beauveria bassiana (Bals.) Vuill. e Metarhizium anisopliae (Metsch.) Sorok. e no comportamento de limpeza de Heterotermes tenuis (Hagen). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 27, 1998.

MONTE, Enrique; BETTIOL, Wagner; HERMOSA, Rosa. Trichoderma e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. **Trichoderma: uso na agricultura. Brasília: Embrapa**, p. 181-199, 2019.

MOSELA, Mirela et al. Bacillus velezensis strain Ag75 as a new multifunctional agent for biocontrol, phosphate solubilization and growth promotion in maize and soybean crops. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 15284, 2022.

OLAYA, G. et al. ADEPIDYN (TM) fungicide: Cross resistance patterns in Alternaria solani. In: **Phytopathology**. 3340 PILOT KNOB ROAD, ST PAUL, MN 55121 USA: AMER PHYTOPATHOLOGICAL SOC, 2016.

ONGENA, Marc et al. Envolvimento de lipopeptídeos do tipo fengycina no potencial multifacetado de biocontrole de Bacillus subtilis. **Microbiologia aplicada e biotecnologia**, v. 69, p. 29-38, 2005.

PETTER, F. A.; SEGATE, D.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A.; ALCÂNTARA Neto F. (2012) Incompatibilidade física de misturas entre herbicidas e inseticidas. **Planta Daninha**, v. 30, p. 449-457, 2012.

R CORE TEAM, R. R: A language and environment for statistical computing. 2013.

RABBEE, M. F.; ALI, M. S.; CHOI, J.; HWANG, B. S.; JEONG, S. C.; BAEK, K.-H. Bacillus velezensis: a valuable member of bioactive molecules within plant microbiomes. **Molecules**, v. 24, n. 6, p. 1046, 2019.

REIS, E. M. **Manual de fungicidas: guia para o controle químico racional de doenças de plantas**. Passo Fundo-RS: Berthier, 2021.

ROCHA, J. R. D. A. S. D. C.; PIMENTEL, A. J. B.; RIBEIRO, G.; SOUZA, M. A.

D. Eficiência de fungicidas no controle da brusone em trigo. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 4, 2014.

SILVA, F. C.; DA SILVA, G. A.; DE SOUZA, F. F.; BINI, D.; MARRIEL, I. E.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A. Capacidade de cepas de *Bacillus solubilizadores* de fosfato em aumentar a produtividade de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 33, 2022, Sete Lagoas. Brasil: **200 anos de independência: sustentabilidade e desafios para a cadeia produtiva de grãos**.

SOUZA, B. J. R. D.; PEREZ, P. H.; BAUER, F. C.; RAETANO, C. G.; WEIRICH NETO, P. H.; GARCIA, L. C. Adjuvantes em pulverizações de fungicidas na cultura do trigo. **Ciência Rural**, v. 44, p. 1398-1403, 2014.

SUNDARAMOORTHY, S.; BALABASKAR, P. Biocontrol efficacy of *Trichoderma* spp. against wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Journal of Applied Biology & Biotechnology**, v. 1, n. 3, p. 36-40, 2013.

THOMAS, D. John I. et al. Plasmid transfer between *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* strains in laboratory culture, river water, and dipteran larvae. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 67, n. 1, p. 330-338, 2001.

VENTURA, J. A. Taxonomia de *Fusarium* e seus segregados: I – História, meios e procedimentos de cultivo. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Porto Alegre, v. 7, p. 271-297, 1999.

WAKELIN, S.A.; WARREN, R.A.; KONG, L. E HARVEY, P.R. (2008) - Management factors affecting size and structure of soil *Fusarium* communities under irrigated maize in Australia. **Applied Soil Ecology**, vol.39, n.2, p. 201–209.

WHIPPS JM. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. **Journal of Experimental Botany** 52: 487-511. 2001 .

ZHANG, Jian et al. Biomineralization mechanism of U (VI) induced by *Bacillus cereus* 12-2: the role of functional groups and enzymes. **Chemosphere**, v. 206, p. 682-692, 2018.

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