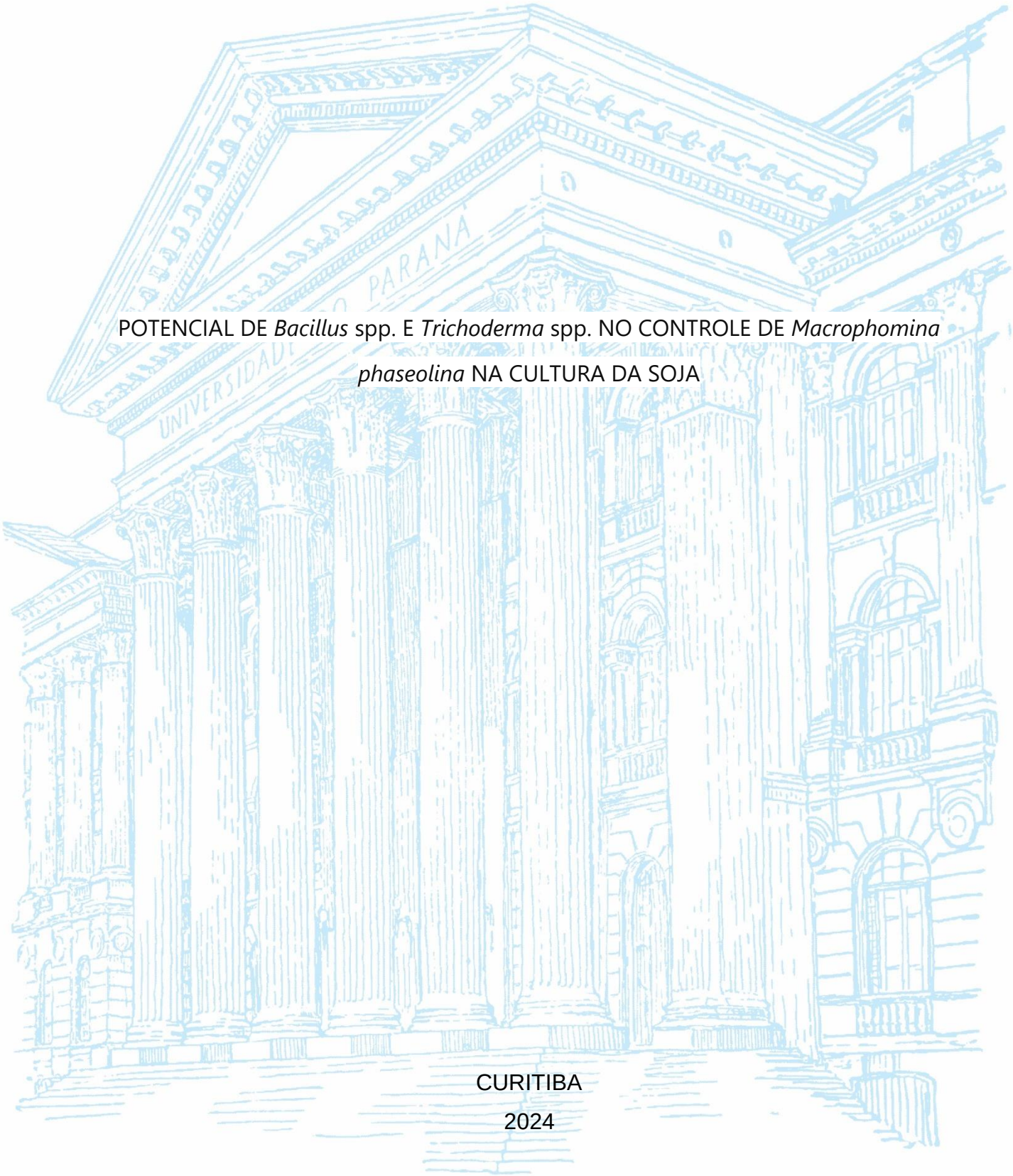
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JACKSON WILLIAN CARNEIRO DE SOUZA



POTENCIAL DE *Bacillus* spp. E *Trichoderma* spp. NO CONTROLE DE *Macrophomina phaseolina* NA CULTURA DA SOJA

CURITIBA

2024

JACKSON WILLIAN CARNEIRO DE SOUZA

POTENCIAL DE *Bacillus* spp. E *Trichoderma* spp. NO CONTROLE DE *Macrophomina phaseolina* NA CULTURA DA SOJA

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Fitossanidade.

Orientadora: Profa. Dra. Aline Vanessa Sauer Zawadzki

CURITIBA

2024

RESUMO

A utilização de *Bacillus spp.* e *Trichoderma spp.* como agentes biológicos no manejo de doenças agrícolas tem demonstrado ser uma solução eficaz e sustentável em comparação aos métodos tradicionais de controle químico. Esses microrganismos atuam por meio de diversos mecanismos, como a competição por nutrientes, a produção de compostos antifúngicos e a indução de resistência sistêmica nas plantas. O patógeno *Macrophomina phaseolina*, responsável por significativas perdas em culturas de relevância econômica, pode ser controlado de maneira eficaz com a aplicação desses agentes biológicos. *Trichoderma spp.*, pertencente ao filo Ascomycota e à família Hypocreaceae, destaca-se pela sua capacidade de rápida colonização e pela formação de associações simbióticas com plantas, o que favorece o crescimento vegetal e a produção de enzimas hidrolíticas e metabólitos secundários que inibem o desenvolvimento de *M. phaseolina*. Esses achados evidenciam o potencial de *Bacillus spp.* e *Trichoderma spp.* como elementos centrais em programas de manejo integrado de pragas, promovendo uma agricultura mais sustentável. O gênero *Bacillus* é notável por sua capacidade de formar endósporos, permitindo-lhes sobreviver em condições ambientais adversas e permanecer viáveis no solo por longos períodos. Além de atuar como agente antagônico, *Bacillus* também promove o crescimento das plantas de forma epifítica e endofítica, produzindo uma diversidade de metabólitos antifúngicos eficazes na promoção da ação antibacteriana e antifúngica. A aplicação de *Bacillus subtilis* tem mostrado eficácia contra uma variedade de patógenos que afetam a soja, sendo empregado em outras culturas, sugerindo um potencial semelhante para patógenos radiculares na soja. A introdução de *Bacillus* no solo resulta no aumento substancial na população bacteriana, melhora a saúde geral do solo e das plantas. Integrar *Bacillus* e *Trichoderma* nas práticas de Manejo Integrado de Doenças oferece uma abordagem abrangente que limita o crescimento e a disseminação de patógenos, além de melhorar a saúde e o vigor das plantas. A continuidade das pesquisas e o desenvolvimento de tecnologias são essenciais para otimizar as cepas de *Bacillus* e *Trichoderma* para uso específico em diferentes culturas e condições de cultivo, garantindo sua eficácia em diversas condições ambientais.

Palavras-chave: Controle biológico; *Glycine max*; Podridão de carvão da raiz; manejo integrado de doenças.

ABSTRACT

The use of *Bacillus* spp*.* and *Trichoderma* spp*.* as biological agents in the management of agricultural diseases has proven to be an effective and sustainable solution compared to traditional chemical control methods. These microorganisms act through various mechanisms, such as competition for nutrients, the production of antifungal compounds, and the induction of systemic resistance in plants. The pathogen *Macrophomina phaseolina*, responsible for significant losses in economically relevant crops, can be effectively controlled with the application of these biological agents. *Trichoderma spp.*, belonging to the phylum Ascomycota and the family Hypocreaceae, stands out for its ability to rapidly colonize and form symbiotic associations with plants, which promotes plant growth and the production of hydrolytic enzymes and secondary metabolites that inhibit the development of *M. phaseolina*. These findings highlight the potential of *Bacillus spp.* and *Trichoderma spp.* as central elements in integrated pest management programs, promoting more sustainable agriculture. The genus *Bacillus* is notable for its ability to form endospores, allowing them to survive under adverse environmental conditions and remain viable in the soil for extended periods. In addition to acting as an antagonistic agent, *Bacillus* also promotes plant growth both epiphytically and endophytically, producing a diversity of antifungal metabolites effective in promoting antibacterial and antifungal activity. The application of *Bacillus subtilis* has shown efficacy against a variety of pathogens affecting soybeans and has been employed in other crops, suggesting a similar potential for root pathogens in soybeans. The introduction of *Bacillus* into the soil results in a substantial increase in the bacterial population, improving the overall health of the soil and plants. Integrating *Bacillus* and *Trichoderma* into Integrated Disease Management practices offers a comprehensive approach that limits the growth and spread of pathogens while enhancing plant health and vigor. Continued research and technological development are essential to optimize *Bacillus* and *Trichoderma* strains for specific use in different crops and growing conditions, ensuring their effectiveness under various environmental conditions.

Keywords: Biological control; *Glycine max*; Charcoal root rot; Integrated disease management.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 6
1.1 OBJETIVOS 7
1.1.1 Objetivo geral 7
1.1.2 Objetivos específicos 8
1.2 METODOLOGIA 8
2 REVISÃO DE LITERATURA 9
2.1 *TRICHODERMA* SPP 9
2.2 *BACILLUS* SPP. 10
2.3 MACROPHOMINA PHASEOLINA 11
2.4 MECANISMOS DE BIOCONTROLE 14
2.5 USO DE BIOINSUMOS NA CULTURA DA SOJA 16
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS 20
3.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 20
REFERÊNCIAS 22

1 INTRODUÇÃO

O emprego de *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. como agentes de controle biológico têm sido progressivamente reconhecido por sua eficácia e sustentabilidade na agricultura, em especial no combate a patógenos como *Macrophomina phaseolina*, este fungo compromete diversas culturas economicamente importantes ao redor do mundo. *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. apresentam mecanismos variados e complementares de ação, que vão desde a competição por recursos até a indução de resistência sistêmica em plantas, oferecendo uma alternativa promissora aos métodos convencionais de controle químico de doenças (PIETERSE et al., 2014; HARMAN, 2006).

Trichoderma spp., que pertence ao filo Ascomycota e à família Hypocreaceae, destaca-se por sua rápida colonização em meios de cultura e por estabelecer uma associação simbiótica com as plantas, o que é crucial para o controle biológico e para a promoção do crescimento vegetal (DRUZHININA, SHELEST, KUBICEK, 2012; WAGHUNDE, SHELAKE, SABALPARA, 2016). A capacidade de *Trichoderma* de produzir enzimas hidrolíticas e metabólitos secundários inibe eficazmente o crescimento de patógenos como *M. phaseolina*, reduzem a densidade de microescleródios no solo e, consequentemente, a incidência de doenças (MENEZES et al., 2004).

Por outro lado, *Bacillus* spp., com ênfase em *Bacillus subtilis*, é amplamente utilizado devido à sua robustez e capacidade de sobreviver em condições ambientais extremas, formando endósporos e produzindo uma gama diversificada de compostos bioativos. Essas bactérias Gram-positivas desempenham papel significativo no controle de fitopatógenos através de mecanismos como antibiose e indução de resistência sistêmica nas plantas (CAO et al., 2011; WANG et al., 2018). *Bacillus subtilis* é particularmente eficaz na supressão de *M. phaseolina*, atua diretamente impedindo seu crescimento, e pode atuar indiretamente, através da promoção da saúde e da resistência das plantas (LI et al., 2020).

A combinação desses agentes biológicos representa uma estratégia integrada e eficiente no manejo de doenças agrícolas. Além disso, é importante compreender os mecanismos de ação desses microrganismos e as interações planta-patógeno-microrganismo e não patógenos. Continuar o avanço na pesquisa e no

desenvolvimento de tecnologias específicas para otimizar o uso de *Trichoderma* e *Bacillus* é essencial para assegurar a eficácia dessas abordagens em diversas condições de cultivo e contra uma ampla gama de patógenos, alinhando práticas de manejo agrícola com princípios de sustentabilidade e redução do impacto ambiental (WANG et al., 2018; HARMAN et al., 2004)

Estudos anteriores têm destacado o papel significativo dos microrganismos *Bacillus spp.* e *Trichoderma spp.* como agentes de biocontrole eficazes contra uma variedade de fitopatógenos, incluindo *Macrophomina phaseolina*. Segundo a pesquisa realizada por Borriss et al. (2011), *Bacillus spp.* são conhecidos por suas capacidades de produção de antibióticos e metabólitos secundários, que inibem o crescimento de patógenos. Além disso, *Trichoderma spp.* promovem o crescimento das plantas e atuam como antagonistas naturais de muitos patógenos do solo, através de mecanismos como competição por nutrientes e espaço, micoparasitismo e indução de resistência sistêmica nas plantas (Harman et al., 2004). Estudos de Mehta et al. (2010) demonstraram a eficácia desses microrganismos em diferentes culturas e regiões, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e ecologicamente correta.

Este trabalho tem por objetivo explorar a literatura científica atualizada sobre o potencial eficácia do biocontrole de *Bacillus* spp. e *Trichoderma* spp. contra *Macrophomina phaseolina* na cultura da soja. Ao destacar os principais estudos e descobertas neste campo, pretende-se fornecer uma análise abrangente das estratégias de controle biológico disponíveis e suas aplicações práticas no manejo dessa importante doença na agricultura.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Realizar um levantamento bibliográfico sobre a utilização de bactérias do gênero *Bacillus* spp. e fungos do gênero *Trichoderma* spp. na agricultura brasileira, evidenciando o uso para controle do fungo fitopatogênico *Macrophomina phaseolina*, com foco principal na cultura da soja, entretanto abordando estudos de outras culturas que possam agregar informações relevantes.

1.1.2 Objetivos específicos

- Revisar os mecanismos de ação de cada microrganismo de interesse;
- Revisar a interação do fungo *Macrophomina phaseolina* com a cultura da soja;
- Revisar a interação entre os microrganismos e o fungo fitopatogênico;
- Revisar o controle de *Macrophomina phaseolina* utilizando agentes de controle biológico.

1.2 METODOLOGIA

Neste estudo, foi conduzida uma revisão da literatura, tanto nacionais quanto internacionais, que exploram o uso de agentes biológicos na agricultura. Para isso foram utilizados artigos científicos, dissertações, teses e livros do âmbito de interesse publicados no período 1978 a 2023, cujos termos de busca foram: bactérias do gênero *Bacillus*, fungos do gênero *Trichoderma*, controle de fungos fitopatogênicos, *Macrophomina phaseolina.*

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *TRICHODERMA* SPP.

O gênero *Trichoderma* é reconhecido por seu papel significativo em diversos ecossistemas, atuando principalmente no controle biológico de doenças em plantas e promovendo o crescimento vegetal. Pertencente ao filo Ascomycota e à família Hypocreaceae, as espécies do gênero *Trichoderma* são caracterizadas por seu rápido crescimento em meios de cultura e pela formação de colônias com micélio inicialmente branco, que evoluem para textura cotonosa e compacta com tufos verdes dependendo da cor e quantidade de conídios produzidos (DRUZHININA, SHELEST, KUBICEK, 2012; WAGHUNDE, SHELAKE, SABALPARA, 2016). Esses fungos são encontrados globalmente em solos e desempenham função ecológica vital na decomposição e mineralização de resíduos vegetais, essencial para a nutrição das plantas (BROTMAN et al., 2013; SHORESH, HARMAN, MASTOURI, 2010).

Espécies de *Trichoderma* estabelecem uma relação simbiótica com as plantas, colonizando a superfície das raízes, processo esse que se assemelha à associação formada por fungos micorrízicos. Essa interação inicia-se na superfície externa das raízes e pode se estender por todo o rizoplano, com a invasão das primeiras camadas de células da epiderme, o que é facilitado pela produção de hidrofobinas, proteínas que promovem a adesão às superfícies hidrofóbicas (NAHER et al., 2014).

Com a evolução das técnicas de identificação, a diversidade dentro do gênero *Trichoderma* expandiu significativamente, com aproximadamente 200 espécies agora reconhecidas através de métodos moleculares, melhorando a precisão da identificação que anteriormente se baseava em características morfológicas (ALVARADO-MARCHENA; RIVERA-MÉNDEZ, 2016; DRUZHININA; KUBICEK, 2005).

Economicamente, o *Trichoderma* oferece grandes benefícios para a agricultura, atuando como agentes de controle biológico para doenças de plantas, além de promover o crescimento e induzir resistência em várias culturas. Através de mecanismos como antibiose, competição por nutrientes, produção de enzimas

degradadoras de parede celular, e micoparasitismo, eles exibem efeitos benéficos significativos sobre as plantas (FORTES et al., 2007; HARMAN, 2006).

Adicionalmente, *Trichoderma* spp. destaca-se pelo seu papel no crescimento e desenvolvimento de plantas. Se destaca como uma alternativa eficaz para melhorar a produtividade agrícola através da promoção de crescimento vegetal. Este fungo forma uma associação simbiótica com as raízes das plantas, produz metabólitos que ajudam na defesa contra fitopatógenos e na decomposição de material vegetal, o que facilita a disponibilização de nutrientes essenciais para as plantas (CONTRERAS-CORNEJO et al., 2009; HARMAN et al., 2004).

No contexto de controle biológico, *Trichoderma* spp. possui atributos notáveis como a produção abundante de esporos, competitividade por espaço e nutrientes, e a capacidade de produzir enzimas hidrolíticas e metabólitos secundários que inibem o crescimento de patógenos, oferecendo um controle efetivo sobre estes organismos nocivos no solo (BUTT, 2000; HERRERA-ESTRELLA, 2004).

A diversidade dentro do gênero *Trichoderma* expandiu significativamente com o avanço das técnicas de identificação molecular, reconhecendo cerca de 200 espécies (ALVARADO-MARCHENA; RIVERA-MÉNDEZ, 2016; DRUZHININA; KUBICEK, 2005).

2.2 *BACILLUS* SPP.

O gênero *Bacillus* engloba uma diversidade de espécies significativas para a microbiologia. Reconhecido por suas características únicas e aplicabilidade em diversos campos, especialmente na agricultura, se destaca como um gênero notável. O gênero, que até 1990 era menos diferenciado, passou por uma reclassificação significativa devido aos avanços nas técnicas moleculares, refletindo a complexidade e a diversidade desses microrganismos. A espécie *Bacillus subtilis* é conhecida por seu papel como agente de biocontrole no manejo agrícola e por sua robustez em enfrentar condições ambientais desafiadoras. (MANDIC – MULEC et al., 2015).

Bacillus spp. são bactérias Gram-positivas que se destacam pela formação de endósporos, altamente resistentes a condições adversas, como calor e dessecação, demonstrando uma notável capacidade de sobrevivência (SANTOS, 2018). Além disso, a habilidade de produzir uma vasta gama de enzimas hidrolíticas permite a

essas bactérias um mecanismo eficaz de micoparasitismo através do ataque a parede celular de outros microrganismos (ZAGO et al., 2000).

No contexto agrícola, o *Bacillus subtilis* sobressai como um dos agentes de biocontrole mais estudados e utilizados, atribuído a sua capacidade de secreção de metabólitos benéficos que estimulam o crescimento das plantas e previnem infecções por fitopatógenos (RADHAKRISHAN et al., 2017). Este microrganismo foi uma das primeiras bactérias a ser descrita na literatura científica, evidenciando a longa história de seu estudo e aplicação (HARMAN, 2006).

A aplicabilidade de *B. subtilis* se estende além do controle biológico, engloba a promoção de crescimento vegetal através de diversas ações como auxílio na absorção de nitrogênio, solubilização de fósforo, produção de sideróforos e fitohormônios (WANG et al., 2018). A competição por espaço e nutrientes, juntamente com a produção de substâncias antibióticas, destaca-se como mecanismo crucial na supressão de doenças e na proteção das plantas contra fitopatógenos (CAO et al., 2011).

A bactéria *Bacillus* subtilis apresenta capacidade de induzir a Resistência Sistêmica Induzida (ISR) nas plantas, um mecanismo de defesa que ativa respostas específicas ao ataque de patógenos, promove a saúde e a resiliência das plantas (PRŠIĆ; ONGENA, 2020). Este processo engloba tanto a resistência ativa, acionada pelo contato direto com o patógeno, quanto a resistência passiva, fornecida constantemente, através do reconhecimento de Padrões Moleculares Associados a Micróbios (PAMPs) (LI, et al., 2020).

Bacillus subtilis exemplifica a importância do gênero *Bacillus* na microbiologia e na agricultura, destacando-se pela sua robustez, capacidade de biocontrole e promoção do crescimento vegetal. A compreensão e aplicação desses microrganismos continua a evoluir, prometendo avanços significativos na biotecnologia e manejo agrícola sustentável (NOGUEIRA; SILVA FILHO, 2015)

2.3 MACROPHOMINA PHASEOLINA

Macrophomina phaseolina é um patógeno de importância global. Afeta uma vasta gama de culturas em diversas regiões climáticas. Identificado unicamente como a espécie *M. phaseolina* dentro do gênero *Macrophomina*, este fungo tem sido objeto

de numerosos estudos devido à sua capacidade de provocar doenças em cultivos de importantes espécies vegetais econômicas, principalmente nos ambientes tropicais e subtropicais, onde as temperaturas do solo variam entre 25 a 40ºC (SINGH et al., 1990).

A história taxonômica de *M. phaseolina* é marcada por diversas denominações, tais como *M. phaseolina, Macrophoma conchoci, M. cajani, Sclerotium bataticola, e Rhizoctonia bataticola*, até que em 2018, a nomenclatura *Macrophomina phaseolina* se tornou prevalente (MIHAIL; ALCORN, 1982). Pertencente à classe dos Coelomicetos, a presença de um teleomorfo em *M. phaseolina* ainda não foi confirmada, o que destaca uma área potencial para futuras investigações (JANA et al., 2003).

O desenvolvimento de *M. phaseolina* em laboratório demonstra sua capacidade de adaptar-se a diferentes condições de cultivo. O fungo apresenta crescimento micelial rasteiro e rápido em meios de cultura como BDA (batata, dextrose e ágar) e em meios seletivos. As colônias, inicialmente brancas, tornam-se negras após 60 horas devido à formação de microescleródios, com crescimento micelial médio observado entre 2,22 a 3,90 cm² em 24 horas (MARTÍNEZ-HILDERS & LAURENTIN, 2012). Estas características demonstram a adaptabilidade do fungo a diferentes ambientes de crescimento, além de ressaltar a importância de utilizar meios seletivos para seu estudo devido à sua reduzida capacidade competitiva (Cloud & Rupe, 1991a).

O patógeno é notável por sua presença global, com relatos de sua ocorrência em diversos países das Américas do Norte e Sul, Ásia, África e algumas partes da Europa. Esta ampla distribuição é atribuída à sua capacidade de sobreviver a diferentes condições ambientais, independentemente do tipo de cultura hospedeira, tipo de solo, ou regime hídrico da região (JANE et al., 2003). A presença de *M. phaseolina* em plantas de feijoeiro comum no México e em plantas de soja no Brasil ressaltam sua importância econômica e a necessidade de monitoramento e controle em regiões susceptíveis (ALMEIDA et al., 2008).

Os sintomas induzidos por *M. phaseolina* nas plantas hospedeiras são graves e variados, dependendo do estágio de desenvolvimento da planta e do tipo de tecido infectado. Em geral, observam-se lesões negras e deprimidas nas hastes e raízes, progredindo para murcha, tombamento, e morte precoce da planta. Em plantas

adultas, os sintomas incluem murcha e bloqueio do sistema vascular devido à produção de microescleródios, lesões necróticas nas hastes, e em casos severos, morte da planta (VITERI; LINARES, 2017).

Embora a cultura da soja seja frequentemente associada à *M. phaseolina*, o patógeno também afeta outras culturas importantes, como o milho, embora com menor incidência e gravidade dos sintomas (PEREIRA, 2005). A compreensão dos complexos mecanismos de infecção e os padrões de distribuição de *M. phaseolina* são cruciais para o desenvolvimento de estratégias de manejo eficazes, especialmente considerando as mudanças climáticas e o aumento das temperaturas globais, que podem favorecer a dispersão e a gravidade das infecções causadas por este patógeno resiliente (VITERI; LINARES, 2017).

Este patógeno fúngico notório, responsável por causar doenças graves em uma variedade de plantas, incluindo a soja, destacando-se pela sua habilidade de sobreviver e proliferar em condições adversas através da formação de microescleródios. Essas estruturas, essenciais para a sobrevivência do fungo, são formadas nos tecidos vegetais infectados e posteriormente liberadas no solo, contribuindo para a persistência e disseminação do patógeno (NDIAYE et al., 2008).

A infestação do solo por microescleródios representa uma ameaça constante às culturas, onde a densidade dessas estruturas está diretamente relacionada com a severidade da doença. Baixas densidades implicam em menores taxas de podridão radicular em soja, enquanto densidades elevadas têm o efeito oposto, evidenciando a importância do manejo do solo e das práticas agrícolas na gestão da doença (SINGH et al., 1990). A transmissão do patógeno via sementes infectadas também é um vetor crítico de disseminação, destacando a necessidade de estratégias eficazes de controle de sementes (KUNWAR et al., 1986).

M. phaseolina pode penetrar e colonizar tecidos radiculares de soja rapidamente, com a formação de microescleródios ocorrendo sete dias após a inoculação, com morte celular e a subsequente ruptura dos tecidos do hospedeiro (SHORT et al., 1978). A capacidade de disseminação do fungo é facilitada pela movimentação de solo contaminado, seja pelo trânsito de máquinas agrícolas ou pela água de escoamento, evidenciando a complexidade do manejo de áreas infestadas (BIANCHI et al., 2005).

O uso de herbicidas, como o 2,4-D, pode influenciar a suscetibilidade das plantas à infecção por *M. phaseolina.* Alguns herbicidas induzem estresses que favorecem a colonização do patógeno. Este aspecto sublinha a importância da escolha e do manejo de herbicidas na prevenção da doença (CANADAY et al., 1986).

Além dos microescleródios, *M. phaseolina* possui uma notável capacidade saprofítica, capaz de sobreviver no solo sem a necessidade de um hospedeiro vivo, o que é demonstrado pela habilidade do fungo em infectar tecidos vegetais mortos e sobreviver em condições adversas por longos períodos (DUBEY et al., 2009).

A viabilidade dos microescleródios e a capacidade do fungo de infectar novos hospedeiros ao longo do tempo são influenciadas pela disponibilidade de nutrientes, pela decomposição de material vegetal e pela interação com outros microrganismos no solo, como *Trichoderma* spp., que podem afetar a densidade dos microescleródios (BAIRD et al., 2003).

Em sementes de soja, a sobrevivência do patógeno pode se estender por 2 a 3 anos. Nas sementes, a infecção manifesta-se através da produção de microescleródios entre o tegumento e o endosperma, levando à morte das sementes infectadas. A presença do patógeno nas sementes assintomáticas e sintomáticas evidencia o desafio de controlar a disseminação da doença através do uso de sementes (KUNWAR et al., 1986).

2.4 MECANISMOS DE BIOCONTROLE

O controle biológico ou biocontrole refere-se ao uso de organismos vivos para mitigar ou erradicar populações de pragas e patógenos em ambientes agrícolas, além de promover uma alternativa sustentável aos defensivos agrícolas. A eficácia do biocontrole é fundamentada em uma variedade de mecanismos diretos e indiretos, os quais permitem aos organismos benéficos suprimir os patogênicos (SANTOS, 2018; LI, et al., 2020).

Os mecanismos de antagonismo são classificados como: competição, parasitismo, antibiose, Indução de Resistência em Plantas, Resistência Sistêmica Adquirida (RSA), Resistência Sistêmica Induzida (RSI) (VITERI; LINARES, 2017; PERES, 2022).

No antagonismo do tipo competição, os agentes de biocontrole competem com patógenos pelo acesso a recursos limitados, como nutrientes e espaço físico. Esta competição pode ocorrer tanto em solo quanto na superfície das plantas. O sucesso dos organismos benéficos em ocupar esses nichos críticos pode prevenir a colonização e proliferação de patógenos, e reduzem sua capacidade de causar doenças (NUNES, 2012). Um exemplo claro disso é quando microrganismos competem pela absorção de minerais e água, limitando os recursos disponíveis para os patógenos e diminuindo sua virulência (ROBBS, 1992).

No parasitismo, os agentes de biocontrole atacam diretamente os patógenos, nutrindo-se de suas células ou de seus tecidos. Este mecanismo é especialmente comum em fungos como *Trichoderma* spp., que podem invadir e degradar as estruturas de outros fungos, levando-os eventualmente à morte (SPADARO e GULLINO, 2004).

No antagonismo do tipo antibiose, alguns agentes de biocontrole produzem e secretam substâncias químicas (como antibióticos e toxinas) que são tóxicas para os patógenos. Estes metabólitos secundários podem inibir o crescimento ou matar diretamente os organismos patogênicos, efetivamente controlando sua proliferação. Os peptídeos não ribossômicos, por exemplo, incluem uma gama de substâncias antibacterianas e antifúngicas que desempenham um papel crucial na supressão de patógenos (BARRIOS-GONZÁLEZ et al., 2003; RAAIJMAKERS et al., 2010).

No processo de indução de resistência em plantas, os microrganismos benéficos podem estimular as plantas a ativar suas próprias defesas sistêmicas contra invasores patogênicos. Esse processo pode ser dividido em dois tipos principais:

Resistência Sistêmica Adquirida (RSA): Ativada pela infecção de patógenos, essa forma de resistência envolve a acumulação de ácido salicílico, que desencadeia uma cascata de respostas defensivas em toda a planta (SPOEL e DONG, 2012).

Resistência Sistêmica Induzida (RSI): Iniciada por microrganismos benéficos, a RSI é mediada pela produção de ácido jasmônico e etileno, hormônios que reforçam as defesas da planta, tornando-a mais resistente a ataques futuros (PIETERSE et al., 2014).

Dentre os principais gêneros de microrganismos antagonistas, destacam-se *Trichoderma* e *Bacillus*. *Trichoderma* spp. são fungos amplamente reconhecidos por sua habilidade em controlar uma variedade de patógenos de plantas por meio de

competição direta, produção de enzimas líticas e antibiose. Ele é capaz de degradar as paredes celulares dos patógenos e produzir substâncias que inibem seu crescimento ou matam os patógenos diretamente (HARMAN, 2006; MELO, 1998). *Bacillus* spp. são bactérias importantes pela produção de uma ampla gama de antibióticos e por sua capacidade de formar esporos, o que lhes confere vantagem adicional na sobrevivência em ambientes hostis. A combinação de *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. tem demonstrado ser uma estratégia eficaz no manejo de doenças em várias culturas (AHMED et al., 2003).

O desenvolvimento e a implementação de estratégias de biocontrole requerem uma compreensão profunda dos mecanismos pelos quais os agentes biocontroladores operam, bem como dos fatores ambientais que podem influenciar sua eficácia. A utilização de múltiplos mecanismos de ação em um único agente de biocontrole ou através de uma combinação de diferentes agentes pode aumentar significativamente a probabilidade de sucesso no controle biológico de patógenos (BETTIOL, 1991).

2.5 USO DE BIOINSUMOS NA CULTURA DA SOJA

O emprego de *Bacillus spp.* na agricultura da soja tem se destacado como uma estratégia emergente e eficiente para o controle biológico de doenças, configurando-se como uma alternativa ecologicamente sustentável aos pesticidas convencionais. Especificamente, *Bacillus subtilis* é reconhecido por sua capacidade de formar endósporos, o que lhe permite sobreviver em condições ambientais adversas e manter-se viável no solo por períodos prolongados, conforme documentado por Lanna Filho et al. (2010).

A eficácia de *Bacillus* no controle de nematoides na soja mostrou-se comparável à dos nematicidas químicos, como evidenciado nos estudos de Oliveira et al. (2017), onde o biocontrole apresentou resultados similares ao controle químico após trinta dias de semeadura. Ademais, *Bacillus* desempenha um papel significativo como promotor do crescimento vegetal, operando de maneira tanto epifítica quanto endofítica, e é capaz de produzir uma gama diversificada de metabólitos antifúngicos, incluindo lipopeptídeos das famílias surfactina, iturina e fengicina, efetivos na

promoção de atividades antibacterianas e antifúngicas (ONGENA et al., 2005; MA, 2015).

A aplicação de *Bacillus subtilis* provou ser eficaz contra uma variedade de patógenos que afetam a soja, destacando-se no controle de *Rhizoctonia solani* em culturas de tomate, indicando um potencial análogo para o controle de patógenos radiculares na soja (MA et al., 2015; KHEDHER et al., 2015). Além disso, a introdução de *Bacillus* no solo não somente controla patógenos, mas também promove um aumento substancial na população bacteriana, o que pode aprimorar a saúde geral do solo e das plantas, segundo Graber et al. (2010).

A integração de *Bacillus* nas práticas de Manejo Integrado de Doenças (MID) oferece uma abordagem holística que não apenas restringe o crescimento e disseminação de patógenos, mas também melhora a saúde e o vigor das plantas, ressaltando a importância da continuidade de pesquisas e desenvolvimento tecnológico para otimizar as cepas de *Bacillus* especificamente para o uso na soja (LANNA FILHO et al., 2010; TIMPER et al., 2016; WANG et al., 2018).

Paralelamente, o fungo *Trichoderma*, também amplamente utilizado na cultura da soja, tem recebido atenção significativa devido ao seu potencial como agente de biocontrole contra uma gama de fitopatógenos. Espécies dentro do gênero *Trichoderma* são conhecidas por seu controle biológico efetivo e pela capacidade de promover o crescimento das plantas por meio de mecanismos complexos e diversificados (BORTOLIN et al., 2019; FIORENTINO et al., 2018; PERES, 2022). *Trichoderma* spp. atua principalmente pela competição direta por espaço e nutrientes, produzindo metabólitos com propriedades antagônicas contra diversos patógenos, além de estimular as defesas naturais das plantas, tornando-o uma escolha valiosa para o manejo integrado de doenças na agricultura (BEZERRA et al., 2022; BENITEZ et al., 2004; GARNICA-VERGARA et al., 2016).

Os estudos sobre *Trichoderma* spp. não apenas destacam sua ação direta contra patógenos, mas também seu papel crucial na indução de respostas de resistência nas plantas, essenciais para o controle eficaz de doenças em condições ambientais variáveis (BENITEZ et al., 2004). A eficácia de *Trichoderma* spp. contra

patógenos específicos é corroborada por diversos estudos, incluindo aqueles que relatam sua capacidade de inibir in vitro o crescimento de *Phytophthora citrophthora*, um patógeno relevante dos citros (SILVA et al., 2008), que também demonstraram uma redução significativa na incidência de *Phytophthora dieback* em condições de alta pressão da doença, conforme observado por Hoitink et al. (2005). Além disso, *Trichoderma* spp. tem mostrado resultados promissores no controle de *Macrophomina phaseolina* em feijão, evidenciando seu potencial como antagonista eficaz (MENEZES et al., 2004). Tais estudos sublinham a versatilidade de *Trichoderma spp.* e sua aplicabilidade extensiva, não somente na cultura da soja, mas também em uma ampla gama de culturas agrícolas.

O uso de *Trichoderma* spp*.* e *Bacillus* spp*.* como agentes de biocontrole reflete uma abordagem promissora e sustentável para o combate a *Macrophomina phaseolina*, um patógeno que impacta severamente culturas como soja e feijão. Esses microrganismos oferecem alternativas aos defensivos químicos convencionais, empregando mecanismos biológicos para combater efetivamente essas ameaças agrícolas (PIETERSE et al., 2014).

A combinação de *Trichoderma* e *Bacillus* forma uma estratégia robusta e integrada para o manejo de doenças causadas por *Macrophomina phaseolina*. A eficácia dessa abordagem de controle biológico depende de fatores como a seleção de cepas específicas, as condições ambientais e as práticas de manejo agrícola (PIETERSE et al., 2014). Portanto, o progresso contínuo em pesquisas e desenvolvimento tecnológico é crucial para otimizar o uso desses biocontroladores, garantindo sua eficácia em diversas condições de cultivo e contra uma ampla gama de patógenos (WANG et al., 2018).

Pesquisas anteriores destacam a importância dos microrganismos *Bacillus spp.* e *Trichoderma* spp*.* como agentes de biocontrole eficazes contra uma variedade de fitopatógenos, incluindo *Macrophomina phaseolina*. Estes estudos demonstram que *Bacillus* spp. produzem uma diversidade de compostos antimicrobianos, como antibióticos, lipopeptídeos e enzimas, que inibem o crescimento de patógenos e promovem o crescimento das plantas através da produção de fitohormônios e solubilização de fósforo (BORRISS et al., 2011). *Bacillus subtilis* e *Bacillus*

amyloliquefaciens são amplamente utilizados para o biocontrole de doenças em culturas como soja, milho, tomate e pepino (RADHAKRISHAN et al., 2017; ALMEIDA et al., 2008).

Por outro lado, os fungos do gênero *Trichoderma* são particularmente eficazes em ambientes úmidos e em solos ricos em matéria orgânica, onde seus mecanismos de biocontrole são mais efetivos. Em regiões tropicais e subtropicais, onde a umidade alta favorece o crescimento de patógenos do solo, como na Amazônia e em partes do Sudeste do Brasil, *Trichoderma* spp*.* são utilizados para controlar doenças em culturas de alto valor, como alface e morango, combatendo patógenos como *Pythium* e *Rhizoctonia*. A indução de resistência sistêmica (ISR) por *Trichoderma* melhora a saúde geral das plantas e sua capacidade de resistir a múltiplos patógenos (HARMAN, 2006).

Em regiões temperadas, como o Sul do Brasil, onde a agricultura intensiva é comum, a sinergia entre *Bacillus* spp. e *Trichoderma* spp*.* têm sido explorada para proporcionar um controle mais abrangente e eficaz de doenças do solo. Esta abordagem combinada pode reduzir significativamente a necessidade de pesticidas químicos e melhorar a sustentabilidade agrícola (HARMAN et al., 2004; BORRISS et al., 2011).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo compreensivo das interações entre *Bacillus* spp., *Trichoderma* spp. e *Macrophomina phaseolina* revela potencial significativo para o manejo biológico de patógenos na cultura da soja. As características de resistência e os mecanismos de ação destes microrganismos fornecem um caminho sustentável e eficaz, que pode servir como alternativa viável aos métodos tradicionais baseados em defensivos agrícolas. Este trabalho destaca a importância de entender as dinâmicas ecológicas e moleculares envolvidas no controle biológico, que não só suprimem os patógenos, mas também promovem a saúde das plantas, aumentando assim a produtividade agrícola. A integração destes microrganismos no manejo integrado de doenças representa uma abordagem promissora, que alinha as práticas agrícolas com os princípios de sustentabilidade e redução de impacto ambiental.

3.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estudos futuros devem se concentrar em estudos de campo detalhados que avaliem a eficácia de *Bacillus* spp. e *Trichoderma* spp. em condições reais de cultivo, comparando diferentes cepas e suas combinações na incidência de *Macrophomina phaseolina* em várias regiões agrícolas. É essencial pesquisar o desenvolvimento de formulações que maximizem a viabilidade e eficácia desses bioagentes no solo e nas plantas, incluindo tecnologias de encapsulamento e liberação controlada.

Além disso, é necessário aprofundar o estudo sobre como esses microrganismos induzem resistência sistêmica nas plantas, investigando os caminhos moleculares envolvidos para melhor compreender a resposta das plantas à presença desses microrganismos. Avaliar o impacto a longo prazo da introdução desses bioagentes no ecossistema do solo é igualmente importante, especialmente sua interação com a microfauna existente e os efeitos na biodiversidade do solo.

Desenvolver e testar estratégias integradas que combinem biocontrole com práticas agronômicas sustentáveis, como rotação de culturas e manejo orgânico do solo, é crucial para o controle efetivo de doenças e uma melhor saúde do ecossistema. Finalmente, investigar como as mudanças climáticas podem afetar a interação entre

plantas, bioagentes e patógenos, adaptando as práticas de biocontrole para ser resilientes em diferentes cenários climáticos, também é fundamental.

Essas recomendações visam não apenas melhorar o entendimento e a aplicação de *Bacillus* spp. e *Trichoderma* spp. como biocontroladores, mas também contribuir para práticas agrícolas sustentáveis e produtivas.

REFERÊNCIAS

AHMED, A. S. et al. Effect of chitin on biological control activity of *Bacillus* spp. and *Trichoderma harzianum* against root rot disease in pepper (*Capsicum annuum*) plants. **European Journal of Plant Pathology**, v. 109, p. 633-637, 2003.

ALMEIDA, A. M. R. et al. Effect of crop rotation on specialization and genetic diversity of *Macrophomina phaseolina*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, n. 4, 2008.

ALVARADO-MARCHENA, L.; RIVERA-MÉNDEZ, W. Molecular Identification of *Trichoderma* spp. in Garlic and Onion Fields and In Vitro Antagonism Trials on *Sclerotium cepivorum*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1–9, 2016.

BAIRD, R. E.; WATSON, C. E.; SCRUGGS, M. Relative longevity of *Macrophomina phaseolina* and associated mycobiota on residual soybean roots in soil. **Plant Disease**, v. 87, p. 563-566, 2003.

BARRIOS-GONZÁLEZ, J.; FERNÁNDEZ, F. J.; TOMASINI, A. Microbial Secondary Metabolites Production and Strain Improvement. **Indian Journal of Biotechnology**, v. 2, n. 3, p. 322–333, 2003.

BENÍTEZ, T. et al. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. **International Microbiology**, v. 7, p. 249-60, 2004.

BETTIOL, W. Seleção de microrganismos antagônicos a fitopatógenos. In: BETTIOL, W. (Org.). **Controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Defesa da Agricultura, 1991. p. 223-236.

BEZERRA, M. C. L. et al. Redução de fungos e qualidade fisiológica de sementes de milho inoculadas com *Trichoderma harzianum*. **Nativa**, v. 10, p. 69-73, 2022.

BIANCHI, A.; MARINGONI, A. C.; CARNEIRO, B. M. S. T. P. G. Doenças do feijoeiro. In: KIMATI, H.; AMORIN, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Agronomia Ceres, 2005. cap. 34, p. 354-377.

BORRISS, R. et al. Biological control agents: Bacillus spp. and their biocontrol mechanisms. **Annual Review of Phytopathology**, v. 49, p. 307-333, 2011.

BORTOLIN, G. S. et al. *Trichoderma* na promoção do desenvolvimento de plantas de *Paspalum regnellii* Mez. **Revista de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 135-145, 2019.

BROTMAN, Y. et al. *Trichoderma*-Plant Root Colonization: Escaping Early Plant Defense Responses and Activation of the Antioxidant Machinery for Saline Stress Tolerance. **PLoS Pathogens**, v. 9, n. 3, 2013.

BUTT, T. M. Fungal biological control agents. **The Royal Society of Chemistry**, p. 186–191, 2000.

CANADAY, C. H.; HELSEL, D. G.; WYLLIE, T. D. Effects of herbicide-induced stress on root colonization of soybeans by *Macrophomina phaseolina*. **Plant Disease**, v. 70, n. 9, p. 863-866, 1986.

CAO, S. et al. Greening china naturally. **Ambio**, v. 40, p. 828-831, 2011.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A. et al. *Trichoderma virens*, a Plant Beneficial Fungus, Enhances Biomass Production and Promotes Lateral Root Growth through an Auxin-Dependent Mechanism. **Plant Physiology**, v. 149, p. 1579–1592, 2009.

CORRÊA, E. B.; BETTIOL, W.; SUTTON, J. C. Controle biológico da podridão radicular (*Pythium aphanidermatum*) e promoção de crescimento por *Pseudomonas chlororaphis* 63-28 e *Bacillus subtilis* GB03 em alface hidropônica. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 36, n. 4, p. 275-281, 2010.

DRUZHININA, I. S.; SHELEST, E.; KUBICEK, C. P. Novel traits of *Trichoderma* predicted through the analysis of its secretome. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 337, p. 1–9, 2012.

DRUZHININA, I.; KUBICEK, C. P. Species concepts and biodiversity in *Trichoderma* and *Hypocrea*: from aggregate species to species clusters? **Journal of Zhejiang University. Science**, v. 6, n. 2, p. 100–112, 2005.

DUBEY, R. C.; KUMAR, H.; PANDEY, R. R. Fungitoxic effect of Neem extracts on growth and sclerotial survival of *Macrophomina phaseolina* in vitro. **Journal of American Science**, v. 5, n. 5, p. 17-24, 2009.

FIORENTINO, et al. *Trichoderma*-Based Biostimulants Modulate Rhizosphere Microbial Populations and Improve N Uptake Efficiency, Yield, and Nutritional Quality of Leafy Vegetables. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 2018.

FORTES, F. DE O. et al. Root induction from microcutting of an *Eucalyptus* sp. clone by *Trichoderma* spp. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p. 221–228, 2007.

GARNICA-VERGARA, A. et al. The volatile 6-pentyl-2H-pyran-2-one from *Trichoderma atroviride* regulates *Arabidopsis thaliana* root morphogenesis via auxin signaling and ethylene insensitive 2 functioning. **New Phytologist**, v. 209, p. 1496-512, 2016.

GRABER, E. R. et al. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. **Plant Soil**, v. 337, p. 481–496, 2010.

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

HARMAN, G. E. Overview of Mechanisms and Uses of *Trichoderma* spp. **Phytopathology**, v. 96, n. 2, p. 190–194, 2006.

HERRERA-ESTRELLA, A. The Biological Control Agent *Trichoderma* From Fundamentals To Applications. In: **Handbook of Fungal Biotechnology**. Irapuato: 2004. p. 147–156.

HOITINK, H. A. J. Suppression of botrytis blight of begonia by *Trichoderma hamatum* 382 in peat and compost-amended potting mixes. **Plant Disease**, v. 89, p. 1195-1200, 2005.

JANA, T.; SHARMA, T. R.; PRASAD, R. D.; ARORA, D. K. Molecular characterization of *Macrophomina phaseolina* and *Fusarium* species by a single primer RAPD technique. **Microbiological Research**, v. 158, p. 249-257, 2003.

KHEDHER, S. B. et al. Efficacy of *Bacillus subtilis* v26 as a biological control agent against *Rhizoctonia solani* on potato. **Comptes Rendus Biologies**, v. 338, p. 784-792, 2015.

KUNWAR, I. K.; SINGH, T.; MACHADO, C. C.; SINCLAIR, J. B. Histopathology of soybean seed and seedling infection by *Macrophomina phaseolina*. **Phytopathology**, v. 76, n. 5, p. 532-535, 1986.

LANNA FILHO, R.; FERRO, H. M.; PINHO, R. S. C. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 12, 2010.

LI, S. et al. Analysis of the genome sequence of *Phomopsis longicolla*: a fungal pathogen causing Phomopsis seed decay in soybean. **BMC Genomic**, v. 18, n. 1, p. 1-14, 2017.

LI, S. et al. Antagonist *Bacillus subtilis* HJ5 control *Verticillium* wilt of cotton by root colonization and biofilm formation. **Biol Fertil Soils**, v. 49, p. 295-303, 2013.

MA, X. et al. Microencapsulation of *Bacillus subtilis* B99-2 and its biocontrol efficiency against *Rhizoctonia solani* in tomato. **Biological Control**, v. 90, p. 34-41, 2015.

MANDIC-MULEC, I.; STEFANIC, P.; VAN ELSAS, J. D. Ecology of *Bacillaceae*. **Microbiology Spectrum**, 2015.

MARTÍNEZ-HILDERS, A.; LAURENTIN, H. Caracterización fenotípica y molecular de *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. proveniente de la zona de producción de ajonjolí en Venezuela. **Bioagro**, v. 24, n. 3, p. 187-196, 2012.

MEHTA, C. M. et al. Role of microbial inoculants in sustainable agriculture and environmental management. **Springer**, 2010.

MELO, I. S. Agentes microbianos de controle de fungos fitopatogênicos. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. (Ed.). **Controle Biológico**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1998. v. 1, p. 17-67.

MENEZES, M. et al. Biocontrole de *Macrophomina phaseolina* com espécies de *Trichoderma* aplicadas no tratamento de sementes de feijão e no solo. **Anais da Academia Pernambucana de Ciências Agronômicas**, Recife, v. 1, p. 133-140, 2004.

MIHAIL, J. D.; ALCORN, S. M. Quantitative recovery of *Macrophomina phaseolina* sclerotia from soil. **Plant Disease**, v. 66, p. 662-663, 1982.

NAHER, L. et al. *Trichoderma* spp.: a biocontrol agent for sustainable management of plant diseases**. Pakistan Journal of Botany**, v. 46, n. 4, p. 1489–1493, 2014.

NDIAYE, M.; TERMORSHUIZEN, A. J.; BRUGGEN, A. H. C. van. Effect of rotation of cowpea (*Vigna unguiculata*) with fonio (*Digitaria exilis*) and millet (*Pennisetum glaucum*) on *Macrophomina phaseolina* densities and cowpea yield. **African Journal of Agricultural Research**, v. 3, n. 1, p. 37-43, 2008.

NOGUEIRA, A. V.; SILVA FILHO, G. N. **Microbiologia**. 1ª ed. Florianópolis: Biologia/EaD/UFSC, 2015.

NUNES, C. A. Biological control of postharvest diseases of fruit. **European Journal of Plant Pathology**, v. 133, n. 1, p. 181–196, 2012.

OLIVEIRA, G. R. F. et al. Influência do *Bacillus subtilis* no controle biológico de nematoides e aspectos produtivos do feijoeiro. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 47-58, 2017.

ONGENA, M. et al. Involvement of fengycin-type lipopeptides in the multifaceted biocontrol potential of *Bacillus subtilis*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Heidelberg, v. 69, p. 29-38, 2005.

PEREIRA, O. A. P. Doenças do milho *Zea mays* (L.). In: KIMATI, H.; AMORIN, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Agronomia Ceres, cap. 52, p. 501-517, 2005.

PERES, W. M. Uso de *Trichoderma atroviride* na cultura do feijoeiro. 2022. 101 f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2022.

PIETERSE, C. M. J. et al. Induced systemic resistance by beneficial microbes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 52, p. 347–375, 2014.

PIETERSE, M. J. et al. Induced Systemic Resistance by Beneficial Microbes. 2014.

PRŠIĆ, J.; ONGENA, M. Elicitors of plant immunity triggered by beneficial bacteria. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 594530, 2020.

RAAIJMAKERS, J. M. et al. Natural functions of lipopeptides from *Bacillus* and *Pseudomonas*: More than surfactants and antibiotics. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 34, n. 6, p. 1037–1062, 2010.

RADHAKRISHNAN, R.; HASHEM, A.; ABD_ALLAH, E. F. *Bacillus*: A biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. **Frontiers in Physiology**, v. 8, p. 293128, 2017.

ROBBS, F. C. Controle Biológico de doenças em plantas. In: NETO, A. M. A.; BARAN, C. L. (ed.). **Manual de Controle Biológico**. Rio de Janeiro: Lidador, 1992. p. 46-51.

ROH, J. S.; SOHN, D. H. Damage-associated molecular patterns in inflammatory diseases. **Immune Network**, v. 18, 2018.

SANTOS, J. B. dos. Seleção de estirpes de *Bacillus* spp. tóxicas a *Meloidogyne* spp. e promotoras de crescimento vegetal. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Programa de Pós-graduação em Agronomia, 2018. 121 p.

SHORESH, M.; HARMAN, G. E.; MASTOURI, F. Induced Systemic Resistance and Plant Responses to Fungal Biocontrol Agents. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 21–43, 2010.

SHORT, G. E.; WYLLIE, T. D.; AMMON, V. D. Quantitative enumeration of *Macrophomina phaseolina* in soybean tissues. **Phytopathology**, v. 68, p. 736-741, 1978.

SILVA, T. T. A. et al. Qualidade fisiológica de sementes de milho na presença de bioestimulantes. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 3, p. 840-846, 2008.

SINGH, R.; MUFTAH, A. M. S.; BELKHEIR, A. Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 8, n. 3, p. 322–328, 2015.

SINGH, S. K.; NENE, Y. L.; REDDY, M. V. Influence of cropping systems on *Macrophomina phaseolina* populations in soil. **Plant Disease**, v. 74, p. 812-814, 1990.

SPADARO, D.; GULLINO, M. L. State of the art and future prospects of the biological control of postharvest fruit diseases. **International Journal of Food Microbiology**, v. 91, n. 2, p. 185–194, 2004.

SPOEL, S. H.; DONG, X. How do plants achieve immunity? Defence without specialized immune cells. **Nature Reviews Immunology**, v. 12, n. 2, p. 89–100, 2012.

TIMPER, P. et al. Influence of crop production practices on *Pasteuria penetrans* and suppression of *Meloidogyne incognita*. **Biological Control**, Maryland Heights, v. 99, p. 64-71, 2016.

VITERI, D. M.; LINARES, A. M. Reaction of *Phaseolus* spp. genotypes to ashy stem blight caused by *Macrophomina phaseolina*. **Euphytica**, 2017.

WAGHUNDE, R. R.; SHELAKE, R. M.; SABALPARA, A. N. *Trichoderma*: A significant fungus for agriculture and environment. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 22, p. 1952–1965, 2016.

WANG, X. Q. et al. Application and mechanisms of *Bacillus subtilis* in biological control of plant disease. **Role of Rhizospheric Microbes in Soil: Stress Management and Agricultural Sustainability**, p. 225-250, 2018.

ZAGO, V. C. P.; DE POLLI, H.; RUMJANEK, N. G. *Pseudomonas fluorescens* – Bactérias promotoras de crescimento de plantas e biocontroladoras de fitopatógenos em sistemas de produção agrícola. **Serepédica: Embrapa Agrobiologia**, 2000.