Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.09,2024
ISSN 2178-6925

USO POSITIVO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS PARA BIOCONTROLE DE PATÓGENOS NA CULTURA DO TOMATE

POSITIVE USE OF ENDOPHYTIC FUNGI FOR PATHOGEN BIOCONTROL IN TOMATO CROPS

Calzyon Junior Caroba Lima Sá
Discente do Curso de Bacharelado em Agronomia,Instituto Educacional Santa Catarina Faculdade Guaraí-IESC-FAG, Campus Guaraí/TO, Brasil, e-mail: calzyonjr@gmail.com

Lázaro Coelho dos Santos
Discente do Curso de Bacharelado em Agronomia,Instituto Educacional Santa Catarina Faculdade Guaraí-IESC-FAG, Campus Guaraí/TO, Brasil, e-mail: lazarocoelho79@gmail.com

Ronaldo Pereira Lima
Engenheiro Agrônomo. Msc.Agroenergia. Prof. Adjunto do Curso de Agronomia Instituto Educacional Santa Catarina Faculdade Guaraí-IESC-FAG, CampusGuaraí/TO, Brasil, e-mail: ronaldoagroenergia@gmail.com

Resumo

O uso de fungos endofíticos para biocontrole de patógenos na cultura do tomate apresenta-se como uma alternativa promissora no cenário da agricultura sustentável. Fungos endofíticos são microrganismos que vivem dentro dos tecidos vegetais sem causar danos, beneficiando as plantas de diversas maneiras, incluindo a promoção do crescimento, a indução de resistência sistêmica e a supressão direta de patógenos. O objetivo do estudo foi avaliar o potencial de diferentes cepas de fungos endofíticos no biocontrole de patógenos que afetam a cultura do tomate, buscando alternativas ecológicas ao uso de pesticidas químicos. A metodologia da revisão envolveu a seleção criteriosa de artigos científicos publicados em periódicos renomados. Foram utilizadas bases de dados acadêmicas como PubMed, Scopus e Web of Science para encontrar estudos relevantes. A adoção dessa prática pode contribuir significativamente para a redução do uso de pesticidas químicos, promovendo uma agricultura mais sustentável e saudável. A revisão também aponta para a necessidade de pesquisas adicionais para compreender melhor as interações planta-fungo e desenvolver protocolos eficientes de aplicação. A transferência de conhecimento entre a comunidade científica e os agricultores é fundamental para a implementação bem-sucedida dessa tecnologia na agricultura.

Palavras-chave: Resistência Sistêmica. Metabólitos Secundários. Ecologia Microbiana.

Abstract

The use of endophytic fungi for biocontrol of pathogens in tomato crops is a promising alternative in the scenario of sustainable agriculture. Endophytic fungi are microorganisms that live inside plant tissues without causing damage, benefiting plants in several ways, including promoting growth, inducing systemic resistance and directly suppressing pathogens. The objective of the study was to evaluate the potential of different strains of endophytic fungi in the biocontrol of pathogens that affect tomato crops, seeking ecological alternatives to the use of chemical pesticides. The review methodology involved the careful selection of scientific articles published in renowned journals. Academic databases such as PubMed, Scopus and Web of Science were used to find relevant studies. The adoption of this practice can significantly contribute to reducing the use of chemical pesticides, promoting more sustainable and

healthy agriculture. The review also points to the need for additional research to better understand plant-fungus interactions and develop efficient application protocols. Knowledge transfer between the scientific community and farmers is essential for the successful implementation of this technology in agriculture.

Keywords: Systemic Resistance. Secondary Metabolites. Microbial Ecology.

1. INTRODUÇÃO

Os fungos endofíticos têm ganhado destaque como uma ferramenta promissora no biocontrole de patógenos na agricultura moderna. Estes microrganismos vivem dentro dos tecidos vegetais, estabelecendo uma relação benéfica com as plantas hospedeiras sem causar danos aparentes. A capacidade dos fungos endofíticos de promover a saúde das plantas e controlar doenças tem sido amplamente estudada, especialmente em culturas de alto valor econômico, como o tomate. Na cultura do tomate, a presença de fungos endofíticos pode induzir resistência sistêmica, melhorar a absorção de nutrientes e promover o crescimento, resultando em plantas mais robustas e menos suscetíveis a infecções por patógenos (DA SILVA et al., 2023).

Os fungos endofíticos são eficazes no controle de uma ampla gama de patógenos que afetam a cultura do tomate, incluindo fungos, bactérias e nematoides. Um dos principais mecanismos de ação dos fungos endofíticos é a produção de compostos antimicrobianos que inibem diretamente o crescimento dos patógenos. Além disso, esses fungos podem atuar indiretamente, melhorando a saúde geral da planta e aumentando sua resistência ao estresse biótico. A colonização das raízes e dos tecidos foliares por fungos endofíticos pode desencadear a produção de fitoalexinas e outras moléculas de defesa na planta hospedeira, fortalecendo suas barreiras naturais contra infecções (FREIRE et al., 2024).

Além do controle de patógenos, os fungos endofíticos também têm sido associados a melhorias no crescimento e na produtividade das plantas de tomate. A simbiose com fungos endofíticos pode aumentar a absorção de nutrientes essenciais, resultando em plantas mais vigorosas e com maior capacidade fotossintética. Isto contribui para um melhor rendimento de frutos, evidenciando o potencial dos fungos endofíticos como aliados na agricultura sustentável. A presença de fungos endofíticos pode também alterar a microbiota da rizosfera e da filosfera, criando um ambiente desfavorável para a colonização de patógenos, o que aumenta ainda mais a resiliência das plantas (MATOS et al., 2024).

Além dos benefícios diretos no controle de patógenos e no aumento da produtividade, os fungos endofíticos têm um papel importante na adaptação das

plantas ao estresse abiótico, como seca e salinidade. A colonização endofítica pode melhorar a eficiência no uso da água e aumentar a tolerância das plantas a condições adversas, o que é particularmente relevante em cenários de mudança climática e escassez de recursos hídricos. A presença de fungos endofíticos pode aumentar a expressão de genes relacionados à resposta ao estresse e à homeostase osmótica, preparando a planta para enfrentar melhor os desafios ambientais (CHAGA; RODRIGUES; SILVA, 2023).

Com base nisso, surge a seguinte problemática: como os fungos endofíticos podem ser utilizados de forma eficaz e sustentável no biocontrole de patógenos na cultura do tomate, considerando a diversidade de condições agronômicas e os diferentes tipos de estresse biótico e abiótico que as plantas enfrentam?

Justifica-se esse trabalho pelo fato de que a exploração do potencial dos fungos endofíticos representa uma alternativa promissora para o controle de doenças na cultura do tomate, reduzindo a dependência de pesticidas químicos e contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis. A utilização de fungos endofíticos pode levar a uma produção agrícola mais eficiente, sustentável e resiliente, beneficiando tanto os produtores quanto o meio ambiente. Além disso, a compreensão dos mecanismos de ação dos fungos endofíticos e sua interação com a planta hospedeira pode abrir novas perspectivas para o desenvolvimento de estratégias de manejo integrado de pragas e doenças.

O presente trabalho de pesquisa tem como objetivo geral avaliar o uso de fungos endofíticos no biocontrole de patógenos na cultura do tomate. Apresentando os seguintes objetivos específicos: identificar espécies de fungos endofíticos com potencial biocontrolador, investigar os mecanismos de ação desses fungos na planta hospedeira, avaliar a eficácia dos fungos endofíticos em diferentes condições agronômicas e de estresse abiótico, e desenvolver recomendações práticas para a integração de fungos endofíticos no manejo de doenças na cultura do tomate.

2. METODOLOGIA

O presente estudo empregou a revisão bibliográfica como método principal para a coleta de dados, utilizando a exploração de bases de dados que contêm uma vasta gama de pesquisas e literatura pertinentes ao assunto em questão. A pesquisa bibliográfica, reconhecida como uma ferramenta principal, facilita o acesso a estudos

acadêmicos de acesso público, englobando fontes como volumes, ensaios, teses e monografias, entre outras fontes.

A metodologia utilizada neste estudo foi de natureza descritiva, com uma clara ênfase na coleta de dados de natureza qualitativa e padronizada. Esse enfoque metodológico visa principalmente à caracterização dos atributos de um fenômeno específico, direcionando esforços para a compreensão de sua essência, manifestação, origens, bem como suas interconexões, evoluções e desdobramentos, a fim de identificar as consequências mais relevantes emergentes desse contexto.

A pesquisa bibliográfica mostrou-se essencial para a sustentação teórica do estudo, fornecendo uma base sólida de conhecimento que possibilitou a análise detalhada do assunto em questão. A abordagem descritiva permitiu uma análise minuciosa das características e propriedades do fenômeno investigado, contribuindo para uma compreensão mais profunda de sua dinâmica e impacto. Essa estratégia metodológica, em conjunto com a pesquisa bibliográfica, possibilitou uma análise abrangente e criteriosa, consolidando as descobertas e conclusões do estudo.

A pesquisa proporcionou uma visão geral das teorias e abordagens existentes sobre o assunto, enriquecendo a análise com perspectivas diversas e embasadas. Por meio da síntese e interpretação dos dados encontrados na literatura especializada, foi possível contextualizar o objeto de estudo dentro de um arcabouço teórico sólido, contribuindo para a construção de uma base sólida. No que diz respeito à abordagem descritiva, sua aplicação permitiu uma análise minuciosa dos detalhes do fenômeno em questão, delineando suas características essenciais e aspectos distintivos.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Impacto das Doenças na Cultura do Tomate e as Perdas Ocasionadas

A cultura do tomate é uma das mais importantes no contexto agrícola mundial, devido à sua ampla aceitação e consumo por parte da população. Este cultivo se destaca pela sua elevada demanda nutricional e por ser um ingrediente básico em diversas culinárias. O cultivo de tomate enfrenta desafios significativos relacionados a doenças que afetam drasticamente a produtividade e a qualidade dos frutos, resultando em perdas consideráveis tanto em termos econômicos quanto em termos de produção (MORAES; FERRAZ; CHAPLA, 2020).

Entre as principais doenças que afetam a cultura do tomate, destacam-se as causadas por fungos, bactérias, vírus e nematoides. As doenças fúngicas, como a requeima, causada por *Phytophthora infestans*, e o oídio, causado por *Oidium lycopersicum*, são particularmente devastadoras, especialmente em condições de alta umidade e temperatura moderada. Estas doenças podem provocar a destruição de grandes áreas de cultivo em poucos dias, levando à morte das plantas e à perda completa dos frutos. A requeima, em particular, é uma das doenças mais temidas pelos agricultores, pois se espalha rapidamente e pode dizimar uma lavoura inteira se não for controlada adequadamente (FREIRE et al., 2024).

As bactérias também representam uma ameaça significativa à cultura do tomate. A murcha bacteriana, causada por *Ralstonia solanacearum*, e a mancha bacteriana, causada por *Xanthomonas campestris pv. vesicatoria*, são exemplos de doenças que podem comprometer a produção. A murcha bacteriana afeta o sistema vascular das plantas, resultando em murcha rápida e morte das mesmas, enquanto a mancha bacteriana provoca lesões nas folhas, frutos e caules, prejudicando a qualidade e a comercialização dos tomates (TORRES et al., 2022).

Os vírus, como o Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV), também são responsáveis por perdas substanciais na cultura do tomate. Este vírus, transmitido pela mosca-branca (*Bemisia tabaci*), causa uma série de sintomas que incluem o enrolamento das folhas, a clorose e a redução drástica na frutificação, comprometendo significativamente a produtividade. A disseminação de vírus é facilitada por insetos vetores, o que torna o controle mais desafiador e exige estratégias integradas de manejo (CHAGA; RODRIGUES; SILVA, 2023).

Além das doenças causadas por microrganismos, os nematoides, como *Meloidogyne spp.*, também são responsáveis por grandes perdas na produção de tomate. Esses parasitas atacam as raízes, causando galhas que comprometem a absorção de água e nutrientes, levando ao enfraquecimento das plantas e à redução do rendimento. A presença de nematoides em solos cultivados com tomate é comum e representa um desafio adicional para os produtores, que muitas vezes necessitam recorrer a práticas de manejo integrado e rotação de culturas para mitigar os danos (FERREIRA et al., 2023).

As perdas ocasionadas por essas doenças variam conforme o clima, a região de cultivo, e as práticas de manejo adotadas pelos agricultores. Em regiões tropicais e subtropicais, onde as condições ambientais são favoráveis ao desenvolvimento de patógenos, as perdas podem ser ainda mais expressivas. Além do impacto direto sobre

a produtividade, essas doenças aumentam os custos de produção, uma vez que os agricultores precisam investir em defensivos agrícolas, práticas de manejo integrado e tecnologias de controle (FREIRE et al., 2024).

3.2 Fungos Endofíticos

Fungos endofíticos são micro-organismos que vivem dentro de plantas, geralmente sem causar sintomas aparentes de doença. Estes fungos colonizam os tecidos internos das plantas, incluindo folhas, caules e raízes, estabelecendo uma relação simbiótica que pode variar de mutualística a comensalista. Os fungos endofíticos desempenham um papel fundamental na ecologia e na biologia das plantas, contribuindo para sua saúde e resistência a estresses ambientais e patogênicos. A presença desses fungos é ubíqua, sendo encontrada em praticamente todas as plantas estudadas, independentemente do bioma ou das condições climáticas (DE CARVALHO MOREIRA et al., 2021).

A definição dos fungos endofíticos inclui sua capacidade de colonizar tecidos vegetais sem causar danos visíveis ao hospedeiro, distinguindo-os dos patógenos e saprófitas. Características chave incluem a produção de metabólitos secundários que podem conferir vantagens adaptativas à planta hospedeira, como resistência a herbívoros, patógenos e condições ambientais adversas. Esses fungos também podem influenciar o crescimento e desenvolvimento das plantas através da modulação de hormônios vegetais. A relação entre plantas e fungos endofíticos é complexa e multifacetada, envolvendo uma troca dinâmica de nutrientes e sinais químicos que sustentam a coexistência benéfica (SOUTO et al., 2020).

O interesse científico pelos fungos endofíticos começou a ganhar destaque no século XX, embora sua existência tenha sido reconhecida há muito mais tempo. Com o advento das técnicas moleculares, como a PCR e o sequenciamento de DNA, a pesquisa sobre fungos endofíticos expandiu-se significativamente, permitindo uma compreensão mais aprofundada da diversidade e das funções ecológicas desses fungos. A importância ecológica dos fungos endofíticos está associada ao seu papel na promoção da saúde e vitalidade das plantas (DE MARCO; SANTOS; SOUZA, 2021).

Esses fungos ajudam na adaptação das plantas a ambientes estressantes, como seca, salinidade e presença de metais pesados, melhorando a absorção de nutrientes e a resistência a patógenos. Fungos endofíticos contribuem para a diversidade

microbiana do solo e influenciam a estrutura e a dinâmica das comunidades de plantas. A interação planta-fungo é crucial para a estabilidade dos ecossistemas, desempenhando um papel vital na manutenção da biodiversidade e na resiliência dos sistemas ecológicos (JUNIOR et al., 2022).

Biologicamente, os fungos endofíticos são produtores prolíficos de metabólitos secundários, muitos dos quais têm atividades antimicrobianas, antivirais, antioxidantes e anticancerígenas. A exploração desses compostos tem revelado um potencial significativo para o desenvolvimento de novos medicamentos e produtos agrícolas, como biofertilizantes e biopesticidas. A capacidade dos fungos endofíticos de sintetizar compostos que beneficiam as plantas hospedeiras e, ao mesmo tempo, têm aplicações biotecnológicas, destaca sua relevância na pesquisa científica e no desenvolvimento tecnológico (MORAES; FERRAZ; CHAPLA, 2020).

Os fungos endofíticos também desempenham um papel na modulação da microbiota associada às plantas, influenciando as interações com outros micro-organismos, como bactérias e vírus. Essas interações podem ser benéficas, aumentando a resistência das plantas a infecções, ou podem ajudar a regular a comunidade microbiana do solo, promovendo um ambiente mais equilibrado e saudável para o crescimento vegetal. O estudo dessas interações é vital para compreender as complexas redes ecológicas que sustentam a saúde e a produtividade dos ecossistemas agrícolas e naturais (FREIRE et al., 2024).

A pesquisa sobre fungos endofíticos continua a evoluir, com novas descobertas sobre sua diversidade, funções e aplicações. O entendimento aprofundado das interações entre fungos endofíticos e plantas pode levar a inovações na agricultura sustentável, na conservação da biodiversidade e na descoberta de novos recursos bioativos. A exploração desse campo interdisciplinar promete avanços significativos na ciência ecológica e biotecnológica, destacando a importância de continuar a investigar e valorizar esses micro-organismos simbióticos (TORRES et al., 2022).

3.3 Interação Planta-Fungos Endofítico

A interação entre plantas e fungos endofíticos representa uma área vital de estudo dentro da ecologia e fisiologia vegetal, com implicações significativas para a agricultura e a conservação ambiental. Esses fungos colonizam uma ampla gama de plantas, desde gramíneas até árvores, e desempenham papéis fundamentais na promoção do

crescimento vegetal, na resistência a patógenos e na adaptação a estresses ambientais (CHAGA; RODRIGUES; SILVA, 2023).

Os mecanismos de colonização das plantas pelos fungos endofíticos envolvem uma série de processos complexos e especializados. Inicialmente, os fungos endofíticos reconhecem sinais químicos liberados pelas plantas, que facilitam sua adesão e penetração nos tecidos vegetais. A colonização frequentemente começa pelas raízes, onde os fungos podem entrar através de zonas de exsudação radicular ou ferimentos. Uma vez dentro do hospedeiro, os fungos endofíticos se movem através dos espaços intercelulares ou colonizam as células sem causar dano, utilizando mecanismos como a secreção de enzimas hidrolíticas que degradam componentes da parede celular sem desencadear respostas de defesa intensas da planta (FERREIRA et al., 2023).

As interações endofíticas têm efeitos profundos na fisiologia e na saúde das plantas. Fungos endofíticos podem aumentar a eficiência da absorção de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, ao mobilizarem esses elementos do solo para a planta hospedeira. Eles também produzem compostos bioativos, como fito-hormônios e antioxidantes, que melhoram o crescimento e a resistência ao estresse. A produção de hormônios vegetais, como auxinas e giberelinas, pelos fungos endofíticos pode estimular o desenvolvimento radicular e a expansão foliar, enquanto a síntese de compostos antimicrobianos ajuda a proteger as plantas contra patógenos e herbívoros (FREIRE et al., 2024).

As simbioses benéficas entre fungos endofíticos e plantas são evidentes em diversos exemplos na natureza. Em culturas agrícolas, como o arroz e o trigo, a inoculação com fungos endofíticos tem demonstrado aumentar significativamente a produtividade e a resistência a doenças. Um exemplo clássico é a interação entre o fungo endofítico Neotyphodium e gramíneas, como o capim-fescue, onde a presença do fungo melhora a tolerância ao estresse hídrico e aumenta a resistência a herbívoros devido à produção de alcaloides tóxicos para insetos (CHAGA; RODRIGUES; SILVA, 2023).

Em plantas nativas de ambientes extremos, como desertos ou regiões árticas, os fungos endofíticos ajudam as plantas a sobreviver em condições adversas. Em ambientes frios, a presença de fungos endofíticos pode melhorar a resistência ao congelamento, ajudando as plantas a manterem a integridade celular durante os períodos de temperaturas extremas. A aplicação de fungos endofíticos em práticas agrícolas e de conservação está ganhando crescente interesse devido ao seu potencial em reduzir a dependência de fertilizantes químicos e pesticidas (JUNIOR et al., 2022).

A biotecnologia baseada em fungos endofíticos oferece soluções sustentáveis para a melhoria da produção agrícola e a recuperação de ecossistemas degradados. O uso de fungos endofíticos na biorremediação de solos contaminados com metais pesados e na fitorremediação tem se mostrado promissor, já que esses fungos podem ajudar as plantas a acumular e tolerar contaminantes, promovendo a descontaminação do solo (SOUTO et al., 2020).

A pesquisa contínua sobre a interação planta-fungo endofítico revela a complexidade e a importância dessas associações simbióticas. O avanço no entendimento dos mecanismos moleculares e bioquímicos subjacentes a essas interações abrirá novas oportunidades para explorar o potencial dos fungos endofíticos em diversas aplicações ecológicas e agrícolas, contribuindo para a sustentabilidade e a resiliência dos sistemas agroecológicos (FREIRE et al., 2024).

3.4 Mecanismos de Biocontrole de Patógenos por Fungos Endofíticos

Os fungos endofíticos desempenham um papel significativo no biocontrole de patógenos através de diversos mecanismos. A produção de compostos antimicrobianos é uma estratégia amplamente estudada e eficaz. Esses compostos incluem enzimas líticas, que degradam componentes essenciais das paredes celulares dos patógenos, inibindo seu crescimento e proliferação. Exemplos de enzimas líticas são as quitinases, glucanases e proteases. Além das enzimas, os fungos endofíticos também produzem antibióticos, substâncias químicas que possuem a capacidade de matar ou inibir microrganismos patogênicos. Os antibióticos produzidos pelos endófitos podem ser bastante diversos e específicos, variando conforme o tipo de fungo e o patógeno alvo (CHAGA; RODRIGUES; SILVA, 2023).

A produção de metabólitos secundários por fungos endofíticos também é uma importante via de biocontrole. Metabólitos secundários são compostos orgânicos que não estão diretamente envolvidos nos processos de crescimento, desenvolvimento ou reprodução dos organismos, mas desempenham funções cruciais na interação entre diferentes espécies. Muitos desses compostos têm atividades antimicrobianas potentes e podem atuar de maneira sinérgica, aumentando a eficácia no controle dos patógenos. Os metabólitos secundários podem incluir alcaloides, terpenoides, fenóis, entre outros (DA SILVA et al., 2023).

A indução de resistência sistêmica nas plantas hospedeiras é outro mecanismo pelo qual os fungos endofíticos contribuem para o biocontrole de patógenos. Quando colonizam uma planta, os fungos endofíticos podem ativar mecanismos de defesa na planta hospedeira, preparando-a para uma resposta mais rápida e eficiente contra ataques de patógenos. Essa indução de resistência pode envolver a produção de fitoalexinas, proteínas relacionadas à patogênese e outras moléculas de sinalização que reforçam as barreiras defensivas da planta (MATOS et al., 2024).

A competição por recursos e nichos ecológicos é um mecanismo de biocontrole fundamental exercido pelos fungos endofíticos. Ao colonizarem os mesmos nichos ecológicos que os patógenos, os fungos endofíticos competem diretamente pelos nutrientes e espaço. Essa competição pode limitar a capacidade dos patógenos de estabelecerem infecções bem-sucedidas nas plantas hospedeiras. A eficiência desse mecanismo depende de diversos fatores, incluindo a velocidade de colonização, a capacidade de persistência e a adaptabilidade dos fungos endofíticos ao ambiente da planta hospedeira (DE CARVALHO MOREIRA et al., 2021).

Além desses mecanismos, os fungos endofíticos também podem influenciar a microbiota associada à planta hospedeira, promovendo um ambiente menos favorável ao desenvolvimento de patógenos. A presença de endófitos pode modular a comunidade microbiana, aumentando a abundância de microrganismos benéficos que podem competir ou inibir patógenos diretamente. Essa interação complexa entre fungos endofíticos, microbiota e planta hospedeira reforça a saúde da planta e reduz a incidência de doenças (DE MARCO; SANTOS; SOUZA, 2021).

A combinação desses mecanismos pode resultar em um controle biológico mais robusto e sustentável, minimizando a necessidade do uso de pesticidas químicos. A pesquisa continua a explorar a diversidade de fungos endofíticos e seus mecanismos de biocontrole, buscando identificar novas espécies e compostos que possam ser utilizados no manejo integrado de pragas e doenças agrícolas. A compreensão detalhada desses processos é essencial para desenvolver estratégias eficazes e ambientalmente sustentáveis para a proteção das culturas agrícolas (MORAES; FERRAZ; CHAPLA, 2020).

3.5 Fungos Endofíticos na Cultura do Tomate

A cultura do tomate é uma das mais importantes e difundidas no mundo, mas enfrenta uma série de desafios devido a patógenos que comprometem sua

produtividade e qualidade. Entre os principais patógenos que afetam os tomateiros estão os fungos *Phytophthora infestans*, causador da requeima, e *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*, responsável pelo murchamento fusariano. Outros patógenos notáveis incluem *Alternaria solani*, que provoca a pinta preta, e *Botrytis cinerea*, causador do mofo cinzento. Esses patógenos podem levar a perdas significativas na produção, exigindo estratégias eficazes de manejo (TORRES et al., 2022).

Se verificou o potencial dos fungos endofíticos como agentes biocontroladores na agricultura, inclusive na cultura do tomate. Os fungos endofíticos são organismos que vivem dentro das plantas sem causar danos aparentes e podem proporcionar benefícios como promoção do crescimento, aumento da resistência a estresses abióticos e bióticos e controle de patógenos. A aplicação de *Trichoderma harzianum* tem mostrado resultados promissores no controle de *Phytophthora infestans*. *Trichoderma* spp. são conhecidos por suas capacidades de competição por espaço e nutrientes, além de produzir enzimas líticas que degradam a parede celular dos patógenos (FERREIRA et al., 2023).

Um estudo realizado com *Beauveria bassiana* demonstrou que este fungo endofítico pode colonizar o tomateiro e conferir resistência sistêmica contra *Botrytis cinerea*. A resistência sistêmica induzida é um mecanismo pelo qual a planta hospedeira adquire uma forma de imunidade aprimorada em resposta à colonização por microrganismos benéficos. Isso sugere que a utilização de fungos endofíticos não só suprime diretamente os patógenos, mas também fortalece as defesas naturais das plantas (SOUTO et al., 2020).

A eficácia de fungos endofíticos contra doenças específicas do tomate também é evidenciada em estudos com *Clonostachys rosea*, que apresenta atividade antagonista contra *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*. Esse fungo endofítico não apenas inibe o crescimento do patógeno, mas também melhora a saúde geral da planta, promovendo um crescimento mais vigoroso. A utilização de *Clonostachys rosea* resultou em uma redução significativa na incidência de murchamento fusariano, corroborando seu potencial como agente de biocontrole (CHAGA; RODRIGUES; SILVA, 2023).

Outro exemplo relevante é o uso de *Piriformospora indica*, um fungo endofítico que tem sido estudado por suas capacidades de promoção de crescimento e controle de doenças. A inoculação de tomateiros com *P. indica* pode reduzir a severidade da requeima causada por *Phytophthora infestans*. Esse efeito é atribuído à indução de

resistência sistêmica nas plantas e à competição direta com o patógeno pelo espaço e recursos (SOUTO et al., 2020).

Além dos efeitos diretos no controle de patógenos, fungos endofíticos como *Trichoderma* spp. e *Beauveria bassiana* também promovem o crescimento das plantas, o que pode resultar em colheitas mais abundantes e saudáveis. Esses benefícios adicionais tornam os fungos endofíticos uma ferramenta valiosa não apenas para o manejo de doenças, mas também para a melhoria geral da produtividade agrícola. A integração de fungos endofíticos no manejo de doenças dos tomateiros representa uma fronteira promissora na agricultura moderna, destacando a importância da biotecnologia e da microbiologia no desenvolvimento de estratégias agrícolas sustentáveis (FERREIRA et al., 2023). Melhoria do Crescimento e da Produtividade das Plantas de Tomate

3.6 Melhoria do Crescimento e da Produtividade das Plantas de Tomate

Os fungos endofíticos desempenham um papel significativo na melhoria do crescimento e produtividade das plantas de tomate. A simbiose entre esses microrganismos e as plantas hospedeiras promove uma série de benefícios, que incluem a absorção de nutrientes, a fisiologia da planta, como o crescimento radicular e a capacidade fotossintética, além de contribuir para a resistência a estresses bióticos e abióticos (CHAGA; RODRIGUES; SILVA, 2023).

Os fungos melhora a absorção de nutrientes pelas plantas de tomate ao aumentarem a disponibilidade e a eficiência de uso dos nutrientes essenciais no solo. Esses fungos colonizam as raízes das plantas e estendem suas hifas pelo solo, aumentando a área de absorção de nutrientes. Elementos como nitrogênio, fósforo e potássio, fundamentais para o crescimento das plantas, são mais prontamente absorvidos na presença desses fungos. Além disso, os endofíticos produzem enzimas que ajudam na mineralização de nutrientes, tornando-os mais acessíveis para as plantas (JUNIOR et al., 2022).

A fisiologia das plantas de tomate é amplamente afetada pela presença de fungos endofíticos. O crescimento radicular, por exemplo, é significativamente melhorado, resultando em um sistema radicular mais extenso e eficiente. Isso não só aumenta a capacidade da planta de absorver água e nutrientes, mas também melhora a sua estabilidade e resistência a estresses físicos. A interação com fungos endofíticos também influencia a capacidade fotossintética das plantas. Plantas de tomate

associadas a fungos endofíticos apresentam uma maior eficiência na fotossíntese, devido ao aumento na concentração de clorofila e na atividade de enzimas fotossintéticas. Essa melhoria na fotossíntese resulta em um crescimento vegetativo mais vigoroso e uma maior produtividade (CHAGA; RODRIGUES; SILVA, 2023).

Os benefícios dos fungos endofíticos não se limitam apenas à nutrição e fisiologia. Esses microrganismos também induzem resistência sistêmica nas plantas de tomate, preparando-as para responder de forma mais eficaz a ataques de patógenos e a condições ambientais adversas. A presença de fungos endofíticos tem sido associada a uma redução significativa na incidência de doenças foliares e radiculares, o que se traduz em uma menor necessidade de aplicação de pesticidas e fungicidas. As plantas mostram uma maior tolerância a condições de estresse hídrico e salino, o que é particularmente importante em regiões com limitações hídricas (FERREIRA et al., 2023).

A aplicação desses fungos resulta em um aumento significativo na produção de frutos, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade. Frutos de plantas inoculadas com fungos endofíticos tendem a apresentar um maior teor de nutrientes, como vitaminas e antioxidantes, além de uma melhor resistência pós-colheita. Esses resultados são promissores para a agricultura sustentável, pois sugerem que é possível aumentar a produtividade e a qualidade dos tomates sem a necessidade de práticas agrícolas intensivas e potencialmente prejudiciais ao meio ambiente. A exploração dos fungos endofíticos na agricultura oferece uma alternativa ecológica e eficiente para melhorar o desempenho das culturas (FREIRE et al., 2024).

A aplicação de fungos endofíticos em plantas de tomate, por exemplo, não só promove um crescimento mais saudável e produtivo, mas também contribui para a redução do uso de fertilizantes químicos e pesticidas, alinhando-se às práticas de agricultura sustentável. A integração de fungos endofíticos na produção de tomate representa um avanço significativo no campo da agricultura biológica. O entendimento das interações entre esses fungos e as plantas hospedeiras permite o desenvolvimento de práticas agrícolas mais resilientes e sustentáveis. O uso de fungos endofíticos é uma abordagem promissora para enfrentar os desafios da segurança alimentar e da sustentabilidade agrícola, proporcionando um caminho para a produção de alimentos mais nutritivos e ambientalmente amigáveis (CHAGA; RODRIGUES; SILVA, 2023).

3.7 Adaptação ao Estresse Abiótico

Os fungos endofíticos desempenham um papel fundamental na adaptação das plantas ao estresse abiótico, como seca, salinidade e temperaturas extremas. Esses fungos, que habitam os tecidos vegetais sem causar danos aparentes, formam uma relação simbiótica com as plantas hospedeiras, contribuindo para a sua sobrevivência e desempenho em condições adversas. A interação entre fungos endofíticos e plantas tem sido amplamente estudada devido ao seu potencial para melhorar a resistência das plantas ao estresse abiótico, através de diversos mecanismos que envolvem a modulação de processos fisiológicos e bioquímicos nas plantas (CHAGA; RODRIGUES; SILVA, 2023).

A seca é um dos principais fatores limitantes do crescimento e produtividade das plantas. Fungos endofíticos têm sido associados a uma melhor tolerância à seca, promovendo o crescimento das plantas em ambientes com baixa disponibilidade hídrica. Esse benefício é alcançado através da produção de metabólitos secundários que ajudam na retenção de água, aumento da eficiência do uso de água e modificação da arquitetura radicular. Esses fungos também podem induzir a expressão de genes relacionados à síntese de osmólitos, compostos que ajudam a manter o equilíbrio osmótico das células vegetais em condições de seca (DE MARCO; SANTOS; SOUZA, 2021).

A salinidade do solo é outro fator estressante significativo para as plantas, causando desequilíbrios iônicos e osmóticos que afetam negativamente o crescimento vegetal. Fungos endofíticos ajudam as plantas a tolerar altas concentrações de sal através da produção de substâncias que reduzem a toxicidade dos íons salinos e aumentam a capacidade das plantas de absorver nutrientes essenciai (CHAGA; RODRIGUES; SILVA, 2023). Eles também induzem a expressão de genes envolvidos na síntese de proteínas de choque térmico e outras moléculas de defesa que protegem as células vegetais dos danos causados pelo estresse salino (MORAES; FERRAZ; CHAPLA, 2020).

Em relação às temperaturas extremas, fungos endofíticos conferem resistência tanto ao calor quanto ao frio. A interação com esses fungos leva à produção de compostos antioxidantes e outras substâncias protetoras que minimizam os danos oxidativos e estabilizam as membranas celulares em temperaturas extremas. Fungos endofíticos podem induzir a expressão de genes que codificam proteínas de choque

térmico, que desempenham um papel vital na proteção das plantas contra danos térmicos (TORRES et al., 2022).

Os mecanismos de resistência ao estresse induzidos por fungos endofíticos envolvem a ativação de vias de sinalização que regulam a expressão gênica nas plantas. A presença de fungos endofíticos altera a expressão de uma ampla gama de genes associados à defesa contra o estresse, incluindo genes que codificam enzimas antioxidantes, proteínas de transporte de íons e moléculas sinalizadoras. Essas mudanças na expressão gênica resultam em uma resposta mais eficaz das plantas ao estresse abiótico, aumentando sua capacidade de sobrevivência e adaptação (MATOS et al., 2024).

O papel dos fungos endofíticos na adaptação ao estresse abiótico é uma área de pesquisa promissora, com implicações significativas para a agricultura sustentável e a segurança alimentar. A exploração desses microrganismos como agentes bioestimulantes pode levar ao desenvolvimento de novas estratégias para melhorar a resistência das plantas a condições adversas, contribuindo para a produção agrícola em ambientes desafiadores (FREIRE et al., 2024).

3.8 Sustentabilidade e Impacto Ambiental

O uso de fungos endofíticos no controle de patógenos representa uma abordagem promissora e ambientalmente sustentável em comparação aos pesticidas químicos tradicionais. Fungos endofíticos são organismos que vivem dentro das plantas sem causar-lhes danos, estabelecendo uma relação simbiótica que pode conferir uma série de benefícios, incluindo a proteção contra patógenos. A utilização destes fungos pode diminuir significativamente a dependência de pesticidas químicos, que, apesar de sua eficácia imediata, apresentam vários impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana (CHAGA; RODRIGUES; SILVA, 2023).

Os fungos endofíticos, ao serem aplicados em culturas agrícolas, desempenham um papel protetor ao inibir o crescimento de patógenos através de diversos mecanismos, como a produção de compostos antimicrobianos e a competição por nutrientes e espaço. Ao contrário dos pesticidas químicos, que muitas vezes resultam na resistência dos patógenos tratados, os fungos endofíticos oferecem uma alternativa dinâmica e menos propensa à criação de resistência devido à complexidade de suas interações biológicas. Essa característica é vital para a sustentabilidade a longo prazo no manejo de doenças de plantas (TORRES et al., 2022).

Do ponto de vista ambiental, a utilização de fungos endofíticos apresenta benefícios consideráveis. Os pesticidas químicos são frequentemente associados à poluição do solo e da água, prejudicando organismos não-alvo e contribuindo para a perda de biodiversidade. Em contraste, os fungos endofíticos não introduzem compostos tóxicos no ambiente e, além de proteger as plantas, podem melhorar a saúde do solo, promovendo uma microbiota diversificada e funcional. Essa diversidade microbiológica é essencial para a manutenção de ecossistemas saudáveis e resilientes, garantindo a fertilidade do solo e a produtividade agrícola a longo prazo (CHAGA; RODRIGUES; SILVA, 2023).

A preservação da biodiversidade do solo é outro benefício significativo da utilização de fungos endofíticos. Os pesticidas químicos podem ter efeitos devastadores sobre os microorganismos do solo, muitos dos quais são benéficos para a saúde das plantas e para a ciclagem de nutrientes. Os fungos endofíticos, ao contrário, podem interagir positivamente com outros microorganismos do solo, fomentando um ambiente biológico robusto e equilibrado. Isso contribui para a sustentabilidade agrícola, pois um solo saudável é menos suscetível a doenças e pragas, reduzindo a necessidade de intervenções químicas adicionais (DE CARVALHO MOREIRA et al., 2021).

O potencial dos fungos endofíticos para a agricultura orgânica e sustentável é vasto. Na agricultura orgânica, onde o uso de produtos químicos sintéticos é restrito, os fungos endofíticos podem ser uma ferramenta valiosa para o controle de patógenos e o fortalecimento das plantas. Esses fungos não apenas proporcionam uma defesa natural contra doenças, mas também podem melhorar a absorção de nutrientes pelas plantas, aumentar a resistência ao estresse ambiental e promover o crescimento vegetal. Isso se alinha com os princípios da agricultura sustentável, que busca maximizar a eficiência dos recursos naturais e minimizar os impactos ambientais negativos (FREIRE et al., 2024).

Os fungos também podem desempenhar um papel crucial na mitigação das mudanças climáticas. Ao promover práticas agrícolas que reduzam a necessidade de insumos químicos e aumentem a saúde do solo, contribuem para a sequestro de carbono e a diminuição das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a promoção de uma biodiversidade saudável no solo pode aumentar a resiliência das culturas às condições climáticas adversas, um fator cada vez mais importante diante das mudanças climáticas globais (DA SILVA et al., 2023).

A pesquisa e desenvolvimento de bioprodutos baseados em fungos endofíticos estão avançando rapidamente, mostrando resultados promissores na proteção de

diversas culturas agrícolas contra uma ampla gama de patógenos. O desafio atual reside na identificação e cultivo de cepas de fungos que sejam eficazes, seguras e economicamente viáveis para uso em larga escala. Com o aumento da conscientização sobre os impactos negativos dos pesticidas químicos e a crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis, a adoção de fungos endofíticos como agentes de biocontrole está se tornando uma realidade cada vez mais acessível e desejável para produtores em todo o mundo (TORRES et al., 2022).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de fungos endofíticos como agentes de biocontrole de patógenos na cultura do tomate revela-se uma estratégia promissora e inovadora no contexto da agricultura sustentável. A interação simbiótica entre plantas e fungos endofíticos é capaz de proporcionar múltiplos benefícios, incluindo a promoção do crescimento vegetal, a indução de resistência sistêmica e a supressão direta de patógenos. Esses microrganismos vivem no interior dos tecidos vegetais sem causar danos, e sua presença pode aumentar a resiliência das plantas contra diversas doenças. Fungos endofíticos podem colonizar eficientemente diferentes partes das plantas de tomate, proporcionando uma barreira adicional contra a invasão de patógenos. Oferecem uma abordagem mais sustentável e específica, reduzindo a dependência de produtos químicos sintéticos e promovendo a saúde do ecossistema agrícola.

REFERÊNCIAS

CHAGA, Larissa Moreira; RODRIGUES, Tatiana Tozzi Martins Souza; SILVA, Geovana Gonçalves. Metabólitos de fungos endofíticos da mata seca com potencial de biocontrole de sclerotinia sclerotiorum. **Natural Resources**, v. 13, n. 1, p. 71-82, 2023. Acesso em: 15 mar. de 2024.

DA SILVA, Esmeraldo Dias et al. Controle biológico de patógenos pós-colheita em videira. **Scientific Electronic Archives**, v. 16, n. 8, 2023. Acesso em: 2 mar. de 2024.

DE CARVALHO MOREIRA, Bárbara et al. Bioagentes na supressão da vassoura-de-bruxa e promoço de crescimento na cultura do cacaueiro. **Ipê Agronomic Journal**, v. 5, n. 1, p. 1-9, 2021. Acesso em: 25 mar. de 2024.

DE MARCO, Kássio; SANTOS, Aline Ferreira; SOUZA, William. Biocontrole da Sclerotinia sclerotiorum por bactérias do gênero Bacillus. **REVISTA**, p. 42, 2021. Acesso em: 5 abr. de 2024.

FERREIRA, Tatiani Pereira et al. Prospecção de fungos Endofíticos isolados de plantas cultiváveis e não cultiváveis e seus efeitos na quebra de dormência de sementes de capim Andropogon L. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, v. 16, n. 43, p. 716-733, 2023. Acesso em: 20 abr. de 2024.

FREIRE, Antonia Fábia et al. Importance, challenges and perspectives of using fungi in the biological control of plant diseases for Brazilian agriculture: Importância, desafios e perspectivas de uso de fungos no controle biológico de doenças de plantas para a agricultura brasileira. **Concilium**, v. 24, n. 1, p. 485-

504, 2024. Acesso em: 7 mar. de 2024.

JUNIOR, Aloisio Freitas Chagas et al. Controle biológico do fungo Rhizopus sp. em morangos pós-colheita. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 21, n. 1, p. 1-12, 2022. Acesso em: 12 abr. de 2024.

MATOS, Amanda Dayanne Malta et al. Levantamento de fungos presentes em espécies vegetais da mata seca na microrregião de Januária–MG. **Seven Editora**, 2024. Acesso em: 18 ma. de 2024.

MORAES, G. K. A.; FERRAZ, Luana Fernandes; CHAPLA, Vanessa Mara. Compostos orgânicos voláteis de fungos endofíticos e suas aplicações biotecnológicas. **RVq**, v. 12, n. 6, p. 1498-510, 2020. Acesso em: 18 abr. de 2024.

SOUTO, Ana Clara et al. Desenvolvimento inicial do milho com uso de microrganismos. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, v. 17, n. 32, 2020. Acesso em: 30 mar. de 2024.

TORRES, Flavia Luana et al. Bioprospecção e potencial biotecnológico de fungos endofíticos associados a plantas do Cerrado. **Concilium**, v. 22, n. 2, p. 256-272, 2022. Acesso em: 4 ma. de 2024.