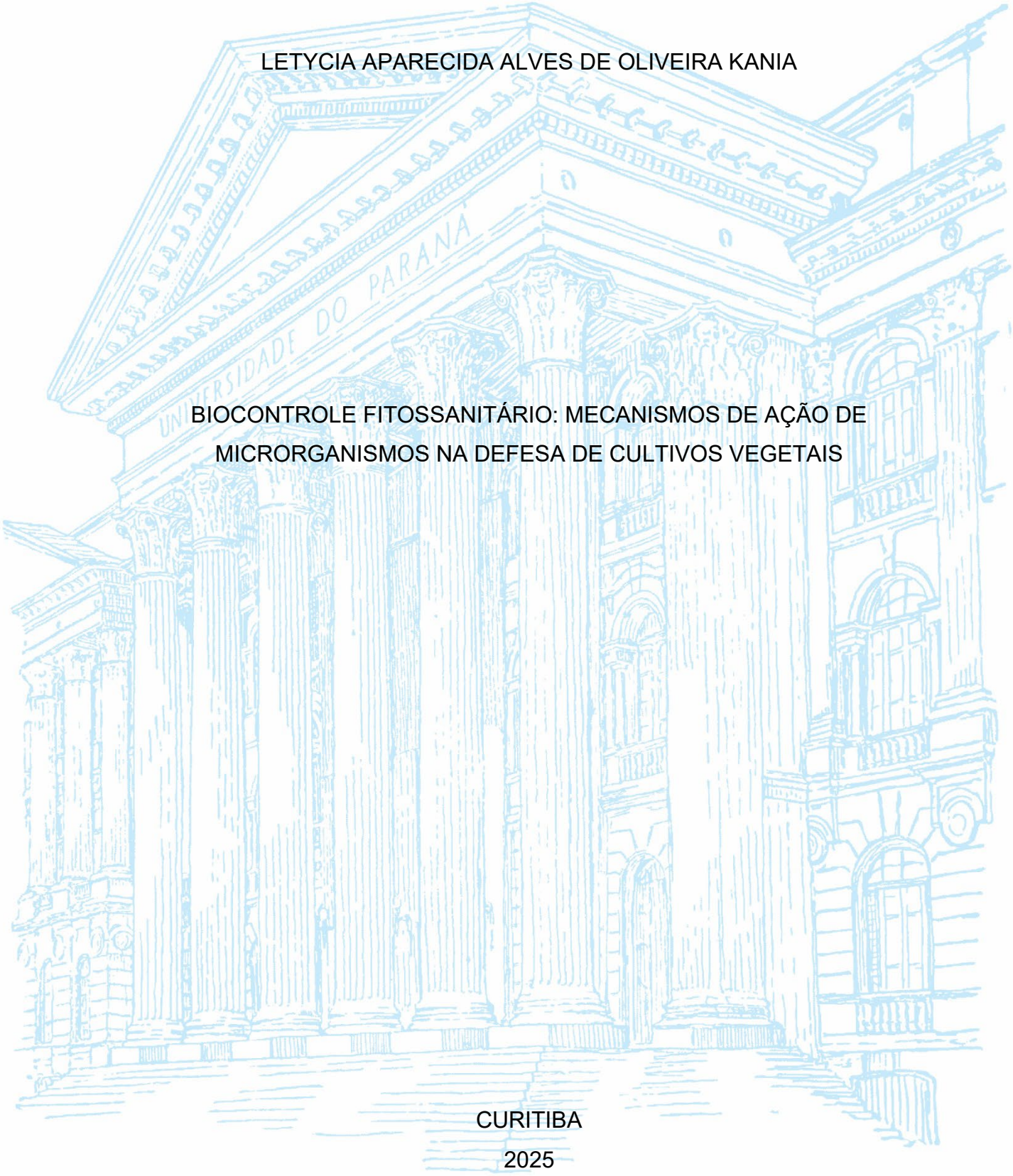
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LETYCIA APARECIDA ALVES DE OLIVEIRA KANIA




# BIOCONTROLE FITOSSANITÁRIO: MECANISMOS DE AÇÃO DE MICRORGANISMOS NA DEFESA DE CULTIVOS VEGETAIS

CURITIBA

2025

LETYCIA APARECIDA ALVES DE OLIVEIRA KANIA

# BIOCONTROLE FITOSSANITÁRIO: MECANISMOS DE AÇÃO DE MICRORGANISMOS NA DEFESA DE CULTIVOS VEGETAIS

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. Danielle Mattei

Coorientador: Dr. Andre Gustavo Battistus

CURITIBA

2025

Dedico esta conclusão de curso a todos que me auxiliaram e me incentivaram a concluir mais um ciclo, especialmente a Deus por me conceder saúde, persistência e sabedoria; ao meu esposo Fernando Martins Kania pelo apoio e pela paciência, aos meus orientadores: Danielle Mattei e Andre Gustavo Battistus pela dedicação, pelo tempo e por compartilhar o conhecimento. Meu muito obrigada!

"O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis."

José de Alencar

## RESUMO

O presente trabalho aborda o biocontrole fitossanitário como uma alternativa sustentável e tecnicamente viável para o manejo de pragas e doenças em cultivos vegetais, diante dos desafios enfrentados pela agricultura moderna, como o aumento da resistência de pragas a agrotóxicos, as exigências por alimentos livres de resíduos químicos e a necessidade de preservação ambiental. Por meio de uma revisão bibliográfica, o estudo explora os mecanismos de ação dos microrganismos utilizados no controle biológico, destacando agentes microbiológicos como *Trichoderma spp.*, *Bacillus spp.*, *Beauveria bassiana*, entre outros, que atuam de forma complexa e multifacetada. Esses microrganismos exercem sua ação por meio de antibiose (produção de metabólitos antimicrobianos), competição por nutrientes e espaço, parasitismo direto sobre patógenos, indução de resistência sistêmica nas plantas e mecanismos antagônicos combinados. Além dos agentes microbiológicos, são abordados também os agentes macrobiológicos, como parasitoides, predadores e nematoides entomopatogênicos, e os semioquímicos, como feromônios, que desempenham papel estratégico no Manejo Integrado de Pragas (MIP). O trabalho detalha a evolução do mercado de bioinsumos no Brasil, que tem se expandido significativamente, com aumento no número de registros e empresas atuantes no setor, e a crescente adoção desses produtos especialmente nas culturas de soja, milho e cana-de-açúcar. São discutidos os entraves que ainda limitam a ampla adoção do controle biológico, como a necessidade de maior capacitação técnica dos usuários, infraestrutura para armazenamento e aplicação adequada dos produtos biológicos, e a importância de pesquisas voltadas à bioprospecção de novas cepas e à compreensão das interações planta-microrganismo. Conclui-se que o aprofundamento no conhecimento dos mecanismos de ação e a integração efetiva dos agentes biológicos aos sistemas agrícolas são fundamentais para promover práticas mais sustentáveis, seguras e produtivas, contribuindo para o fortalecimento da agricultura nacional e o atendimento às exigências dos mercados globais.



Palavras-chave: controle biológico; microrganismos; mecanismos de ação; bioinsumos; sustentabilidade agrícola.

## ABSTRACT

This study addresses phytosanitary biocontrol as a sustainable and technically viable alternative for managing pests and diseases in crop systems, considering current agricultural challenges such as the increase of pest resistance to agrochemicals, the demand for residue-free food, and the need for environmental preservation. Through a literature review, the work explores the mechanisms of action of microorganisms used in biological control, emphasizing microbiological agents such as *Trichoderma spp.*, *Bacillus spp.*, *Beauveria bassiana*, among others. These microorganisms act through multiple and synergistic mechanisms, including antibiosis (by antimicrobial metabolite production), competition for nutrients and space, direct parasitism on pathogens, induction of systemic resistance in plants, and antagonistic interactions. In addition to microbiological agents, the study approaches macrobiological control agents—such as parasitoids, predators, and entomopathogenic nematodes—and semiochemicals like pheromones, which play a strategic role in Integrated Pest Management (IPM). The paper also highlights the expansion of the biological input (bioinput) market in Brazil, the significant growth in product registrations and active companies, particularly in crops such as soybean, maize and sugarcane. Despite this progress, some challenges are persistent, including the need for enhance the user training, proper infrastructure for storage and field application of bioproducts, and further research on the interaction between plants and beneficial microorganisms. The study concludes that a deeper understanding of the mechanisms of action and effective integration of biocontrol agents into agricultural systems are essential to fostering more sustainable, safe, and productive practices, strengthening Brazilian agriculture and meeting the standards of international markets.



Keywords: biological control; microorganisms; mechanisms of action; bioinputs; sustainable agriculture.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Mecanismo de ação de micoparasitismo e competição da combinação de *T. harzianum* e *B. amyloliquefaciens* no combate a fitopatógenos: A) *S. sclerotiorum*, B) *M. phaseolina,* C) *F. tucumaniae* e D) *P. longicolla.* ..28

FIGURA 2 – Ectoparasitoide *Cotesia sp.* (Hymenoptera: Braconidae; A) e percevejo mostrando o orifício de saída dos parasitoides (B). .....36

FIGURA 3 – Vespa (*Cotesia flavipes)* depositando seus ovos na broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*) .....36

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Evolução de registro de produtos biológicos no Brasil *versus* Empresas registrantes, de 2019 a 2024.....19
GRÁFICO 2 – Principais ingredientes ativos presentes nos produtos comerciais dentro de cada classe de biocontrole.....21
GRÁFICO 3 – Evolução de registro de produtos biológicos no Brasil *versus* Ingrediente Ativo, de 2019 a 2024. .....22

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Produtos fitossanitários formulados e registrados no Brasil, até junho/2024, totais, por classe agronômica.....20
TABELA 2 – Principais componentes, ação antimicrobiana e os microorganismos alvo.....27
TABELA 3 – Classificação das Proteínas Relacionadas a Patogênese .....32
TABELA 4 – Exemplo de insetos presente para controle biológico.....38
TABELA 5 – Exemplo de ácaros para controle biológico.....38
TABELA 6 – Exemplo de nematóides entopatogênicos para controle biológico.....39
TABELA 7 – Tipos de feromônios intraespecíficos, segundo Navarro et al. (2002).....39

**SUMÁRIO**

**1 INTRODUÇÃO ..... 15**
**2 REVISÃO DE LITERATURA ..... 17**
2.2 MERCADO E REGISTROS DE BIOINSUMOS NO BRASIL ..... 18
2.3 MECANISMOS DE AÇÃO DO CONTROLE BIOLÓGICO ..... 22
2.3.1 Microbiológicos ..... 24
2.3.1.1 Antibiose ..... 24
2.3.1.2 Competição ..... 27
2.3.1.3 Parasitismo ..... 28
2.3.1.4 Indução de Resistencia ..... 29
2.3.1.5 Antagonismo ..... 33
2.3.2 Macrobiológicos ..... 34
2.3.2.1 Parasitismo ..... 35
2.3.2.2 Predação ..... 37
2.3.2.3 Semioquímicos ..... 38
2.4 PERSPECTIVA FUTURA PARA NOVOS PRODUTOS ..... 39
**3 CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 41**
**REFERÊNCIAS ..... 42**

# 1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos mundial carrega a responsabilidade de promover uma produção sustentável, o que envolve enfrentar desafios complexos (

BRASIL[6], 2021). Nesse contexto, o Brasil assume importante papel, por estar entre os maiores produtores agrícolas (BASSO, 2025). Assim, para atender a essa exigência, os produtores precisam adotar um planejamento criterioso que permita mitigar os impactos ambientais e econômicos à produção (SILVA, et al. 2024).

Entre os principais desafios enfrentados pelo agronegócio brasileiro estão as dificuldades fitossanitárias, visto que as plantas enfrentam, constantemente, desafios em seu ambiente natural, incluindo ataques de patógenos e insetos-pragas (HOU, et al. 2019). Os crescentes relatos de resistência de pragas, mudanças climáticas, demandas por cultivo sustentável, levam a necessidade de atualização técnica constante e busca por práticas agrícolas eficientes e ambientalmente corretas (PARRA, 2014). Logo, para minimizar os impactos ambientais, garantir segurança ao homem e de organismos não-alvo, o emprego de diferentes ferramentas no manejo de forma integradas ganha cada vez mais importância (JUNQUEIRA, 2019; FUMAGALLI, 2021; CARNEIRO, 2023).

Diversos métodos de controle de pragas e doenças são aplicados nas áreas de cultivo, onde destacam-se os manejos preventivo, genético, cultural, mecânico, físico e biológico, além do controle químico. Quando empregados de maneira integrada, a escolha do método de controle observa os níveis de tolerância da cultura/cultivar e direciona o emprego do controle químico aos momentos onde se faz necessário, sendo as decisões fundamentadas no conhecimento da biologia e ecologia da cultura, pragas e doenças (BORTOLOTI; SAMPAIO, 2022; ADEGAS; SILVA e CONCENÇO, 2022). Justamente nesses sistemas de manejo, o controle biológico ganha grande importância.

O controle biológico inclui a seleção e utilização de agentes de controle biológico específicos para determinadas pragas e doenças (FUMAGALLI, 2021; CARNEIRO, 2023). Nesse, observam-se vantagens como ação altamente específica e *Eco-friendly* (PANDIT et al., 2022), apresentando aplicação segura e ausência de resíduos nos alimentos (BONATERRA et al., 2012; CROPLIFE BRASIL[2], 2020), e a

possibilidade de multiplicação de biocontroladores em larga escala (BONATERRA *et al*., 2012; MONNERAT, et al., 2020).

Entretanto, alguns desafios podem afetar o emprego e o impulsionamento do controle biológico. Entre esses, estão a necessidade de compreensão da interação planta-biocontrolador (LOPES et al., 2021), a dificuldade de transferência de tecnologia, a qualidade e disponibilidade de bioinsumos, dificuldades de logística e armazenamento, *shelf-life* (tempo de prateleira), e também a eficiência de aplicação à campo, em função da dificuldade de monitoramento de pragas para tomadas de decisão mais assertivas (PARRA, 2014).

Apesar dos desafios, as vantagens apresentadas impulsionam e tonam o controle biológico uma alternativa promissora, atendendo aos requisitos de exportação e do mercado interno (PARRA, 2014). Assim, iniciativas especializadas na produção e comercialização de agentes de controle biológico no Brasil incluem a produção de microrganismos (fungos, bactérias, vírus e leveduras), e macrorganismos (parasitoides e predadores) (PEDRAZZOLI; HERMANN, 2016), visando o incentivo a produção sustentável.

Para atender a tais demandas do mercado, a investigação dos mecanismos de ação, bem como a avaliação da especificidade de isolados antagonistas, é fundamental. Nesse sentido, deve-se avaliar a eficiência no biocontrole das espécies-alvo, identificando os processos pelos quais atuam, esclarecendo se o mecanismo de ação inclui processos como antibiose, parasitismo, competição, predação, indução de resistência e/ou alelopatia, os quais podem estar presentes de forma combinada (TEIXEIRA et al., 2021 P. 125).

Diante do exposto, o presente estudo objetivou reunir informações sobre o controle microbiológico. Para tal, empregou-se como metodologia a revisão bibliográfica de livros e artigos publicados no período compreendido entre 2014 e 2025, selecionando trabalhos de maior relevância, obtidos por busca nas bases de dados Google Acadêmico, Scielo, Web of Science e PubMed, empregando como palavras-chave: controle microbiológico; modo de ação; bioinseticidas; bionematicidas; biofungicidas; bioherbicidas. As palavras-chave foram empregadas isoladas e sob diferentes combinações, em diferentes idiomas (português, inglês e espanhol).

# 2 REVISÃO DE LITERATURA

## 2.1 O QUE É O CONTROLE BIOLÓGICO?

O controle biológico se baseia no emprego de organismos vivos de ocorrência natural ou obtidos por manipulação genética, introduzidos no ambiente (BRASIL[5], 2024). Os principais métodos de controle biológico são três: o controle de fitopatógenos utilizando resistência de plantas induzida e microrganismos antagonistas; o de pragas, empregando parasitoides, predadores e entomopatógenos; e o de plantas daninhas, mediante uso de fitopatógenos e herbívoros (EILENBERG et al., 2001). De forma resumida, pode-se colocar que o objetivo do controle biológico é suprimir a população de doenças, pragas ou plantas daninhas presentes, bem como o potencial de dano ocasionado por essas (STONER, 2024), atuando sem prejudicar o ambiente, reduzindo o uso contínuo de agrotóxicos e preservando os inimigos naturais (CROPLIFE BRASIL[1], 2019).

Os bioinsumos incluem agentes microbiológicos, como vírus, bactérias e fungos; macrobiológicos, como ácaros, insetos e nematoides; além de semioquímicos (feromônios) (FONTES; VALADARES-INGLIS, 2020), fitoquímicos (derivados de plantas) e bioquímicos (hormônios), entre outros (SILVA et al., 2024). Logo, ao abordar os bioinsumos, os agentes biocontroladores presentes nos produtos são considerados os ingredientes ativos, responsáveis pela ação de controle do produto (BRASIL[5], 2024).

Apesar da classificação diferenciada dos produtos quanto ao alvo de controle, é importante ressaltar que vários ingredientes ativos microbianos podem apresentar ação múltipla – fungicida, inseticida e nematicida, por exemplo (GLOBAL CROP PROTETION, 2025). Além disso, há também diversos produtos disponíveis no mercado constituídos por mesclas de agentes biológicos (GLOBAL CROP PROTETION, 2025), o que também potencializa a observação de produtos com ação múltipla.

Assim, o emprego do controle biológico dentro do manejo integrado busca desenvolver estratégias eficazes para o controle de pragas, doenças e ervas daninhas, integrando diferentes técnicas, além do controle biológico, o controle cultural e genético, por exemplo, visando minimizar o emprego do controle químico e assim reduzir os impactos ao ambiente (CAMPOS, 2020).

Nesse sentido, o sucesso do manejo integrado depende do monitoramento constante da lavoura para a tomada de decisões assertivas (BAKER, et al. 2020), de modo que a combinação do biocontrole e agrotóxicos nos sistemas de manejo se torne viável e rentável (TORRES; BUENO, 2018; BUENO et al., 2023), o que impulsiona o crescimento do mercado e do número de registros de bioinsumos no Brasil.

## 2.2 MERCADO E REGISTROS DE BIOINSUMOS NO BRASIL

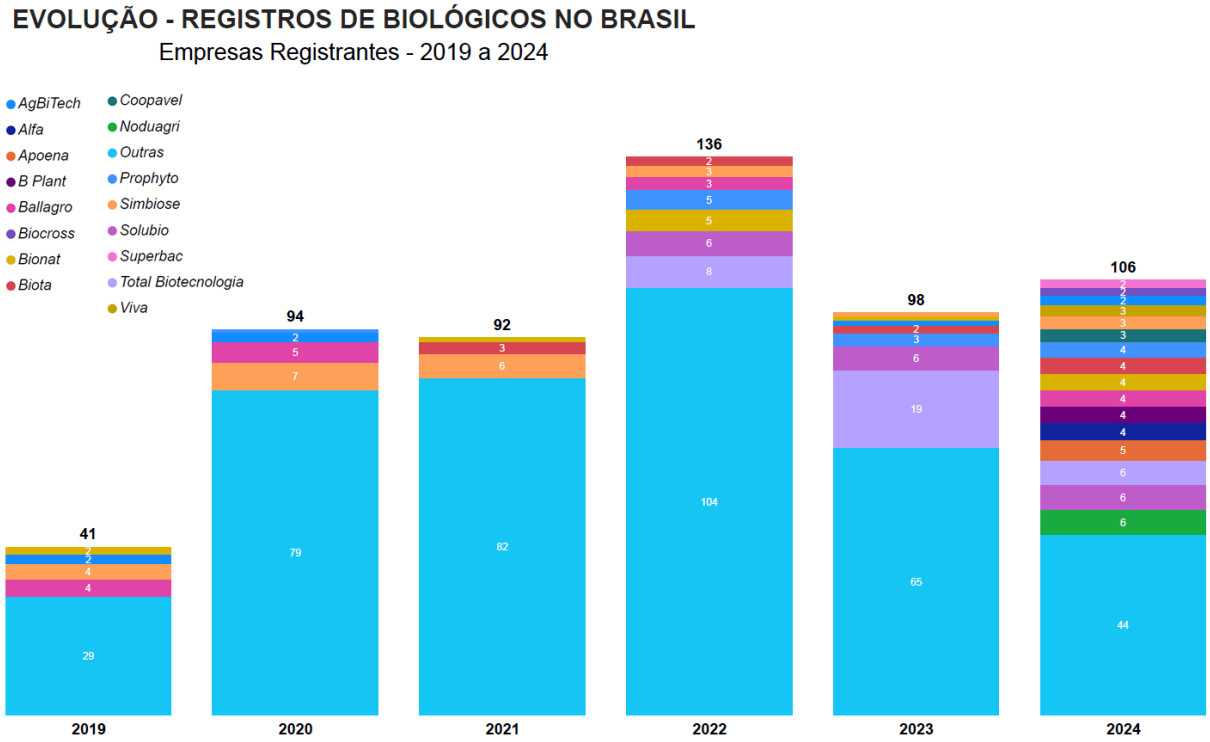
A indústria de produtos biológicos agrícolas no Brasil apresenta projeções indicativas de que em 2025, o biocontrole representará 14% do mercado nacional de controle de pragas, enquanto globalmente essa participação será de 10% (GOULET, 2021). O faturamento de biológicos chegou ao marco de R$ 5 bilhões na safra 2023/2024, apresentando crescimento de 15% na referida safra, com crescimento anual médio de 21% nos últimos três anos, apontando a utilização de biológicos principalmente em cultivos de soja (55%), milho (27%), cana-de-açúcar (12%), café, citrus, hortifruti e algodão (6%) (CROPLIFE BRASIL[3], 2024).

Diante do cenário promissor, de crescimento expressivo, constata-se uma expansão significativa do número de empresas atuantes no setor. Segundo levantamento em 2023, citado por Cotta (2023), aproximadamente 700 empresas estavam envolvidas com a produção e comercialização de biodefensivos no Brasil.

Comparativamente à indústria de defensivos químicos, o setor de biocontrole apresenta uma taxa de crescimento 5,3 vezes superior, evidenciando a consolidação e o dinamismo desse mercado emergente (COTTA, 2023).

Em 2024, esse cenário se manteve favorável, sem a presença de um player dominante no mercado nacional (GRÁFICO 1). Adicionalmente, as empresas Biotrop, Biosíntese e Biosphera foram as registrantes que mais obtiveram aprovações de novos produtos no referido ano (ULISSES, 2025) e as empresas que mais obtiveram registros concedidos foram Total Biotecnologia, Solubio e Noduagri, seis registros cada (BRASIL[1], 2024).

**GRÁFICO 1.** Evolução de registro de produtos biológicos no Brasil *versus* Empresas registrantes, de 2019 a 2024.




Fonte: Adaptado do Ministério da Agricultura e Pecuária (BRASIL[1], 2024).

Com a valorização do mercado de bioinsumos, empresas consolidadas no setor de defensivos químicos têm ampliado sua atuação para os biológicos, incorporando essa tecnologia aos seus portfólios e esse movimento tende a intensificar a competitividade no segmento, favorecendo a redução dos custos dos ingredientes ativos e ampliando o acesso a essas soluções (GLOBAL CROP PROTETION, 2025).

No que tange à participação de mercado por tipo de produto, os bioinseticidas representaram 34% das vendas, seguidos pelos bionematicidas com 24% e pelos biofungicidas com 22%. Os bioinoculantes e solubilizadores corresponderam a 19% do mercado (LUSTOSA, 2024).

Devido a facilidade de produção e aplicação, os microbiológicos favorecem sua adoção por parte dos agricultores, que buscam soluções eficazes e de fácil manejo para o controle de pragas e doenças (MAPA[4], 2024).

Os agentes microbiológicos, como bactérias e fungos benéficos, têm se destacado no setor de biológicos em razão de suas vantagens operacionais e econômicas em relação aos macrobiológicos. Entre os principais fatores, destacam-

se os menores custos de produção, a facilidade de multiplicação em larga escala e a necessidade reduzida de infraestrutura e mão de obra especializada, tais características conferem aos microbiológicos maior acessibilidade e potencial de lucro, favorecendo sua ampla adoção pelo mercado (CROPLIFE BRASIL[3], 2024).

Consequentemente, observa-se um aumento significativo no número de registros de bioinsumos contendo agentes microbiológicos.

De acordo com a base de dados AGROFIT (BRASIL[1], 2024) - plataforma disponibilizada pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) para consulta de produtos formulados registrados para comercialização no Brasil - considerando as principais classes de agrotóxicos (TABELA 1), existem 3.840 produtos registrados, sendo 666 registrados para controle biológico. Dentre os referidos produtos se destacam biocontroladores microbiológicos de ação inseticida (42,80%; 306 produtos), fungicida (16,36%; 117 produtos), acaricida (7,83%; 6 produtos), nematicida (12,31%; 88 produtos) e bactericida (0,7%; 5 produtos), além de agentes macrobiológicos de controle (13,15%; 94 produtos) e feromônios (6,85%; 49 produtos).

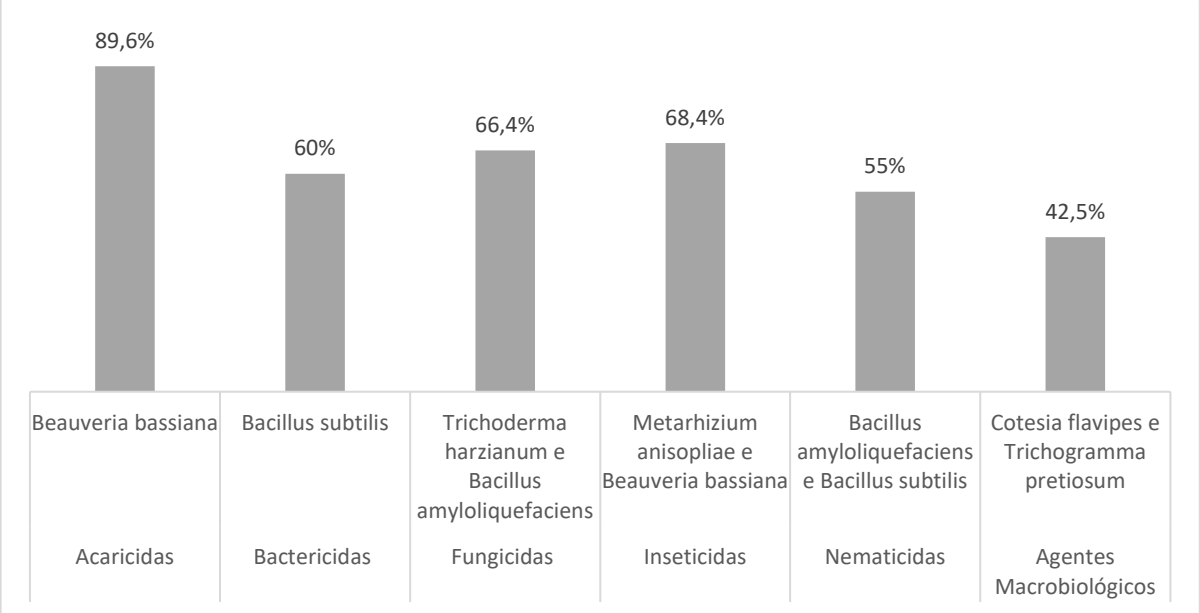
**TABELA 1.** Produtos fitossanitários formulados e registrados no Brasil, até junho/2024, totais, por classe agronômica.

| Classe | Nº de registros | Representatividade (%) |
|---|---|---|
| Acaricida | 242 | 6,3 |
| Acaricida microbiológico | 56 | 1,46 |
| Agente Biológico de controle (Agente Macrobiológico) | 94 | 2,45 |
| Bactericida | 31 | 0,81 |
| Bactericida microbiológico | 5 | 0,13 |
| Cupinicida | 41 | 1,07 |
| Feromônio | 49 | 1,28 |
| Formicida | 39 | 1,02 |
| Fungicida | 756 | 19,69 |
| Fungicida microbiológico | 117 | 3,05 |
| Herbicida | 1184 | 30,83 |
| Inseticida | 782 | 20,36 |
| Inseticida microbiológico | 306 | 7,97 |
| Inseticida fumigante | 11 | 0,29 |
| Moluscicida | 1 | 0,03 |
| Nematicida | 38 | 0,99 |
| Nematicida microbiológico | 88 | 2,29 |
| **Total** | **3840** | **100** |

Fonte: Adaptado do Ministério da Agricultura e Pecuária (BRASIL[1], 2024).

Com relação ao controle biológico de doenças, *Trichoderma harzianum* e *Bacillus amyloliquefaciens,* representam 66,4% dos biofungicidas, *Bacillus subtilis* é presente em 60% dos biobactericidas, e *B. subtilis e Bacillus amyloliquefaciens* compõe 55% dos bionematicidas. No controle de pragas, *Beauveria bassiana*, é encontrado em 89,6% dos bioacaricidas, *B. bassiana* e *Metarhizium anisopliae* compõe 68,4% dos bioinseticidas, e *Cotesia flavipes* e *Trichogramma pretiosum* representam 42,5% dos macrobiológicos registrados (BRASIL[1], 2024; GRÁFICO 2).

**GRÁFICO 2 –** Principais ingredientes ativos presentes nos produtos comerciais dentro de cada classe de biocontrole.

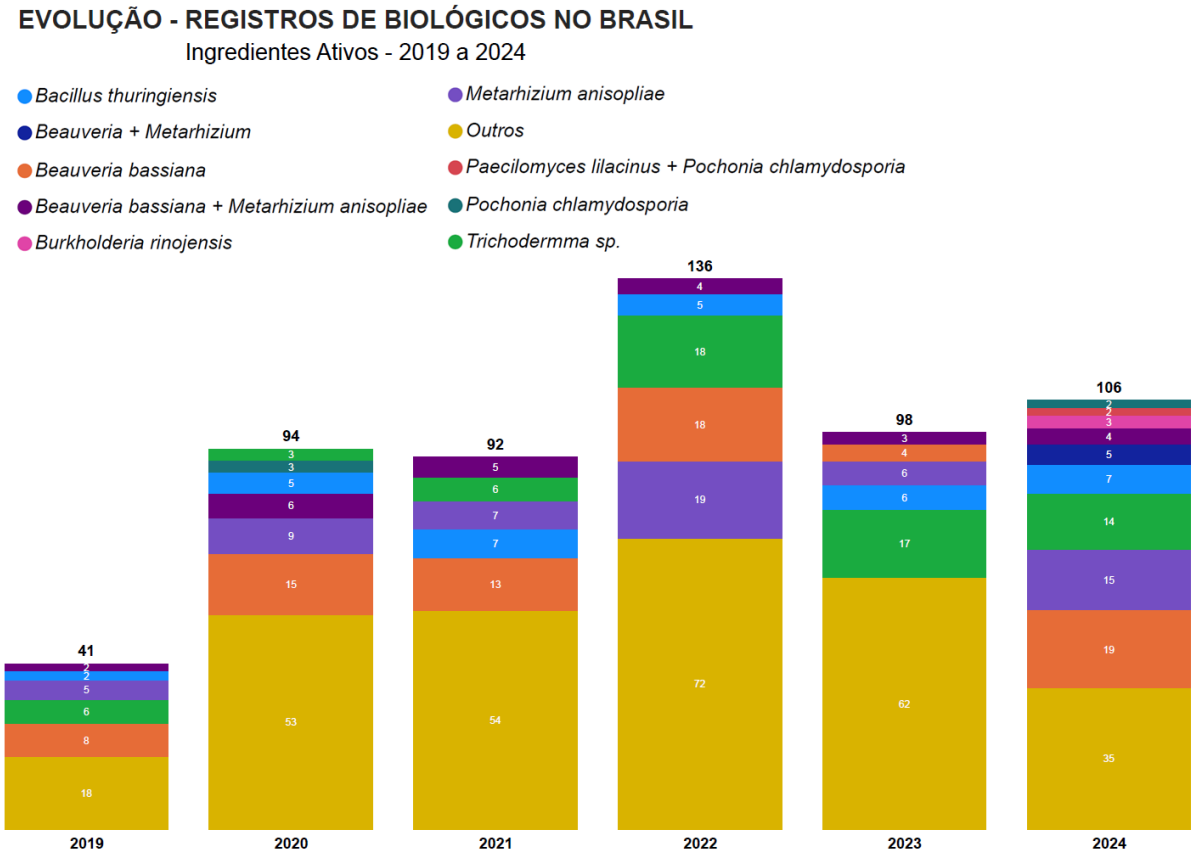



Adaptado do Ministério da Agricultura e Pecuária (BRASIL[1], 2024).

Outros agentes de biocontrole também são observados nas classes supracitadas, a exemplo do *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma viride*, e *Bacillus subtilis*, presentes em biofungicidas; *Purpureocillium lilacinum* (syn. *Paecilomyces lilacinus*), *Pochonia chlamydosporia*, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus firmus* e *Pasteuria nishizawe*, presentes em bionematicidas; *Bacillus thuringiensis*, presente em bioinseticidas; e o *Trichogramma galloi*, dentre os agentes macrobiológicos (BRASIL[1], 2024). Adicionalmente, organismos biológicos de controle podem apresentar ação específica e múltiplos efeitos (WANG et al., 2022), atuando em diversas frentes no combate aos patógenos e pragas, mediante diferentes mecanismos de ação.

Ao analisar a evolução dos registros de produtos biológicos em comparação aos ingredientes ativos registrados, observa-se um crescimento expressivo no número de aprovações ao longo dos últimos anos. No ano de 2024, foram concedidos 106 registros, em contraste com os 41 concedidos em 2019, o que representa um aumento de 61,3% (GRÁFICO 3). Dentre os ingredientes ativos, destaca-se *Beauveria bassiana*, com 19 produtos registrados, seguida por *Metarhizium anisopliae* (15 registros) e espécies do gênero *Trichoderma* (14 registros), evidenciando a preferência do setor por agentes microbiológicos com amplo espectro de atuação.

**GRÁFICO 3.** Evolução de registro de produtos biológicos no Brasil *versus* Ingrediente Ativo, de 2019 a 2024.




Fonte: Adaptado do Ministério da Agricultura e Pecuária (BRASIL[1], 2024).

## 2.3 MECANISMOS DE AÇÃO DO CONTROLE BIOLÓGICO

Os produtos biológicos têm ganhado destaque no mercado, sendo classificados como: bioagentes, bioestimulantes e biofertilizantes (PARRA et al., 2023). Segundo MAPA (BRASIL[3], 2021), os modos de ação são distintos, sendo definido como:

> ***- Agente biológico de controle (bioagente) -*** *organismo, assim considerado microrganismo e inimigo natural, de ocorrência natural, introduzido no ambiente para o controle de uma população ou de atividade biológica de outro organismo vivo considerado nocivo;*
> ***- Bioestimulante -*** *produto que contém substância natural com diferentes composições, concentrações e proporções, que pode ser aplicado diretamente nas plantas, nas sementes e no solo, com a finalidade de incrementar a produção, melhorar a qualidade de sementes, estimular o desenvolvimento radicular, favorecer o equilíbrio hormonal da planta e a germinação mais rápida e uniforme, interferir no desenvolvimento vegetal, estimular a divisão, a diferenciação e o alongamento celular, incluídos os processos e as tecnologias derivados do bioestimulante;*
> ***- Biofertilizante -*** *produto que contém componentes ativos ou substâncias orgânicas, obtido de microrganismos ou a partir da atividade destes, bem como seus derivados de origem vegetal e animal, capaz de atuar direta ou indiretamente sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, no aumento de sua produtividade ou na melhoria de sua qualidade, incluídos os processos e tecnologias derivados desta definição;*

Apesar dessa diferenciação, é observado que alguns agentes podem apresentar ação somatória. *Azospirillum brasilense*, por exemplo, é uma rizobactéria promotora de desenvolvimento vegetal, atua em processo de fixação biológica de nitrogênio (DASGUPTA, et al., 2021) e há alguns relatos de que sua utilização favorece o controle de nematoses em plantas, possivelmente por efeito de competição, pelo consumo de exsudatos e formação de biofilmes (ALVES, et al., 2021).

Dentre os mecanismos de ação dos agentes biológicos, são observados: antagonismo, antibiose, competição, parasitismo, predação e indução de resistência (GOPALAKRISHNAN, et al., 2014). Cada agente biológico pode apresentar mais de um dos referidos mecanismos, sendo considerados produtos de ação multissítio (MOREIRA, et al., 2024).

A divisão dos agentes biológicos em microbiológicos e macrobiológicos é realizada não somente pelo tamanho apresentado pelos agentes de biocontrole. A diferença é contextualizada também em seus mecanismos de ação. Agentes macrobiológicos atuam geralmente através de mecanismos que permitem seu emprego em estratégias de controle específico e direto das pragas, enquanto para os agentes microbiológicos a ação é caracterizada pela ação preventiva e complementar (MONNERAT et al., 2020), de ação mais lenta, afetando o desenvolvimento populacional, suprimindo-as e evitando epidemias, contudo, não sendo indicada a aplicação isolada em momentos de alta pressão. Tal diferença está diretamente correlacionada com os mecanismos de ação envolvidos.

### 2.3.1 Microbiológicos

Agentes de controle microbiológicos podem apresentar entre seus mecanismos de ação os processos de antibiose, competição, parasitismo e indução de resistência, os quais podem ser observados de forma isolada, ou combinados, com ação antagônica (MEYER et al., 2019).

#### 2.3.1.1 Antibiose

O mecanismo de antibiose refere-se à interação entre diferentes organismos, onde um destes atua produzindo substâncias (metabólitos) que apresentam ação sobre de inibição sobre o crescimento ou desenvolvimento de outro organismo (PAULA, 2019). Resultado da produção de diversos componentes pelo agente de biocontrole, esse processo inclui a ação de: antibióticos, lipopeptídeos, proteínas e peptídeos antimicrobianos, enzimas líticas, compostos voláteis, compostos fenólicos, sideróforos e compostos alquímicos (PAULA, 2019). Em função isso, esse mecanismo de controle biológico tem se destacado, pois a produção de metabólitos e enzimas com propriedades antifúngicas tem sido amplamente utilizados no controle de fitopatógenos em grandes culturas agrícolas (GEBAUER, 2020).

*Bacillus* emergiu como potencial biocontrolador de doenças fúngicas pós-colheita, devido aos diversos mecanismos antifúngicos, como a produção de compostos voláteis e lipopeptídeos (WANG *et al.,* 2022), sendo atualmente aplicados como inoculantes em sementes e pulverizado, em função da capacidade do gênero de produção metabólitos secundários com atividade antimicrobiana, nematicida e inseticida (MATTEI et al., 2022).

*Bacillus* apresentam constitutivamente diversos compostos antibióticos, entre esses estão bacilina, fengicina, iturina, macrolactina e surfactina, que apresentaram efeito de inibição sobre o fungo *Penicillium digitatum*, promovendo anomalias nas mitocôndrias e degradação das organelas, comprometendo o crescimento e desenvolvimento do fungo, controlando a ocorrência do bolor verde em citros em pós-colheita (CHEN et al., 2018). Destas, surfactina, iturina, fengicina e macrolactina, são relatadas também com ação fungicida no controle de *Alternaria alternata* (AHAMAD et al., 2023; WANG, 2022).

Compostos antifúngicos constitutivos, como bacilina, fengicina, iturina, macrolactina e surfactina foram relatados em *Bacillus amyloliquefaciens*. Estes

apresentaram efeito de inibição sobre o fungo *Penicillium digitatum*, levando a indução de anomalias nas mitocôndrias e a degradação das organelas do fungo, comprometendo o crescimento e desenvolvimento, controlando a ocorrência do bolor verde em frutos de citros no período pós-colheita (CHEN et al., 2018).

A presença constitutiva dos lipopeptídeos surfactina, iturina e fengicina, é correlacionada a eficiência de *B. subtilis* no controle de *Alternaria alternata*, agente causal de podridão pós-colheita em frutos de cereja (AHAMAD et al., 2023). A produção dos compostos voláteis, ácido 2-metilbutanoico e o ácido 3-metilbutanoico, e não voláteis, iturinas e macrolactina, em *B. subtilis*, também exibindo significativa atividade inibitória no crescimento micelial e na germinação de esporos de *A. alternata* (WANG, 2022).

Compostos voláteis como o ácido 2-metilbutanoico e o ácido 3-metilbutanoico, em *B. subtilis*, atividade inibitória no crescimento micelial e na germinação de esporos de *A. alternata* (WANG, 2022). Ferreira et al. (2021) demonstraram que *Bacillus spp.* aplicado no tratamento de sementes de milho no controle de *Fusarium verticillioides* apresenta resultados promissores, evidenciados pela produção de compostos benéficos para o crescimento vegetal, como a solubilização de fosfatos, produção de ácido cianídrico, compostos sideróforos e assimilação de nitrogênio.

Por sua vez, *Trichoderma* também apresenta potencial de biocontrole atrelado a produção de diversos componente voláteis e não voláteis como álcoois, aldeídos, ácidos, cetonas, pirazinas, ésteres e outros. Dentre os componentes produzidos por isolados de *Trichoderma*, incluem álcoois como 3-metilbutanol e feniletil álcool; pirazinas como tetramethyl pyrazine e 6-pentyl-alpha-pyrone e tetrametilpirazina (lanzorite); derivados de pirona, como 6-Penta-1-enil-piran-2-ona; lactonas, como 6-pentil-α-pirona (6-PP) e trichodermaerina, um diterpeno lactona; peptabolitos, como asperilinas A, H e E; Esteróides e Esterois como 3,5,9-Trihidroxiergosta-7,22-dien-6-ona, e beta-sitosterol, Sesquiterpenos, como Atrichodermona C; Nucleosídeos, como adenina nucleosídeo; e cetonas como Ciclopentenona (Atrichodermona B) (STRACQUADANIO et al., 2020).

Em *Trichoderma harzianum* terpenoides, policetídeos e peptaibóis já foram isolados inclusive de diferentes cepas associadas a corais, esponjas marinhas e sedimentos. Entre os componentes ativos presentes nestes estão diterpenos e sesquiterpenos, como harzianelactonas A e B, harzianones A–E e ácido harzianolic

A; além desses, alguns policetídeos, incluindo harzianumóis, trichoharzinas e tandyukisinas. Adicionalmente, peptaibóis, peptídeos lineares antibióticos, como trichokindins e trichorozins, são observados (GUO et al., 2022).

A análise dos genomas sequenciados de diversas espécies de *Trichoderma* revelou genes associados à produção de policetídeos, peptídeos não ribossômicos e terpenos, além de transportadores e fatores de transcrição, sendo observado que espécies micoparasitas, como *T. virens* e *T. atroviride*, possuem mais genes de metabolismo secundário. Entre os metabólitos identificados, destacam-se a 6-pentil-α-pirona (6PP), koninginina A, viridina, harzianopiridona, ácido harziânico, gliotoxina, coprogen, aspinolida C, harzianolida e gliotoxina demonstram atividade antagonista contra microrganismos, reforçando o potencial biotecnológico do gênero (VINALE; SIVASITHAMPARAM, 2020).

A promoção de crescimento é outro ponto importante de ação de microrganismos benéficos. *Trichoderma,* pode mediar a promoção de crescimento vegetal pela produção de auxina e metabólitos secundários (SMs), como koningininas, 6-pentil-α-pirona, harzianopiridona e ácido harziânico (VINALE; SIVASITHAMPARAM, 2020).

Sideróforos - compostos orgânicos de baixo peso molecular – são usados por microrganismos para quelar $Fe^{3+}$, facilitando absorção e promovendo o crescimento vegetal. Em *Trichoderma*, sideróforos como coprogen, dimerum, ferricrocina, fusigen, fusarinina, ferricrocina, hidroxamato e ácido harziânico, apresentam papel na interação *Trichoderma*-planta e resistência sistêmica induzida (ISR) contra fitopatógenos como *Cochliobolus heterostrophus* (VINALE; SIVASITHAMPARAM, 2020). Por fim, compostos orgânicos voláteis microbianos (VOCs) também são citados pelos autores referidos com papel essencial na promoção do crescimento vegetal sem necessidade de contato direto entre fungo e planta, aumentando biomassa e teor de clorofila, e observa-se que microrganismos simbióticos são recrutados por metabólitos liberados nos exsudatos radiculares em resposta ao estresse, como observado em *T. harzianum* T22, demonstrando a importância dos metabólitos vegetais na modulação da microbiota da rizosfera.

A tabela a seguir (TABELA 2) apresenta uma síntese das principais substâncias relatadas na literatura, seus respectivos mecanismos de ação e os micro-organismos alvo, apresentado por Stracquadanio et al., (2020).

**TABELA 2.** Principais componentes, ação antimicrobiana e os microorganismos alvo

| Componente | Ação Antimicrobiana | Microorganismos alvo |
|---|---|---|
| **6-pentil-α-pirona (6-PP)** | Reduz a produção de micotoxinas e possui atividade antifúngica | *Fusarium graminearum* (deoxynivalenol), *Fusarium moniliforme* (ácido fusárico), *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* |
| **Lanzorite** | Antifúngico e nematicida | *Moniliophthora perniciosa*, *Fusarium oxysporum f. sp. lactucae* |
| **3,5,9-Trihidroxiergosta-7,22-dien-6-ona** | Inibe o desenvolvimento fúngico | *Pyricularia oryzae, Aspergillus niger, Alternaria alternata* |
| **Beta-sitosterol** | Ação inibitória contra fungos fitopatogênicos | *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Macrophomina phaseolina*, *Fusarium oxysporum* |

Adaptado de Stracquadanio et al., (2020).

Policetídeos, também apresentaram potencial antifúngico contra *Botrytis cinerea* e *Rhizoctonia solani*; alguns peptaibóis demonstraram capacidade de modificar membranas celulares e interferir no equilíbrio iônico, e ação antifúngica; harzianinas, trichorzianinas e outros peptaibóis demonstraram atividades citotóxicas e capacidade de formação de canais iônicos em bicamadas lipídicas (GUO et al., 2022).

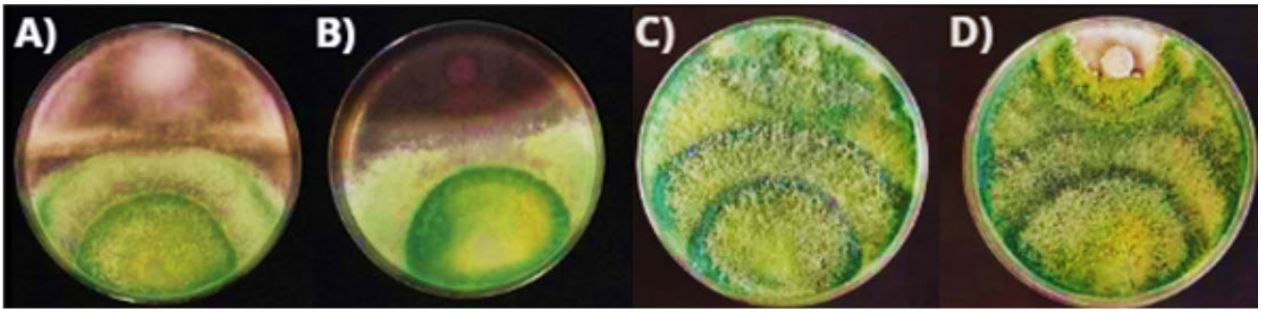
Em *Solanum lycopersicum*, a 6-pentil-α-pirona aumentou os níveis de acetilcolina, GABA, polifenóis e a atividade antioxidante; enquanto cerinolactona e ácido harziânico estimulam o crescimento de mudas e absorção de nutrientes em soja (VINALE; SIVASITHAMPARAM, 2020).

#### 2.3.1.2 Competição

A competição é um mecanismo de controle biológico em que agentes benéficos e patógenos disputam recursos essenciais, como nutrientes e espaço, necessários para seu crescimento e sobrevivência (DUTTA; LEE, 2022). Essa interação pode limitar o desenvolvimento de patógenos, contribuindo para a proteção das plantas (JEFFERS; CHONG, 2021).

A associação de *Trichoderma harzianum* e *Bacillus amyloliquefaciens* se demonstrou eficaz no controle biológico de fitopatógenos de solo (FIGURA 1). O efeito observado por Salvadori et al., (2024) incluiu micoparasitismo das hifas do patógeno e competição por espaço e nutrientes, reduzindo significativamente o crescimento micelial dos fitopatógenos testados.

**FIGURA 1.** Mecanismo de ação de micoparasitismo e competição da combinação de *T. harzianum* e *B. amyloliquefaciens* no combate a fitopatógenos: A) *S. sclerotiorum*, B) *M. phaseolina,* C) *F. tucumaniae* e D) *P. longicolla.*




**Fonte:** SALVADORI et. al (2024)

Para que um agente benéfico seja um competidor eficaz, ele deve possuir características como alta taxa de crescimento, capacidade de rápida colonização e eficiência na utilização de recursos limitados (NASCIMENTO, et al., 2022). Esses atributos permitem que o agente benéfico se estabeleça rapidamente e domine o nicho ecológico (COMPANT, et al. 2005).

A utilização da competição como estratégia de biocontrole é vantajosa porque permite a supressão de patógenos de maneira sustentável, reduzindo a necessidade de produtos químicos e minimizando impactos ambientais (LEE, et al. 2023).

### 2.3.1.3 Parasitismo

O parasitismo é uma interação biológica na qual um organismo, denominado parasita, vive à custa de outro organismo, o hospedeiro, do qual retira nutrientes para sobreviver e se reproduzir (HAJEK; SHAPIRO-ILAN, 2018). Essa relação geralmente causa danos ao hospedeiro, podendo levar à sua debilitação ou morte (STEVENS, 2010; POULIN, 2007).

O parasitismo desempenha um papel crucial no controle biológico, sendo utilizado por diversos agentes para suprimir populações de pragas e patógenos agrícolas (KOLLER, et al., 2023). Ao parasitar organismos prejudiciais às culturas, esses agentes naturais contribuem para a manutenção do equilíbrio ecológico (BALE, et al., 2007).

Existem inúmeros agentes de biocontrole que atuam por meio do parasitismo, por exemplo, fungos do gênero *Trichoderma* conhecidos por parasitar outros fungos causadores de doenças em plantas, como *Sclerotinia sclerotiorum*, responsável pelo mofo-branco na soja (MEYER, et al., 2022) e este fungo coloniza os escleródios do patógeno, inviabilizando sua germinação e reduzindo o inóculo da doença (CROP LIFE BRASIL[2], 2020).

O controle de nematoides parasitas pode ser realizado por fungos nematófagos através de fungos endoparasitas e armadilhas antagonistas (PENDSE, 2013). Um exemplo de sucesso é a combinação de *Purpureocillium lilacinum* (conhecido como *Paecilomyces lilacinus)* (parasita de ovos) e *Bacillus firmus* para o controle da espécie *Meloidogyne* (nematoide de solo) aplicados duas semanas antes do transplante das mudas de tomate (ANASTASIADIS et al., 2008).

Além do controle de patógenos e nematoides, o parasitismo é empregado no manejo de insetos-praga (HARTERREITEN-SOUZA, et al., 2011). Um exemplo é o nematoide *Deladenus siricidicola* utilizado no controle do inseto-alvo vespa da madeira (*Sirex noctilo*) deixando a fêmea da vespa estéril (IEDE, et al., 2005). E considerando o inseto parasitoide, por exemplo algumas vespas (MATTIACCI, et al., 1995), depositam seus ovos dentro ou sobre os corpos de outros insetos, por exemplo as lagartas e as larvas emergentes da vespa se alimentam dos tecidos do hospedeiro, levando-o à morte (PENNACHIO, et al., 2014). Essa estratégia tem sido amplamente utilizada no controle biológico de diversas pragas agrícolas (BORTOLOTI; SAMPAIO, 2022).

#### 2.3.1.4 Indução de Resistencia

A competição por nutrientes pelas pragas/doenças tem ocasionado o desenvolvimento de estratégias de autodefesa das plantas, a fim de garantir sua sobrevivência, resultando em mecanismos complexos que têm sido estudados como

forma de compreender e auxiliar na proteção das plantas contra esses ataques (SERDO; DEGAGA, 2024).

O sistema imunológico da planta pode ser diferenciado da percepção dos sinais em iniciar a resposta e reconhecer a natureza do ataque ou da severidade da resposta de defesa (UNDERWOOD, 2012).

Segundo Trindade (2021), existem duas linhas de defesas, a primária, chamada de PTI (imunidade desencadeada pelas PAMP's) e a secundária, chamadas de ETI (imunidade desencadeada por efetores). A primária é o reconhecimento extracelular quando ocorre o primeiro contato com o agente patogênico e à medida que a integridade da célula é alterada, receptores de reconhecimento padrão (Pattern Recognition Receptors – PRR), presentes na membrana plasmática, reconhece os PAMP's (Pathogen-Associated Molecular Patterns) iniciando uma resposta de defesa basal ou inata, chamada de PTI (PAMP Triggered Immunity) (LEE et. al, 2017; TRINDADE, 2021). Quando ativado o PTI, a resposta, é o reforço da parede celular, produção de espécies de oxigênio reativas (ROS) e efeito cascata de fosforilação de proteínas quinase ativada por mitógeno (MAPK) (NEJAT; MANTRI, 2017; NICAISE, ROUX; ZIPFEL, 2009; UNDERWOOD, 2012). Sendo uma barreira contra doenças importante (CUI et. al, 2015) e a falta deste, a planta fica mais suscetível a doenças (ZIPFEL, 2008).

A ETI é desencadeada quando moléculas efetoras de patógenos são reconhecidas dentro da célula por genes de resistência vegetal (R) (CUI et. al, 2015), resultando na ativação da resposta hipersensível (HR), que é uma forma de morte celular programada (PCD) (HOU et. al 2019).

A indução de resistência (IR) é a capacidade da planta desenvolver certa resistência quando identificado o ataque/infecção localizada de patógenos (REGLINSKI et al., 2023). A IR pode ocorrer de duas formas: resistência sistêmica adquirida (RSA, inglês SAR – Sistemic Adquired Resistance) quando induzidos por agentes abióticos (ácido salicílico) ou bióticos (promotores de crescimento) ou de rotas bioquímicas (isoladas ou conectadas) (RODRIGUES et al., 2019), ou resistência sistêmica induzida (RSI, inglês ISR – Induced Sistemic Resistance).

A Resistência Sistêmica Induzida (RSI) e a Resistência Sistêmica Adquirida (RSA) apresentam mecanismos distintos na defesa das plantas contra patógenos. A RSI é eficaz contra patógenos necrotróficos, sendo mediada por rizobactérias (PGPR)

e não dependente do acúmulo de ácido salicílico (AS) ou da síntese de proteínas. Ela ativa vias de resposta ao etileno e ao ácido jasmônico, transmitindo respostas imunes das raízes para a parte aérea da planta (PIETERSE et al., 2014; VAN LOON et al., 1998). Já a RSA é voltada para patógenos biotróficos e hemibiotróficos, dependendo do acúmulo de AS e da síntese de proteínas como quitinase e glucanase, limitando a progressão do patógeno (TON et al., 2002; DELANEY et al., 1994).

Ambos os mecanismos compartilham o processo de *priming*, que prepara a planta para uma resposta rápida e eficaz frente à invasão patogênica. No *priming,* as defesas da planta são ativadas de forma antecipada, o que facilita uma resposta mais eficiente e acelera o controle da infecção no momento da invasão do patógeno (CONRATH et al., 2006). Esse processo é essencial para a defesa tanto contra patógenos necrotróficos, em que a RSI se destaca, quanto contra patógenos biotróficos e hemibiotróficos, no caso da RSA (CHOUDHARY et al., 2007; DE SILVA et al., 2016).

Ácido salicílico, ácido jasmônico, etileno, xilenase, polipeptídeo sistemina são compostos responsáveis pela sinalização das proteínas relacionadas à patogênese (PRP) (AGRIOS, 2004), as quais são classificadas em diferentes famílias, de acordo com as propriedades por elas apresentadas (VAN LOON; VAN STRIEN, 1999; TABELA 3).

**TABELA 3.** Classificação das Proteínas Relacionadas a Patogênese

| **Famílias** | **Propriedade** |
|---|---|
| PRP1 | Antifúngica e Antioomiceto |
| PRP2 | β-1,3-glucanase |
| PRP3 | Quitinase tipo I, II, IV, V, VI, VII |
| PRP4 | Quitinase tipo I, II |
| PRP5 | Semelhante à taumatina |
| PRP6 | Inibidora da protéase |
| PRP7 | Endoprotéase |
| PRP8 | Quitinase tipo III |
| PRP9 | Peroxidase |
| PRP10 | Semelhante à ribonuclease |
| PRP11 | Quitinase tipo I |
| PRP12 | Defensinas |
| PRP13 | Tioninas |

| | |
|---|---|
| PRP14 | Proteína de transferência de lípidos |
| PRP15 | Oxalato oxidase |
| PRP16 | Semelhante a oxalato oxidase |
| PRP17 | Desconhecida |

FONTE: Adaptado de Silva (2021).

Estas PRP's tem o papel de inibir a germinação ou liberação de esporos (AGRIOS, 2004), evitando a propagação da infecção (EBRAHIM et. al, 2011), um exemplo de Agrios (2004) é a degradação dos componentes ácido murâmico e glucosamina da parede celular dos fungos pela β-1,3-glucanase e quitinases.

A indução local de PTI (Imunidade de Resposta de Pattern Triggered) e ETI (Imunidade de Resposta de Efetores) frequentemente resulta em uma imunidade de amplo espectro contra-ataques subsequentes de patógenos em tecidos distais, fenômeno conhecido como resistência sistêmica adquirida (SAR) (FU; DONG, 2013).

O tratamento exógeno das plantas com oligossacarídeos (OGs) tem sido associado à ativação de diversas respostas de defesa, incluindo a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) (BELLINCAMPI *et al.*, 2000), a ativação das quinases de MAPK (GALLETTI et al., 2011), e a deposição de calose (GALLETTI et al., 2008). Além disso, ocorre o acúmulo de fitoalexinas, compostos com propriedades antimicrobianas que desempenham um papel importante na defesa da planta (DAVIS *et al.*, 1986; FERRARI et al., 2007). Essas respostas contribuem para o fortalecimento da resistência sistêmica e para a proteção contra infecções.

Os principais indutores de resistência obtidos por produtos a base de fungos e bactérias, encontrados na literatura, são: ácido pipecólico, GABA (ácido $\gamma$-aminon-butírico), INA (ácido 2,6- dicloroisonicotínico e seu metil éster), glicerol-3-fosfato, AABA (ácido DL-$\alpha$-amino-n-butanóico), BABA (ácido DL-$\beta$-amino-n-butírico), ácido hexanóico e ácido azelaico (RODRIGUES et al., 2019).

Segundo Castro et al. (2008), comenta que cada célula possui imunidade, a qual é determinada pelos sinais sistêmicos e os processos naturais da planta gerados nos locais de infecção. A planta percebe as ameaças através das moléculas de alerta (sinais sistêmicos), chamados de elicitores (TORREZAN, 2023).

Os DAMP's (Damage Associated Molecular Patterns) são moléculas elicitoras químicas produzidas durante o processo de infecção, um exemplo é a

oligogalacturonídeos (OGs) de origem endógena (da própria planta) (PATEL; KRISHNAMURTHY, 2013), constituídos pela fração péctica formada a partir da degradação do homogalacturonano (HGA) durante a decomposição da parede celular por enzimas hidrolíticas endógenas liberadas em resposta a danos na planta ou enzimas pectinases produzidas por fungos (FERRARI et al., 2013).

As bactérias endofíticas, *Bacillus spp.* e *Pseudomonas fluorescence* também são capazes de promover a resistência sistêmica em plantas, estudos tem indicado que a defesa contra patógenos, a atividade de várias enzimas é aumentada (fenilalamina, peroxidase e polifenol oxidase), assim como a modificação de exsudatos radiculares e a produção de compostos antagônicos (aminoácidos e polissacarídeos) (ABBASI et al., 2013). Exemplos de controle são os isolados de *Bacillus* utilizado para controle de nematoide das galhas (LEE; KIM; 2015); isolado de *P. fluorescens* aplicado para controle em nematoides de galhas radiculares estimularam as enzimas de defesa em tomate (KAVITHA et al., 2013); isolado de *Pseudomonas aeruginosa* utilizado no controle da antracnose (*Colletotrichum capsici*) em plantas de pimenta (JISHA et al., 2018);

As bactérias do gênero *Bacillus* são amplamente observadas em interações com plantas, podendo adotar um estilo de vida endofítico ou formar biofilmes na superfície dos tecidos vegetais, produzindo moléculas bioativas com interesse biotecnológico para o setor agrícola (MATTEI et al., 2022).

#### 2.3.1.5 Antagonismo

A soma de diversos mecanismos de ação apresentados por agentes de controle microbiológicos como antibiose, parasitismo, competição, predação, indução de resistência e hipovirulencia, quando observados de forma combinada passam a caracterizar tais agentes como sendo de ação antagônica (MEYER et al., 2019).

Espécies de *Trichoderma spp.* geralmente tem característica antagonista, e destacam-se no biocontrole de fitopatógenos por meio da competição por nutrientes e espaço, além do parasitismo (GEBAUER, 2020; BENITEZ et al., 2004). O potencial de associar-se ao ecossistema radicular, promovendo simbiose semelhante aos fungos micorrízicos também é relatado para *Trichoderma* (HARMAN, 2004). Essa interação estimula os mecanismos de defesa das plantas, aumentando sua resistência

a microrganismos, a atividade fotossintética, aumento dos níveis de clorofila e a indução da germinação de sementes (HERMOSA et al., 2012).

Efeitos sobre a germinação de sementes de pepino e sorgo, foram observados por Acosta (2014), onde testou diferentes concentrações do extrato de *Trichoderma spp*., em concentrações mais altas ocorreu inibição da germinação, relacionando ao efeito do ácido desidroacético.

Os compostos produzidos por *Trichoderma spp.* apresentam diversidade estrutural e funcional, sendo classificados em dois grupos: compostos de baixa massa molecular, como compostos aromáticos e seus derivados, compostos biciclos e triciclos, pironas, terpenos, aminoácidos e lactonas; e compostos de alta massa molecular, como polissacarídeos, glicoproteínas e proteínas (LARSEN et al., 2003). Esses compostos atuam como fungicidas, fitotoxinas, reguladores de crescimento e micotoxinas (GEBAUER, 2020).

As espécies de *Bacillus* emergiram como potenciais agentes biocontroladores de doenças fúngicas pós-colheita, devido aos seus diversos mecanismos antifúngicos, como a produção de compostos voláteis e lipopeptídeos, a indução de resistência a patógenos, a competição por nutrientes (WANG et al., 2022), produção de metabólitos secundários com atividade antimicrobiana, nematicida e inseticida, produção de sideróforos, mitigação de estresses bióticos e abióticos e solubilização de sais minerais (MATTEI et al*.,* 2022).

### 2.3.2 Macrobiológicos

A Instrução Normativa Conjunta nº 2, de 23 de janeiro de 2006, define os inimigos naturais como sendo aqueles organismos que apresentam a capacidade de infectar, parasitar ou predar uma praga específica (BRASIL[2], 2006). Dentro das leis do Brasil, os macrobiológicos são mencionados como agentes biológicos de controle, incluindo insetos, ácaros e nematoides entomopatogênicos, os quais não devem apresentar riscos toxicológicos ao ambiente e aos seres vivos não alvo (CROPLIFE BRASIL[2], 2020).

Os inimigos naturais, como predadores, parasitas e patógenos, desempenham o papel de controle biológico em populações que atingem níveis prejudiciais na agricultura (FONTES; PIRES; SUJII, 2020 P. 23). Seu manejo ou introdução no sistema permite controlar pragas de forma sustentável, sendo uma alternativa no

Manejo Integrado de Pragas (MIP) e promovendo a conservação ambiental (FONTES e VALADARES-INGLIS, 2020).

2.3.2.1 Parasitismo

No caso de parasitoides, observa-se a ocorrência natural destes sob duas formas distintas, atuando como ectoparasitoides – onde o agente de controle é observado na parte externa do tegumento do hospedeiro – ou como endoparasitoides – onde o desenvolvimento ocorre dentro do corpo do hospedeiro – como observa-se na FIGURA 2 (FONTES; VALADARES-INGLIS, 2020).

**FIGURA 2.** Ectoparasitoide *Cotesia sp.* (Hymenoptera: Braconidae; A) e percevejo mostrando o orifício de saída dos parasitoides (B).

**Fotos:** Raul Alberto Laumann (A) e Luis Cláudio Paterno Silveira (B).
**Fonte:** FONTES; VALADARES-INGLIS, 2020.

A vespa *Cotesia flavipes* é um parasitoide utilizado no controle biológico da broca-da-cana (*Diatraea saccharalis)*, presente na cultura da cana-de-açúcar. O ciclo de parasitismo endopasitoide inicia-se com a vespa depositando ovos no interior da lagarta (FIGURA 3), onde as larvas eclodem e se alimentam dos tecidos internos do hospedeiro, levando-o à morte antes de completar seu ciclo de vida e após se desenvolverem, as larvas formam pupas envoltas em casulos brancos visíveis externamente, dos quais emergem vespas adultas, prontas para reiniciar o ciclo de controle biológico (LELIS, 2024).

**FIGURA 3** – Vespa (*Cotesia flavipes)* depositando seus ovos na broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*)

**Foto:** Valmir Costa, 2022 e Corporacion AMA, 2018.

Alguns macrobiológicos podem ser sensíveis as variações climáticas, que afetam seu desempenho e biologia. A exemplo, pode-se citar o *Trichogramma*, endopasitoide de ovos de Lepdoptera, sensível a umidade e temperatura (TABEBORDBAR et al., 2022).

Nematoide entomopatogênico (NEP), parasita inseto, apresentando elevada especificidade, atacando exclusivamente insetos sem riscos ao ambiente, aplicador ou consumidor final. A eficácia ocorre devido a interação mutualística com bactérias simbiontes, que intensificam a ação entomopatogênica, permitindo que o hospedeiro seja eliminado entre 24 e 48 horas após a aplicação, consolidando-os como ferramenta eficiente e ambientalmente segura para o MIP (NEGRISOLI JUNIOR et al., 2015). *Deladenus siricidicola* é um NEP da vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*), que durante o ciclo de vida livre se alimenta do fungo *Amylostereum areolatum*, introduzido nas árvores pela vespa-da-madeira, e no ciclo parasitário infecta as larvas, pupas e adultos da vespa, contribuindo para o controle direto da praga (PENTADO et al., 2024).

2.3.2.2 Predação

Segundo Parra et al. (2023), o predatismo é a interação de dois indivíduos, onde um (o predador) captura, mata e se alimenta do outro indivíduo (a presa), jovens ou vulneráveis, da mesma espécie ou não, de forma eventual e oportunista.

Os principais predadores de artrópodes-pragas pertencem as Classes Insecta (joaninhas, tesourinhas, moscas predadoras, percevejos, vespas, bicho-lixeiro, tripes) e Arachnida (aranhas, ácaros), e as principais vantagens de seu uso são a criação massal, a plasticidade na adaptação ambiental e o ciclo de vida curto, com rápido desenvolvimento (SUJII et al., 2020).

Atualmente, no mercado brasileiro existem algumas opções de produtos para controle biológico – com insetos (TABELA 4), com ácaros (TABELA 5) e com nematoides (TABELA 6) para alvos específicos.

**TABELA 4.** Exemplo de insetos presente para controle biológico

| **Agente biológico de controle (INSETOS)** | **Alvo biológico** | **Modo de ação** |
|---|---|---|
| *Cotesia flavipes* | Broca da cana-de-açúcar *(Diatraea saccharalis)* | Parasitoide |
| *Trichogramma galloi* | Broca da cana-de-açúcar *(Diatraea saccharalis)* | Parasitoide |
| *Trichogramma pretiosum* | *Tuta absoluta, Helicoverpa zea, Spodoptera frugiperda, Anticarsia gemmatalis e Pseudoplusia includens (mariposas)* | Parasitoide |
| *Telenomus podisi* | Percevejo-marrom (*Euschistus heros*) | Parasitoide |
| Pupa estéril de macho de *Ceratitis capitata linhagem tsl* | Mosca-das-frutas (*Ceratitis capitata*) | Macho estéril |
| *Orius insidiosus* | Tripes (*Frankliniella occidentalis*) | Predador |
| *Cryptolaemus montrouzieri* | Cochonilha-rosada (*Maconellicoccus hirsutus*) | Predador |

Fonte: Adaptado do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA[1], 2024)

**TABELA 5**. Exemplo de ácaros para controle biológico

| Agente biológico de controle (ÁCARO) | Alvo biológico | Modo de ação |
|---|---|---|
| *Amblyseius tamatavensis* | Ácaro rajado (*Tetranychus urticae*) | Predador |
| *Neoseiulus californicus* | Ácaro rajado (*Tetranychus urticae*) e Ácaro-branco (*Polyphagotarsonemus latus*) | Predador |
| *Phytoseiulus macropilis* | Ácaro rajado (*Tetranychus urticae*) e Mosca-dos-fungos (*Bradysia matogrssensis*) | Predador |
| *Stratiolaelaps scimitus* | Mosca-dos-fungos (*Bradysia matogrssensis*) e Mosca branca (*Bemisia tabaci*) | Predador |

Fonte: Adaptado do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA[1], 2024)

**TABELA 6.** Exemplo de nematóides entopatogênicos para controle biológico

| Agente biológico de controle (Nematóides entomopatogênicos) | Alvos biológico | Modo de ação |
|---|---|---|
| *Steinernema carpocapsae* | Vespa (*Sirex noctilio*) | Parasitoide |
| *Heterorhabditis bacteriophora* | Broca-dos-frutos (*Conotrachelus humeropictus*); Bicudo da cana-de-açúcar (*Sphenophorus levis*); Vaquinha verde-amarela (*Diabrotica speciosa*) | Parasitoide |
| *Deladenus siricidicola* | Vespa (*Sirex noctilio*) | Parasitoide |

Fonte: Adaptado do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA[1], 2024)

2.3.2.3 Semioquímicos

O monitoramento e o controle de algumas pragas podem ser realizado utilizando semioquímicos (AMBROGI et al. 2009). Esse, apresenta como objetivo manter os níveis de danos reduzidos, utilizando técnicas como confusão sexual, armadilhas atrai-e-mata e coleta massal (COSTA, 2021).

Os compostos gerados (substâncias voláteis) são responsáveis pela comunicação entre emissor e receptor de mesma espécie - intraespecífico, são denominados como feromônios (COSTA, 2021) e quando estes compostos interferem no comportamento no indivíduo de outra espécie – interespecífica, são chamados de aleloquímicos (RAMOS, 2012).

Costa (2021) ressalta que manipular a comunicação sexual pode ser uma estratégia eficaz para conter a população de insetos, sem causar danos aos demais organismos benéficos.

Diferentes tipos de feromônios intraespecíficos podem ser empregados, apresentando ação sexual, de oviposição, agregação, alarme, trilha e território (TABELA 7; NAVARRO et al., 2002).

**TABELA 7**. Tipos de feromônios intraespecíficos, segundo Navarro et al. (2002).

| **Feromônio** | **Ação** |
|---|---|
| Sexual | Aumento da probabilidade de sucesso no acasalamento |
| Oviposição | Auxilia a femêa a localizar local seguro para posturas |
| Agregação | Atrai indivíduos da espécie para indicar a presença de alimentos |
| Alarme | Transmissão da mensagem de perigo ou inimigo |
| Trilha | Indica novo local de moradia ou fonte de alimento |
| Território | Delimita espaço, minimiza encontros agressivos ou indesejáveis |

Substâncias voláteis são liberadas por plantas de milho após danificadas por lagartas *Spodoptera*, atraindo os parasitoides *Cotesia marginiventris* e *Telenomus remus*, auxiliando no controle e facilitando a localização de possíveis hospedeiros pelos parasitoides (D'ALESSANDRO; TURLINGS, 2005; PEÑAFLOR et al., 2011; MICHEREFF et al., 2019).

## 2.4 PERSPECTIVA FUTURA PARA NOVOS PRODUTOS

O impulsionamento do mercado de biológicos é contínuo, de modo que espera-se o crescimento constante no surgimento de novos produtos. Essa expectativa é pautada em diversos fatores, dentre os quais podem ser destacados: o custo de desenvolvimento de produtos; a especificidade de ação dos agentes biocontroladores; o reduzido impacto ao meio ambiente, homem e animais; a baixa probabilidade de seleção de pragas resistentes, e o auxílio no manejo de pragas resistentes a agrotóxicos e cultivares transgênicas; o atendimento ao mercado consumidor, cada vez mais seleto e preocupado com o ambiente e a saúde (MONNERAT et al., 2020).

As perspectivas futuras no estímulo da resistência em plantas incluem a busca por novos indutores e estratégias de manejo integrado que possam aumentar a eficácia da proteção das plantas contra patógenos. Além disso, é essencial aprofundar

o conhecimento dos mecanismos envolvidos para otimizar as práticas e produtos existentes (MÉLO-FILHO; GUENTHER, 2015; QUADROS et al., 2018).

Desafios a serem enfrentados incluem a identificação de moléculas indutoras mais eficientes, a compreensão das interações planta-patógeno e a aplicação prática em grande escala que considere a segurança e sustentabilidade ambiental (BARROS et al., 2010; FARIA, 2023). É fundamental a colaboração entre pesquisadores, agricultores e indústria é fundamental para superar esses desafios e avançar nos sistemas de produção agrícola (CAMPOS, 2009; COSTA; 2019).

A velocidade de bioprospecção tende a acelerar, em função da possibilidade de emprego de ferramentas metagenômicas e da engenharia genética. Análises metagenômicas possibilitam a identificação de cepas que apresentam potencial para o uso agronômico, bem como seleção de cepas que apresentam a produção de compostos específicos requeridos, enquanto a engenharia genética pode ser empregada na edição genética de microrganismos visando a promoção a produção de compostos ativos específicos, contribuindo assim para obtenção de microrganismos e produtos mais eficientes (MATTEI et al., 2022). Desse modo, a biotecnologia vem contribuindo continuamente para agilizar a seleção de biocontroladores, além de possibilitar a otimização destes, favorecendo a obtenção de produtos mais eficientes em menores espaços de tempo.

## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A promoção de práticas agrícolas sustentáveis, seguras e produtivas, fortalece a agricultura nacional e atende as exigências dos mercados globais. Assim, o mercado brasileiro de bioinsumos tem se expandido significativamente em número de registros de produtos e de empresas no setor, impulsionado pelo incremento do uso de biológicos em grandes culturas como soja, milho e cana-de-açúcar.

O aprofundamento sobre mecanismos de ação e a integração dos agentes biológicos aos sistemas agrícolas são fundamentais.

Semioquímicos, agentes microbiológicos e macrobiológicos desempenham papel estratégico no Manejo Integrado de Pragas (MIP), atuando de forma complexa e multifacetada, mediante mecanismos como antibiose, competição, parasitismo, predação, indução de resistência, ou mecanismos antagônicos combinados, o que os caracteriza como multissítios biológicos.

Os limitantes principais do emprego de biológicos são a falta de capacitação técnica, de infraestrutura para armazenamento e a aplicação de forma inadequada.

A bioprospecção de novas cepas e compreensão das interações planta-microrganismo são essenciais. Nesse sentido, análises metagenômicas aplicadas a bioprospecção e a edição em engenharia genética vem se mostrando grandes aliados na obtenção de novos agentes para elaboração produtos biológicos.

## REFERÊNCIAS

ABBASI, M. W.; AHMED, N.; ZAKI, M. J. SHUAKAT, S. S.; KHAN, D. Potencial de espécies de Bacillus contra Meloidogyne javanica parasitando berinjela (Solanum melongena L.) e mudanças bioquímicas induzidas. **Plant Soil,** v. 375, p. 159–173, out. 2013. DOI: doi.org/10.1007/s11104-013-1931-6

ACOSTA, J. A. M. **Análise de substâncias de *Trichoderma spp.* com atividade alelopática**. 2014. p. 80. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroquímica. Universidade Federal de Viçosa, 2014. Disponível em: https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/8d7105bd-c55d-4c3c-9f05-7db1bc855f9d/content Acesso em: 15 dez. 2024.

ADEGAS, F. S.; DA SILVA, A. F.; CONCENÇO, G. Controle biológico e plantas daninhas - Capítulo 16. *In:* MEYER, M. C.; BUENO, A. DE F.; MAZARO, S. M.; DA SILVA, J. C. **Bioinsumos na cultura da soja.** Brasília, Embrapa Soja, p. 550, ISBN: 978-65-87380-96-4, 2022. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1147037/1/cap-16-Bioinsumos-na-cultura-da-soja.pdf Acesso em: 15 nov. 2024.

AGRIOS, G. N. **Plant Pathology (5th ed.)**. San Diego: **Elsevier Academic Press,** v. 26-27, p. 398-401, eBook ISBN: 9780080473789, dez. 2004.Disponível em: https://booksite.elsevier.com/samplechapters/9780120445653/0120445654_FM.pdf Acesso em: 26 ago. 2024.

AHMAD, T.; XING, F.; NIE, C.; CAO, C.; XIAO, Y.; YU, X.; MOSSA, A.; LIU, Y. Biocontrol potential of lipopeptides produced by the novel Bacillus subtilis strain Y17B against postharvest Alternaria fruit rot of cherry. **Frontiers in Microbiology,** Junfeng Guan, v. 14, p. 1-11, mar. 2023. DOI: doi.org/10.3389/fmicb.2023.1150217

ALVES, T. H. P.; DINIZ, G. F. D.; FIGUEIREDO, J. E. F.; COELHO, A. M.; MARRIEL, I. E.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A. Tecnologia biológica para controle de *Fusarium verticillioides* e aumento da absorção de N no milho empregando Paenibacillus polymy*xa*. Embrapa Milho E Sorgo, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 236**, p. 1-34, 2021. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1136535/1/BOL-236-Tecnologia-biologica-controle-Fusarium.pdf Acesso em: 06 abr. 2025.

AMBROGI, B. G; VIDAL, D. M.; ZARBIN, H. G. Feromônios de agregação em Curculionidae (Insecta: Coleoptera) e sua implicação taxonômica. **Química Nova**, v. 32, n. 8, p. 2151-2158, nov. 2009. DOI: doi.org/10.1590/S0100-40422009000800029

ANASTASIADIS, I. A.; GIANNAKOU, I. O.; PROPHETOU-ATHANASIADOU, D. A.; GOWEN, S. R. The combined effect of the application of a biocontrol agent Paecilomyces lilacinus, with various practices for the control of root-knot nematodes. **Crop Protection - Elsevier,** v. 27, n. 3, p. 352–361. mar. 2008. DOI: doi.org/10.1016/j.cropro.2007.06.008

BAKER, B. P.; GREEN, T. A.; LOKER, A. J. Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. **Biological Control - Elsevier,** v. 140, p. 1-19, jan. 2020. DOI: doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095

BALE, J. S.; van LENTEREN, J. C.; BIGLER, F. Biological control and sustainable food production. **Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.**, v. 363, n. 1492, p. 761–776, fev. 2007. DOI: doi.org/10.1098/rstb.2007.2182

BARROS, F. C.; SAGATA, E.; FERREIRA, L. C. de C.; JULIATTI, F. C. Indução de resistência em plantas à fitopatógenos. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 2, p. 231–239, mar. 2010. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7071. Acesso em: 23 abr. 2025.

BASSO, M. C. A.; SANT'ANA, D. D.; FUJITA, A. T.; SILVA, F. M. DA; MEIRELES, E.; GOMES, W. S.; SILVA, C. P. S.; CRUVINEL, G. F. A.; MOREIRA, R. DA S.; MELOTTI, L. M. D.; LEAL, A. P. DE S.; CARVALHO, F. P. DE; VENTURA, R. Biofertilizantes e biochar: impactos sustentáveis e políticas públicas para a agricultura brasileira. **Caderno Pedagógico,** v. 22, n. 1, e13575, jan. 2025. DOI: doi.org/10.54033/cadpedv22n1-216

BELLINCAMPI, D.; DIPIERRO, N.; SALVI, G.; CERVONE, F.; DE LORENZO, G. Extracellular H(2)O(2) induced by oligogalacturonides is not involved in the inhibition of the auxin-regulated rolB gene expression in tobacco leaf explants. **Plant Physiol,** v. 122, n. 4, p. 1379–1385, abr. 2000. DOI: doi.org/10.1104/pp.122.4.1379

BENÍTEZ, T.; RINCON, A. M.; LIMÓN, M. C.; CODÓN, A. C.; Biocontrol mechanisms of Trichoderma strains. **Interntional Micribiology**, Sevilla, v. 7, p 249-260 set.. 2004. Disponível em: https://scielo.isciii.es/pdf/im/v7n4/Benitez.pdf Acesso em: 15 dez. 2024.

BONATERRA, A.; BADOSA, E.; CABREFIGA, J.; FRANCÉS, J.; MONTESINOS, E. Prospects and limitations of microbial pesticides for control of bacterial and fungal pomefruit tree diseases. **Research Gate**, v. 26, p. 215-226, fev. 2012. DOI: 10.1007/s00468-011-0626-y

BORTOLOTI, G; SAMPAIO, R. M. Demandas tecnológicas: os bioinsumos para controle biológico no Brasil. **Cardeno de Ciência e Tecnologia,** v. 39, n. 1, p. 1-16, mai. 2022. DOI: 10.35977/0104-1096.cct2022.v39.26927

BRASIL[1]. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **AGROFIT - Consulta aberta: Produtos formulados**. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 15 nov.2024

BRASIL[2]. Instrução Normativa Conjunta nº 2, de 27 de setembro de 2006. Considerando a necessidade de estabelecer norma específica para registro de agentes biológicos de controle. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 188, 29 set. 2006. Seção 1, p. 126. Disponível em:

https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=126&data=29/09/2006. Acesso em: 01 dez. 2024.

BRASIL[3]. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Conceitos.** Brasília, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/conceitos Acessado em: 03 abr. 2025.

BRASIL[4]. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Líder global na utilização de bioinsumos, Brasil apresenta panorama regulatório de registros biológicos na ABIM**. Suíça, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/lider-global-na-utilizacao-de-bioinsumos-brasil-apresenta-panorama-regulatorio-de-registros-biologicos-na-abim Acesso em: 03 abr. 2025.

BRASIL[5]. Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024. Estabelece os critérios para a produção, a importação, a exportação, o registro, a comercialização, o uso, a inspeção, a fiscalização, a pesquisa, a experimentação, a embalagem, a rotulagem, a propaganda, o transporte, o armazenamento, as taxas, a prestação de serviços, a destinação de resíduos e embalagens e os incentivos à produção de bioinsumos para uso agrícola, pecuário, aquícola e florestal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 247, 24 nov. 2024. Seção 1, p. 3. Disponível em: https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=515&pagina=3&data=24/12/2024. Acesso em: 27 mar. 2025.

BRASIL[6]. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). Sustentabilidade no Agro Brasileiro. **CNA**, Brasília, abr. 2021. Disponível em: https://cnabrasil.org.br/noticias/cna-destaca-a-sustentabilidade-do-agro-brasileiro. Acesso em: 26 mar. 2025.

BUENO, A. de F.; SUTIL, W. P.; MACIEL, R. M . A. ROSWADOSKI, L. COLMENAREZ, Y. C.; COLOMBO, F. C. Challenges and opportunities of using egg parasitoids in FAW augmentative biological control in Brazil. **Biological Control - Elsevier**, v. 186, nov. 2023. DOI: doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105344

CAMPOS, A. D. **Considerações sobre a indução de resistência de patógenos em plantas.** DOCUMENTOS 264, Embrapa Clima Temperado, 2009. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/747547/1/documento264.pdf Acesso em: 23 abr. 2025.

CAMPOS, A. Cenário atual e futuro do mercado de Controle Biológico. **CHBAGRO**, Franca, 29 jul. 2020. Disponível em: https://chbagro.com.br/blog/cenario-atual-e-futuro-do-mercado-de-controle-biologico. Acesso em: 03 ago. 2024.

CARNEIRO, R. de O. **Fungos como agentes de controle biológico de pragas agrícolas: uma revisão bibliográfica**. 2023. P. 38. Dissertação (Monografia)., Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/27331/1/ROC04072023%20-%20MA1251.pdf Acesso em: 10 nov. 2024.

CASTRO, P. R. de C.; KLUGE, R.; SESTARI. **Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos.** São Paulo: Agronômica Ceres, P. 864, ISBN: 9788531800498, 2008. Disponível em: https://repositorio.usp.br/item/002942905 Acesso em: 17 ago. 2024.

CHEN, K.; TIAN, Z.; LUO, Y.; CHENG, Y.; LONG, C. Antagonistic Activity and the Mechanism of *Bacillus amyloliquefaciens* DH-4 Against Citrus Green Mold. **APS - Online Publication**s, v. 108, n. 11, p. 1253-1262, out. 2018. DOI: doi.org/10.1094/PHYTO-01-17-0032-R

CHOUDHARY, D.; PRAKASH, A.; JOHRI, B. N. Induced systemic resistance (ISR) in plants: mechanism of action. **Indian J Microbiol**, v. 47, p. 289-297, dez. 2007. DOI: doi.org/10.1007/s12088-007-0054-2

CONRATH, U.; BECKERS, G. J. M.; FLORS, V.; GARCÍA-AGUSTÍN, P.; JAKAB, G.; MAUCH, F.; NEWMAN, M-A.; PIETERSE, C. M. J.; POINSSOT, B.; POZO, M. J.; PUGIN, A.; SCHAFFRATH, U.; TON, J.; WENDEHENNE, D.; ZIMMERLI, L.; MAUCH- MANI, B. Priming: getting ready for battle. **Molecular Plant Microbe Interact**, v. 19, n. 10, p. 1062–1071, out. 2006. Doi: 10.1094/MPMI-19-1062

COMPANT, S.; DUFFY, B.; NOWAK, J.; CLÉMENT, C.; BARKA, E. A. Use of Plant Growth-Promoting Bacteria for Biocontrol of Plant Diseases: Principles, Mechanisms of Action, and Future Prospects. **Appl Environ Microbiol**, v. 71, n. 9, p. 4951–4959, set. 2005. DOI: 10.1128/AEM.71.9.4951-4959.2005

COTTA, E. Pesquisa aponta: há 85 empresas de biológicos no ponto para fusões e aquisições. **AGFEED**, 2023. Disponível em: https://agfeed.com.br/caminhos-do-agro/pesquisa-aponta-ha-85-empresas-de-biologicos-no-ponto-para-fusoes-e-aquisicoes Acesso em: 03 abr. 2025.

COSTA, B. DE C. R. **Utilização de carvão ativado para libertação controlada de rincoforol**. 2021. 39 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021. Disponível em: https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/10440. Acesso em: 5 ago. 2024

COSTA, G. A. da. **Noções sobre interação planta - patógeno e indução de resistência em plantas**. p. 45. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2019. Disponível em: https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/1136 Acesso em: 23 abr. 2025.

CROPLIFE BRASIL[1]. Conheça os protagonistas dos produtos biológicos disponíveis no Brasil. **CROPLIFE BRASIL**, São Paulo, 2019. Disponível em: https://croplifebrasil.org/conceitos/conheca-os-protagonistas-dos-produtos-biologicos-disponiveis-no-brasil/ Acesso em: 12 ago. 2024.

CROPLIFE BRASIL[2]. Os macrobiológicos que trabalham pela produção agrícola. **CROPLIFE BRASI**L, São Paulo, 21 dez. 2020. Disponível em: https://croplifebrasil.org/noticias/os-macrobiologicos-que-trabalham-pela-producao-agricola/. Acesso em: 09 ago. 2024.

CROPLIFE BRASIL[3]. Mercado de bioinsumos cresceu 15% na safra 2023/2024. **CROPLIFE BRASIL**, São Paulo, 26 jun. 2024. Disponível em: https://croplifebrasil.org/mercado-de-bioinsumos-cresceu-15-na-safra-2023-2024/ Acesso em: 15 nov. 2024.

CUI, H.; TSUDA, K.; PARKER, J. E. Effector-triggered immunity: from pathogen perception to robust defense. **Annu. Rev. Plant Biol,** v. 66, p. 487–511, abr. 2015. Doi: 10.1146/annurev-arplant-050213-040012

D'ALESSANDRO, M.; TURLINGS, T. C. J. Advances and challenges in the identification of volatiles that mediate interactions among plants and arthropods. **Analyst,** v. 131, n. 1, p. 24-32, dez. 2005. Doi: 10.1039/b507589k

DASGUPTA, D.; KUMAR, K.; MIGLANI, R.; MISHRA, R.; PANDA, A. K.; BISHT, S. S. Chapter 1 - Microbial biofertilizers: Recent trends and future outlook. Biotechnology - Agricultural and Industrial Approach. **Arunachal Pradesh**, p. 1-26 2021. DOI: doi.org/10.1016/B978-0-12-822098-6.00001-X

DAVIS, K. R.; DARVILL, A. G.; ALBERSHEIM, P.; DELL, A. Host-Pathogen interactions: XXIX. Oligogalacturonides released from sodium polypectate by endopolygalacturonic acid lyase are elicitors of phytoalexins in soybean. **Plant Physiology,** v. 80, n. 2, p. 568–577, fev. 1986. Doi: 10.1104/pp.80.2.568

DE SILVA, N. I.; LUMYONG, S.; HYDE, K. D.; BULGAKOV, T.; PHILLIPS, A. J. L.; YAN, J. Y. Defining biotrophs and hemibiotrophs. **Mycosphere**, v. 7, n. 5, p. 545–559, jul. 2016. Doi: 10.5943/mycosphere/7/5/2

DELANEY, T. P.; UKNES, S.; VERNOOJI, B.; FRIEDRICH, L.; WEYMANN, K.; NEGROTTO, D.; GAFFNEY, T.; GUT-RELLA, M.; KESSMANN, H.;WARD, E.; RYALS, J. A central role of salicylic Acid in plant disease resistance. **Science,** v. 266, n. 5188, p. 1247-1250, nov. 1994. Doi: 10.1126/science.266.5188.1247.

DUTTA, S.; LEE, Y. H. High-throughput identification of genes influencing the competitive ability to obtain nutrients and performance of biocontrol in Pseudomonas putida JBC17. **Scientific Reports**, vol. 12, n. 872, jan. 2022. DOI: doi.org/10.1038/s41598-022-04858-z

EBRAHIM, S.; USHA, K.; SINGH, B. Pathogenesis related (PR) proteins in plant defense mechanism: **Science against microbial pathogens:** Communicating current research and technological advances, v. 2, p. 1043-1054, jan. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/284957170. Acesso em: 15 nov. 2024.

EILIENBERG, J.; HAJEK, A. E.; LOMER, C. Suggestions for unifying the terminology in biological control. **BioControl**, v. 46, n. 4, p. 387-400, dez. 2001. Doi: doi.org/10.1023/A:1014193329979

FARIA, G. Manejo da resistência nas lavouras deve ser uma responsabilidade compartilhada. *In:* III Seminário Mato-grossense sobre Manejo de Resistência, 3ª ed. 2023, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: Embrapa Agrossilvopastoril, 2023. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/84574710/manejo-da-resistencia-nas-lavouras-deve-ser-uma-responsabilidade-compartilhada Acesso em: 23 abr. 2025.

FERRARI, S.; GALLETTI, R.; DENOUX, C.; de LORENZO, G.; AUSUBEL, F. M.; DEWDNEY, J. Resistance to Botrytis cinerea induced in Arabidopsis by elicitors is independent of salicylic acid, ethylene, or jasmonate signaling but requires PHYTOALEXIN DEFICIENT3. **Plant Physiology**, v. 144, n. 1, p 367–379, mai. 2007. Doi: doi.org/10.1104/pp.107.095596.

FERRARI, S.; SAVATIN, D. V.; SICILIA, F.; GRAMEGNA, G.; CERVONE, F.; de LORENZO, G. Oligogalacturonides: plant damage-associated molecular patterns and regulators of growth and development. **Frontiers Plant Science**, v. 4, n. 49, p. 1-9, mar. 2013. Doi: doi.org/10.3389/fpls.2013.00049

FERREIRA, T. C.; LAGO, L. do; SILVA, L. G.; PACIFICO, M. G.; FARIA, M. R. de; BETTIOL, W. Potencial de Bacillus spp. em promover o crescimento e controlar Fusarium verticillioides em milho. **Summa Phytopathol,** Botucatu, v. 47, n. 4 p. 195-203, mai. 2021. Doi: 10.1590/0100-5405/241384

FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. Controle Biológico de Pragas da Agricultura. **EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnologia**, Brasília,1 ed. P. 510. 2020. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1121825/1/CBdocument.pdf Acesso em: 07 dez. 2024.

FONTES, E. M. G.; PIRES, C. S. S.; SUJII, E. R. Estratégias de uso e histórico. *In:* FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. Controle Biológico de Pragas da Agricultura. **EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnologia**, Brasília, 1 ed. P. 21-43. 2020. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1121825/1/CBdocument.pdf Acesso em: 07 dez. 2024.

FRANÇA, D. As técnicas de controle biológico projetam um futuro promissor e lucrativo para a agricultura. **Revista Inovação & Desenvolvimento**, Pernambuco, IV Edição, v. 1, n. 4, p. 10-13, out. 2020. Disponível em: https://revistainovacao.facepe.br/index.php/revistaFacepe/article/view/39 Acesso em: 25 jan. 2025.

FU, Z. Q.; DONG, X. Systemic acquired resistance: turning local infection into global defense. **Annual Review of Plant Biology**, v. 64, p. 839–863, jan. 2013. Doi: doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105606

FUMAGALLI, W. **Manejo Integrado de Pragas (MIP) com Ênfase no Controle Biológico (CB).** 2021, p. 29 . Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – UNIC, Sorriso, 2021. Disponível em:

https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/46289/1/WELLINGTON_DE_SOUZA_FUMAGALLI_ATIVIDADE3.pdf.pdf Acesso em: 10 nov. 2024.

GALLETTI, R.; DENOUX, C.; GAMBETTA, S.; DEWDNEY, J.; AUSUBEL, F. M.; DE LORENZO, G.; FERRARI, S. The AtrbohD-mediated oxidative burst elicited by oligogalacturonides in Arabidopsis is dispensable for the activation of defense responses effective against Botrytis cinerea. **Plant Physiol**, v. 148, n. 3, p. 1695–1706, nov. 2008. Doi: 10.1104/pp.108.127845

GALLETTI, R.; FERRARI, S.; DE LORENZO, G. Arabidopsis MPK3 and MPK6 play different roles in basal and oligogalacturonide- or flagellin-induced resistance against Botrytis cinerea. **Plant Physiol,** v. 157, n. 2, p. 804–814, jul. 2011. Doi: 10.1104/pp.111.174003

GEBAUER, J. T. **Ocorrência natural de *Trichoderma* em Laranjeiras do Sul-PR e seu efeito na inibição de fitopatógenos de solo do feijoeiro.** 2020. P. 75. Dissertação (Mestrado) - Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2020. Disponível em: https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/3915 Acesso em 16 dez. 2024.

GLOBAL CROP PROTETION. **O mercado de defensivos biológicos no Brasil: Principais destaques e expectativas para o futuro.** Disponível em: https://globalcropprotection.com/noticias/analises-gcp/o-mercado-de-defensivos-biologicos-no-brasil-principais-destaques-e-expectativas-para-o-futuro/ Acesso em: 03 abr. 2025

GUO, R.; LI, G.; ZHANG, Z.; PENG, X. Structures and Biological Activities of Secondary Metabolites from *Trichoderma harzianum*. **Marine Drugs;** v. 20, N. 11, p. 701; out. 2022. DOI: doi.org/10.3390/md20110701.

GOULET, F. Biological inputs and agricultural policies in South America: between disruptive innovation and continuity. **CIRAD, Perspective,** v.55, p. 1-4, mai, 2021. Doi: 10.19182/perspective/36383

GOPALAKRISHNAN, S.; SATHYA, A.; VIJAYABHARATHI, R.; K VARSHNEY, R., LAXMIPATHI GOWDA, C. L.; KRISHNAMURTH, L. Plant growth promoting rhizobia: challenges and opportunities. **3 Biotech**, v. 5, p. 355-377, 2014. DOI: doi.org/10.1007/s13205-014-0241-x

HAJEK, A. E.; SHAPIRO-ILAN, D. I. Ecology of Invertebrate Diseases. **Journal of Wildlife Diseases,** v. 55, n. 3, p. 742-744, mar. 2018. DOI: doi.org/10.7589/0090-3558-55.3.742

HARMAN, G.E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. Trichoderma species - opportunistic, avirulent plant symbionts. **Natural Reviews Microbiology**, v.2, p.43- 56, jan. 2004. DOI: 10.1038/nrmicro797

HARTERREITEN-SOUZA, E. S.; PIRES, C. S. S.; CARNEIRO, R. G.; SUJII, E. R. **Predadores e parasitóides: aliados do produtor rural no processo de transição**

**agroecológica**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, p. 89, 2011. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/931099 Acesso em: 06 abr. 2025.

HERMOSA, R.; VITERBO, A.; CHET, I.; MONTE, E. Plant-beneficial effects of Trichoderma and of its genes. **Microbiology**, v. 158, n. 1, p. 17–25, jan. 2012. DOI: 10.1099/mic.0.052274-0

HOU, S.; LIU, Z.; SHEN, H.; WU, D. Damage-Associated Molecular Pattern-Triggered Immunity in Plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 646, p. 1-16, mai. 2019. DOI: doi.org/10.3389/fpls.2019.00646

IEDE, E. T.; PENTEADO, S. R. C.; REIS FILHO, W. **Uso de nematoides no controle da vespa-da-madeira.** Colombo, Embrapa Florestas, 2005. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/304715/4/Vespa2005.pdf Acesso em: 06 abr. 2025.

JEFFERS, A. H.; CHONG, J. H. Biological Control strategies in integrated pest management (IPM) programs. **Clemeson Extension**, p. 1-9, LGP 1111, mai. 2021. Disponível em: https://lgpress.clemson.edu/publication/biological-control-strategies-in-integrated-pest-management-ipm-programs/ Acesso em: 06 abr. 2025.

JISHA, M. S.; LINU, M. S.; SREEKUMAR, J. Induction of systemic resistance in chilli (Capsicum annuum L.) by Pseudomonas aeruginosa against anthracnose pathogen Colletotrichum capsici. **Tropical Agriculture. Kerela**, v. 56, n. 2, p. 153–166, jan. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333379962_Induction_of_systemic_resistance_in_chilli_Capsicum_annuum_L_by_Pseudomonas_aeruginosa_against_anthracnose_pathogen_Colletotrichum_capsici Acesso em: 26 jan. 2025.

JUNQUEIRA, G. D. Controle biológico: um amigo natural da produção sustentável. SEAB/SP. **Agroanalysis**, p. 48. Maio 20219. Disponível em: https://periodicos.fgv.br/agroanalysis/article/download/79710/76268/167645&ved=2ahUKEwjsuvTv3OKLAxWiJ7kGHd8vCOwQFnoECAsQAQ&usg=AOvVaw1P5HDRxQ8dGjikJfNVDL6t Acesso em: 10 nov. 2024.

KAVITHA, P. G.; JONATHAN, E. I.; MEENA, K. S. Induction of defence enzymes in tomato by plant growth promoting rhizobacterium, Pseudomonas fluorescens against root-knot nematode, Meloidogyne incognita. **Indian Journal of Nematology**, v. 43, n. 1, p. 94-96, jul. 2013. Disponível em: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=zZmGvUMAAAAJ&citation_for_view=zZmGvUMAAAAJ:eQOLeE2rZwMC Acessado em: 18 ago. 2024.

KOLLER, J.; SUTTER, L.; GONTHIER, J.; COLLATZ, J.; NORGROVE, L. Entomopathogens and Parasitoids Allied in Biocontrol: A Systematic Review. **Pathogens,** vol. 12, n. 7, p. 957, jul. 2023. DOI: doi.org/10.3390/pathogens12070957

LARSEN, T. O.; PERRY, N. B.; ANDERSEN, B. Infectopyrone, a potential mycotoxins from alternaria infectoria. **Tetrahedron Letters,** v. 44, p. 4511- 4513, abr. 2003. DOI: 10.1002/chin.200338207

LEE, Y. S.; KIM, K. Y. Antagonistic potential of Bacillus pumilus L1 against root-knot nematode, Meloidogyne arenaria. **Journal Phytopathology,** v. 164, n. 1, p. 29–39, jun. 2015. DOI: https://doi.org/10.1111/jph.12421

LEE, H.-A.; LEE, H.-Y.; SEO, E.; LEE, J.; KIM, S.-B.; OH, S.; CHOI, E.; CHOI, E.; LEE, S. E.; CHOI, D. Current Understandings of Plant Nonhost Resistance. **Mol Plant Microbe Interact,** v. 30 n. 1, p. 5-15, jan. 2017. DOI: 10.1094/MPMI-10-16-0213-CR

LEE, J.; KIM, S.; JUNG, H.; KOO, BOM-KYOUNG.; HAN, J. A. Exploiting Bacterial Genera as Biocontrol Agents: Mechanisms, Interactions and Applications in Sustainable Agriculture. **Journal of Plant Biology**, vol. 66, p. 485-498, jul. 2023. DOI: doi.org/10.1007/s12374-023-09404-6

LELIS, F. V. **Utilização de diferentes dosagens de *Cordyceps javanica* sobre *Diatraea saccharalis* da cana-de-açúcar.** 2024. 32 p. Mestrado - Bioenergia e Grãos, Instituto Federal Goiano, Rio Verde, ago. 2024. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/4885/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20Fellipy%20Viana%20-%20PDF.pdf Acesso em: 07 dez. 2024

LOPES, M. J. dos S.; SANTIAGO, B. S.; da SILVA, I. N. B.; GURGEL, E. S. C. Microbial biotechnology: inoculation, mechanisms of action and benefits to plants. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e356101220585, set. 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i12.20585

LUSTOSA, G. **Mercado de bioinsumos cresceu 15% na safra 2023/2024 no Brasil, estima CropLife.** AGFEED, 2024. Disponível em: https://agfeed.com.br/negocios/mercado-de-bioinsumos-cresceu-15-na-safra-2023-2024-no-brasil-estima-croplife Acesso em: 03 abr. 2025

MATTEI, D.; PAMPHILA, J. A.; OLIVEIRA, J. A. dos SANTOS.; BATTISTUS, A. G. Bacillus: a eco-friendly source for plant development and sanity. **Research, Society and Development,** v. 11, n. 15, p. e285111537199, nov. 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i15.37199

MATTIACCI, L.; DICKE, M.; POSTHUMUS, M. A. beta-Glucosidase: an elicitor of herbivore-induced plant odor that attracts host-searching parasitic wasps. **National Academy of Sciences,** v. 92, n. 6, p. 2036–2040, 1995. DOI: doi.org/10.1073/pnas.92.6.2036

MÉLO-FILHO, L. R.; GUENTHER, M. A resistência sistêmica induzida como alternativa sustentável ao uso de agrotóxicos. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente,** v. 8 (Ed.esp.), p. 27–38, mai. 2015. DOI: doi.org/10.17765/2176-9168.2015v8nEd.esp.p27-38

MEYER, M. C.; BUENO, A. de F.; MAZARO, S. M.; da SILVA, J. C. **Bioinsumos na cultura da soja.** Brasília: Embrapa Soja, p. 1-550, 2022. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1143066/1/Bioinsumos-na-cultura-da-soja.pdf Acesso em: 06 abr. 2025.

MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; da SILVA J. C. ***Trichoderma*: uso na agricultura.** Brasília: Embrapa Soja, 2019. Disponível em:https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/208230/1/livro-trichoderma-online-06.01.20.pdf Acesso em: 05 nov. 2024.

MICHEREFF, M. F. F.; BORGES, M.; LAUMANN, R. A.; DANIEL, D.; LAGO, C. L. do; BLASSIOLI-MORAES; M. C. The influence of resistant soybean cultivars on the biological development of *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae). **Journal of Plant Interactions,** v. 14, n. 1, p. 544-551, ago. 2019. DOI: doi.org/10.1080/17429145.2019.1662498

MILLER, R. H. A. Soil Microbiological Inputs for Sustainable Agricultural Systems. *In:* EDWARDS, C.A. **Sustainable Agricultural Systems** (1st ed.), CRC Press, 2020. p. 1-712.

MONNERAT, R.; MONTALVÃO, S. C. L.; MARTINS, E. S.; QUEIROZ, P. R.; SILVA, E. Y. Y. da; GARCIA, A. R. M.; CASTRO, M. T. de; ROCHA, G. T.; FERREIRA, A. D. C. de L.; GOMES, A. C. M. M. **Manual de produção e controle de qualidade de produtos biológicos à base de bactérias do gênero Bacillus para uso na agricultura.** Documento 369, Brasília: Embrapa Recursos Genéticos E Biotecnologia, p. 1-47, ISSN 0102-0110, mai. 2020. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1122563 Acesso em: 15 nov. 2024.

MOREIRA, A. C. S.; LOPES, E. A.; VOSÔTTO, L. E.; SOARES, M. S.; LONDE, M. L. A.; RIBEIRO, L. B.; TERRA, W. C.; DOS REIS, C. N. *Bacillus amyloliquefaciens* strain BaNCT02: An antagonist with multiple mechanisms of action against *Meloidogyne incognita.* **Plant Pathology,** v. 74, n. 2, p. 320-329, out. 2024. DOI: doi.org/10.1111/ppa.14021

NASCIMENTO, V. C.; RODRIGUES-SANTOS, K. C.; CARVALHO-ALENCAR, K. L.; CASTRO, M. B.; KRUGER, R. H.; LOPES, F. A. C. *Trichoderma:* biological control efficiency and perspectives for the Brazilian Midwest states and Tocantins. **Brazilian Journal of Biological,** v. 82, ago. 2022. DOI: doi.org/10.1590/1519-6984.260161

NAVARRO, D. M. do. A. F.; MURTA, M. M.; DUARTE, A. G.; LIMA, I. S. de; NASCIMENTO, R. R. do; SANT'ANA, A. E. G. Aspectos práticos relacionados ao uso do rincoforol, o feromônio de agregação da broca-do-olho-do-coqueiro *Rhynchophorus Palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae) no controle de pragas do coqueiro. Análise de sua eficiência em campo. **Química Nova**, v. 25, n. 1, 32-36. fev. 2002. DOI: doi.org/10.1590/S0100-40422002000100007

NEGRISOLI JUNIOR, A. S.; NEGRISOLI, C. R de, C. B. SILVA, A . P. de O. Produção e Armazenamento de nematoides entomopatogênicos. **Documento 202**,

Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, ISSN 1678-1953, p. 1-27, dez. 2015. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1042734 Acesso em: 01 dez. 2024.

NEJAT, N.; MANTRI, N. Plant Immune System: Crosstalk Between Responses to Biotic and Abiotic Stresses the Missing Link in Understanding Plant Defence. **Current Issues Molecular Biology**, v. 23, p. 1–16, 2017. DOI: doi.org/10.21775/cimb.023.001

NICAISE, V.; ROUX, M.; ZIPFEL, C. Recent Advances in PAMP-Triggered Immunity against Bacteria: Pattern Recognition Receptors Watch over and Raise the Alarm. **Plant Physiology**, v. 150, n. 4, p. 1638–1647. ago. 2009. DOI: doi.org/10.1104/pp.109.139709

PANDIT, M.A.; JUMAR, J.; GULATI, S.; BHANDARI, N.; MEHTA, P.; KATYAL, R.; RAWAT, C.D.; MISHRA, V.; KAUR, J. Major Biological Control Strategies for Plant Pathogens. **Pathogens**, v. 11, n. 2, p. 1-21. fev. 2022. DOI: doi.org/10.3390/pathogens11020273

PARRA, J. R. P.; PINTO, A. de. S.; NAVA, D. E.; OLIVEIRA, R. C.de.; DINIZ, A. J. F. Conceito e Evolução do controle biológico - Capítulo 1. *In:* PARRA, J. R. P.; PINTO, A. de. S.; NAVA, D. E.; OLIVEIRA, R. C.de.; DINIZ, A. J. F. **Controle Biológico com Parasitóides e Predadores na agricultura brasileira.** Piracicaba: FEALQ, 2023. P. 835.

PARRA, J. R. P. Biological Control in Brazil: na overview. **Sci. Agric**, v. 71, n. 5, out. 2014. DOI: doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0167

PARRA, J. R. P. Elaboração de programas de controle biológico: uma visão inter e multidisciplinar - Capítulo 2. *In:* PARRA, J. R. P.; PINTO, A. de. S.; NAVA, D. E.; OLIVEIRA, R. C.de.; DINIZ, A. J. F. **Controle Biológico com Parasitóides e Predadores na agricultura brasileira.** Piracicaba: FEALQ, 2023. P. 835.

PATEL, H.; KRISHNAMURTHY, R. Elicitors in plant tissue culture. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 2, n. 2, p. 60-65, ISSN 2278- 4136, 2013. Disponível em: https://www.phytojournal.com/archives?year=2013&vol=2&issue=2&part=A&ArticleId=141 Acesso em: 18 ago. 2024.

PAULA, A. F. de. **Identificação taxonômica, potencial agrícola e biotecnológico de bactérias endofíticas e rizosféricas associadas a *Paspalum atratum* e *P. notatum*.** 2019, p. 87. Dissertação (Doutorado) - Genética Molecular, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1118262/1/IdentificacaoTaxonomicaPotencial.pdf Acesso em: 20 fev. 2025.

PEDRAZZOLI, D. S.; HERMANN, G. R. Análise de Mercado de Defensivos Agrícolas Naturais – Capítulo 3. *In:* HALFELD-VIEIRA, B. de A.; MARINHO-PRADO, J. S.; NECHET, K. de L.; MORANDI, M. A. B.; BETTIOL, W. **Defensivos Agrícolas**

**Naturais: Uso e Perspectiva**. 1ª Ed. Brasília, Embrapa Meio Ambiente, 2016. p. 853.

PENNACHIO, F.; CACCIA, S.; DIGILIO, M. C. Host Regulation and Nutritional Exploitation by Parasitic Wasps. **Current Opinion in Insect Science**, v. 6, p. 74-79, dez. 2014. DOI: doi.org/10.1016/j.cois.2014.09.018

PEÑAFLOR, M. F. G. V.; ERB, M.; MIRANDA, L. A.; WERNEBURG, A. G.; BENTO, J. M. S. Herbivore-Induced Plant Volatiles Can Serve as Host Location Cues for a Generalist and a Specialist Egg Parasitoid. **Journal of Chemical Ecology**, v. 37, n. 12, p. 1304-1313, dez. 2011. DOI: 10.1007/s10886-011-0047-9

PENDSE, M. A.; KARWANDE, P. P.; LIMAYE, M. N. Past, present and future of nematophagous fungi as bio-agent to control plant parasitic nematodes. **Journal of Plant Protection Sciences**, v. 5, n. 1 p. 1–9. mai. 2013. Disponível em: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20143012507 Acesso em: 18 ago. 2024.

PENTEADO, S. do R. C.; IEDE, E. T.; REIS FILHO, W. Manual para o controle da vespa-da-madeira em plantios de pínus. **Documento 392,** Colombo, Embrapa Florestas, p. 39, ISSN: 1517-526X; 1980-3958, jun. 2024. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1164868 Acesso em: 01 dez. 2024.

PIETERSE, C. M. J.; ZAMIOUDIS, C.; BERENDSEN, R. WELLER, D. M. VAN WEES, S. C. M.; BAKKER, P. A. H. M. Induced systemic resistance by beneficial microbes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 52, p. 347-375, jun. 2014. DOI: 10.1146/annurev-phyto-082712-102340

POULIN, R. Evolutionary Ecology of Parasites (2nd Edition). **Comparative Parasitology**, v. 75, n. 1, p. 153-156, jan. 2008. DOI: doi.org/10.1654/5000.1

QUADROS, F. M. de; FREITAS, M. B. de; STADNIK, M. J. Bioestimulantes e indutores de resistência no manejo de estresses em plantas. **Revista Campo & Negócios**, 2018. Disponível em: https://revistacampoenegocios.com.br/bioestimulantes-e-indutores-de-resistencia-no-manejo-de-estresses-em-plantas/ Acesso em: 23 abr. 2025.

RAMOS, I. G. **Zeólitas como dispositivo de liberação prolongada de rincoforol**. 2012. P. 175. Dissertação (Doutorado) - Química Analítica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012. Disponível em: http://www.repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/12650 Acesso em: 12 ago. 2024.

REGLINSKI, T.; HAVIS, N.; REES, H. J.; JONG, H de. The practical role of induced resistance for crop protection. **Phytopathology**, Minnesota, v. 113, n. 4, p. 719-731, mai. 2023. DOI: doi.org/10.1094/PHYTO-10-22-0400-IA

RODRIGUES, F. A.; SILVEIRA, P. R.; CACIQUE, I. S. Indução de Resistência no Manejo de Nematoides. *In:* XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE

NEMATOLOGIA, **Anais...** Caldas Novas, 2019. ISBN: 978-85-66836-25-7. Disponível em: http://anais.infobibos.com.br/cbn/36/Palestras/Fabricio%20Avila.pdf Acesso em: 18 ago. 2024.

SALVADORI, C. N.; SCHUSTER-RUSSIANO, M. C.; DOS SANTOS, J. C.; BARROS, G. MAZARO, S. M. Eficiência de *Trichoderma harzianum* e *Bacillus amyloliquefaciens* no controle biológico de fitopatógenos de solo. **Anais do XII Congresso Brasileiro de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024. ISSN 2236-7934. Disponível em: https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/7721/5591 Acesso em: 26 jan. 2025.

SERDO, D. F.; DEGAGA, E. G. The Hidden World of Insect-Plant Interactions: a review. **Journal of Science**, v. 46, n. 3, p. 356-383, mar. 2024. DOI:10.4314/sinet.v46i3.12

SILVA, A.C. **Ecologia das interações entre predadores afidófagos em agroecossistemas.** 2021. p. 92. Dissertação (Mestrado) - Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2021. Disponível em: https://repositorio.unb.br/handle/10482/41598 Acesso em: 15 nov. 2024.

SILVA, A. F. G. da; BARBOSA, K. de A.; SILVA, A. F.; CRUZ, J. E. Potencial dos bioinsumos para a agricultura sustentável: uma análise a partir de suas características, conceitos e vantagens. **Revista Mirante**, Anápolis, v. 17, n. 2, p. 250-265, dez. 2024. ISSN 1981-4089. Disponível em: https://www.revista.ueg.br/index.php/mirante/article/view/16196 Acesso em: 07 dez. 2024.

STEVENS, A. N. P. Predation, Herbivory, and Parasitism. **Nature Education Knowledge,** v. 3, n. 10, p. 36-47, 2010. Disponível em: https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1962&context=natrespapers Acesso em: 30 mar. 2025.

STONER, K. Approaches to the Biological Control of Insect Pests. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE) - Departamento de Entomologia. **Boletim 7144**. Disponível em: https://extension.umaine.edu/publications/7144e/ Acesso em: 2 ago. 2024.

STRACQUADANIO, C.; QUILES, J. M.; MECA, G.; CACCIOLA, S. O.; Antifungal Activity of Bioactive Metabolites Produced by *Trichoderma asperellum* and *Trichoderma atroviride* in Liquid Medium. **Journal of Fungi**; v. 6, n. 4, p. 263, nov. 2020. DOI:10.3390/jof6040263.

SUJII, E. R.; PIRES, C. S. S.; FONTES, E. M. G.; HARTERREITEN-SOUZA, E. S.; FARIA, M. R. de. Relações ecológicas no controle biológico. *In:* FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Controle Biológico de Pragas da Agricultura**. Brasília, Embrapa Recursos Geneticos e Biotecnologia, 1 ed. P. 45-62. 2020. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1121825/1/CBdocument.pdf Acesso em: 07 dez. 2024.

TABEBORDBAR, F.; SHISHEHBOR, P.; EBRAHIMI, E.; POLASZEK, A.; UGINE, T. A. Effect of Different Constant Temperatures on Life History and Life Table Parameters of *Trichogramma euproctidis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 115, n. 2, p. 474–481, abr. 2022. DOI: doi.org/10.1093/jee/toac007

TEIXEIRA, H.; VIEIRA, B. S.; CHALFOUN, S. M.; GUIMARÃES, R. A. Ferramentas do manejo alternativo de doenças de plantas. *In:* VENZON, M.; NEVES, W. dos, S.; PAULA JUNIOR, T. J.; PALLINI, A. **Controle alternativo de pragas e doenças: opção ou necessidade?** 22ª Ed. Belo Horizonte, EPAMIG, 2021. p. 1-152.

TON, J.; VAN PELT, J. A.; VAN LOON, L. C.; PIETERSE, C. M. J. Differential effectiveness of salicylate-dependent and jasmonate/ethylene-dependent induced resistance in Arabidopsis. **Mol Plant Microbe Interact**, v. 15, n. 1, p. 27-34, fev. 2002. DOI: 10.1094/MPMI.2002.15.1.27

TORRES, J. B.; BUENO; A. de. F. Conservation biological control using selective insecticides – A valuable tool for IPM. *In:* LEWIS, E. **Biological Control**. Idaho: Editorial Board, 2018, v. 126, p. 53-64. DOI: doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.07.012

TORREZAN, E. **Caracterização dos mecanismos de indução de resistência à ferrugem asiática da soja (Phakopsora pachyrhizi), por meio de dados ômicos, em plantas de soja tratadas com oligogalacturonídeos (OGs).** 2023. p. 71. Dissertação (Mestrado) - Ciência Biológicas, ESALQ - Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2023.

TRINDADE, M. M. S. **Mecanismo de defesa e resistência das plantas a agentes patogénicos**. 2021. P. 79. Dissertação (Mestrado em Agronomia) **–** Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia. Évora, 2021. Disponível em: http://hdl.handle.net/10174/29296 Acesso em: 26 ago. 2024.

UNDERWOOD, W. The plant cell wall: a dynamic barrier against pathogen invasion. **Frontiers in Plant Science,** v. 3, p. 85, mai. 2012. DOI: doi.org/10.3389/fpls.2012.00085

ULISSES, R. Quase 200 bioinsumos são registrados no MAPA em 2024! **AgroRevenda,** jan. 2025. Disponível em: https://agrorevenda.com.br/radar-agro/quase-200-bioinsumos-sao-registrados-no-mapa-em-2024-riba-ulisses/ Acesso em: 03 abr. 2025.

VAN LOON, L. C.; VAN STRIEN, E. A. The families of pathogenesis-related proteins, their activities, and comparative analysis of PR-1 type proteins. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 55, n. 2, p. 85-97, ago. 1999. DOI: doi.org/10.1006/pmpp.1999.0213

VAN LOON, L. C.; BAKKER, P. A. H. M. PIETERSE, C. M. J. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. **Annual Review of Phytopathology**, v. 36, p. 453-483, set. 1998. DOI: 10.1146/annurev.phyto.36.1.453

VINALE, F.; SIVASITHAMPARAM, K. Beneficial effects of Trichoderma secondary metabolites on crops. **Phytotherapy Research;** v. 34; n. 11, p. 2835-2842, jun. 2020. DOI:10.1002/ptr.6728

WANG, D.; LI, Y.; YUAN, Y.; CHU, D.; CAO, J.; SUN, G.; AI, Y.; CUI Z.; ZHANG, Y.; WANG,, F.; WANG, X. Identification of non-volatile and volatile organic compounds produced by Bacillus siamensis LZ88 and their antifungal activity against Alternaria alternata. **Biological Control - Elsevier**, v. 169, 104901, jun. 2022. DOI: doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.104901

ZIPFEL, C. Pattern-recognition receptors in plant innate immunity. **Current Opinion in Immunology**, v. 20, n. 1, p. 10–16, fev, 2008. DOI: doi.org/10.1016/j.coi.2007.11.003