



Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

**DENSIDADE POPULACIONAL DE *Fusarium* sp. SUBMETIDO A
VARIAÇÕES DE FATORES FÍSICOS, APLICAÇÃO DE *Trichoderma*
harzianum E GERMINAÇÃO CONIDIAL**

LUIZ FERNANDO GOIS DOS SANTOS

MESTRADO

**IPAMERI - GO
2026**

LUIZ FERNANDO GOIS DOS SANTOS

**DENSIDADE POPULACIONAL DE *Fusarium* sp. SUBMETIDO A
VARIAÇÕES DE FATORES FÍSICOS, APLICAÇÃO DE *Trichoderma*
harzianum E GERMINAÇÃO CONIDIAL**

Orientador: Prof. Dr. Daniel Diego Costa Carvalho

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás - UEG, Unidade Universitária de Ipameri como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal para obtenção do título de MESTRE.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

GS237 GOIS DOS SANTOS, LUIZ FERNANDO
dd DENSIDADE POPULACIONAL DE *Fusarium* sp. SUBMETIDO A
VARIAÇÕES DE FATORES FÍSICOS, APLICAÇÃO DE *Trichoderma*
harzianum E GERMINAÇÃO CONIDIAL / LUIZ FERNANDO GOIS
DOS SANTOS; orientador DANIEL DIEGO COSTA CARVALHO. --
Ipameri, 2026.
56 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
Mestrado Acadêmico em Produção Vegetal) -- Unidade de
Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, 2026.

1. ECOFISIOLOGIA DE *FUSARIUM* SP. I. COSTA CARVALHO,
DANIEL DIEGO, orient. II. Título.



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “Densidade populacional de *Fusarium* sp. submetido a variações de fatores físicos, aplicação de *Trichoderma harzianum* e germinação conidial.”

AUTOR(A): Luiz Fernando Gois dos Santos

ORIENTADOR(A): Daniel Diego Costa Carvalho

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE(A) EM PRODUÇÃO VEGETAL, pela comissão Examinadora:

Prof. Dr. Talles Eduardo Borges dos Santos

Universidade Estadual de Goiás/ Unidade Universitária Ipameri- GO

Documento assinado digitalmente
gov.br TALLES EDUARDO BORGES DOS SANTOS
Data: 27/02/2026 10:12:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Daniel Diego Costa Carvalho (Orientador)

Universidade Estadual de Goiás/ Unidade Universitária Ipameri- GO

Documento assinado digitalmente
gov.br DANIEL DIEGO COSTA CARVALHO
Data: 27/02/2026 09:43:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr.^a Flávia Fernandes de Jesus Souza

Universidade Estadual de Goiás/Unidade Universitária Ipameri- GO

Documento assinado digitalmente
gov.br FLAVIA FERNANDES DE JESUS SOUZA
Data: 27/02/2026 09:51:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Data da realização: 23 de fevereiro de 2026

Registro de Declaração

Número: 310 Livro: R-01 Folhas: 05A Data: 23/02/2026 Assinatura:



EPÍGRAFE

“Não desista diante do desconhecido”

DEDICATÓRIA

*A minha amada Mãe, Rosângela
Gois, minha querida esposa, Daiele
Rodrigues, minha filha, Hannah,
meus familiares e amigos, por todo
o amor, carinho, apoio, incentivo e
por todo o amparo no decorrer da
minha vida pessoal e acadêmica,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Deus por me conceder esta conquista. Aos meus familiares, minha mãe Rosângela, meus irmãos Maria e Heitor, e, de forma especial, à minha esposa Daiele Rodrigues, pelo apoio incondicional ao longo de toda a trajetória. Expresso também meu carinho e agradecimento à nossa filha Hannah, que ainda em gestação já se faz presente como fonte de motivação e esperança. Agradeço, ainda, ao meu primo Rikelme, que acompanhou de perto cada etapa deste percurso.

Gratidão ao meu orientador Prof. Dr. Daniel Diego Costa Carvalho, que com serenidade me orientou e esteve sempre à disposição para me atender e juntos criamos ideias diante de muitos impasses que surgiram nas pesquisas. Agradeço imensamente meus colegas da pós-graduação, que tornaram essa jornada mais enriquecedora. Sou grato à Universidade Estadual de Goiás – unidade de Ipameri e ao Laboratório de Fitopatologia por toda estrutura e materiais.

Gratidão à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro.

Gratidão a todos que fizeram parte desse momento.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT.....	x
1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 O fungo <i>Fusarium</i> sp.: sistemática, importância, morfologia, fisiologia e ecologia.....	11
1.2 O fungo <i>Trichoderma</i> sp.: sistemática, importância, morfologia, fisiologia e ecologia	13
1.3 Estimativas de <i>Fusarium</i> sp. no solo: antecedentes.	15
1.4 Identificação molecular de <i>Fusarium</i> sp.	16
1.5 Importância da caracterização fisiológica de fungos.....	17
1.6 Temperatura e luz sobre o crescimento e germinação de <i>Fusarium</i> sp.....	18
2 OBJETIVO	20
Geral	20
Específicos:.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Área experimental, delineamento e coleta de solo	21
3.1.2 Estimativa da densidade populacional de <i>Fusarium</i> sp. no solo submetido a diferentes temperaturas e à aplicação de <i>Trichoderma harzianum</i>	22
3.2 Obtenção de isolado de <i>Fusarium</i> sp. a partir de amostras de solo.....	23
3.3 Teste de patogenicidade em semente de feijão inoculado com <i>F. solani</i> (Q-01-08).....	23
3.4 Emissão do tubo germinativo em microconídios de <i>F. solani</i> (Q-01-08), submetido a diferentes temperaturas e regimes de luz.....	24
3.5 Crescimento de microconídios de <i>F. solani</i> (Q-01-08) ao longo do tempo, submetidos a diferentes temperaturas e regimes de luz.....	24
3.6 Percentagem de germinação de microconídios de <i>F. solani</i> (Q-01-08) ao longo do tempo submetido a diferentes temperaturas e regimes de luz	25
Análise estatísticas.....	25
4 RESULTADOS	26
4.1 Estimativa da densidade populacional de <i>Fusarium</i> sp. no solo submetido a diferentes temperaturas e à aplicação de <i>Trichoderma harzianum</i>	26
4.2 Identificação molecular do isolado <i>Fusarium</i> sp. (Q-01-08)	27
4.3 Teste de patogenicidade em semente de feijão inoculado com <i>F. solani</i> (Q-01-08).....	27
4.4 Emissão do tubo germinativo em microconídios de <i>F. solani</i> (Q-01-08), submetidos a diferentes temperaturas e regimes de luz.....	28

4.5 Crescimento de microconídios de <i>F. solani</i> (Q-01-08) ao longo do tempo, submetidos a diferentes temperaturas e regimes de luz.....	29
4.6 Percentagem de germinação de microconídios de <i>F. solani</i> (Q-01-08) ao longo do tempo, submetidos a diferentes temperaturas e regimes de luz.....	33
5. DISCUSSÃO.....	35
5.1 Estimativa da densidade populacional de <i>Fusarium</i> sp. no solo submetido a diferentes temperaturas e à aplicação de <i>Trichoderma harzianum</i>	35
5.2 Identificação molecular do isolado <i>Fusarium</i> sp. (Q-01-08)	36
5.3 Teste de Patogenicidade em sementes de feijão inoculado com <i>F. solani</i> (Q-01-08).....	37
5.4 Emissão do tubo germinativo em microconídios de <i>F. solani</i> (Q-01-08), submetidos a diferentes temperaturas e regimes de luz.....	38
5.5 Crescimento de microconídios de <i>F. solani</i> (Q-01-08) ao longo do tempo, submetidos a diferentes temperaturas e regimes de luz.....	38
5.6 Percentagem de germinação de microconídios de <i>F. solani</i> (Q-01-08) ao longo do tempo, submetidos a diferentes temperaturas e regimes de luz.....	40
6 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Dados meteorológicos de temperatura, precipitação e umidade relativa do município de Ipameri-GO, registrados entre setembro e dezembro de 2024, coletadas da Estação Meteorológica da UEG – Ipameri (FT0320). 21
- Figura 2.** Localização da área de estudo, Universidade Estadual de Goiás, Campus Sul, Unidade universitária de Ipameri – GO. Fonte: autor, 2024. 21
- Figura 3.** Número de propágulo de *Fusarium* sp. com e sem a aplicação de *T. harzianum* IBLF 006 em solo quando submetidos a diferentes temperaturas, Ipameri, Goiás..... 26
- Figura 4.** Árvore filogenética inferida pelo método de Máxima Verossimilhança (Maximum Likelihood). O suporte dos clados estimado por bootstrap com 1.000 replicações, sendo os valores percentuais indicados nos nós..... 27
- Figura 5.** Tempo até o início da emissão do tubo germinativo em microconídios de *F. solani* (Q-01-08) submetidos a diferentes temperaturas e regime de luz. 29
- Figura 6.** Crescimento de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) ao longo do tempo submetido a diferentes temperaturas e regimes de luz..... 30
- Figura 7.** Crescimento de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) ao longo do tempo submetido a diferentes temperaturas e exposição contínua a luz..... 31
- Figura 8.** Crescimento de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) ao longo do tempo submetido a diferentes temperaturas e exposição contínua ao escuro. 32
- Figura 9.** Crescimento de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) em função da temperatura, considerando diferentes tempos de incubação e regimes de luz. 33
- Figura 10.** Percentagem germinativo de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) ao longo do tempo submetido a diferentes temperaturas e regimes de luz. 34

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Médias da percentagem de plântulas normais, plântulas anormais, sementes mortas de feijão comum inoculados com *F. solani* isolado (Q-01-08).**Error! Bookmark not defined.**
- Tabela 2.** Quadro da análise de variância para tempo até o início da germinação em microconídios de *F. solani* sob diferentes temperaturas e regimes de luz. 28

RESUMO

Fusarium é um fungo de ampla distribuição, altamente resiliente e adaptável, responsável por doenças severas em diversas culturas agrícolas. Sua capacidade de sobrevivência e adaptação às mudanças climáticas reforça sua relevância econômica e fitopatológica em escala global. Neste estudo, objetivou-se estimar a densidade populacional de *Fusarium* sp. sob diferentes condições físicas, avaliar o efeito da aplicação de *Trichoderma harzianum* e caracterizar a germinação conidial. Amostras de solo foram coletadas em gerbox na Universidade Estadual de Goiás, Campus Sul, Unidade Universitária de Ipameri. As gerbox foram divididas em dois tratamentos: controle, destinado à quantificação da densidade populacional natural de *Fusarium* sp., e tratamento biológico, que recebeu previamente a aplicação de uma suspensão de *T. harzianum*. Os tratamentos foram submetidos às temperaturas de 16, 20, 24, 28 e 32°C, durante dez dias de incubação em câmaras BOD, sob fotoperíodo de 12 h. Percorrido o período de incubação, 1g de solo foi retirada da gerbox e realizado uma suspensão na diluição 1:100. Alíquotas de 1 mL dessa suspensão foi transferido para meio komada, por sete dias a 24°C, sob fotoperíodo de 12h. Posteriormente, contabilizou-se o número de colônias formada, e a estimativa expressa em g⁻¹ de solo. Paralelamente, foi obtido o isolado Q-01-08, submetido a testes de patogenicidade em sementes de feijão, além da avaliação do tempo inicial de germinação, crescimento do tubo germinativo e percentagem de germinação de microconídios. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado. A maior densidade *Fusarium* ocorreu em torno de 24–25°C, reduzida cerca de 55% em temperaturas extremas e 30% a 60% pela ação de *T. harzianum*. O isolado Q-01-08 apresentou elevada patogenicidade em sementes de feijão. A identificação molecular baseada no sequenciamento do ITS apresentou (567/569 bp) com sequências de *F. solani*. A temperatura e o regime de luz influenciaram a germinação, com atraso nas faixas mais baixas, limitação entre 24–27°C sob luz e favorecimento do crescimento a 28–32°C no escuro, que também aumentou a percentagem de germinação acima de 24°C. Conclui-se que o isolado possui importância econômica pela sua patogenicidade e que seu crescimento e comportamento são fortemente modulados pelas condições de luz e temperatura.

Palavras-chave: Controle biológico, microconídios, estimativa, caracterização fisiológica.

ABSTRACT

Fusarium is a widely distributed fungus, highly resilient and adaptable, responsible for severe diseases in various agricultural crops. Its ability to survive and adapt to climate change reinforces its global economic and phytopathological relevance. In this study, the aim was to estimate the population density of *Fusarium* sp. under different physical conditions, evaluate the effect of *Trichoderma harzianum* application, and characterize conidial germination. Soil samples were collected in gerboxes at the State University of Goiás, South Campus, Ipameri Unit. The gerboxes were divided into two treatments: control, intended for quantification of the natural population density of *Fusarium* sp., and biological treatment, which previously received a suspension of *T. harzianum*. The treatments were subjected to temperatures of 16, 20, 24, 28, and 32°C for ten days of incubation in BOD chambers under a 12 h photoperiod. After the incubation period, 1 g of soil was removed from the gerbox and suspended at a 1:100 dilution. Aliquots of 1 mL of this suspension were transferred to Komada medium for seven days at 24°C under a 12 h photoperiod. Subsequently, the number of colonies formed was counted, and the estimate expressed per gram of soil. In parallel, isolate Q-01-08 was obtained and subjected to pathogenicity tests on bean seeds, as well as evaluation of initial germination time, germ tube growth, and microconidia germination percentage. The experiment was conducted in a completely randomized design. The highest *Fusarium* density occurred around 24–25°C, reduced by approximately 55% at extreme temperatures and by 30–60% due to the action of *T. harzianum*. Isolate Q-01-08 showed high pathogenicity in bean seeds. Molecular identification based on ITS sequencing revealed 567/569 bp similarity with *F. solani* sequences. Temperature and light regime influenced germination, with delays at lower ranges, limitation between 24–27°C under light, and promotion of growth at 28–32°C in darkness, which also increased germination percentage above 24°C. It is concluded that the isolate has economic importance due to its pathogenicity and that its growth and behavior are strongly modulated by light and temperature conditions.

Key-words: Biological control; microconidia; estimation; physiological characterization.

1 INTRODUÇÃO

1.1 O fungo *Fusarium* sp.: sistemática, importância, morfologia, fisiologia e ecologia

De acordo com o INDEX FUNGORUM (2025), o gênero *Fusarium* está classificado no reino Fungi, pertencendo ao filo Ascomycota, subfilo Pezizomycotina, classe Sordariomycetes, subclasse Hypocreomycetidae, ordem Hypocreales e família Nectriaceae. Atualmente, são reconhecidas mais de 300 espécies filogeneticamente distintas dentro desse gênero, distribuídas em mais de 20 complexos taxonômicos (NUCCI et al., 2021).

Diante dessa diversidade, a taxonomia de *Fusarium* tem sido alvo de intensas controvérsias, envolvendo diferentes abordagens propostas pelos principais autores da área. Enquanto Crous et al. (2021) defendem a divisão do gênero em múltiplos grupos segregados com base em sinapomorfias morfológicas e filogenia molecular, buscando maior precisão evolutiva, O'Donnell et al. (2021) e Leslie e Summerell (2006) sustentam a manutenção de *Fusarium* como um único gênero funcional, argumentando que sua coesão filogenética e aplicabilidade prática, especialmente em fitopatologia e diagnóstico, justificam uma abordagem mais integrativa e estável.

Independentemente da perspectiva taxonômica, *Fusarium* constitui um dos grupos de fungos mais relevantes em termos econômicos e fitopatológicos, sendo responsável por doenças severas em diversas culturas e por perdas que somam bilhões de dólares anualmente em escala global (AOKI et al., 2014; BAKKER et al., 2018).

O gênero *Fusarium* passou recentemente a integrar o grupo dos dez fungos fitopatogênicos de maior impacto econômico (TIMMUSK, 2020), posição sustentada pela capacidade de diferentes espécies provocarem perdas expressivas em culturas amplamente cultivadas, como trigo, milho, banana e algodão, afetando tanto a produtividade quanto a qualidade dos produtos agrícolas (BUGINGO et al., 2025). Além dessas culturas, algumas espécies também alcançam outras plantas de interesse alimentar, entre elas o feijão-comum, que pode ser infectado por patógenos de solo transmitidos por sementes, como *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* e *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*, agentes da murcha de Fusarium e da podridão-radicular-seca, respectivamente (EMBRAPA, 2025).

Nesse cenário, *Fusarium* representa não apenas um desafio fitopatológico de difícil manejo, mas também um problema de segurança alimentar e de impacto socioeconômico mundial, dada sua capacidade de afetar cadeias produtivas estratégicas e gerar prejuízos em diferentes setores da agricultura e do comércio internacional.

A identificação das espécies de *Fusarium* é realizada por meio de critérios morfológicos e culturais, considerando aspectos da colônia como cor, forma, textura e padrão de crescimento. As colônias podem apresentar tonalidades branca, rosa, vermelha, roxa, salmão ou cinza, com superfícies de aspecto aveludado ou algodinoso (AJMAL et al., 2022). Além disso, características microscópicas, como a morfologia dos macroconídios, são fundamentais, destacando-se suas septações e o formato típico de meia-lua (GUARRO e GENÉ, 1992; LESLIE e SUMMERELL, 2006). Embora a identificação do gênero seja relativamente simples, a distinção entre espécies exige uma abordagem integrativa, combinando dados morfológicos e moleculares para maior confiabilidade taxonômica (GUARRO, 2013).

Do ponto de vista fisiológico, *Fusarium* apresenta capacidade de reprodução tanto assexuada quanto sexuada. No ciclo sexual, forma estruturas denominadas peritécios, que contêm ascósporos, geralmente produzidos em resposta a condições ambientais específicas, como a presença de hospedeiros compatíveis ou fatores climáticos favoráveis (LUCAS et al., 2023). Além disso, o gênero é notável pela produção de metabólitos secundários, entre os quais se destacam fumonisinas, zearalenona e tricotecenos, micotoxinas que contaminam produtos agrícolas e representam sérios riscos à saúde humana e animal (BHAT et al., 2010). Esses compostos são considerados os principais fatores de patogenicidade (AMUZU et al., 2024), e seu consumo pode resultar em doenças agudas e crônicas de longo prazo (MCLEAN, 1996; PIERZGALSKI et al., 2021). A diversidade de metabólitos secundários com múltiplas atividades biológicas torna *Fusarium* uma fonte de compostos bioativos de interesse científico e biotecnológico (AHMED et al., 2023; XU et al., 2023).

O gênero *Fusarium* apresenta ampla distribuição ecológica, resultado de sua notável capacidade de adaptação a diferentes ambientes e condições abióticas, sendo encontrado em solos agrícolas e naturais, em resíduos vegetais e em diversos substratos (SILVA, 2023; SHARMA e MARQUES., 2018). Essa plasticidade ecológica assegura a manutenção contínua de inóculo nos sistemas agrícolas, uma vez que o acúmulo em resíduos vegetais e no solo constitui uma fonte primária de infecção e favorece a ocorrência de surtos quando as condições ambientais são propícias (PAUGH e GORDON, 2021).

O processo infeccioso geralmente se inicia pelas raízes, onde os conídios germinam e as hifas colonizam intensamente os tecidos radiculares, avançando posteriormente para os vasos do xilema e ocasionando sintomas característicos de murcha e necrose (YANG et al., 2024). A sobrevivência prolongada do fungo é garantida pela formação de clamidósporos, estruturas de resistência que possibilitam sua persistência mesmo em condições adversas, assegurando a viabilidade do inóculo e a recorrência de infecções em diferentes hospedeiros (MILANESI, 2009; GONCHAROV et al., 2020).

Dessa forma, a ecologia de *Fusarium* não apenas explica sua ampla distribuição geográfica, como sustenta sua relevância epidemiológica, evidenciando como fatores ambientais e interações biológicas influenciam diretamente sua capacidade de infectar plantas e produzir micotoxinas.

1.2 O fungo *Trichoderma* sp.: sistemática, importância, morfologia, fisiologia e ecologia

De acordo com o INDEX FUNGORUM (2025), o gênero *Trichoderma* pertence ao reino Fungi, filo Ascomycota, subfilo Pezizomycotina, classe Sordariomycetes, subclasse Hypocreomycetidae, ordem Hypocreales e família Hypocreaceae. Atualmente, reúne 469 nomes de espécies, das quais 382 são considerados válidos (CAI et al., 2022). A identificação de isolados em nível de espécie, entretanto, permanece desafiadora, pois as diferenças morfológicas entre representantes são sutis e de difícil observação (ZIN e BADALUDDIN, 2020). Nesse contexto, a identificação precisa é essencial para prever propriedades benéficas ou patogênicas de cepas individuais, monitorar sua distribuição e estabelecer medidas de segurança adequadas (CAI e DRUZHININA, 2021).

O gênero *Trichoderma* possui elevada relevância agrícola como agente de biocontrole, atuando por meio da competição por nutrientes e espaço, da produção de metabólitos antifúngicos, do micoparasitismo, da secreção de enzimas líticas e da indução de resistência em plantas (SEKHAR et al., 2017; TYSKIEWICZ et al., 2022; MUHIBBUDIN et al., 2021).

Estudos recentes evidenciam o potencial antagonista de *Trichoderma* na supressão do crescimento micelial de fungos fitopatogênicos. Medeiros et al. (2020) demonstraram que *T. viride*, *T. harzianum*, *T. asperellum* e *Trichoderma* sp. reduziram significativamente o crescimento de *Fusarium moniliforme*, alcançando inibições de até 89% por *T. viride* em condições in vitro. De forma semelhante, Surendra et al. (2024) verificaram a ação de *T. viride* e *T. harzianum* contra diferentes patógenos, com taxas de inibição próximas a 40%. Esses resultados confirmam que distintas espécies e isolados apresentam atividade consistente e eficaz contra uma ampla gama de fitopatógenos, reforçando sua relevância como agentes de biocontrole sustentável. Dessa forma, fungos do gênero *Trichoderma* são amplamente utilizados na agricultura como agentes de controle de doenças, promovendo o crescimento vegetal e induzindo resistência contra patógenos (THONAR et al., 2017; MURALI et al., 2021). Sua aplicação apresenta vantagens econômicas e ambientais, já que o uso de organismos antagonistas é mais barato que produtos químicos, simples de aplicar e não deixa resíduos no ambiente (RUFINO et al., 2018; QUEVEDO et al., 2022).

Morfologicamente, *Trichoderma* caracteriza-se por conidióforos hialinos definidos, altamente ramificados, com ramos terminais não verticiliados e fiálides isoladas ou agrupadas

(MIRANDA e CORRÊA, 2024). Os conídios variam em forma e tamanho, exibindo colorações que vão do verde ao verde-amarelado, com tendência a se acumular em aglomerados globulares (ESPOSITO e SILVA, 1998). Após o desenvolvimento, observam-se manchas dispersas verde-azuladas ou verde-amareladas, que por vezes se organizam em anéis concêntricos (GORAI et al., 2020). As cepas podem ser reconhecidas por características comuns, como pigmento conidial verde brilhante, crescimento rápido e ramificação repetitiva (ZIN e BADALUDDIN, 2020; HARMAN et al., 2004b). A coloração verde característica das espécies de *Trichoderma* auxilia os pesquisadores a identificarem e distinguir facilmente esse gênero de outros fungos presentes no solo (NAHER et al., 2019). Contudo, para discriminar espécies em larga escala, apenas características morfológicas e fisiológicas não são suficientes (ASIS et al., 2021).

Na rizosfera, *Trichoderma* atua como agente biológico, suprimindo o inóculo de patógenos transmitidos pelo solo, prevenindo sua colonização e protegendo sementes e raízes contra infecções (SAPUTRA et al., 2022). Essa versatilidade está diretamente relacionada ao seu metabolismo, que possibilita o controle de fitopatógenos por meio da produção de enzimas hidrolíticas, da indução de resistência em plantas hospedeiras e de mecanismos como antibiose e micoparasitismo (GAMARRA et al., 2017; ZHOU et al., 2020).

Espécies do gênero apresentam elevada capacidade de síntese de metabólitos secundários, como 6-pentil- α -pirona e tricodermacetonas, associados à maior produção de enzimas como quitinase e β -1,3-endoglucanase, que reforçam sua ação antagonista e ampliam sua eficácia no controle biológico (KIM et al., 2020). Enzimas como quitinases, celulasas e β -1,3-glucanases são fundamentais para degradar a parede celular de outros fungos, permitindo o micoparasitismo e a competição por espaço (MONTE et al., 2019).

Trichoderma destaca-se, portanto, como um excelente agente de controle biológico, sendo de fácil isolamento e cultivo, proliferando rapidamente em diversos substratos, afetando diretamente patógenos de plantas, atuando como micoparasita, competindo de forma eficiente por alimento e espaço (NUSAIBAH e MUSA, 2019; KHAN et al., 2020). Esses microrganismos apresentam estruturas adaptadas para colonizar resíduos de plantas, iniciando a decomposição da matéria orgânica (NAHER et al., 2019). Nesse processo, atuam principalmente como decompositores de celulose, hemicelulose e quitina, mas também podem estabelecer relações simbióticas com plantas e agir como parasitas de outros fungos, ampliando sua versatilidade ecológica (TYŚKIEWICZ et al., 2022; HARMAN et al., 2004a).

O controle biológico por potenciais endófitos como *Trichoderma* SP. tem se expandido devido à sua ampla distribuição e às diversas interações estabelecidas com outros organismos (ZIN e BADALUDDIN, 2020). Essa multiplicidade de estratégias reforça sua relevância ecológica e seu potencial como ferramenta sustentável para a agricultura.

1.3 Estimativas de *Fusarium* sp. no solo: antecedentes.

A estimativa da população de *Fusarium* no solo constitui uma etapa essencial para compreender a dinâmica epidemiológica de doenças de solo, planejar estratégias de manejo e prever riscos fitossanitários em diferentes sistemas agrícolas. Como patógenos habitantes do solo, espécies de *Fusarium* apresentam alta persistência, capacidade saprofítica acentuada e habilidade de sobreviver por longos períodos por meio de clamidósporos e micélio em resíduos culturais (SUMMERELL et al., 2011). Populações elevadas na rizosfera frequentemente correlacionam-se com maior incidência e severidade de doenças, justificando a necessidade de quantificação rotineira em programas de manejo (SUMMERELL, 2019).

Tradicionalmente, a estimativa de fungos tem sido realizada por diversos autores utilizando métodos culturais baseados em unidades formadoras de colônia (UFC) a partir de amostras de solo ou sementes, pelos quais o fungo é isolado em meios seletivos e as colônias são contadas e, quando necessário, confirmadas morfológicamente (LESLIE e SUMMERELL, 2006; TOLEDO-SOUZA et al., 2008; CARVALHO et al., 2015).

A abundância e distribuição de *Fusarium* SP. no solo são de suma importância para entender processos de supressão de doenças e dinâmica rizosférica em sistemas agrícolas (ETHUR et al., 2008). Estudos recentes destacam que a dinâmica populacional em solos agrícolas depende de uma combinação de fatores edáficos, manejo e interações microbianas, tornando a estimativa do inóculo um passo fundamental para prever risco epidemiológico e orientar intervenções (SCHIRO et al., 2018). O solo pode ser considerado o fator mais importante, pois não só fornece o meio para o crescimento das raízes, como afeta a atividade do patógeno devido às suas propriedades físicas e químicas, que variam conforme o tipo de solo (CRUZ et al., 2020).

Um dos grandes desafios da eliminação de *Fusarium* na prática agrícola é a presença constante de propágulos em todos os órgãos das plantas vivas, em restos vegetais e no solo (NIKITIN et al., 2023). Além disso, o solo infectado pode ser redistribuído para diferentes locais por ferramentas utilizadas no campo e por animais, o que pode levar a surtos em novas áreas (EKWOMADU e MWANZA, 2023).

Avanços metodológicos recentes, especialmente o uso de técnicas moleculares como qPCR, têm ampliado a precisão das estimativas populacionais ao permitir a detecção específica de grupos taxonômicos e a quantificação de DNA fúngico mesmo na presença de cultivos (MATSON et al., 2024; MUNIS et al., 2018). Segundo Schena et al. (2013), métodos baseados em PCR são capazes de detectar níveis muito baixos de inóculo e diferenciar espécies com elevado grau de similaridade morfológica.

Nesse contexto, os antecedentes mostram que a estimativa de *Fusarium* sp. em solo é fundamental não apenas para compreender sua ecologia, mas também para subsidiar estratégias de manejo integrado de doenças, reduzindo perdas econômicas e garantindo maior sustentabilidade agrícola.

1.4 Identificação molecular de *Fusarium* sp.

O gênero *Fusarium* foi descrito pela primeira vez por Link em 1809, no início do século XIX, sendo caracterizado pela presença marcante de conídios em formato de canoa (SUMMERELL, 2019; Al-HATMI et al., 2016). Décadas mais tarde, em 1935, Wollenweber e Reinking propuseram uma classificação baseada em diferenças morfológicas, organizando o grupo em 16 seções que englobavam 65 espécies, 55 variedades e 22 formas. Posteriormente, Booth (1971) simplificou essa estrutura, reduzindo-a para apenas 14 espécies. Apesar de trazer maior organização, esse conceito ainda se apoiava nas diferenças entre cepas, sem considerar de forma adequada as semelhanças compartilhadas (LESLIE e SUMMERELL, 2006).

Tradicionalmente, a identificação de espécies de *Fusarium* tem sido realizada por critérios morfológicos e culturais, levando em conta aspectos da colônia, como cor, textura, forma e padrão de crescimento. Além disso, a análise microscópica dos macroconídios, geralmente em formato de meia-lua e com septações características, é fundamental nesse processo (GUARRO e GENÉ, 1992). No entanto, tais métodos apresentam limitações, especialmente diante da grande diversidade do gênero.

Com o avanço das técnicas moleculares, novas ferramentas foram desenvolvidas, oferecendo maior rapidez, sensibilidade e especificidade na identificação (DIEPENINGEN et al., 2015). A reação em cadeia da polimerase (PCR), por exemplo, possibilita a amplificação de regiões específicas do DNA, permitindo ao pesquisador isolar fragmentos de interesse de forma precisa (ALBERTS et al., 2017). No passado, a identificação molecular de *Fusarium* fundamentava-se predominantemente na análise filogenética de um único locus, como ITS ou TEF-1 (HAO et al., 2017). Atualmente, o sequenciamento molecular já reconhece mais de 200 espécies distribuídas em 22 complexos, diferenciados por características morfológicas, associação com hospedeiros e parâmetros genéticos (LAURENCE et al., 2016).

Nos últimos 25 anos, a aplicação do conceito de espécies filogenéticas, fundamentado na concordância genealógica multilocus (TAYLOR et al., 2000), tem revolucionado a sistemática de *Fusarium*. Essa abordagem já permitiu identificar cerca de 80% das filoespécies conhecidas (O'DONNELL et al., 2022), redefinindo limites taxonômicos, relações evolutivas e até mesmo o potencial toxigênico do gênero (LARABA et al., 2021). Diferentemente dos conceitos morfológicos, a filogenia utiliza marcadores moleculares, principalmente sequências

de DNA, superando as dificuldades impostas pela plasticidade fenotípica (LESLIE e SUMMERELL, 2006).

Diversos genes codificadores de proteínas têm sido explorados para fins de identificação molecular em *Fusarium* (CROUS et al., 2021). Entre eles, destacam-se três marcadores amplamente utilizados: o fator de alongação de tradução 1- α (*tef1*) e as subunidades da RNA polimerase dirigidas por DNA (*rpb1* e *rpb2*). Em conjunto, esses genes fornecem informações robustas para diferenciação em nível de espécie ou em grupos muito próximos (O'DONNELL et al., 2022).

Compreender a biologia, a diversidade populacional e os fatores epidemiológicos relacionados ao patógeno é essencial para o controle das doenças causadas por *Fusarium*, reforçando a importância da identificação molecular como ferramenta estratégica (BOZOGLU et al., 2022).

1.5 Importância da caracterização fisiológica de fungos

A caracterização fisiológica de fungos constitui uma etapa fundamental para a compreensão de seu comportamento biológico, ecológico e patogênico, especialmente nos contextos agrícola e ambiental. Por meio dessa abordagem, torna-se possível compreender as capacidades metabólicas dos fungos, suas adaptações aos diferentes nichos ecológicos e seus potenciais de aplicação biotecnológica (GOMPERTZ et al., 2015). Além disso, a caracterização fisiológica é amplamente utilizada como parte essencial das análises voltadas à identificação e ao manejo de fungos patogênicos, contribuindo de forma direta para estratégias de controle mais eficientes (TEKER et al., 2024).

Parâmetros fisiológicos como crescimento micelial e esporulação têm sido empregados com sucesso na seleção e identificação de diversos fungos patogênicos de importância agrícola, permitindo distinguir espécies e avaliar seu potencial de dano às culturas (SALDANHA et al., 2022; PEÑA-PEÑA et al., 2023). Outros aspectos relevantes incluem o metabolismo secundário, especialmente a produção de micotoxinas, e sua interação complexa com os sistemas de defesa hormonal das plantas, elementos centrais na dinâmica da relação patógeno-hospedeiro (DINOLFO et al., 2017).

O desenvolvimento fúngico é condicionado por fatores ambientais como umidade, atividade de água, temperatura, pH, oxigênio e luz, sendo favorecido, em geral, por alta umidade, pH levemente ácido e temperaturas mesofílicas, embora muitos fungos tolerem ampla variação desses parâmetros, enquanto a luz solar direta exerce efeito fungicida (BARBEDO, 2025). Portanto, a caracterização fisiológica mostra-se indispensável para a compreensão integrada dos fatores que regulam o crescimento, a sobrevivência e a patogenicidade dos fungos

1.6 Temperatura e luz sobre o crescimento e germinação de *Fusarium* sp.

A germinação de esporos representa uma etapa crucial na colonização de novos ambientes por fungos filamentosos (HARRIS, 2005) e, após a quebra da dormência, os esporos iniciam uma sequência definida de eventos morfogênicos que culmina na formação de um eixo de crescimento polarizado e no surgimento de um ou mais tubos germinativos (D'ENFERT, 1997; HARDHAM, 2001). Esse processo, marcado pela quebra da simetria celular e pelo aparecimento de um tubo germinativo ou CAT, constitui o passo inicial do ciclo de vida de fungos filamentosos como *Fusarium oxysporum*, produtor de microconídios, macroconídios e clamidósporos (OKUNGBOWA et al., 2012).

Entre os múltiplos fatores ambientais que condicionam o surgimento e a progressão de doenças em plantas hospedeiras, a temperatura se destaca por exercer papel determinante na dinâmica da interação patógeno-hospedeiro (SALEH et al., 2021). A temperatura interfere nos processos biológicos, razão pela qual tanto as plantas como os patógenos requerem uma faixa mínima para crescer e desenvolver normalmente suas atividades (CAMERA e DEUNER, 2017). Além disso, regula o crescimento dos fungos e afeta diretamente sua patogenicidade (EZRARI et al., 2021). Diversas pesquisas têm evidenciado que variações térmicas influenciam o crescimento micelial, a taxa de multiplicação dos fungos e, conseqüentemente, a intensidade e evolução das enfermidades que eles provocam.

No caso de espécies de *Fusarium*, a temperatura é considerada um fator climático crítico, afetando sua produção, dispersão e o desenvolvimento das doenças associadas (YAN e NELSON, 2020). O conhecimento de diferentes espécies de *Fusarium* sp. à temperatura é, portanto, essencial para compreender a biologia básica das enfermidades causadas por esses patógenos (YAN e NELSON, 2020).

Além da temperatura, a luz também exerce papel relevante no crescimento e reprodução dos fungos. Estudos demonstram que agentes físicos como temperatura e luz influenciam tanto o desenvolvimento vegetativo quanto reprodutivo da maioria dos fungos (MAIA et al., 2015; PRAMUNADIPTA et al., 2022).

Embora o crescimento seja favorecido por ciclos alternados de luz, alguns fungos são capazes de esporular e manter crescimento contínuo sob condições de luz constante (MEZZOMO et al., 2018). A luz, em conjunto com a temperatura, pode intensificar o crescimento micelial e a produção de conídios em curto período, aumentando o potencial de infecção (POLTRONIERI et al., 2013). Portanto, tanto a temperatura quanto a luz são fatores ambientais essenciais para o crescimento e germinação de *Fusarium*, influenciando diretamente sua capacidade de colonização, multiplicação e patogenicidade.

Nesse contexto, investigar a ecofisiologia de isolados de *Fusarium* é fundamental para compreender sua resposta a diferentes condições ambientais e subsidiar estratégias de prevenção mais eficazes. No entanto, apesar dos avanços no estudo do gênero, ainda há uma lacuna significativa de informações sobre aspectos críticos, como crescimento, germinação e respostas fisiológicas a fatores abióticos, especialmente temperatura e luz, que influenciam diretamente a capacidade de colonização e a patogenicidade do fungo. Considerando o expressivo impacto econômico associado a esse gênero, responsável por perdas relevantes em diversas culturas agrícolas, o aprofundamento do conhecimento sobre o desempenho desses isolados torna-se essencial para avaliar seu potencial patogênico e sua adaptação às condições ambientais.

2 OBJETIVO

Geral

Este estudo objetivou estimar a densidade populacional de *Fusarium* sp. em amostras de solo submetido a variações de fatores físicos, aplicação de *Trichoderma harzianum* e germinação conidial.

Específicos:

1. Estimar a densidade populacional de *Fusarium* sp. em solo do cerrado submetido a variações de temperaturas e à aplicação de *T. harzianum*.
2. Obtenção de um isolado de *Fusarium* sp. para verticalização do estudo, incluindo sua biologia e identificação molecular.
3. Realizar teste de patogenicidade do isolado de *Fusarium* sp. em semente de feijoeiro comum.
4. Analisar a influência da temperatura e regime de luz como desencadeadores do início da emissão do tubo germinativo em microconídios do isolado de *Fusarium* sp.
5. Avaliar a influência da temperatura e regime de luz sobre o crescimento do tubo germinativo em microconídios do isolado de *Fusarium* sp. em função tempo.
6. Avaliar a influência da temperatura e regime de luz sobre a percentagem de germinação em microconídios do isolado de *Fusarium* sp. em função do tempo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental, delineamento e coleta de solo

O estudo foi conduzido entre 2024/2025, com três coletas de solo realizada entre outubro e dezembro de 2024, período correspondente à transição entre a estação seca e o início da estação chuvosa no Cerrado goiano. Nesse intervalo, as condições climáticas foram marcadas por aumento gradual da precipitação e da umidade. Em outubro, as chuvas se intensificaram, alcançando em novembro média de 283 mm, distribuídos ao longo de 60 dias chuvosos. As temperaturas mantiveram-se elevadas, variando entre 25 e 26°C (Figura 1)

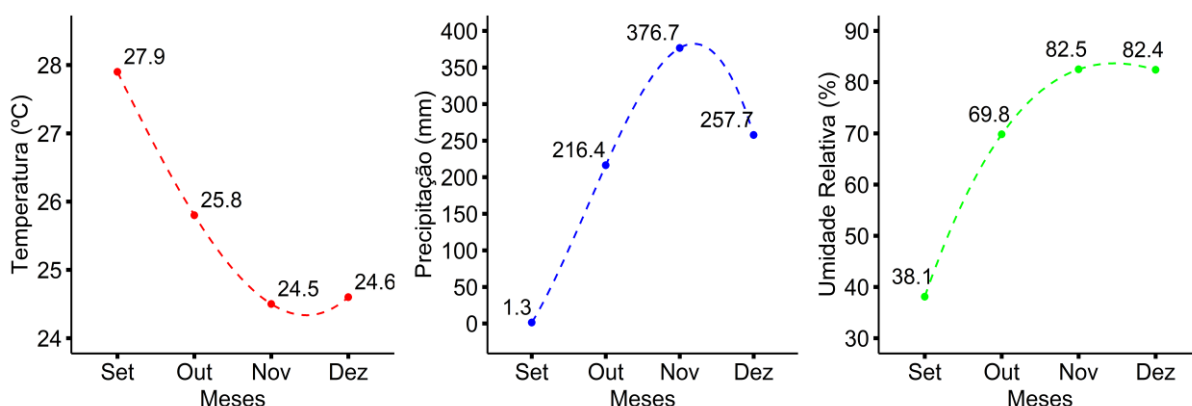


Figura 1. Dados meteorológicos de temperatura, precipitação e umidade relativa do município de Ipameri-GO, registrados entre setembro e dezembro de 2024, coletadas da Estação Meteorológica da UEG – Ipameri (FT0320).

As amostras de solo, na profundidade de 0 a 10 cm, foram coletadas em uma área mantida em pousio após a colheita do milho híbrido BM 904, localizada na Universidade estadual de Goiás, Campus Sul, Unidade Universitária de Ipameri (17°42'59,12"S; 48°08'40,49"W; 773 m), no município de Ipameri, Goiás, Brasil (Figura 2).

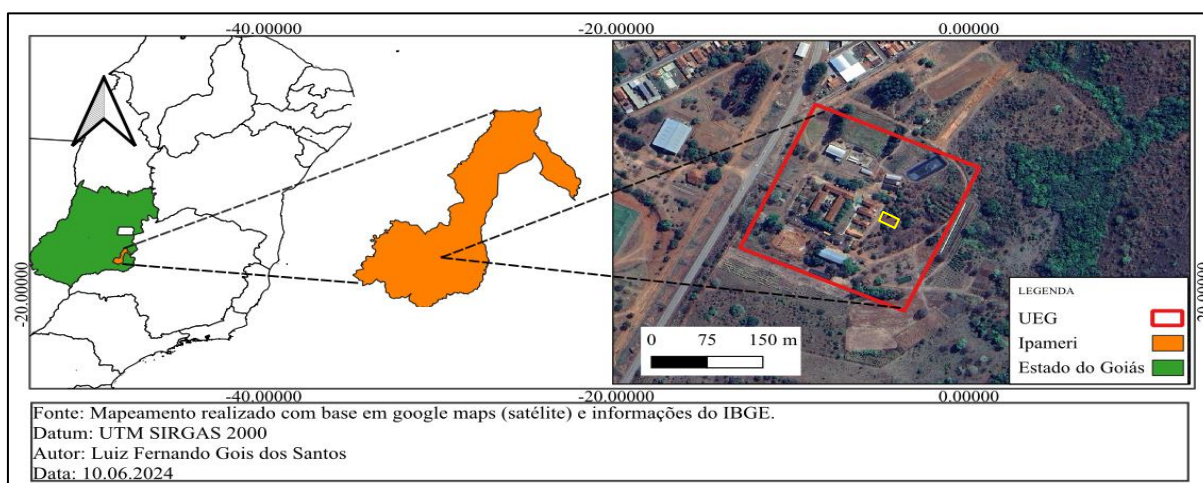


Figura 2. Localização da área de estudo especificada no quadrante decor amarela. Universidade Estadual de Goiás, Campus Sul, Unidade universitária de Ipameri – GO. Fonte: autor, 2024.

O material coletado continha exclusivamente a microbiota nativa do solo, sem qualquer adição prévia de microrganismos exógenos. As coletas foram realizadas de forma sistemática para garantir a representatividade da área. A partir do ponto inicial, foram definidos outros três pontos amostrais, cada um a aproximadamente dois metros de distância no sentido horário, formando um quadrante uniforme.

O solo utilizado, foi classificado como um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, (SANTOS et al., 2018), com os seguintes atributos pH (água, CaCl e KCl) de 5,3; matéria orgânica e carbono de 20 e 11,60 g/dm³; P, K e Na de 10,1; 75,9 e 5,7 mg/dm⁻³, respectivamente; Ca, Mg, Al e CTC efetiva de 2,3; 1,3; 0 e 2,6 cmol/cdm³ respectivamente; CTC igual a 6,39 cmol/cdm³ e saturação por base 59,31%.

3.1.2 Estimativa da densidade populacional de *Fusarium* sp. no solo submetido a diferentes temperaturas e à aplicação de *Trichoderma harzianum*

As amostras de solo acondicionadas em Gerbox foram divididas em dois tratamentos: controle, destinado à quantificação da densidade populacional natural de *Fusarium* sp., e tratamento biológico, que recebeu previamente a aplicação de uma suspensão de *Trichoderma harzianum* IBLF 006 ($2,0 \times 10^8$ conídios/gerbox) calibrada utilizando câmara de Neubauer.

Ambos os tratamentos foram submetidos às temperaturas de 16, 20, 24, 28 e 32°C, mantendo-se a umidade do solo próxima à capacidade de campo durante dez dias de incubação em câmaras BOD, sob fotoperíodo de 12 h. Após o período de incubação, procedeu-se à coleta de 5 g de solo de cada gerbox. Cada amostra foi transferida para tubos contendo 45 mL de água deionizada esterilizada e homogeneizada em agitador tipo vórtex, originando uma suspensão independente por gerbox. De cada suspensão, foram preparadas cinco placas, perfazendo cinco repetições por gerbox, sendo 20 placas por temperatura, totalizando 100 placas por tratamento. Posteriormente, alíquotas de 1 mL da suspensão foram transferidas para tubos contendo 9 mL de água destilada, repetindo-se o procedimento até a obtenção da diluição 1:100. Em seguida, alíquotas de 1 mL dessa diluição foram plaqueadas em meio semi-seletivo Komada (20,0 g de D-Galactose; 2,0 g de L-Asparagina; 1,0 g de KH₂PO₄; 0,5 g de KCl; 0,5 g de MgSO₄·7H₂O; 10 mg de Fe₃Na-EDTA; 18,0 g de ágar; 750 mg de PCNB; 1,0 g de Na₂B₄O₇·10H₂O; 1000 mL de água esterilizada).

Fusarium sp. foram identificados de acordo com a morfologia da colônia e caracteres micromorfológicos, e sua densidade populacional expressa em unidade formadora de colônias (UFC/g) (CARVALHO et al., 2015). A estimativa do número de propágulos de *Fusarium* sp.

por grama de solo foi obtida pela fórmula: $NP = NC \times 90$, sendo NP (número de propágulos por grama de solo) e NC (número médio de colônias por placa).

3.2 Obtenção de isolado de *Fusarium* sp. a partir de amostras de solo

O isolamento fúngico foi realizado a partir de colônias desenvolvidas em placas de Petri incubadas a 24°C. Para a purificação dos isolados, fragmentos de micélio foram inicialmente transferidos para o meio Komada, seguido de repicagens sucessivas no meio Batata Dextrose Ágar (BDA), visando à obtenção de isolados purificados. Como resultado, foi obtido um isolado designado como Q-01-08, o qual foi depositado na coleção de culturas fúngicas da Universidade Estadual de Goiás (UEG), campus de Ipameri, Goiás, Brasil. Réplicas do isolado Q-01-08 foram preservadas em água esterilizada, segundo o método de Castellani (1967), e atualmente encontram-se armazenadas no Laboratório de Fitopatologia da UEG.

3.2.1 Identificação molecular do isolado *Fusarium* sp. (Q-01-08)

Para a identificação molecular, o DNA fúngico do isolado foi extraído e purificado diretamente das colônias enviadas ao laboratório de identificação molecular GoGenetic, em Curitiba-PR. Em seguida, realizou-se a PCR para o alvo de interesse, empregando a região espaçadora transcrita interna do rDNA nuclear (ITS). Os produtos amplificados foram submetidos à purificação enzimática, marcação bidirecional com BigDye, purificação final e análise em plataforma Genetic Analyser 3500xL (POP7, capilar de 50 cm), obtendo-se as sequências por sequenciamento Sanger.

As sequências nucleotídicas obtidas foram inicialmente submetidas à análise BLAST no banco de dados GenBank (NCBI), com o objetivo de identificar sequências homólogas e selecionar isolados filogeneticamente próximos ao isolado em estudo. As sequências selecionadas, foram então comparadas visando à confirmação da identidade taxonômica do isolado. O conjunto de sequências foi posteriormente alinhado no software MEGA12 (KUMAR et al., 2024) e utilizado para a inferência filogenética pelo método de Máxima Verossimilhança, empregando o modelo de substituição nucleotídica Tamura–Nei (1993). *Neurospora crassa* e *Fusarium* sp. foram utilizados como outgroup para o enraizamento da árvore filogenética.

3.3 Teste de patogenicidade em semente de feijão inoculado com *F. solani* (Q-01-08)

Para a realização do teste de patogenicidade, empregou-se o método de contato direto com a cultura fúngica, por meio da inoculação de isolados de *Fusarium solani* (Q-01-08), em sementes de feijão comum. Inicialmente, as sementes foram submetidas a desinfestação

superficial utilizando solução de hipoclorito de sódio a 1% por 30 segundos, seguida de imersão em álcool 70% durante 30 segundos. Em seguida, lavagens sucessivas em água deionizada e esterilizada e secas em câmara de fluxo sob ventilação. Posteriormente expostas por 48 horas a colônias ativas de *F. solani*, previamente cultivadas por 10 dias em meio BDA a $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

Após a inoculação, as sementes foram transferidas para caixas Gerbox contendo papel mata-borrão umedecido. As unidades experimentais permaneceram por sete dias em câmara de germinação, mantida a $25 \pm 1^\circ\text{C}$. O experimento foi composto por um tratamento (inoculado com isolado de *F. solani*) e um controle. O experimento contou com quatro repetições (caixa gerbox), contendo 20 sementes cada. Ao final do período de germinação, foram quantificados a percentagem de plântulas normais (PN), plântulas anormais (PA) e sementes mortas (SM), de acordo com as REGRAS PARA ANÁLISE DE SEMENTES (2009).

3.4 Emissão do tubo germinativo em microconídios de *F. solani* (Q-01-08), submetido a diferentes temperaturas e regimes de luz

Microconídios de *F. solani* (Q-01-08) foram monitorados utilizando placas de Petri descartáveis (60 mm Ø) contendo meio de cultura água-ágar (AA) e 100 µL de suspensão de conídios, calibrada em câmara de Neubauer a $4,8 \times 10^6$ conídios mL. Para cada temperatura (16, 20, 24, 28 e 32°C), foram preparadas quatro lâminas contendo fragmentos do meio de cultura com a suspensão de conídios. As lâminas foram incubadas em câmara de crescimento tipo BOD, sob dois regimes de luz (luz constante e escuro constante), utilizando lâmpadas fluorescentes de 20 W-75RS (Philips®), com intensidade luminosa entre 1060 e 1075 lúmens. Em cada lâmina, cinco microconídios foram selecionados e marcados para monitoramento sob microscópio óptico DM500 (Leica®), acoplado ao *software* LAS EZ 2.0, utilizando objetiva de imersão em óleo com aumento de 100×. Para cada temperatura, foram analisados um total de 20 conídios.

O início da emissão do tubo germinativo foi determinado considerando-se o intervalo entre a suspensão dos microconídios e as primeiras observações dos conídios germinados distribuídos ao longo da superfície de cada placa. O arranjo experimental adotado foi um fatorial 5 x 2, composto por cinco temperaturas e dois regimes de luz com cinco repetição.

3.5 Crescimento de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) ao longo do tempo, submetidos a diferentes temperaturas e regimes de luz

O crescimento do tubo germinativo foi acompanhado por meio de cinco registros fotográficos realizados em intervalos regulares de 40 minutos, totalizando 200 minutos (3 horas e 20 minutos) de observação. As medições iniciaram-se a partir da identificação do primeiro

conídio germinado de cada temperatura e regime de luz, garantindo consistência no monitoramento do desenvolvimento fúngico.

3.6 Percentagem de germinação de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) ao longo do tempo submetido a diferentes temperaturas e regimes de luz

A percentagem de germinação de conídios (PG) em cada condição de temperatura e regime de luz foi calculada pela fórmula $PG = (\text{número de conídios germinados} / \text{número total de conídios observados}) \times 100$. As análises foram conduzidas em paralelo com a avaliação do comprimento do tubo germinativo. A cada intervalo de 40 minutos, registrou-se a taxa de germinação em função do tempo de quatro lâminas.

Arranjo fatorial e análise estatísticas

Para o teste de patogenicidade, realizaram-se testes de comparação de médias, sendo estas comparadas pelo teste de Scott–Knott ($p \leq 0,05$). Para os demais experimentos, empregou-se um arranjo fatorial duplo com interação, sendo os dados ajustados por meio de modelos de regressão.

A normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro–Wilk e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Todas as análises estatísticas foram conduzidas no software SISVAR 5.8 (FERREIRA, 2011) e no RStudio (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2025), sendo este último também utilizado para elaboração de gráficos.

4 RESULTADOS

4.1 Estimativa da densidade populacional de *Fusarium* sp. no solo submetido a diferentes temperaturas e à aplicação de *Trichoderma harzianum*

Houve diferença significativa na densidade populacional de *Fusarium* sp. com e sem aplicação de *T. harzianum* para todas as temperaturas avaliadas. Os resultados ajustaram-se a um modelo de regressão quadrática de segunda ordem, demonstrando uma relação não linear entre a temperatura e a densidade populacional de *Fusarium* sp. (Figura 3).

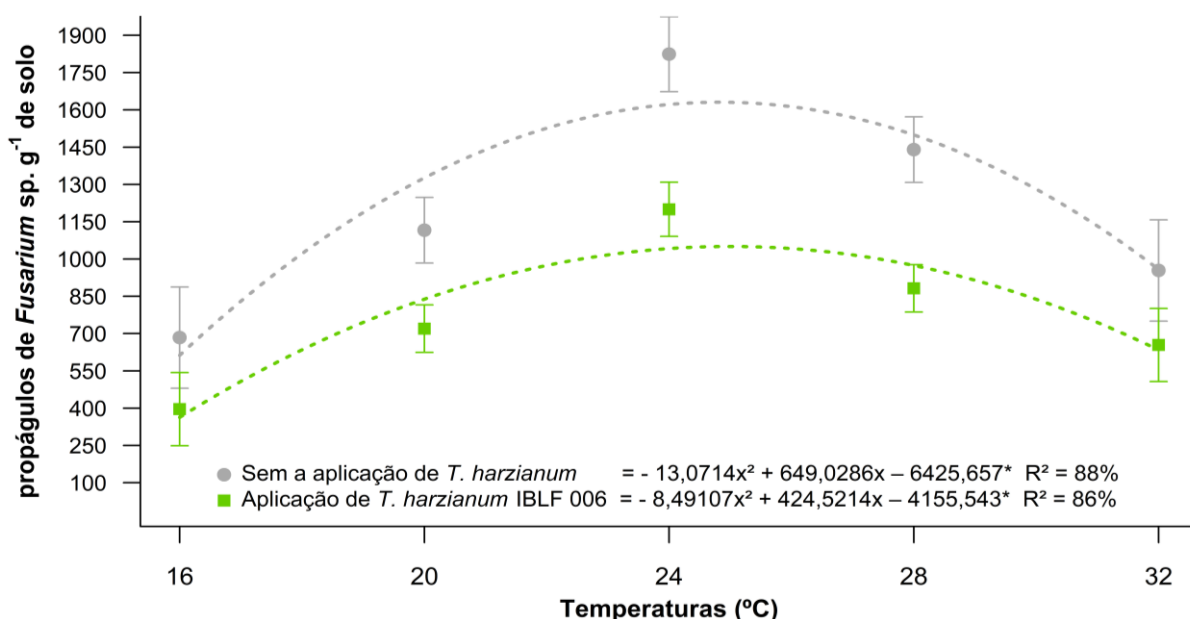


Figura 3. Número de propágulo de *Fusarium* sp. (Q-01-08) com e sem a aplicação de *T. harzianum* IBLF 006 em solo quando submetidos a diferentes temperaturas, Ipameri, Goiás.

* Significativo a 5%. Barra representa o erro padrão.

Em todas as temperaturas avaliadas, ainda que tenha ocorrido uma redução significativa, foi possível observar a presença de colônias de *Fusarium*. Em condições sem aplicação de *T. harzianum*, o ponto máximo da densidade populacional de *Fusarium* sp. foi observado em temperaturas a 24,8°C, atingindo 1.630 propágulos por grama de solo de acordo com o modelo de regressão. Já em temperaturas extremas de 16 e 32°C, houve uma redução significativa de 58 e 53%, respectivamente, resultando em populações de aproximadamente 600 e 700 propágulos.

Sob condições com aplicação de *T. harzianum*, o ponto de máxima da densidade populacional de *Fusarium* sp. ocorreu a 25°C, com cerca de 1.150 propágulos por grama de solo. Nas temperaturas extremas de 16 e 32°C, verificou-se redução de 60% e 47%, respectivamente, resultando em densidades populacionais estimadas de aproximadamente 425 e 625 propágulos por grama de solo.

A análise dos dados evidenciados demonstra claramente a influência conjunta da temperatura e do biocontrole com *T. harzianum* sobre a densidade de propágulos de *Fusarium* sp. no solo. Os valores estimados indicam uma redução significativa da população fúngica em todos os tratamentos com aplicação do antagonista biológico e as diferentes temperatura, evidenciando sua eficácia no controle do patógeno.

4.2 Identificação molecular do isolado *Fusarium* sp. (Q-01-08)

A análise BLAST da sequência da região ITS do rDNA do isolado Q-01-08 evidenciou como correspondências mais próximas sequências de *Fusarium solani* depositadas no GenBank do NCBI, com 98–99% de similaridade nucleotídica. De modo consistente, a identificação molecular baseada no sequenciamento da região ITS do isolado (Q-01-08) apresentou (567/569 bases de ITS) com sequências de *F. solani*. Na árvore filogenética construída pelo método de Máxima Verossimilhança, o isolado foi alocado no clado de *F. solani*, agrupando-se com as linhagens TN-C e TN-G, apresentando valores de bootstrap de alto a moderado entre 63% e 90% (Figura 4).

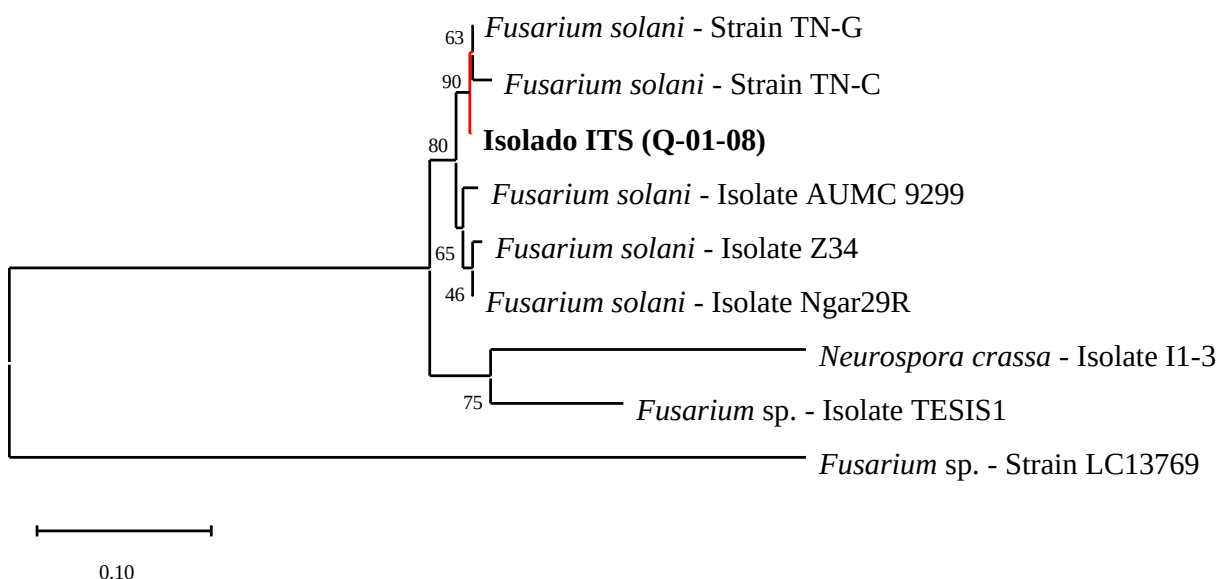


Figura 4. Árvore filogenética inferida pelo método de Máxima Verossimilhança (Maximum Likelihood). O suporte dos clados estimado por bootstrap com 1.000 replicações, sendo os valores percentuais indicados nos nós. A análise incluiu 9 sequências nucleotídicas da região ITS, totalizando 705 posições após complete deletion. *Neurospora crassa* foi utilizada como outgroup para enraizamento da árvore, e o isolado em estudo encontra-se destacado em negrito.

Observa-se que, os dois isolados identificados como *Fusarium* sp., juntamente com *Neurospora crassa*, formaram um grupo externo em relação ao clado que compreende as sequências de *Fusarium solani*.

4.3 Teste de patogenicidade em semente de feijão inoculado com *F. solani* (Q-01-08)

Houve diferenças significativas no teste de patogenicidade com a inoculação do isolado em sementes de feijão. O tratamento com o isolado *F. solani* (Q-01-08) resultou em acentuada redução na formação de plântulas normais em comparação ao controle, evidenciando prejuízo direto à germinação das sementes de feijão comum em condições laboratoriais (Tabela 1).

Tabela 1. Médias da percentagem de plântulas normais, plântulas anormais, sementes mortas de feijão comum inoculados com *F. solani* isolado (Q-01-08).

FV	Plântulas Normais	Plântulas Anormais	Sementes Mortas
	------(%)-----		
Tratamento	5,7 b	57,0 a	32,1 a
Controle	58,6 a	35,0 b	5,7 b
Média geral	32,14	46,42	18,92
CV%	23,64	15,14	17,77

*Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente, segundo o teste de Scott Knott ($P < 0,05$). CV% - coeficiente de variação; FV – fonte de variação.

Paralelamente, verificou-se aumento na ocorrência de plântulas anormais e na mortalidade das sementes, o que demonstra que o fungo compromete tanto o processo germinativo quanto o desenvolvimento inicial das plântulas. De forma integrada, esses resultados confirmam a elevada patogenicidade do isolado avaliado, que impacta de maneira abrangente a qualidade fisiológica das sementes.

4.4 Emissão do tubo germinativo em microconídios de *F. solani* (Q-01-08), submetidos a diferentes temperaturas e regimes de luz

Houve diferença significativa no tempo inicial da germinação em microconídios de *F. solani* nas diferentes temperaturas e regimes de luz assim como na interação entre eles representada pelo teste de análise de variância (Tabela 2 e Figura 5).

Tabela 2. Quadro da análise de variância para tempo até o início da germinação em microconídios de *F. solani* sob diferentes temperaturas e regimes de luz.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Temperatura (T)	4	871140.32	217785.080	91.862	0.0000*
Regime de luz (R)	1	32411.58	32410.580	13.671	0.0007*
T x R	4	77288.32	19322.080	8.150	0.0001*
Erro	40	94831.20	2370.78		
CV	13.28%				

*significativo a 5%; FV- fonte de variação; CV – coeficiente de variação; GL - grau de liberdade; SQ – soma dos quadrados; QM – quadrados médios; F – f-calculado; Pr – p-valor.

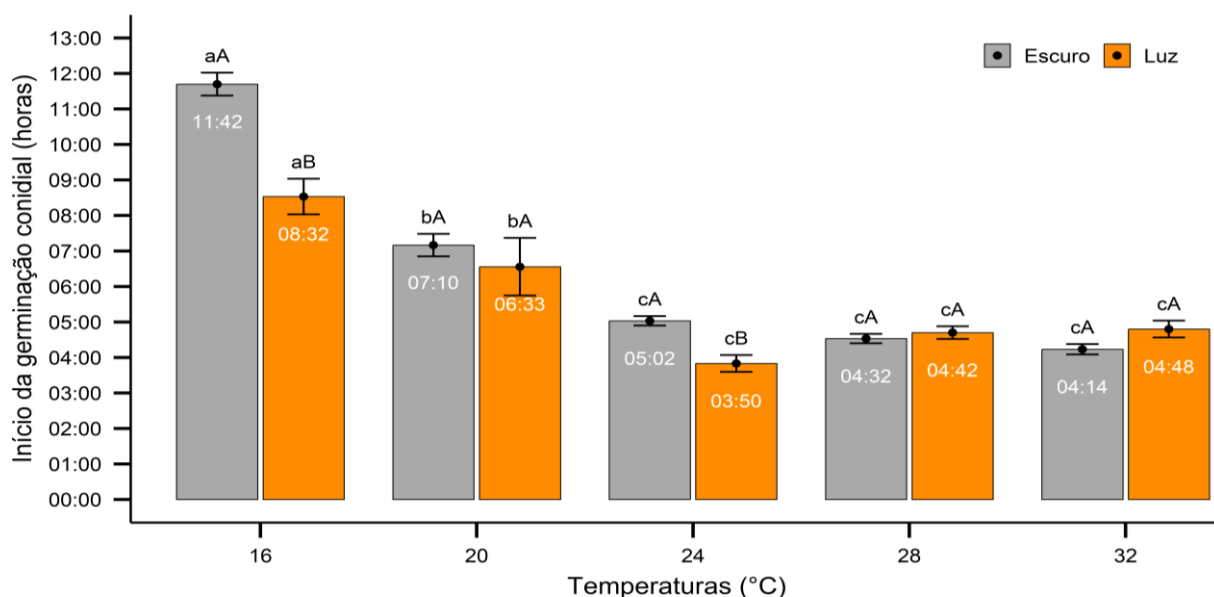


Figura 5. Tempo até o início da emissão do tubo germinativo em microconídios de *F. solani* (Q-01-08) submetidos a diferentes temperaturas e regime de luz.

Valores seguidos da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si, segundo o teste de Scott-Knott a 5%. Letras minúsculas comparam temperaturas dentro de cada regime de luz. Letras maiúsculas comparam regime de luz dentro de cada temperatura. Barra representa o erro padrão.

A temperatura exerceu influência sobre o tempo até o início da emissão do tubo germinativo em ambos os regimes de luz. Em condições de luz, as temperaturas mais elevadas (24, 28 e 32°C) não diferiram entre si, enquanto o maior tempo para início da germinação ocorreu a 16°C, seguido por 20°C. Na ausência de luz, observou-se padrão semelhante, embora as temperaturas de 24, 28 e 32°C não apresentassem diferenças estatísticas. Nesse regime, a germinação também foi mais lenta a 16°C, seguida por 20°C.

A comparação entre os regimes de luz dentro de cada temperatura revelou que nas temperaturas 16 e 24°C, a luz influenciou significativamente o tempo de germinação; porém, as demais temperaturas esse efeito não foi detectado. À medida que a temperatura aumentou, verificou-se redução progressiva no tempo para o início da germinação, destacando-se 24°C, com os menores tempos registrados: 3h50min sob luz e 5h no escuro.

De modo geral, a luz tende a acelerar a germinação em temperaturas moderadas, enquanto seu efeito se torna menos pronunciado em temperaturas elevadas. Por outro lado, combinações de baixas temperaturas e ausência de luz prolongam de forma expressiva o tempo necessário para o início da germinação.

4.5 Crescimento de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) ao longo do tempo, submetidos a diferentes temperaturas e regimes de luz.

Tanto o regime de luz quanto a temperatura influenciaram o comprimento do tubo germinativo de *F. solani*. Os valores obtidos foram ajustados por regressão quadrática de

segunda ordem, considerando as condições de luz e de escuro ao longo do tempo das cinco temperaturas avaliadas (Figura 6).

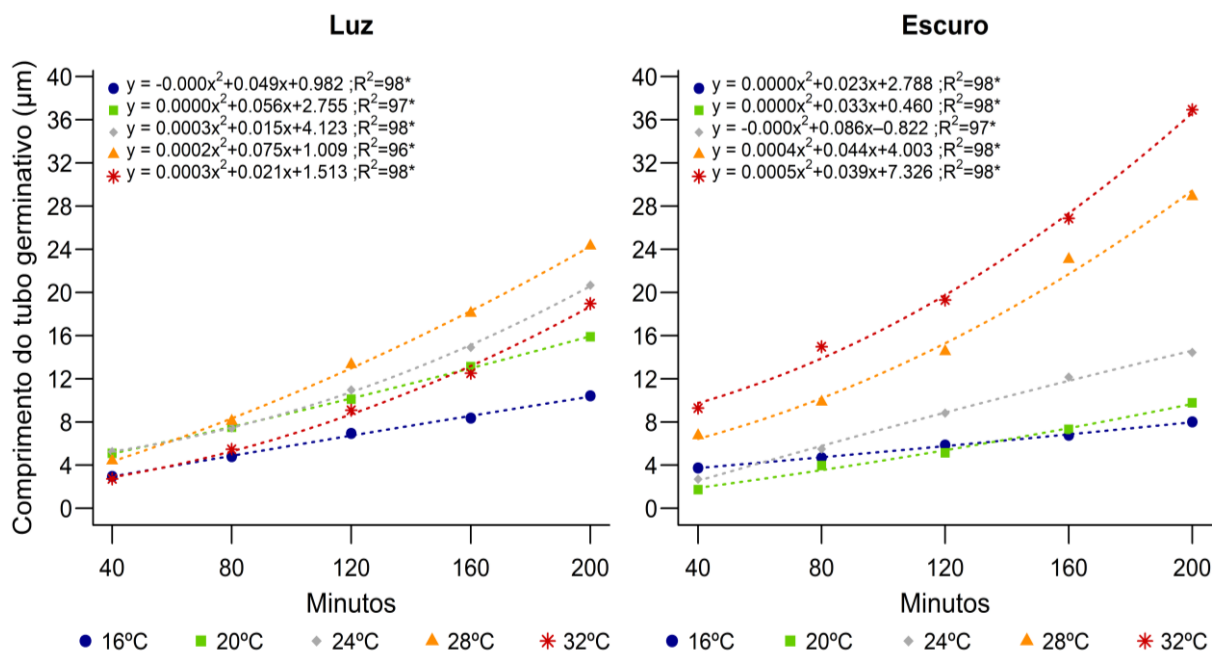


Figura 6. Crescimento de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) ao longo do tempo submetido a diferentes temperaturas e regimes de luz.

* Significativo a 5%

Sob luz, o crescimento do tubo germinativo nas primeiras horas foram pouco perceptível, tornando-se progressivamente mais distinto entre as diferentes temperaturas ao longo do tempo (Figura 6). Observa-se que temperaturas mais elevadas, acima de 24°C, promovem um crescimento mais acentuado dos tubos germinativos, enquanto temperaturas mais baixas, próximas de 16°C, resultam em crescimento reduzido e limitado (Figuras 6 e 7). No início do crescimento, até cerca de 80 minutos, as diferenças no comprimento dos tubos germinativos entre as temperaturas foram pouco perceptíveis. Ao final do período avaliado, entretanto, verificou-se maior dispersão dos dados, com destaque para a diferença de 57% entre 16 e 32°C, cujos valores médios foram de 11 µm e 25 µm, respectivamente. Em contraste, no regime de escuro, as diferenças já eram visíveis nos primeiros minutos de avaliação e tornaram-se ainda mais evidentes com o avanço do tempo.

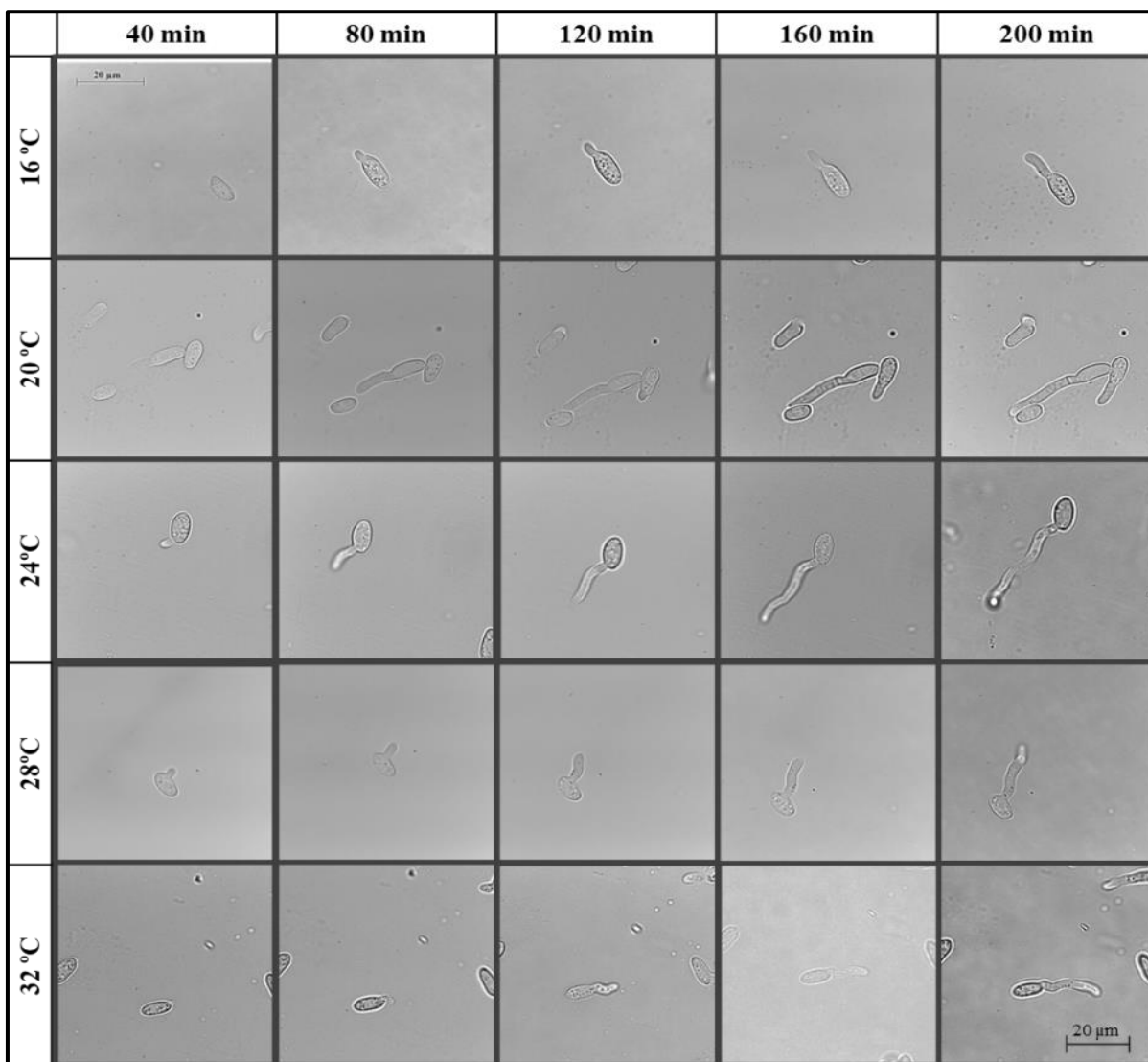


Figura 7. Crescimento de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) ao longo do tempo submetido a diferentes temperaturas e exposição contínua a luz.

No escuro, o padrão de crescimento manteve-se semelhante ao observado sob luz ao longo do tempo, com destaque para as temperaturas mais altas de 28 e 32°C, que apresentaram os maiores comprimentos entre todas as condições testadas, atingindo 30 e 37 μm, respectivamente (Figuras 6 e 8). Já as temperaturas mais baixas, entre 16 e 24°C, resultaram em valores mais limitados e, inclusive, inferiores quando comparados ao regime de luz nas últimas horas de avaliação.

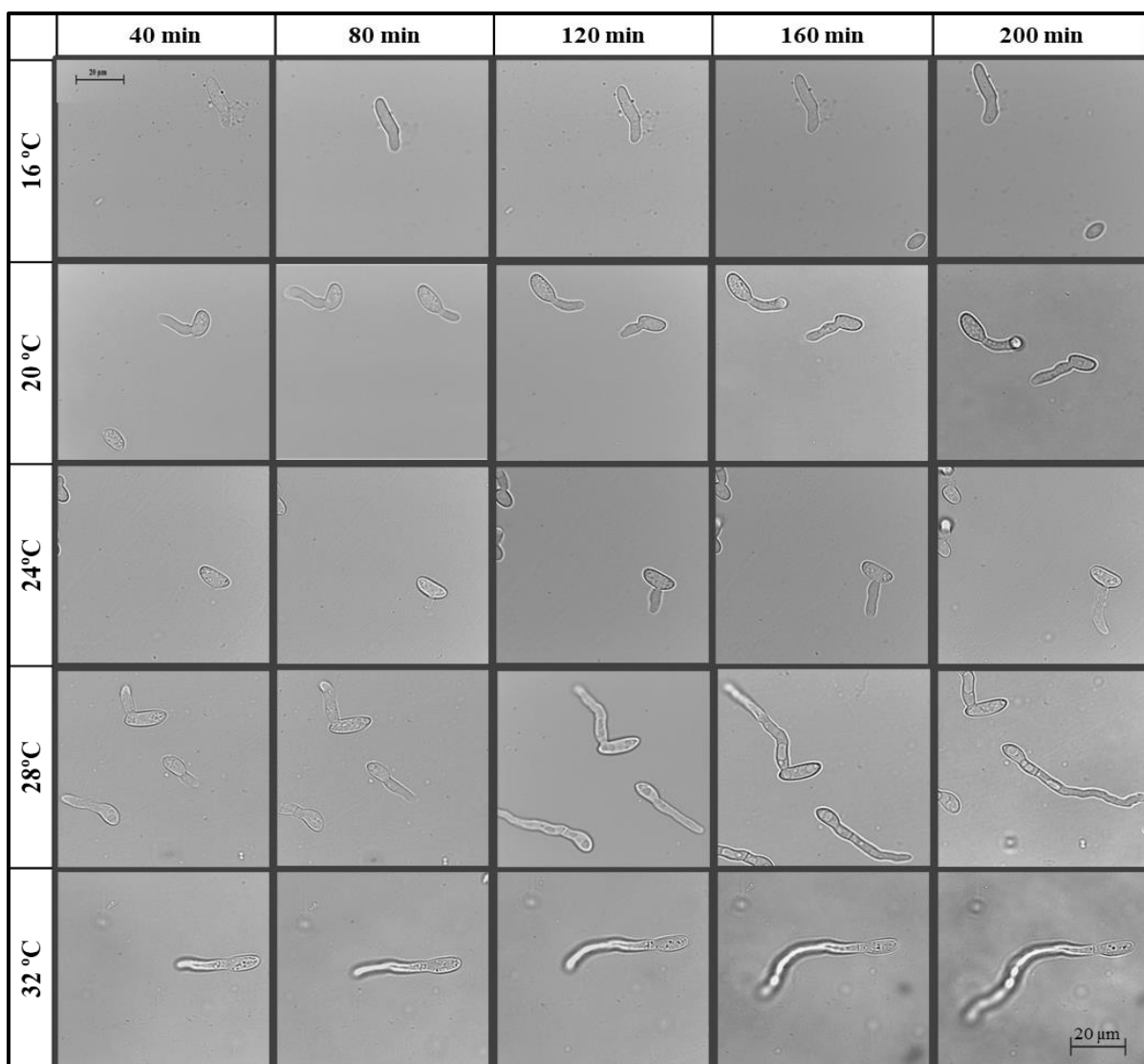


Figura 8. Crescimento de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) ao longo do tempo submetido a diferentes temperaturas e exposição contínua ao escuro.

Ao analisar o crescimento conidial de *F. solani* em função da temperatura, considerando diferentes tempos de incubação e regimes de luz, os resultados podem ser interpretados sob uma nova perspectiva, destacando variações que não se evidenciam na primeira forma de apresentação.

Sob luz, os modelos de regressão quadrática ajustados apresentaram coeficientes de segunda ordem negativos, caracterizando curvas com concavidade voltada para baixo e indicando a presença de um ponto ótimo térmico para o crescimento. Por outro lado, em condição de ausência de luz, o padrão de resposta foi distinto. Nesse regime as curvas ajustadas exibiram coeficientes de segunda ordem positivos, configurando concavidade voltada para cima e ausência de um ponto ótimo dentro da faixa térmica analisada, com incremento gradual do crescimento em temperaturas mais elevadas (Figura 9).

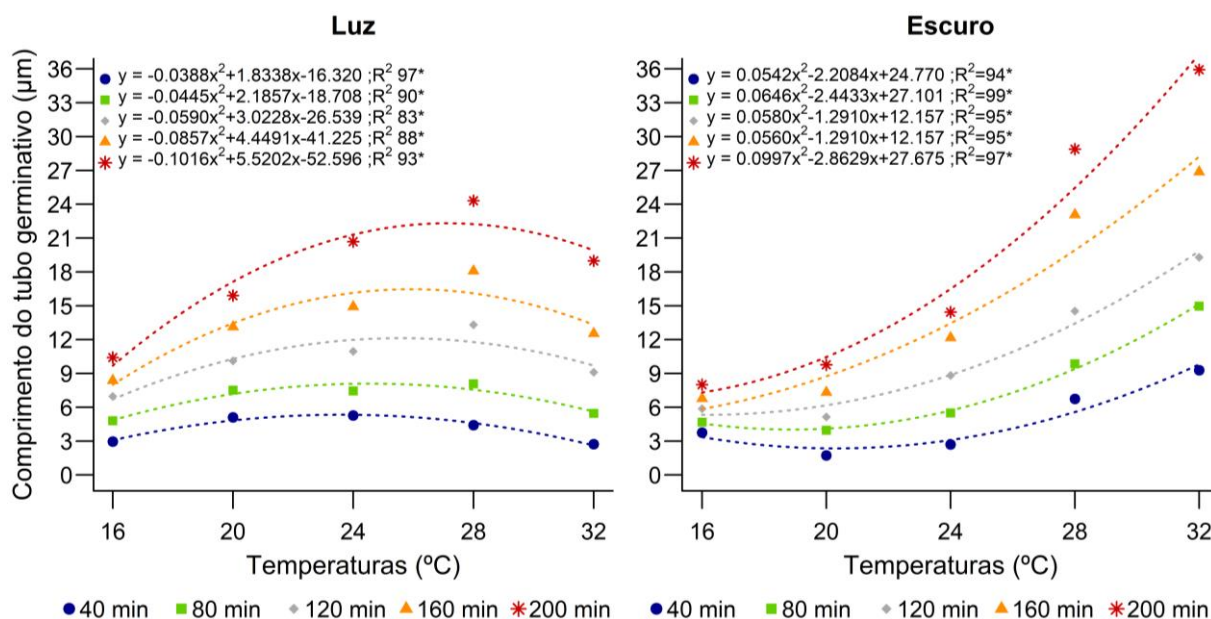


Figura 9. Crescimento de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) em função da temperatura, considerando diferentes tempos de incubação e regimes de luz.

* Significativo a 5%

Na luz, os maiores tempos de incubação (160 e 200 min), a temperatura estimada para o comprimento máximo situou-se entre 25 e 27°C, com valores próximos de 17 e 23 µm, respectivamente. Os períodos inferiores de avaliação tiveram seu ponto máximo de crescimento próximo a 24°C.

No regime de escuro, o gráfico apresentou um comportamento peculiar, já que o aumento da temperatura exerceu forte influência sobre o crescimento do tubo germinativo. Nos maiores tempos de incubação (120, 160 e 200 minutos), verificou-se um incremento acentuado do comprimento dos tubos com a elevação da temperatura, destacando-se especialmente aos 200 minutos, quando foram registrados valores superiores a 36 µm a 32°C.

4.6 Percentagem de germinação de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) ao longo do tempo, submetidos a diferentes temperaturas e regimes de luz

A análise da germinação conidial ao longo do tempo evidenciou diferenças significativas entre os regimes de luz e as temperaturas avaliadas. Os resultados ajustaram-se a um modelo de regressão linear, demonstrando uma relação linear entre as temperaturas em função do tempo na percentagem de germinação conidial de *F. solani* (Figura 10).

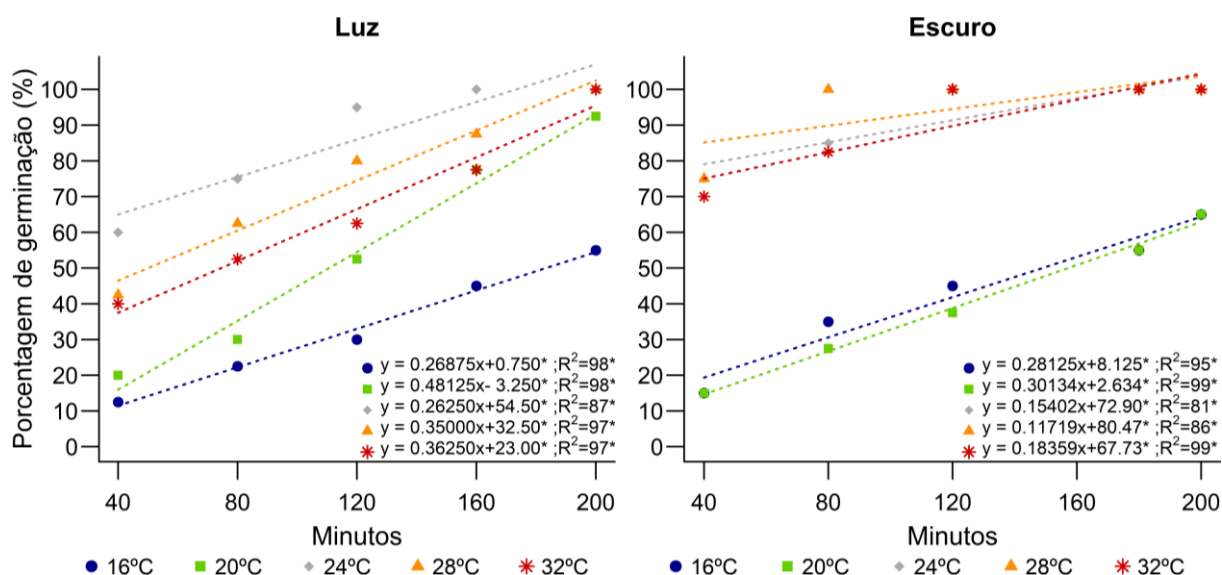


Figura 10. Percentagem germinativo de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) ao longo do tempo submetido a diferentes temperaturas e regimes de luz.

* Significativo a 5%

De maneira geral, temperaturas mais elevadas promoveram maior eficiência germinativa, com destaque para a condição de escuro, que atingiu 100% de germinação em menor intervalo de tempo em comparação ao regime de luz contínua. Na temperatura de 16°C, não foram observadas diferenças relevantes entre os regimes de luz, uma vez que a germinação permaneceu inferior a 60% em todas as avaliações. A temperatura de 20°C apresentou resposta diferenciada em função do regime de luz. Sob iluminação contínua, a germinação alcançou cerca de 90%, enquanto na ausência de luz o valor foi limitado a aproximadamente 60%.

É importante salientar que essa variável foi avaliada após o início da germinação específico de cada condição de temperatura e regime de luz. Por exemplo, sob temperatura de 24°C em regime de luz, a germinação iniciou-se após aproximadamente 3 horas e 50 minutos (Figura 5). Considerando que o alcance de 100% de conídios germinados ocorreu em cerca de 160 minutos após esse início, o tempo total necessário para atingir a germinação completa desde a suspensão foi de 6 horas e 30 minutos.

5. DISCUSSÃO

5.1 Estimativa da densidade populacional de *Fusarium* sp. no solo submetido a diferentes temperaturas e à aplicação de *Trichoderma harzianum*

Diversos estudos têm demonstrado que o crescimento de *Fusarium* em diferentes temperaturas apresenta uma relação não linear, com faixas ótimas seguidas de declínio em condições extremas. Pinheiro et al. (2012) observaram maior crescimento micelial a 30°C e maior esporulação a 35°C. Nesse estudo, a maior densidade de propágulos estimada foi observada em 24,8°C, faixa considerada ideal para o desenvolvimento do gênero em geral. Em temperaturas mais baixas ou elevadas, houve reduções significativas, corroborando com estudos que demonstram a sensibilidade de *F. oxysporum* a condições subótimas (GUPTA et al., 2010). Ainda assim, colônias foram detectadas em todas as temperaturas avaliadas, confirmando a ampla tolerância térmica do fungo e sua capacidade de persistência em diferentes ambientes (FOVO et al., 2017; JELÍNEK et al., 2019). De forma complementar, estudos conduzidos por Kaur et al. (2022) observaram que, embora *Fusarium oxysporum* f. sp. apii consiga se desenvolver em diferentes condições, a severidade da murcha aumenta conforme a temperatura se eleva acima de 22°C.

Estudos têm demonstrado que variações na densidade de propágulos de *Fusarium* no solo resultam em diferentes níveis de infecção, influenciados tanto pelo tipo de solo quanto pelo histórico de cultivo. Por exemplo, em solos não cultivados, a densidade de inóculo de *F. solani* necessária para o estabelecimento da podridão radicular seca do feijoeiro ultrapassa 5.127 propágulos por grama de solo, ao passo que em solos cultivados a doença se manifesta com densidades significativamente menores, em torno de 3.701 (COSTA e SILVA, 2004). Outros estudos mostram níveis próximos a 3.000 propágulos (COSTA-COELHO e COSTA, 2004). Em nossos resultados, embora a densidade observada tenha sido de aproximadamente 1.650 propágulos por grama de solo, evidências de Carvalho et al. (2015) indicam que ciclos produtivos sucessivos podem promover aumentos expressivos na densidade de *Fusarium oxysporum*, elevando a incidência de doenças e tornando o manejo fitossanitário progressivamente mais complexo.

A aplicação de *T. harzianum* promoveu reduções consistentes na densidade populacional de *Fusarium*, embora também tenha sido afetado pela variação térmica. No entanto, o antagonista manteve sua eficácia, especialmente em condições menos favoráveis ao patógeno, reforçando seu potencial como agente de biocontrole. Essa resposta está alinhada

com estudos que destacam a ampla faixa térmica de crescimento de *Trichoderma* e sua elevada eficiência entre 25 e 30°C (CARRO-HUERGA et al., 2021).

De acordo com Carro-Huerta et al. (2021), diferentes linhagens de *Trichoderma* apresentam adaptações distintas: enquanto algumas seções do gênero se desenvolvem melhor em condições mais frias, o clado *Harzianum/Virens* mostra maior eficiência em temperaturas mais elevadas. Essa plasticidade ecológica explica a consistência do antagonista em diferentes cenários ambientais e reforça sua relevância como ferramenta de manejo sustentável.

Além da competição por espaço e nutrientes, diferentes trabalhos descrevem que espécies de *Trichoderma* podem apresentar diversos mecanismos de antagonismo. Quevedo et al. (2022) relatam que isolados de *T. tomentosum* e *T. harzianum* têm potencial para inibir o crescimento de *Fusarium oxysporum* por meio da liberação de metabólitos voláteis. Kubicek et al. (2011) discutem ainda o papel de enzimas hidrolíticas, compostos antimicrobianos e processos de reconhecimento molecular nas interações entre *Trichoderma* e outros microrganismos.

A redução acentuada da viabilidade de *Fusarium* sp. e a inibição completa observada neste estudo foram estimadas em temperaturas superiores a 37°C, conforme indicado pelos modelos de regressão. Resultado semelhante foi relatado por Manstretta e Rossi (2016), que verificaram ausência total de crescimento ao expor *Fusarium* sp. a 38°C. Esse comportamento evidencia que fatores abióticos podem atuar como reguladores naturais da população do patógeno. Tal achado é relevante para a compreensão da dinâmica epidemiológica das doenças causadas por *Fusarium* e reforça a importância da interação entre condições ambientais e estratégias de biocontrole. Considerando que a eficácia das práticas de manejo depende diretamente do conhecimento aprofundado sobre o patógeno e sua dinâmica populacional, esses resultados contribuem para o aprimoramento das estratégias de controle (COSTA et al., 2010).

5.2 Identificação molecular do isolado *Fusarium* sp. (Q-01-08)

A identificação precisa e a caracterização genética de patógenos constituem etapas essenciais para o manejo adequado de doenças de plantas, especialmente em gêneros taxonomicamente complexos como *Fusarium*. Nesse contexto, a aplicação do conceito filogenético de espécie tem se mostrado uma ferramenta fundamental para a resolução de problemas taxonômicos historicamente associados a esse gênero (NIRMALADEVI et al., 2016). Os resultados obtidos neste estudo evidenciam a utilidade dessa abordagem ao integrar análises de similaridade nucleotídica e inferência filogenética.

A análise BLASTn da região ITS do rDNA do isolado Q-01-08 revelou elevada similaridade (98–99%) com sequências de *Fusarium solani* depositadas no GenBank, resultado

consistente com a alta identidade observada no alinhamento (567/569 pb). A região ITS é amplamente reconhecida como o código de barras universal para fungos, sendo o marcador molecular mais utilizado para identificação taxonômica e estudos de ecologia molecular em diferentes grupos fúngicos (STIELOW et al., 2015). A recuperação de numerosos isolados com elevados valores de similaridade na base de dados do NCBI reflete tanto a ampla representatividade de *F. solani* nos bancos públicos quanto a conservação dessa região entre isolados pertencentes ao mesmo grupo taxonômico.

A análise filogenética, realizada pelo método de Máxima Verossimilhança, posicionou o isolado Q-01-08 no clado de *Fusarium solani*, em estreita associação com as linhagens TN-C e TN-G. Embora não tenham sido encontradas referências específicas a esses isolados na literatura, os valores de bootstrap obtidos sustentam a robustez estatística do agrupamento recuperado. Além disso, a separação nítida desse clado em relação aos isolados identificados como *Fusarium* sp. e ao outgroup *Neurospora crassa* reforça a consistência topológica da árvore e evidencia a adequada delimitação dos principais grupos filogenéticos.

A elevada similaridade observada entre isolados de *Fusarium solani* na região ITS reflete a conservação desse marcador dentro do complexo de espécies, o que limita sua resolução intraespecífica, embora permaneça adequada para a identificação em nível de espécie (O'DONNELL et al., 2015, SINGHA et al., 2016)

5.3 Teste de Patogenicidade em sementes de feijão inoculado com *F. solani* (Q-01-08)

Fusarium solani constitui um patógeno de elevada relevância associado às enfermidades radiculares do feijoeiro comum, ocasionando perdas expressivas na produtividade da cultura (JUNIOR et al., 2019). Embora a confirmação taxonômica dependa de técnicas de identificação molecular, os ensaios de patogenicidade realizados em sementes de feijão comum forneceram evidências consistentes para a caracterização preliminar do isolado como patogênico. Nos testes conduzidos, verificou-se que aproximadamente 32% das sementes não germinaram após o contato com *F. solani*, enquanto apenas 6% apresentaram características saudáveis. Ademais, cerca de 57% das sementes germinaram, porém, exibindo sintomas da infecção, o que reforça a capacidade do patógeno em comprometer o estabelecimento inicial da cultura.

A associação entre patógenos e sementes é reconhecida como uma das principais causas de doenças em culturas agrícolas, podendo resultar em perdas significativas na produção (NÓBREGA E NASCIMENTO, 2020). Tal associação é favorecida pela estrutura da semente, cujas camadas protetoras e reservas nutricionais conferem condições adequadas para a sobrevivência e proteção dos patógenos (NÓBREGA E NASCIMENTO, 2020).

5.4 Emissão do tubo germinativo em microconídios de *F. solani* (Q-01-08), submetidos a diferentes temperaturas e regimes de luz

A variação térmica mostrou-se decisiva para o tempo até a emissão do tubo germinativo em temperaturas abaixo de 24°C. Nessas condições, a germinação foi retardada, e o frio atuou como fator limitante do processo. Em contrapartida, temperaturas mais elevadas reduziram progressivamente o tempo de germinação, corroborando estudos que apontam faixas ótimas entre 25 e 37°C para espécies fusarioides (DOOHAN et al., 2003). Esse comportamento confirma que o aumento da temperatura favorece diretamente o desenvolvimento do fungo, ampliando seu potencial de colonização.

A comparação entre regimes de luz dentro de cada faixa térmica revelou que a influência da luminosidade é mais evidente em temperaturas moderadas, especialmente próximas a 24°C, quando a germinação foi acelerada sob luz. Esse resultado sugere que, em condições de estresse térmico, a luz atua como modulador adicional, ajustando o metabolismo do fungo para superar limitações impostas pelo frio. Em temperaturas mais altas, entretanto, a relevância da luz tende a ser minimizada ou anulada, indicando que a temperatura se sobrepõe como fator determinante.

Esse padrão está em consonância com o papel da luz como sinal ambiental essencial nos fungos, regulando processos fisiológicos e morfológicos como ritmos circadianos, morfogênese, síntese de pigmentos e produção de metabólitos secundários (TISCH e SCHMOLL, 2010; FISCHER, 2016). Mecanismos de percepção luminosa, amplamente descritos em diferentes espécies, permitem que os fungos ajustem suas atividades em resposta às condições ambientais (PARDO-MEDINA et al., 2023). Assim, pode-se inferir que o isolado de *Fusarium* avaliado utiliza a presença ou ausência de luz como estratégia adaptativa, modulando o início da germinação de conídios em especial sob baixas temperaturas.

Em síntese, a germinação de *Fusarium* sp. é regulada por uma interação complexa entre temperatura e luz e variada de espécie para espécie. Em condições moderadas, a luz somada a diferentes temperaturas pode funcionar como modulador adicional.

5.5 Crescimento de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) ao longo do tempo, submetidos a diferentes temperaturas e regimes de luz

Em condição de luz, as diferenças no comprimento dos tubos germinativos tornaram-se mais evidentes ao longo do tempo, sobretudo em temperaturas acima de 24 °C, indicando que o efeito térmico se manifesta de forma mais pronunciada após o estágio inicial da germinação. Esse padrão temporal está de acordo com as observações de Wagacha et al. (2012), que relataram aceleração do crescimento de tubos germinativos em espécies de *Fusarium* sob temperaturas elevadas, com diferenças marcantes em períodos prolongados de incubação. Por

outro lado, no regime escuro, a temperatura influenciou desde o início o crescimento do tubo germinativo, tornando-se ainda mais perceptível à medida que o tempo avançou. Esse resultado indica que, na ausência de luz, o metabolismo do conídio depende mais diretamente das condições térmicas para iniciar e sustentar o crescimento, atuando a temperatura como fator determinante já nas fases iniciais da germinação.

Sob condições de luz, a temperatura ótima observada foi de aproximadamente 28°C, favorecendo o crescimento dos tubos germinativos. Essa faixa térmica, ainda que associada ao estágio inicial de desenvolvimento, encontra respaldo em estudos conduzidos por Saleh (2021), que identificou temperatura ótima para o crescimento micelial de cepas de *F. solani* em torno de 27°C. De forma complementar, Yan e Nelson (2020) relataram crescimento máximo da espécie em condições de 29°C, reforçando que *F. solani* apresenta preferência por temperaturas mais altas quando comparado a outros fungos do gênero.

Em contraste, no escuro, o crescimento manteve-se contínuo e intensificado em temperaturas mais altas, sem sinais de restrição. O maior desenvolvimento observado a 32°C no escuro sugere que o limite superior da faixa térmica ainda não foi atingido. Parte desse resultado encontra-se em consonância com Mohsen et al. (2016), que verificaram maior crescimento de diferentes espécies de *Fusarium* em condições de escuridão, em oposição à redução significativa sob luz contínua. Assim, os achados reforçam que a interação entre luminosidade e temperatura é determinante para o desempenho fisiológico do fungo.

Esse contraste entre os regimes pode estar associado ao estresse celular provocado pela combinação de luz constante e temperaturas elevadas, já que esses fatores ambientais intensificam a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) e desestabilizam o equilíbrio redox (ZADRAĞ-TEĆCZA et al. 2018). Assim, a luminosidade em condições térmicas mais altas tende a sobrecarregar o metabolismo fúngico, enquanto no escuro o crescimento prossegue sem sinais aparentes de restrição. Sahu e Dubey (2025) demonstraram que a exposição contínua à luz reduziu significativamente a biomassa de *F. oxysporum*, evidenciando o papel da fotoinibição como fator limitante. Complementarmente, Neto et al. (2005) observaram maior severidade da doença causada por *F. graminearum* em condições de ausência de luz e sob temperaturas elevadas, reforçando que a interação entre luminosidade e temperatura exerce influência direta sobre o desempenho fisiológico e o potencial patogênico dos fungos.

Neste estudo, temperaturas entre 28 e 32°C foram associadas à redução da densidade populacional de *Fusarium* sp. no solo, comportamento semelhante ao observado sob regime iluminado para o crescimento do tubo germinativo. Segundo Nozaki et al. (2004), condições que estimulam o crescimento vegetativo nem sempre coincidem com aquelas que favorecem a esporulação, uma vez que a luz pode induzir ou inibir a formação de estruturas reprodutivas.

Isso reforça que a expansão estrutural não implica, necessariamente, em maior produção de propágulos viáveis.

Vale a pena salienta que logo após o início da germinação, os tubos germinativos apresentaram comportamento penetrativo no meio (ágar-água), mesmo sendo um meio neutro. Essa característica limitou a avaliação a 200 minutos, já que a penetração dificultava a visualização e mensuração precisa das estruturas germinativas.

5.6 Percentagem de germinação de microconídios de *F. solani* (Q-01-08) ao longo do tempo, submetidos a diferentes temperaturas e regimes de luz

Era de se esperar que os resultados referentes à porcentagem de germinação em diferentes temperaturas, ao longo do tempo, apresentassem um comportamento linear, uma vez que o aumento do período de incubação favorece a elevação progressiva da quantidade de microconídios germinados.

Neste estudo, verificou-se que a luz retardou a germinação dos microconídios. Esse resultado pode ser explicado em partes pelas observações de García-Martínez et al. (2015) em *Fusarium fujikuroi*, nas quais foi identificada a proteína rodopsina CarO. Essa proteína é ativada pela luz e atua atrasando o processo de germinação dos esporos, evidenciando o papel modulador da iluminação no desenvolvimento inicial do fungo. De fato, a luz pode funcionar tanto como estímulo quanto como fator inibitório da germinação, dependendo da espécie fúngica e das condições ambientais (TISCH e SCHMOLL, 2010). Esse efeito parece refletir uma estratégia evolutiva, pela qual o fungo evita germinar em ambientes potencialmente hostis ou excessivamente expostos, favorecendo sua sobrevivência. Considerando que a germinação representa uma etapa decisiva para o estabelecimento do fungo em um substrato ou hospedeiro adequado (WAGACHA et al., 2012).

Estudos recentes conduzidos por Liu et al. (2022) demonstraram que, em *Fusarium graminearum*, a germinação conidial foi mais elevada a 20°C do que a 30°C. Em contraste, para *Fusarium verticillioides*, observou-se o comportamento oposto, com maior germinação a 30°C, em um período de 3 e 6 horas de incubação. Pode-se inferir, que diferentes espécies de *Fusarium* apresentam respostas distintas às condições térmicas, refletindo adaptações fisiológicas específicas.

De forma geral temperaturas acima de 24°C mostraram maior influência do regime de luz em comparação às temperaturas mais baixas. Esses resultados estão em consonância com as observações deste estudo sobre o início da germinação, uma vez que quanto maior o tempo necessário para que ela ocorra, menor tende a ser a percentagem registrada quando avaliado em intervalos mais curtos. Assim, em condições superiores a 24°C, a germinação iniciou-se após

aproximadamente 4 a 5 horas e atingiu mais de 90% de conídios germinados dentro do período analisado.

A germinação de conídios é uma etapa fundamental no desenvolvimento fúngico, na qual células dormentes se transformam em hifas em crescimento, desempenhando um papel crucial na patogênese das plantas hospedeiras (BALTUSSEN et al., 2020). Compreender esse processo é essencial, pois o estágio inicial da germinação constitui um ponto crítico para a inibição do crescimento fúngico e para o bloqueio da infecção patogênica, conforme destacado por Deng et al. (2015).

6 CONCLUSÃO

1. A Estimativa populacional de *Fusarium* sp. no solo, teve ponto máximo a 24,8°C. A aplicação de *T. harzianum* promoveu diminuição adicional, de aproximadamente 30% na temperatura ótima e de 60 e 32% nas temperaturas de 16 e 32°C, respectivamente.
2. O isolado (Q-01-08) apresentou 98–99% de similaridade na região ITS com sequências de *F. solani* do GenBank, confirmando sua identificação molecular.
3. O isolado (Q-01-08) apresentou elevada patogenicidade em sementes de feijão comum.
4. Tanto sob luz quanto no escuro, a germinação conidial do isolado (Q-01-08) ocorreu de forma mais lenta a 16 e 20°C. O menor tempo de germinação foi observado sob luz na temperatura de 24°C.
5. O crescimento do tubo germinativo do isolado (Q-01-08) foi favorecido no escuro às temperaturas de 28 e 32°C, em comparação à luz. Sob luz, o desenvolvimento manteve-se limitado em torno de 28°C. Já nas temperaturas de 16 e 20°C, os valores foram menores no escuro do que na luz.
6. O escuro aumentou a percentagem de germinação do isolado (Q-01-08) em temperaturas acima de 24°C, principalmente nas primeiras horas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, A. M.; MAHMOUD, B. K.; MILLAN-AGUINAGA, N.; ABDELMOHSEN, U. R.; FOUAD, M. A. The endophytic *Fusarium* strains: A treasure trove of natural products. **The Royal Society of Chemistry**, v. 13, p. 1339–1369, 2023.
<https://doi.org/10.1039/D2RA04126J>
- AJMAL, M.; HUSSAIN, A.; ALI, A.; CHEN, H.; LIN, H. Strategies for Controlling the Sporulation in *Fusarium* SP. **Journal of Fungi**, v. 9(1), p. 10, 2022.
<https://doi.org/10.3390/jof9010010>
- ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; MORGAN, D. RAFF, M; ROBERTS, K. **Biologia Molecular da Célula**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- AL-HATMI, A. M. S.; MEIS, J. F.; DE HOOG, G. S. *Fusarium*: Molecular Diversity and Intrinsic Drug Resistance. **PLoS Pathogens**, v. 12(4), p.1005464, 2016.
<https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005464>
- AMUZU, P.; PAN, X.; HOU, X.; SUN, J.; JAKADA, M.A.; ODIGIE, E.; XU, D.; LAI, D.; ZHOU, L. Recent Updates on the Secondary Metabolites from *Fusarium* Fungi and Their Biological Activities (Covering 2019 to 2024). **Journal Fungi**, v. 10(11), p. 778, 2024.
<https://doi.org/10.3390/jof10110778>
- AOKI, T.; O'DONNELL, K.; GEISER, D. M. Systematics of key phytopathogenic *Fusarium* species: current status and future challenges. **Journal of General Plant Pathology**, v. 80, p. 189–201, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10327-014-0509-3>
- ASIS, A.; SHAHRIAR, S. A.; NAHER, L.; SAALLAH, S.; FATIHAH, H. N. N.; KUMAR, V.; SIDDIQUEE, S. Identification patterns of *Trichoderma* strains using morphological characteristics, phylogenetic analyses and lignocellulolytic activities. **Molecular biology reports**, v. 48(4), p. 3285-3301, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06321-0>
- BALTUSSEN, T. J. H.; ZOLL, J.; VERWEIJ, P. E.; MELCHERS, W. J. G. Mecanismos moleculares de germinação de conídios em *Aspergillus* SP. **Microbiol Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 84, p. e00049-19, 2020
- BAKKER, M. G.; BROWN, D. W.; KELLY, A. C.; KIM, H. S.; KURTZMAN, C. P.; MCCORMICK, S. P.; WARD, T. J. *Fusarium* mycotoxins: A trans-disciplinary overview. **Canadian Journal Plant Pathology**, v. 40, p. 161–171, 2018.
<https://doi.org/10.1080/07060661.2018.1433720>
- BARBEDO, L. S. A micologia geral como base para suas diferentes áreas. In estudos multidisciplinares em microbiologia. **Científica Digital**, v. 2, p. 8-30, 2025.
<https://doi.org/10.37885/250519319>
- BHAT, R.; RAI, R. V. KARIM, A. A. Micotoxinas em alimentos e rações: situação atual e preocupações futuras. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 9, p. 57–81, 2010.

- BOOTH, C. **The genus *Fusarium***. Kew. Commonwealth Mycological Institute. England: Kew, Surrey, p. 237, 1971.
- BOZOGLU, T.; DERVIS, S.; IMREN, M.; AMER, M.; OZDEMIR, F.; PAULITZ, T. C.; MORGOUNOV, A.; DABABAT, A. A.; OZER, G. Fungal Pathogens Associated with Crown and Root Rot of Wheat in Central, Eastern, and Southeastern Kazakhstan. **Journal of Fungi**, v. 8, 2022. <https://doi.org/10.3390/jof8050417>
- BUGINGO, C.; INFANTINO, A.; OKELLO, P.; PEREZ-HERNANDEZ, O.; PETROVIĆ, K.; TURATSINZE, A.N.; MOPARTHI, S. From Morphology to Multi-Omics: A New Age of *Fusarium* Research. **Pathogens**, v. 14, p. 762, 2025. <https://doi.org/10.3390/pathogens14080762>
- CAI, F.; DOU, K.; WANG, P.; CHENTHAMARA, K.; CHEN, J.; DRUZHININA, I. S. The Current State of *Trichoderma* Taxonomy and Species Identification. **Springer International Publishing**, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91650-3_1
- CAI, F.; DRUZHININA, I. S. In honor of John Bissett: authoritative guidelines on molecular identification of *Trichoderma*. **Fungal Diversity**, v. 107, p. 1–69, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13225-020-00464-4>
- CAMERA, J. N.; DEUNER, C. C. Limiares térmicos para a germinação de conídios de *Exserohilum turcicum*. **Revista Ceres**, v. 64(2), p. 138-142, 2017. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764020005>
- CARVALHO, D. D. C.; DE MELLO, S. C. M.; MARTINS, I.; LOBO JR, M. Biological control of *Fusarium* wilt on common beans by in-furrow application of *Trichoderma harzianum*. **Tropical Plant Pathology**, v. 40(6), p. 375-381, 2015.
- CARRO-HUERGA, G.; MAYO-PRIETO, S.; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, Á.; ÁLVAREZ-GARCÍA, S.; GUTIÉRREZ, S.; CASQUERO, P. A. The influence of temperature on the growth, sporulation, colonization, and survival of *Trichoderma* sp. in grapevine pruning wounds. **Agronomy**, v. 11(9), p. 1771, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091771>
- COSTA, R. V.; COTA, L. V.; PEREIRA, D. F.; SILVA, D. D.; GUIMARÃES, P. E.; GUIMARÃES, L. J. M.; PARETONI, S. N.; PACHECO, C. A. P. Desenvolvimento de metodologia para inoculação de *Colletotrichum graminicola* em colmo de milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, **Circular Técnica**, v. 139. 2010.
- COSTA, G. R.; COSTA, J. L. S. Influência da densidade de inóculo de *Fusarium solani* f. sp. phaseoli na severidade da podridão radicular seca do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34(2), p. 89-92, 2004.
- CROUS, P. W.; LOMBARD, L.; SANDOVAL-DENIS, M.; SEIFERT, K. A.; SCHROERS, H. J.; CHAVERRI, P.; THINES, M. *Fusarium*: more than a node or a foot-shaped basal cell. **Studies in Mycology**, v. 98, p. e100116, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2021.100116>
- CRUZ, J. D. R.; LEANDRO, L.; MAYFIELD, D. A.; MENG, Y. MUNKVOLD, G. P. Efeitos das condições do solo na podridão radicular da soja causada por *Fusarium graminearum*. **Fitopatologia**, v. 110, p. 1693-1703, 2020. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-20-0052-R>

- D'ENFERT C. Fungal spore germination: insights from the molecular genetics of *Aspergillus nidulans* and *Neurospora crassa*. **Fungal Genet Biol**, v. 21, p. 163–172, 1997. <https://doi.org/10.1006/fgbi.1997.0975>
- DENG, G. M.; YANG, Q. S.; ELE, W. D.; LI, C. Y.; YANG, J.; ZUO, C. W. GAO, J. S; HENG-OLU, S. Y.; ZHANG, S.; YI, G. J. Proteomic analysis of conidia germination in *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense tropical race 4 reveals new targets in ergosterol biosynthesis pathway for controlling *Fusarium* wilt of banana. **Microbiologia Aplicada e Biotecnologia**, v. 99, p. 7189–7207, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6768-x>
- DIEPENINGEN, A. D. V.; FENG, P.; AHMED, S.; SUDHADHAM, M.; BUNYARATAVEJ, S.; HOOG, G. S. Spectrum of *Fusarium* infections in tropical dermatology evidenced by multilocus sequencing typing diagnostics. **Mycoses**, v. 58(1), p. 48-57, 2015. <https://doi.org/10.1111/myc.12273>
- DINOLFO, M. I.; CASTAÑARES, E.; STENGLEIN, S. A. *Fusarium*-plant interaction: state of the art-a review. **Plant Protection Science**, v. 53(2), p. 61-70, 2017. <http://dx.doi.org/10.17221/182/2015-PPS>
- DOOHAN, F. M.; BRENNAN, J.; COOKE, B. M. Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals. **European Journal of plant pathology**, v. 109, n. 7, p.755-768, 2003. <https://doi.org/10.1023/A:1026090626994>
- EMBRAPA. Doenças fúngicas do solo. Agência de Informação Tecnológica, 2026. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacaotecnologica/cultivos/feijao/producao/doencas/doencas-fungicas/doencas-fungicas-do-solo> (embrapa.br in Bing). Acesso em: 23 jan. 2026.
- EKWOMADU, T. I.; MWANZA, M. *Fusarium* fungi pathogens, identification, adverse effects, disease management, and global food security: A review of the latest research. **Agriculture**, v. 13(9), p. 1810, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091810>
- ESPOSITO, E.; SILVA, M. Systematics na denvironmental application of he genus *Trichoderma*. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 24(2), p. 89-98, 1998.
- ETHUR, L. Z.; BLUME, E.; MUNIZ, M. F. B.; ANTONIOLLI, Z. I.; NICOLINI, C.; MILANESI, P.; FORTES, F. D. O. Presença dos gêneros *Trichoderma* e *Fusarium* em solo rizosférico e não rizosférico cultivado com tomateiro e pepineiro, em horta e estufa. **Ciência rural**, v. 38, p. 19-26, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000100004>
- EZRARI, S.; RADOUANE, N.; TAHIRI, A.; AMIRI, S.; LAZRAQ, A.; LAHLALI, R. Environmental effects of temperature and water potential on mycelial growth of *Neocosmospora solani* and *Fusarium* SP. causing dry root rot of citrus. **Current Microbiology**, v. 78(8), p. 3092-3103, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02570-1>
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v.35, p.1039-1042, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- FISCHER, R.; AGUIRRE, J.; HERRERA-ESTRELLA, A.; CORROCHANO, L. M. A. Complexidade da Visão Fúngica. **Microbiol**, v. 4, p. 1–22, 2016.

FOVO, J. D.; DOSTALER, D.; BERNIER, L. Influence of Culture Media and Temperature on Growth and Sporulation of *Lasiodiplodia theobromae*, *Pestalotiopsis microspora* and *Fusarium oxysporum* Isolated from *Ricinus communis* in Cameroon. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, p. 3098-3112 2017. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.606.367>

GAMARRA, M. A. F.; OJEDA, M. M; MALDONADO, G. A. E. Identificación molecular y tasa de crecimiento de cepas nativas de *Trichoderma* SP. aisladas de la Región Norte del Paraguay. **Investigación Agraria**, v. 19(2), p. 127-132, 2017. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2017.diciembre.127-132%20>

GARCÍA-MARTÍNEZ, J.; BRUNK, M.; AVALOS, J.; TERPITZ, U. The CarO Rhodopsin of the Fungus *Fusarium fujikuroi* Is a Light-Driven Proton Pump That Retards Spore Germination. **Scientific Reports**. v. 5, p. 7798, 2015. <https://doi.org/10.1038/srep07798>

GOMPERTZ, O. F.; GAMBALE, V.; CORRÊA, B.; PAULA, C. Fisiologia dos fungos: nutrição, crescimento e metabolismo. Microbiologia. Tradução. São Paulo: Atheneu, 2015. p. 888. Acesso em: 19 dez. 2025.

GONCHAROV, A. A.; GLEBOVA, A. A.; TIUNOV, A. V. Trophic interactions between *Fusarium* species and soil fauna: A meta-analysis of experimental studies. **Applied Soil Ecology**. v. 145, p. 103302, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.06.005>

GORAI, P. S.; BARMAN, S.; GOND, S. K.; MANDAL, N. C. *Trichoderma*. **Beneficial Microbes in Agro-Ecology** p. 571-591, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823414-3.00028-9>

GUARRO J. Fusariosis, a complex infection caused by a high diversity of fungal species refractory to treatment. **European Journal of Clinical Microbiology e Infectious Diseases**, v. 32(12), p. 1491-500, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10096-013-1924-7>

GUARRO, J.; GENÉ, J. *Fusarium* infections. Criteria for the identification of the responsible species. **Mycoses**. v. 35(5-6), p. 109-114, 1992. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0507.1992.tb00830.x>

GUPTA, V. K.; MISRA, A. K.; GAUR, R. K. Growth characteristics of *Fusarium* sp. causing wilt disease in *Psidium guajava* L. in India. **Journal of Plant Protection Research**, v. 50(4), p. 452-462, 2010.

HAO, J. J.; XIE, S. N.; SUN, J.; YANG, G. Q.; LIU, J. Z.; XU, F.; RU, Y. Y.; SONG, Y.L. 2017. Analysis of *Fusarium graminearum* species complex from wheat–maize rotation regions in Henan (China). **Plant Disease**, v. 101(5), p.720-725, 2017

HARDHAM, A. R. Cell biology of fungal infection of plants. In: Howard R, Gow N, eds. **Biology of the Fungal Cell**. Berlin, Germany: Springer-Verlag: The Mycota XIII:90–123, 2001.

HARMAN, G. E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. *Trichoderma* species: opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, v. 2, n. 1, p. 43-56, 2004.b. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>

HARMAN, G. E.; LORITO, M.; LYNCH, J. M. Uses of *Trichoderma* sp. to alleviate or remediate soil and water pollution. **Advances in Applied Microbiol**, v. 56, p. 313-327, 2004.a. [https://doi.org/10.1016/S0065-2164\(04\)56010-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2164(04)56010-0)

HARRIS, S. D. Morphogenesis in germinating *Fusarium graminearum* macroconidia. **Mycologia**, v. 97(4), p. 880-887, 2005. <https://doi.org/10.1080/15572536.2006.11832779>

INDEX FUNGORUM. CABI Biosciences. Disponível em: <<https://www.indexfungorum.org/Names/NamesRecord.asp?RecordID=8284>>, 2025. Acesso em: 3 de dezembro de 2025.

JELÍNEK, T.; KOUDELA, M.; KOFRÁNKOVÁ, V.; SALAVA, J. Effect of temperature on severity of *Fusarium* wilt of cabbage caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *Conglutinans*. **Molecular Biology Reports**, v. 46, p. 4463–4470, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11033-019-04901-9>

JUNIOR, M. L; MACHADO-ROSA, T. A.; GERALDINE, A. M. **Uso de *Trichoderma* na cultura do feijão-comum**. *Trichoderma*. Embrapa Brasília, DF, p. 395, 2019.

KAUR, S.; BARAKAT, R.; KAUR, J.; EPSTEIN, L. The effect of temperature on disease severity and growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *apii* races 2 and 4 in celery. **Phytopathology**, v. 112(2), p. 364-372, 2022. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-20-0519-R>

KAZUTAKA, K.; DARON, M. Standley, MAFFT Multiple Sequence Alignment Software Version 7: Improvements in Performance and Usability, **Molecular Biology and Evolution**, v. 30(4), p. 772–780, 2013. <https://doi.org/10.1093/molbev/mst010>

KHAN, R. A. A.; NAJEEB, S.; HUSSAIN, S.; XIE, B.; LI, Y. Bioactive Secondary Metabolites from *Trichoderma* SP. against Phytopathogenic Fungi. **Microorganisms**, v. 8, p. 817, 2020. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060817>

KIM, K.; HEO, Y. M.; JANG, S.; LEE, H.; KWON, S. L.; PARK, M S.; LIM, Y. W. E.; KIM J. J. Diversity of *Trichoderma* SP. in marine environments and their biological potential for sustainable industrial applications. **Sustainability**, v. 12, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12104327>

KUBICEK, C. P.; HERRERA-ESTRELLA, A.; SEIDL-SEIBOTH, V.; MARTINEZ, D. A.; DRUZHININA, I. S.; THON, M; GRIGORIEV, I. V. Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral life style of *Trichoderma*. **Genome biology**, v.12(4), R40, 2011. <https://doi.org/10.1186/gb-2011-12-4-r40>

KUMAR, S.; STECHER, G.; SULESKI, M.; SANDERFORD, M.; SHARMA, S.; TAMURA, K. MEGA12: Molecular Evolutionary Genetic Analysis version 12 for adaptive and green computing. **Molecular Biology and Evolution**, v. 41(12), p.msae263, 2024. <https://doi.org/10.1093/molbev/msae263>

LARABA, I.; MCCORMICK, S. P.; VAUGHAN, M. M.; GEISER, D. M.; O'DONNELL, K. Phylogenetic diversity, trichothecene potential, and pathogenicity within *Fusarium sambucinum* species complex. **Plos One**, v. 16, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245037>

LAURENCE, M. H.; WALSH, J. L.; SHUTTLEWORTH, L. A.; ROBINSON, D. M.; JOHANSEN, R. M.; PETROVIC, T.; LIEW, E. C. Y. Six novel species of *Fusarium* from natural ecosystems in Australia. **Fungal Diversity**, v. 77(1), p. 349-366, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13225-015-0337-6>

LESLIE, J. F.; SUMMERELL, B. A. The *Fusarium* Laboratory Manual. 1 ed. Iowa, USA: Blackwell, 2006.

LIU, N.; CHEN, Y.; LIU, J.; SU, Q.; ZHAO, B.; SUN, M.; DONG, J. Transcriptional differences between major *Fusarium* pathogens of maize, *Fusarium verticillioides* and *Fusarium graminearum* with different optimum growth temperatures. **Frontiers in microbiology**, v. 13, p. 1030523, 2022. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1030523>

LUCAS, S. S. G.; FREITAS, C. E. G.; MENESES, D. N. N.; FREIRE, V. E. B.; SOUZA, S. H. N.; ASSUNÇÃO, M. C.; SOUZA JUNIOR, F. J. C. Fusariose no semiárido brasileiro: impacto e danos em culturas agrícolas. **Avanços da pesquisa e inovação em sistemas agrícolas: Conjunturas da Ciências Agrárias**, v. 1, p. 21-41, 2023. <https://dx.doi.org/10.37885/231114945>

MAIA, A. J.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; FARIA, C. M. D. R.; SANTOS, L. A.; OLIVEIRA, J. B. S.; SANTOS, R. C. D. Produção de esporos e efeito da temperatura e luminosidade sobre germinação e infecção de *Pseudocercospora vitis* em videira. **Summa Phytopathologica**, v. 41(4), p. 287-291, 2015. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2080>

MANSTRETTA, V.; ROSSI, V. Effects of temperature and moisture on development of *Fusarium graminearum* perithecia in maize stalk residues. **Applied and environmental microbiology**, v. 82(1), p. 184-191, 2016.

MATSON, M. E.; KANE, S. M.; CROUCH, U. T.; ZEPADA, S. K.; MARTIN, F. N. Development of a large-scale soil DNA extraction method for molecular quantification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* in soil. **Phytopathology**, v. 114(4), p. 717-724, 2024. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-23-0325-R>

MCLEAN, M. The phytotoxicity of *Fusarium* metabolites: An update since 1989. **Mycopathologia**, v. 133, p. 163–179, 1996. <https://doi.org/10.1007/BF02373024>

MEDEIROS, J. C. D.; MARTINS, W. S.; MIRANDA, F. F. R. Antagonismo de *Trichoderma* SP. no biocontrole de *Fusarium moniliforme* na cultura do milho. **Revista Sítio Novo**, v. 4(4), p. 169-178, 2020. <https://doi.org/10.47236/2594-7036.2020.v4.i4.169-178p>

MEZZOMO, R. ROLIM, J. M.; POLETTTO, T.; OLIVEIRA M. O.; LAZAROTTO, M. FÁTIMA, M. Mycelial growth and sporulation of *Fusarium* SP. pathogenic to *Ilex paraguariensis* in different culture media and under exposure to different light levels. **Scientia agraria**, v. 19(1), p. 14-19, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v19i1.55844>

MILANESI, P. M. **Caracterização, toxicidade e patogenicidade de *Fusarium* sp. em genótipos de soja em sistema plantio direto**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MIRANDA, M. B.; CORRÊA, P. R. R. Caracterização morfológica do *Trichoderma* para uso “On Farm”. **Revista Agroveterinária do Sul de Minas**, v. 6(1), p. 169-181, 2024.

MONTE, E.; BETTIOL, W.; HERMOSA, R. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. *Trichoderma: uso na agricultura*. Brasília: **EMBRAPA**, p. 181-199, 2019.

MOHSEN, L.; AL-JANABI, J. K.; JEBOR, M. A. The effect of some environmental conditions on the growth and activity of the external enzymes for five sp. of *Fusarium*. **Journal of Babylon University/Pure and Applied Sciences**, v. 3, p. 1-17, 2016.

MUHIBBUDIN, A.; SETIYOWATI, E. M.; SEKTIONO, A. W. Mechanism antagonism of *Trichoderma viridae* against several types of pathogens and production of secondary metabolites. *Agrosaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, v. 4, p. 243-253, 2021.
<https://doi.org/10.32764/agrosaintifika.v4i1.2375>

MUNIS, M. F. H.; XU, S.; HAKIN.; CHAUDHARY, H. J.; MASSOD, S.; FAROOQ, A. B. Diagnosis of *Fusarium graminearum* in soil and plant samples of wheat by real-time PCR. **Romanian Biotechnological Letters**, v. 23(5), p. 14035, 2018.
<https://doi.org/10.26327/RBL2018.223>

MURALI, M.; NAZIYA, B.; ANSARI, M. A.; ALOMARY, M. N.; ALYAHYA, S.; ALMATROUDI, A.; THRIVENI, M. C.; GOWTHAM, H. G.; SINGH, S. B.; AIYAZ, M.; KALEGOWDA, N.; LAKSHMIDEVI, N.; AMRUTHESH, K. N. Bioprospecting of Rhizosphere-Resident Fungi: Their Role and Importance in Sustainable Agriculture. **Journal of fungi**, v. 7(4), p. 314, 2021. <https://doi.org/10.3390/jof7040314>

NAHER, L.; SYAWANI, N.; AMIEZA, N.; KAMARUDIN, A. B.; e KARIM, S. M. R. *Trichoderma* species diversity in rhizosphere soils and potential antagonism with *Fusarium oxysporum*. **Bioscience Journal (Online)**, v. 35(1), p. 13-2613-26, 2019.

NETO, B. C. R.; GORGATI, C. Q.; PITELLI, R. A. Influência do fotoperíodo e da temperatura na intensidade de doença causada por *Fusarium graminearum* em *Egeria densa* e *E. najas*. **Planta Daninha**, v. 23, p. 449-456, 2005.
<https://doi.org/10.1590/S0100-83582005000300008>

NIRMALADEVI, D.; VENKATARAMANA, M.; SRIVASTAVA, R. K.; UPPALAPATI, S. R.; GUPTA, V. K.; YLI-MATTILA, T.; CHANDRA, N. S. Molecular phylogeny, pathogenicity and toxigenicity of *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici. **Scientific reports**, v. 6(1), p. 21367, 2016. <https://doi.org/10.1038/srep21367>

NIKITIN, D. A.; IVANOVA, E. A.; SEMENOV, M. V.; ZHELEZOVA, A. D.; KSENOFONTOVA, N. A.; TKHAKAKHOVA, A. K.; KHOLODOV, V. A. Diversity, ecological characteristics and identification of some problematic phytopathogenic *Fusarium* in soil: a review. **Diversity**, v. 15(1), p. 49, 2023. <https://doi.org/10.3390/d15010049>

NÓBREGA, J. S.; NASCIMENTO, L. C.; Sanidade de sementes e sua influência no controle de fitopatógenos. **Research, Society and Development**, v. 9(10), p. e649108101, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8101>

NOZAKI, M. H.; CAMARGO, M. E.; BARRETO, M. Caracterização de *Diaporthe citri* em diferentes meios de cultura, condições de temperatura e luminosidade. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, p. 429-432, 2004.

NUCCI, M.; BARREIROS, G.; AKITI, T.; ANAISSIE, E.; e NOUÉR, S. A. Invasive fusariosis in patients with hematologic diseases. **Journal of Fungi**, v. 7(10), p. 815, 2021. <https://doi.org/10.3390/jof7100815>

NUSAIBAH, S. A.; MUSA, H. as Biological Control Agent of the Basal Stem Rot (BSR) Disease of. *Trichoderma*: **The most widely used fungicide**, p. 79, 2019.

O'DONNELL, K.; AL-HATMI, A. M. S, AOKI, T.; BRANKOVICS, B. CANO-LIRA, J. F.; COLEMAN, J. J.; HOOG, G. S. D. I.; PIETRO, A; FRANDSEN, R. J. N.; GEISER, D. M.; GIBAS, C. F. C.; GUARRO, J.; KIM, H.; KISTLER, H. C.; LARABA, I.; LESLIE, J. F.; LÓPEZ-BERGES, M. S.; LYSOE, E.; MEIS, J. F.; MONOD, M. PROCTOR, R. H.; REP, M. RUIZ-ROLDÁN, C.; SISIC, A. STAJICH, J. E.; STEENKAMP, E. T.; SUMMERELL, B. A.; VAN, D. E. R, LEE, T. A. J.; VAN DIEPENINGEN, A. D.; VERWEIJ PEWAALWIJK, C.; WARD T. J.; WICKES, B. L.; WIEDERHOLD, N. P.; WINGFIELD, M. J.; ZHANG, N.; ZHANG, S. X. No to *Neocosmospora*: Phylogenomic and Practical Reasons for Continued Inclusion of the *Fusarium solani* Species Complex in the Genus *Fusarium*, **Msphere**, v. 5(5), p. 10.1128/msphere, 2021. <https://doi.org/10.1128/msphere.00810-20>

O'DONNELL, K.; WARD, T. J; ROBERT, V. A. R. G.; CROUS, P. W.; GEISER, D. M.; KANG, S. DNA-sequence based identification of *Fusarium*: Current status and future directions. **Phytoparasitica**, v. 43, p. 583-595, 2015. <https://doi.org/10.1007/s12600-015-0484-z>

O'DONNELL, K.; WHITAKER, B. K., LARABA, I.; PROCTO, R. H.; BROWN, D. W.; BRODERS, K.; KIM, H.; MCCORMICK, S. P.; BUSMAN, M.; AOKI, T.; TORRESCRUZ, T. J.; GEISER, D. M. DNA Sequence-Based Identification of *Fusarium*: A Work in Progress. **Plant Disease**, v. 106, p. 1597-1609, 2022.

OKUNGBOWA, F.I.; SHITTU, H.O. *Fusarium* wilts: An overview. **Environmental Research Journal**. v. 6, p. 83–102, 2012

PARDO-MEDINA, J.; LIMÓN, M. C.; AVALOS, J. *Fusarium* photoreceptors. **Journal of Fungi**, v. 9(3), p. 319, 2023. <https://doi.org/10.3390/jof9030319>

PAUGH, KELLEY R.; GORDON, THOMAS R. Survival of *Fusarium oxysporum* f. sp. lactucae on crop residue in soil. **Plant Disease**, v. 105(4), p. 912-918, 2021. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-20-1464-RE>

PEÑA-PEÑA, A. J.; GARCIA, C. F. O.; VARA, J. N. E.; SALÍN, C. M. O. Occurrence of entomopathogenic fungi in coconut soils, identification, physiological characterisation and pathogenicity towards *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Dryophthoridae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 33(10), p. 942-962, 2023. <https://doi.org/10.1080/09583157.2023.2259638>

PIERZGALSKI, A.; BRYLA, M.; KANABUS, J.; MODRZEWSKA, M.; PODOLSKA, G. Updated review of the toxicity of selected *Fusarium* toxins and their modified forms. **Toxins**, v. 13, p. 768, 2021. <https://doi.org/10.3390/toxins13110768>

PINHEIRO, G. S.; BARBOSA, L. G.; ANGELOTTI, F.; MAGALHÃES, E. E.; FERNANDES, H. A.; ZUCAL, M. P. M. Impacto de alterações de temperatura no crescimento e esporulação de *Fusarium oxysporum* f. sp. tracheiphilum. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2012. Disponível em: <<https://www.cnpma.embrapa.br/climapest/workshop/anais/trabalhos/T002.pdf>>.

POLTRONIERI, T. P. S.; AZEVEDO, L. A. S.; SILVA, D. E. M. Effect of temperature on mycelial growth and conidial production and germination for *Colletotrichum gloeosporioides* isolated from juçara palm fruits (*Euterpe edulis* Mart). **Summa Phytopathologica**, v. 39(1), p. 281-285, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-54052013000400009>

PRAMUNADIPTA, S.; WIDIASTUTI, A.; WIBOWO, A.; PRIYATMOJO, A. Rep-PCR analysis of *Fusarium proliferatum* causing sheath rot disease and its relationship to light, pH, temperature and rice varieties. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 55(8), p. 973-990, 2022. <https://doi.org/10.1080/03235408.2022.2081484>

QUEVEDO, A. C. A.; MUNIZ, M. F. B.; SAVIAN, L. G.; SARZI, J. S.; SALDANHA, M. A. Ação antagonista *in vitro* de *Trichoderma* SP. sobre *Fusarium oxysporum*. **Ciência Florestal**, v. 32(4), p. 2288-2303, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509868437>

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **A linguagem and Environment for Statistical Computing**. 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org/>

REGRAS PARA ANÁLISE DE SEMENTES. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.

RUFINO, C. P. B.; ARAÚJO, C. 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**, v. 5(1). p. 248-262, 2018.

SAHU, T. K.; DUBEY, S. Influence of Environmental Factors on Growth and Sporulation of *Fusarium oxysporum*: Temperature, pH, and Photoperiod Effects. **Technische Sicherheit**, v. 25, p. 748-754, 2025.

SALDANHA, M. A.; COSTA, E. C.; MUNIZ, M. F. B.; QUEVEDO, A. C.; SARZI, J. S. Caracterização morfofisiológica de fungos entomopatogênicos. **Acta Biológica Catarinense**, v. 9(1), p. 87-96, 2022. <https://doi.org/10.21726/abc.v9i1.1705>

SALEH, A. A.; SHARAFADDIN, A. H.; EL_KOMY, M. H.; IBRAHIM, Y. E.; HAMAD, Y. K. Molecular and physiological characterization of *Fusarium* strains associated with different diseases in date palm. **Plos one**, v. 16(7), p. e0254170, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254170>

SAPUTRA, R.; PUSPITA, F.; HAMZAH, A.; IRFANDRI, I.; SURYANI, E. Morphological characterization of *Trichoderma* SP. isolated from the oil palm rhizosphere in peat soils and its potential as a biological control for *Ganoderma* sp. *in vitro*. **Jurnal Ilmiah Pertanian**, v. 19(2), p. 461253, 2022. <https://doi.org/10.31849/jip.v19i2.9405>

SCHENA, L.; NICOSIA, M. G. D.; SANZANI, S. M.; FAEDDA, R.; IPPOLITO, A.; CACCIOLA, S. O. Development of quantitative PCR detection methods for phytopathogenic fungi and oomycetes. **Journal of Plant Pathology**, v. 95(1), p. 7-24, 2013.

SCHIRO, G.; VERCH, G.; GRIMM, V.; MÜLLER, M. E. *Alternaria* and *Fusarium* fungi: Differences in distribution and spore deposition in a topographically heterogeneous wheat field. **Journal of Fungi**, v. 4(2), p. 63, 2018.

SEKHAR, C. Y.; AHMMED, K. S.; PRASAD, T. N. V. K. V.; DEVI, R. S. J. Identification of *Trichoderma* species based on morphological characters isolated from rhizosphere of groundnut (*arachis hypogaea* l). **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences.**, v. 6, p. 056-2063, 2017.

SHARMA, L.; MARQUES, G. *Fusarium*, an entomopathogen—A myth or reality? **Pathogens**, v. 7, p. 93, 2018. <https://doi.org/10.3390/pathogens7040093>

SILVA, P. H. Principais insights do gênero *Fusarium* no controle biológico no nordeste brasileiro: revisão de literatura. Centro de Biociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., revista e ampliada. Brasília, DF : Embrapa Solo, 2018.

SINGHA, I. M.; KAKOTY, Y.; UNNI, B. G.; DAS, J.; KALITA, M. C. Identification and characterization of *Fusarium* sp. using ITS and RAPD causing *fusarium* wilt of tomato isolated from Assam, North East India. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 14(1), p. 99-105, 2016.

STIELOW, J.B; LÉVESQUE, C. A.; SEIFERT, K. A.; MEYER, W.; IRINYI, L.; SMITS, D.; RENFURM, R.; VERKLEY, G. J. M.; GROENEWALD, M.; CHADULI, D.; LOMASCOLO, A.; WELTI, S.; LESAGE-MEESSEN, L.; FAVEL, A.; AL-HATMI, A. M. S.; DAMM, U.; YILMAZ, N.; HOUBRAKEN, J.; LOMBARD, L.; QUAEDVLIEG, W.; BINDER, M.; VAAS, L. A. I.; VU, D.; YURKOV, A.; BEGEROW, D.; ROEHL, O.; GUERREIRO, M.; FONSECA, A., SAMERPITAK, K.; VAN DIEPENINGEN, A. D.; DOLATABADI, S.; MORENO, L. F.; CASAREGOLA, S.; MALLET, S.; JACQUES, N.; ROSCINI, L.; EGIDI, E.; BIZET, C.; GARCIA-HERMOSO, D.; MARTÍN, M. P.; DENG, S.; GROENEWALD, J. Z.; BOEKHOUT, T.; DE BEER, Z. W.; BARNES, I.; DUONG, T. A.; WINGFIELD, M. J. DE HOOG, G. S.; CROUS, P. W.; LEWIS, C. T.; HAMBLETON, S.; MOUSSA, T. A. A.; AL-ZAHRANI, H. S.; ALMAGHRABI, O. A.; LOUIS-SEIZE, G.; ASSABGUI, R.; MCCORMICK, W.; OMER, G.; DUKIK, K.; CARDINALI, G.; EBERHARDT, U.; DE VRIES, M.; E ROBERT, V. One fungus, which genes? Development and assessment of universal primers for potential secondary fungal DNA barcodes. **Persoonia** , v. 35, p. 242-263, 2015. <https://doi.org/10.3767/003158515X689135>

SUMMERELL, B. A. Resolving *Fusarium*: Current status of the genus. **Annual review of phytopathology**, v. 57(1), p. 323-339, 2019. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082718-100204>

SUMMERELL, B. A.; LESLIE, J. F. Fifty years of *Fusarium*: how could nine species have ever been enough?. **Fungal Diversity**, v. 50(1), p. 135-144, 2011. <https://doi.org/10.1007/s13225-011-0132-y>

SURENDRA, B. K.; CHAKMA, J.; MAHARJAN, R.; SINGH, S. P. *In vitro* Antagonistic Activity of *Trichoderma* Species against Agriculturally Important Plant Pathogenic Fungi. **Journal of the Plant Protection Society**, p. 9(1), p. 51-61, 2024. <https://doi.org/10.3126/jpps.v9i1.85010>

TAMURA, K.; NEI M. Estimation of the number of nucleotide substitutions in the control region of mitochondrial DNA in humans and chimpanzees. **Molecular Biology and Evolution** v. 10, p. 512-526, 1993.

TAYLOR, J.W.; JACOBSON, D.J.; KROKEN, S.; KASUGA, T.; GEISER, D.M.; HIBBETT, D.S.; FISHER, M.C. Phylogenetic species recognition and species concepts in Fungi. **Fungal Genetics and Biology**, v. 31, p. 21–32, 2000. <https://doi.org/10.1006/fgbi.2000.1228>

TEKER, T.; KHALID, S. A.; YÖRÜK, E.; ALBAYRAK, G. Physiological, genetic and transcriptional characterization of *Fusarium graminearum* isolates. **Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences**, v. 42(2), p. 450-458, 2024.

THONAR, C.; LEKFELDT, J. D. S.; COZZOLINO, V.; KUNDEL, D.; KULHÁNEK, M.; MOSIMANN, C.; N, G.; PICCOLO, A.; REX, M.; SYMANCZIK, S.; WALDER, F.; WEINMANN, M.; NEERGAARD, A.; MADER, P. Potential of three microbial bio-effectors to promote maize growth and nutrient acquisition from alternative phosphorous fertilizers in contrasting soils. **Chemical Biological Technologies in Agriculture**, v. 4(7), p. 1-16, 2017. <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0088-6>

TIMMUSK, S.; NEVO, E.; AYELE, F.; NOE, S.; NIINEMETS, Ü. Fighting *Fusarium* pathogens in the era of climate change: A conceptual approach. **Pathogens**, v. 9, p. 419, 2020. <https://www.mdpi.com/2076-0817/9/6/419>

TISCH, D.; SCHMOLL, M. Light regulation of metabolic pathways in fungi. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 85(5), p.1259-1277, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2320-1>

TOLEDO-SOUZA, E. D. D.; SILVEIRA, P. M. D.; LOBO JUNIOR, M.; CAFÉ FILHO, A. C. Sistemas de cultivo, sucessões de culturas, densidade do solo e sobrevivência de patógenos de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 971-978, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000800004>

TYŚKIEWICZ, R.; NOWAK, A.; OZIMEK, E.; JAROSZUK-ŚCISEŁ, J. *Trichoderma*: El estado actual de su aplicación en la agricultura para el biocontrol de hongos fitopatógenos y la estimulación del crecimiento vegetal. **International Journal Molecular Sciences**, v. 23, p. 2329, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>

WAGACHA, J. M.; OERKE, E. C.; DEHNE, H. W.; STEINER, U. Interactions of *Fusarium* species during prepenetration development. **Fungal Biology**, v. 116(7), p. 836-847, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2012.05.001>

WOLLENWEBER, H. W.; REINKING, O. A. The Fusaria: Their description injurious effects and control. Paul Parey, Berlin, v. 8, p. 1–141, 1935.

XU, M.; HUANG, Z.; ZHU, W.; LIU, Y.; BAI, X.; ZHANG, H. *Fusarium*-derived secondary metabolites with antimicrobial effects. **Molecules**, v. 28, p. 3424, 2023. <https://doi.org/10.3390/molecules28083424>

YAN, H.; NELSON, J. R. B. Effect of temperature on *Fusarium solani* and *F. tricinctum* growth and disease development in soybean. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 42(4), p. 527-537, 2020. <https://doi.org/10.1080/07060661.2020.1745893>

YANG, J.; HAN, J.; JING, Y.; LI, S.; LAN, B.; ZHANG, Q.; YIN, K. Virulent *Fusarium* isolates with diverse morphologies show similar invasion and colonization strategies in alfalfa. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1390069, 2024.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1390069>

ZADRAĞ-TEĆZA, R.; MAŚLANKA, R.; BEDNARSKA, S.; KWOLEK-MIREK, M. Response mechanisms to oxidative stress in yeast and filamentous fungi. Stress response mechanisms in fungi: theoretical and practical aspects. **Journal and funding finder**, p. 1-34, 2018.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-00683-9_1

ZHOU, Y.; WANG, Y.; CHEN, K.; WU, Y.; HU, J.; WEI, Y.; LI, J.; YANG, H.; RYDER, M. E.; DENTON, M. D. Near-complete genomes of two *Trichoderma* species: A resource for biological control of plant pathogens. **Molecular Plant Microbe Interactions**, v. 33(8), p. 1036-1039, 2020. <https://doi.org/10.1094/MPMI-03-20-0076-A>

ZIN, N. A.; BADALUDDIN, N. A. Biological functions of *Trichoderma* sp. for agriculture applications. **Annals of agricultural sciences**, v. 65(2), p. 168-178, 2020.