

INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS
COORDENAÇÃO DE CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu* EM BIOINSUMOS
IF GOIANO CAMPUS CRISTALINA

LEONARDO BUZAR PIRES COSTA MEIRELES

**USO DE METABOLITOS DE MICRORGANISMOS PARA CONTROLE DE
DOENÇAS EM PLANTAS**

CRISTALINA, GO

2025

LEONARDO BUZAR PIRES COSTA MEIRELES

**USO DE METABOLITOS DE MICRORGANISMOS PARA CONTROLE DE
DOENÇAS EM PLANTAS**

Monografia apresentado à Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação *lato sensu* em Bioinsumos do Instituto Federal Goiano como exigência parcial para obtenção do título de especialista.

Orientador: Prof. Dr. Cássio Jardim Tavares.
Coorientador: Profa. Dra. Geisiane Alves Rocha.

CRISTALINA, GO

2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

M514u Meireles, Leonardo Buzar Pires Costa
 Uso de metabólitos de microrganismos para controle de doenças
 em plantas / Leonardo Buzar Pires Costa Meireles. Cristalina
 2025.

 31f. il.

 Orientador: Prof. Dr. Cássio Jardim Tavares.
 Coorientadora: Prof^a. Dra. Geisiane Alves Rocha.
 Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de
 1030426 - Especialização em Bioinsumos - Cristalina (Campus
 Cristalina).
 1. Bactérias. 2. Bioinsumos. 3. Indutores de resistência. 4.
 Fungos. I. Título.

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos dezoito dias do mês de outubro de dois mil e vinte e cinco, às 14 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Cássio Jardim Tavares (orientador), Profa. Dra. Míriam de Almeida Marques (Membro), Me. Bruno Barboza dos Santos (Membro) e Profa Dra. Geisiane Alves Rocha (coorientadora) para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “Uso de metabólitos de microrganismos para controle de doenças em plantas” de Leonardo Buzar Pires Costa Meireles, estudante da *ato sensu* em Bioinsumos do Centro de Excelência em Bioinsumos (CEBIO) do IF Goiano – Campus Cristalina, sob Matrícula nº 2024110304260007. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Cristalina, 18 de outubro de 2025.

(Assinado eletronicamente)

Dr. Cássio Jardim Tavares

Orientador

(Assinado eletronicamente)

Dra. Míriam de Almeida Marques

Membro da Banca Examinadora

(Assinado eletronicamente)

Me. Bruno Barboza dos Santos

Membro da Banca Examinadora

(Assinado eletronicamente)

Dra. Geisiane Alves Rocha

Membro da Banca Examinadora (coorientadora)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Cassio Jardim Tavares**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 18/10/2025 15:18:32.
- **Geisiane Alves Rocha**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 18/10/2025 15:20:43.
- **Bruno Barboza dos Santos**, CHEFE - SUB-CHEFIA - GADMP-CRT , em 20/10/2025 08:14:10.
- **Miriam de Almeida Marques**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 20/10/2025 19:34:57.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 18/10/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 755393

Código de Autenticação: bafc945f92



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

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

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

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

Local

/ /
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

À minha família - instrumento de amor, fonte de incentivo - sem vocês nada seria possível.

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui foi uma jornada de muitos desafios e conquistas e, com certeza, eu não teria conseguido sozinho.

Agradeço a Deus, por me dar forças e direção ao longo do caminho.

Aos meus pais, Márcia Buzar Pires e Flávio de Jesus Costa, por todo apoio e incentivo nesta longa caminhada.

À minha namorada, Maria Rita Ribeiro Pedroso, pelo incentivo;

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano), Centro de Referência em Produção Sustentável e Irrigação, FAPEG (Macroprojeto CEBIO) e FUNAPE por fornecer a estrutura e condições necessária para a condução do trabalho.

A Equipe Verdiza Agricultura Científica e Alltech Crop Science, em especial ao Matheus Henrique Pereira Medeiros, pelo apoio.

A todos vocês, meu muito obrigado



BIOGRAFIA DO ALUNO

Leonardo Buzar Pires costa Meireles é engenheiro agrônomo formado pela universidade de Brasília (UnB). Atua na área de comercialização de produtos agrícolas com foco em bioinsumos.

RESUMO

Ao longo do tempo, a legislação ambiental tem avançado bastante, o que tem ajudado a incentivar o uso de bioinsumos na agricultura e a promover práticas mais sustentáveis. Com a preocupação crescente sobre os impactos ambientais da agricultura tradicional, os governos têm apoiado a adoção de métodos mais responsáveis, como o uso de bioinsumos. Esses produtos têm um papel fundamental na agricultura sustentável, ajudando a diminuir o uso de agrotóxicos e a proteger o meio ambiente. Hoje em dia, os agricultores podem escolher entre diferentes tipos de bioinsumos no mercado, como fertilizantes orgânicos, biopesticidas e indutores de resistência. Cada um deles possui características específicas que atendem às necessidades de diversas culturas agroflorestais, trazendo benefícios tanto econômicos quanto ambientais para quem produz. Aproximadamente 7.000 metabólitos produzidos por microrganismos já foram identificados, e muitos deles apresentam diferentes atividades biológicas, sendo: biofertilizantes, biopesticidas e bioestimulantes. Quando o assunto de metabólitos usados na agricultura, as bactérias e os fungos são os microrganismos que mais se destacam na sua produção. Diante disso, esse trabalho apresenta-se como uma revisão de literatura destacando os benefícios, os desafios, as aplicações e as perspectivas futuras dos bioinsumos na agricultura.

Palavras-chave: Bactérias. Bioinsumos. Indutores de resistência. Fungos.

ABSTRACT

Over time, environmental legislation has advanced significantly, which has helped to encourage the use of bioinputs in agriculture and promote more sustainable practices. With growing concern about the environmental impacts of traditional agriculture, governments have supported the adoption of more responsible methods, such as the use of bioinputs. These products play a fundamental role in sustainable agriculture, helping to reduce the use of pesticides and protect the environment. Today, farmers can choose from different types of bioinputs on the market, such as organic fertilizers, biopesticides and resistance inducers. Each of them has specific characteristics that meet the needs of different agroforestry crops, bringing both economic and environmental benefits to those who produce them. Around 7,000 metabolites produced by microorganisms have already been identified, and many of them have different biological activities, being biofertilizers, biopesticides and biostimulants. When it comes to metabolites used in agriculture, bacteria and fungi are the microorganisms that stand out most in their production. This work is presented as a literature review highlighting the benefits, challenges, applications and future perspectives of bioinputs in agriculture.

Keyword: Bacteria. Bioinputs. Resistance inducers. Fungi.

SUMÁRIO

RESUMO	10
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	133
2.2 Objetivos Específicos	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	155
4.1 Bioinsumos na agricultura moderna.....	155
4.2 Microrganismos benéficos e sua importância agrícola	166
4.3 Metabólitos microbianos	177
4.3.1 Tipos e Funções	177
4.4 Mecanismos de ação no controle de fitopatógenos	20
4.4.1 Inibição direta dos patógenos	20
4.4.2 Indução de resistência sistêmica em plantas	223
4.5 Estudos de caso e aplicações práticas	233
4.5.1 Fungos e bactérias produtoras de metabólitos bioativos.....	233
4.5.2 Exemplos na cultura da soja	255
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	277
6. REFERÊNCIAS	288

1. INTRODUÇÃO

A agricultura moderna tem o desafio de atender à crescente demanda por alimentos, fibras e biocombustíveis, ao mesmo tempo em que busca reduzir os impactos ambientais e cuidar da saúde do solo. Nesse sentido, sabe-se que as doenças de plantas representam uma das maiores ameaças à agricultura mundial, afetando não só a quantidade, mas também a qualidade da produção de alimentos. Estima-se que as perdas anuais globais causadas por doenças de plantas ultrapassem os 30 % da produção em muitas culturas, o que equivale a centenas de milhares de milhões de dólares e representa um sério risco à segurança alimentar (LEE et al., 2023). Essas perdas resultam de diversos agentes patogênicos — fungos, bactérias, vírus, nematoides — que atacam as plantas, reduzindo a sua capacidade fotossintética, comprometendo a estrutura e fisiologia dos tecidos vegetais e, conseqüentemente, diminuindo o rendimento ou provocando a perda total da colheita. Além disso, há impacto econômico e social significativo: custos maiores com controle fitossanitário, aplicação de fungicidas, mão de obra adicional, perdas de mercado por qualidade inferior e aumento do risco para agricultores e para os sistemas alimentares (ROUMA, 2025).

Nesse cenário, os microrganismos — como bactérias, fungos e actinomicetos — produzem uma vasta gama de metabólitos secundários (além dos metabólitos primários essenciais) que desempenham funções ecológicas variadas, incluindo competição, defesa e sinalização (MORALES et al., 2010). No contexto agrícola, vários desses metabólitos têm demonstrado atividade fungicida — isto é, capacidade de inibir o crescimento ou matar fungos patogênicos de plantas. Por exemplo, voláteis orgânicos, compostos fenólicos, peptídeos, poliquetídeos ou alcaloides produzidos por microrganismos podem interferir com o crescimento fúngico, alterar a permeabilidade da membrana fúngica, inibir germinação de esporos ou activar respostas de resistência da planta hospedeira. Esses metabólitos fungicidas são especialmente relevantes em estratégias biológicas de controlo de doenças de plantas, como alternativa ou complemento ao uso de fungicidas químicos, visando maior sustentabilidade e menor impacto ambiental (WANG et al., 2021).

Dessa forma, o desenvolvimento dos bioinsumos ao longo do tempo mostra como a sociedade e, especialmente, a pesquisa têm se interessado cada vez mais por uma agricultura mais sustentável. No passado, a agricultura dependia quase exclusivamente de fertilizantes químicos e pesticidas sintéticos para aumentar a produção. Mas, com o entendimento dos efeitos negativos desses produtos para o meio ambiente e a saúde das

peessoas, passou a haver uma busca por alternativas mais seguras e ecológicas (SOUZA et al., 2022).

Para entender bem o potencial dos bioinsumos na agricultura, é importante conhecer seus conceitos, características e formas de uso. Conhecer esses detalhes ajuda a aproveitar melhor essas inovações no campo, tornando sua aplicação mais eficiente e eficaz, resultando em benefícios significativos para os agricultores e a produção agrícola. Os bioinsumos são classificados em várias categorias, incluindo biofertilizantes, biopesticidas e bioestimulantes, cada um desempenhando um papel fundamental na promoção da saúde das plantas e no aumento da eficiência da produção agrícola (MAZARO et al., 2022).

Embora os bioinsumos ofereçam várias vantagens, os agricultores ainda enfrentam alguns obstáculos para utilizá-los mais frequentemente em suas atividades. Muitos deles não têm conhecimento suficiente sobre a forma correta de usar esses produtos, além de haver uma resistência cultural às mudanças nas práticas tradicionais. Também, a limitação na padronização e utilização dos diferentes produtos, visto que sofrem influência das condições edafoclimáticas, cultivares e presença da praga. Esses desafios precisam ser superados para incentivar o uso maior de bioinsumos na agricultura (BORTOLOTI; SAMPAIO, 2022).

2.OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Compreender o uso de metabólitos de microrganismos no controle de doenças de plantas, destacando suas características, mecanismos de ação, aplicações práticas e sua contribuição para a agricultura.

2.2 Objetivos Específicos

Identificar e conceituar os bioinsumos, destacando os diferentes tipos e funções dos metabólitos microbianos;

Analisar a importância dos microrganismos benéficos na agricultura e seu papel na produção de metabólitos bioativos;

Descrever os mecanismos de ação dos metabólitos no controle de fitopatógenos;

Levantar fungos e bactérias com potencial para produção de metabólitos aplicados no manejo de doenças em plantas;

Apresentar exemplos práticos da utilização de metabólitos microbianos em culturas agrícolas, com ênfase na soja;

Avaliar as vantagens, limitações e perspectivas futuras do uso desses bioinsumos na agricultura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada pesquisa bibliográfica descritiva, com o objetivo de identificar produções científicas em periódicos nacionais e internacionais sobre o uso de metabólitos de microrganismos para controle de doenças em plantas. Para isso, foram utilizados os bancos de dados online disponíveis no Google Scholar, Scielo e Web of Science.

O mapeamento foi realizado com base nas publicações dos últimos 25 anos e utilizou-se a palavra-chave microrganismos e bioinsumos. Foram desconsiderados artigos anteriores ao ano de 2000 e que extrapolavam a área de pesquisa. Assim, surgiram os tópicos: bioinsumos na agricultura moderna; microrganismos benéficos e sua importância agrícola; metabólitos microbianos; mecanismos de ação no controle de fitopatógenos e estudos de casos e aplicações práticas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Bioinsumos na agricultura moderna

De acordo com o Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020, um bioinsumo é um produto, processo ou tecnologia que tem origem vegetal, animal ou microbiana e é usado na produção, armazenamento ou beneficiamento de produtos agropecuários. Isso inclui também sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas. Esses bioinsumos ajudam a melhorar o crescimento, o desenvolvimento e as respostas de animais, plantas, microrganismos e substâncias derivadas deles. Além disso, eles interagem com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos envolvidos na produção (BRASIL, 2020).

Os bioinsumos são classificados em várias categorias, incluindo biofertilizantes, biopesticidas e bioestimulantes, cada um desempenhando um papel fundamental na promoção da saúde das plantas e no aumento da eficiência da produção agrícola (MAZARO et al., 2022). Para compreender o potencial de impacto dos bioinsumos na agricultura, é fundamental explorar seus conceitos, características e formas de aplicação, já que o conhecimento desses aspectos possibilita a utilização mais eficiente e eficaz dessas inovações no campo, resultando em benefícios significativos para os agricultores e a produção agrícola.

Ao longo da história da agricultura, os bioinsumos passaram por uma evolução significativa, saindo de práticas mais simples para os avanços tecnológicos que temos hoje. No começo, os agricultores usavam métodos básicos de fertilização e controle de pragas, geralmente baseados na experiência e em substâncias naturais. Com o tempo, a pesquisa científica avançou, possibilitando o desenvolvimento de bioinsumos mais elaborados, como biofertilizantes e biopesticidas, feitos a partir de microrganismos benéficos e extratos de plantas (SANTOS et al., 2022; SOUZA et al., 2022).

Atualmente, as tendências no uso de bioinsumos apontam para uma maior busca por soluções sustentáveis na agricultura, visto que a agricultura moderna enfrenta o desafio de atender à crescente demanda por alimentos, fibras e biocombustíveis, ao mesmo tempo em que minimiza os impactos ambientais e preserva a saúde do solo. Nesse contexto, a substituição de fertilizantes e defensivos químicos sintéticos por bioinsumos têm emergido como alternativa promissora e inovadora para a prática mais sustentável da agricultura. Esses insumos, derivados de componentes biológicos ou orgânicos, têm a capacidade de promover o crescimento, a saúde e a produtividade das plantas, enquanto reduzem a dependência de produtos químicos sintéticos e os riscos a

estes associados (SOUZA et al., 2022).

Em 2024, de acordo com a consultoria DurhamTrimmer, o mercado global de produtos biológicos foi estimado em US\$ 14 bilhões, sendo 60% representado por produtos de controle, segmento que deve seguir liderando. A previsão é de crescimento anual de 13% até 2027, atingindo US\$ 20 bilhões (mais de 40% acima de 2024), impulsionado pela integração entre defensivos e bioinsumos. A América Latina deve crescer de 20% em 2021 para 29% em 2029, tornando-se o maior mercado regional de produtos de controle biológico. Nas culturas de larga escala, a participação deve passar de 13% (2021) para 20% (2029), apoiada pelo aumento da adoção nos EUA e Europa, tendo o Brasil como referência mundial em utilização de biológicos.

Segundo a CropLife Brasil, na safra 2024/2025, a área potencial tratada com bioinsumos no Brasil foi de 156 milhões de hectares, com taxa média de adoção subindo de 23% para 26%, sobre 77 milhões de hectares de área plantada. O cálculo inclui biofungicidas, bioinseticidas, bionematicidas, bioinoculantes e solubilizadores de nutrientes, aplicados em diferentes momentos da safra. O destaque em adoção foi dos bioinseticidas (26% → 30%), seguidos por biofungicidas (11% → 13%), bionematicidas (23% → 24%), bioinoculantes (54% → 56%) e solubilizadores de nutrientes (4% → 5%) em comparação a safra anterior. Sendo a utilização principalmente nas culturas: soja (62%, +7 p.p.), milho (23%, -4 p.p.), cana-de-açúcar (10%, -2 p.p.), e algodão, café, citrus e HF (6%). Entre os estados, o Mato Grosso lidera com 34% do uso total de bioinsumos, seguido por Goiás/DF (12%), São Paulo (10%), Paraná e MS (8% cada), Minas Gerais (7%) e Rio Grande do Sul (5%), mantendo os mesmos patamares da safra anterior.

4.2 Microrganismos benéficos e sua importância agrícola

Nas atividades agrícolas de base ecológica, o objetivo é usar tecnologias que se apoiam na agricultura natural, aproveitando ao máximo os recursos da natureza. Isso inclui o uso do solo, dos organismos vivos, da energia solar e da água de forma sustentável. Os microrganismos que ajudam de maneira benéfica na agricultura também são chamados de Microrganismos Eficientes. Esses microrganismos existem naturalmente no ambiente, mas podem ser adicionados às plantações para aumentar a diversidade microbiana do solo (CAETANO, 2014).

De acordo com Pugas et al. (2013), colocar esses microrganismos no solo ajuda bastante a diversificar as bactérias e outros microrganismos presentes, estimulando a decomposição da matéria orgânica. Com isso, os nutrientes ficam mais disponíveis para as plantas, que se tornam mais resistentes a doenças que poderiam prejudicar sua

produção. De modo geral, a utilização de MEs favorece e beneficia os agricultores e cultivo de diversas culturas, dentre as quais, Calero-Hurtado et al. (2019) destacam estudos com hortaliças, milho e feijão.

Segundo Avila et al. (2021), diferentes espécies de microrganismos eficientes produzem substâncias como ácidos orgânicos, hormônios vegetais (como giberelinas, auxinas e citocininas), além de vitaminas, antibióticos e polissacarídeos. Esses produtos têm um impacto positivo no crescimento das plantas, seja de forma direta ou indireta. Bonfim et al. (2011) ressaltam vários benefícios do uso desses microrganismos, pois essa é uma tecnologia econômica, natural, segura, fácil de usar e de alta qualidade. Além disso, eles representam uma fonte alternativa de renda por meio da produção de biogás, composto orgânico e biofertilizantes.

Em diferentes sistemas de produção agrícola, os microrganismos eficientes podem ajudar bastante na melhoria e no aperfeiçoamento das técnicas agrícolas, contribuindo para reduzir os impactos ambientais negativos causados pela agricultura, como: a manutenção de sistemas limpos, a produção de alimentos saudáveis, assim como, equilibrados nutricionalmente e livres de resíduos químicos (BONFIM et al., 2011).

4.3 Metabólitos microbianos

4.3.1 Tipos e Funções

Os microrganismos apresentam ampla versatilidade metabólica, produzindo milhares de compostos bioativos, como biorreguladores, antibióticos, toxinas (biopesticidas) e agentes inseticidas com diferentes funções ecológicas e aplicabilidade agrícola (DEMAIN, 1998). Aproximadamente, 7.000 metabólitos microbianos vêm sendo reportados por exibir várias atividades biológicas.

Os microrganismos que se destacam na produção de metabólitos utilizados na agricultura são principalmente bactérias e fungos, sendo grupos muito diversos que desempenham papéis cruciais em diversos ambientes. Bactérias são os seres mais antigos e estão presentes em diferentes ambientes. Por outro lado, os fungos, principalmente do solo, co-evoluíram com as plantas e possuem mecanismos para os mais diferentes tipos de solo (SAXENA & PANDEY, 2001). A exemplo, temos o fungo *Trichoderma* que possui mais de 200 espécies descritas. Na tabela 1 é apresentado alguns microrganismos que possuem ação descrita.

Tabela 1. Compilado de microrganismos, metabólitos, modo de ação, cultura-alvo e referências bibliográfica.

Microrganismo	Metabólito	Ação	Cultura-Alvo	Citação
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Toxinas Cry	Inseticida biológico	Milho	Schnepf et al., 1998
<i>Trichoderma harzianum</i>	Harzianolida	Antifúngico/Biocontrole	Soja	Vinale et al., 2006
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Ácido 2,4-diacetilfloroglúcido (DAPG)	Supressão de doenças do solo	Soja	Haas e Défago, 2005
<i>Streptomyces</i> spp. (endófitos)	Compostos voláteis e antibióticos	Biocontrole e promoção do crescimento vegetal	Soja, Milho	Vurukonda et al., 2018
<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6633 (BBG100)	Mycosubtilina	Antagonismo antifúngico e controle biológico	Soja	Leclere et al., 2020
<i>Streptomyces lydicus</i>	Actithiazic acid, natamicina ou lydimycin	Antifúngico/Biocontrole	Soja	Gómez et al., 2012
<i>Streptomyces coelicolor</i>	Antibióticos	Germinicida	Cereais	Aoki, 2011
<i>Streptomyces</i> AN090126	Antibióticos não-voláteis e voláteis	Antibacteriana e antifúngica, sinergia com estreptomicina	Solanaceas	Lee et al., 2021

Os biofertilizantes são um tipo de insumo agrícola que contém microrganismos benéficos. Esses microrganismos ajudam as plantas a crescerem melhor e facilitam a absorção dos nutrientes do solo. Eles vivem em parceria com as raízes das plantas, tornando os nutrientes mais disponíveis e promovendo um desenvolvimento mais saudável das culturas. Além disso, os biofertilizantes contribuem para a redução do uso de fertilizantes químicos, promovendo uma agricultura mais sustentável e amigável ao meio ambiente (LIMA, 2023).

Os biopesticidas também são uma categoria importante de bioinsumos usados na agricultura, a exemplo os *Bacillus spp* e *Trichoderma spp*, como citados na tabela 1. Eles são produtos naturais derivados de plantas, animais ou microrganismos que ajudam a combater pragas e doenças de forma mais sustentável. Diferente dos pesticidas químicos convencionais, os biopesticidas não deixam resíduos tóxicos nos alimentos nem causam danos ao meio ambiente. Além disso, esses produtos são mais seguros para a saúde humana e ajudam a manter a biodiversidade nos sistemas agrícolas (BALDINI & MENDIZÁBAL, 2019).

Os bioativadores são substâncias orgânicas complexas que ajudam no crescimento das plantas. Eles atuam em fatores de transcrição e na expressão dos genes, o que pode alterar a nutrição mineral, além de produzir precursores de hormônios vegetais. Isso faz com que a planta responda melhor aos nutrientes e aos hormônios. Dois inseticidas sistêmicos bastante eficazes que mostram esse efeito são o aldicarb e o

thiametoxan. No caso do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*), plantas tratadas com aldicarb tiveram maior vigor, maior taxa de fotossíntese, mais massa seca, raízes mais profundas e floresceram mais cedo em comparação às plantas sem tratamento (CASTRO, 2006).

Já os bioestimulantes são compostos orgânicos que desempenham um papel importante no crescimento e desenvolvimento das plantas, ajudando a aumentar a produtividade e a qualidade da colheita. Esses produtos funcionam como reguladores do crescimento vegetal, estimulando processos metabólicos que favorecem o desenvolvimento das raízes, a floração e a frutificação das culturas. Além disso, os bioestimulantes contribuem para a redução do estresse ambiental nas plantas, tornando-as mais resistentes às condições adversas do ambiente (COSTA, 2022).

Os biorreguladores são substâncias que ajudam a controlar os processos naturais das plantas, como o crescimento, a floração e a formação de frutos. Eles atuam de maneira específica em diferentes momentos do ciclo de vida das plantas, ajudando a manter um equilíbrio hormonal e metabólico melhor. Esses compostos são essenciais para um desenvolvimento vegetal mais equilibrado e contribuem para uma agricultura mais eficiente e sustentável (SILVA, 2010).

Cada produto tem suas próprias características e pode ser usado de acordo com as necessidades de cada tipo de cultura e sistema de produção. Por exemplo, os fertilizantes orgânicos são fontes naturais de nutrientes essenciais para as plantas, enquanto os biopesticidas são feitos a partir de microrganismos ou extratos de plantas que controlam pragas e doenças sem prejudicar o meio ambiente (BORTOLOTTI, 2022).

4.4 Mecanismos de ação no controle de fitopatógenos

4.4.1 Inibição direta dos patógenos

Os microrganismos protegem as plantas contra patógenos direta ou indiretamente por meio de diferentes mecanismos: antibiose, competição, parasitismo, predação, promoção de crescimento e indução de resistência. A supressão direta de patógenos é atribuída a moléculas antimicrobianas e à competição por recursos, enquanto a supressão indireta envolve a ativação do sistema de defesa da planta.

A antibiose (Figura 1) ocorre quando metabólitos secundários, como fenazinas, pioluteorinas, pirrolnitrina, piocianina, 2,4-diacetilfloroglucinol e cianeto de hidrogênio, inibem ou retardam processos vitais de outros organismos, sendo ainda complementada pela ação de enzimas líticas, como quitinases, proteases, lipases e β -1,3-glucanases, que degradam componentes da parede celular de patógenos (RADWAN et al., 2012).

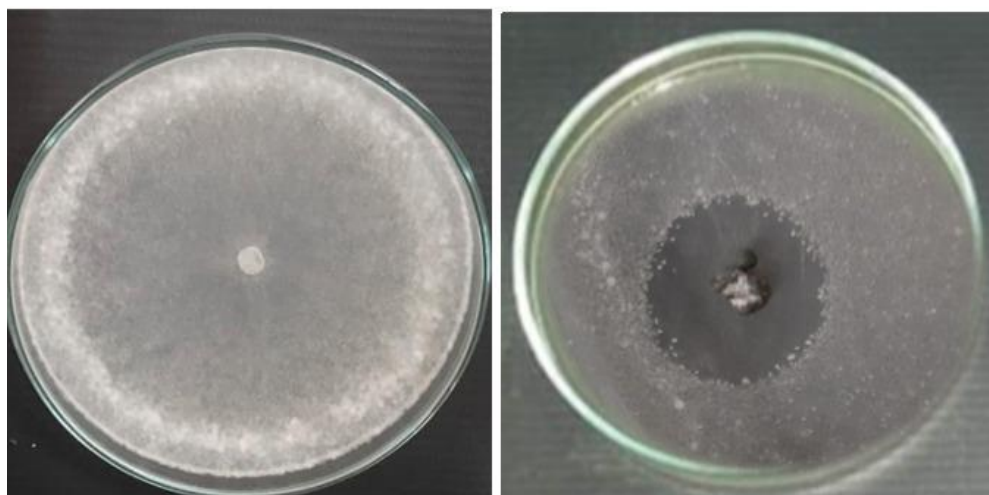


Figura 1. Uso de *Bacillus subtilis* para controle de escleródios de mofo branco.

Fonte: AllTech Crop Science, 2025.

A competição (Figura 2) por recursos essenciais, como espaço, oxigênio e nutrientes, é outro mecanismo de supressão, no qual a maior eficiência metabólica e a velocidade de crescimento conferem vantagem adaptativa (BETTIOL et al., 2009).



Figura 2. Competição por exsudatos radiculares.

Fonte: Agrotécnico, 2025.

O parasitismo (Figura 3), por sua vez, consiste na exploração direta ou indireta de nutrientes de outros microrganismos, sendo o ataque de escleródios por *Trichoderma* spp. um exemplo clássico (ZANCAN et al., 2012).

- **Ação de *Trichoderma sp* na supressão de fungos predação e parasitismo**



Figura 3. Ação de *Trichoderma spp* na supressão de fungos predação e parasitismo.

Fonte: AllTech Crop Science, 2025.

Além do controle de patógenos, microrganismos promovem o crescimento vegetal (Figura 4) pela síntese de reguladores hormonais (auxinas, citocininas e giberelinas), fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo, oxidação de enxofre e aumento da permeabilidade radicular, favorecendo a absorção de nutrientes. Indiretamente, contribuem para a tolerância a estresses abióticos, como metais pesados, salinidade e déficit hídrico (BULGARELLI et al., 2013).



Figura 4. Promoção de crescimento em plântulas de soja utilizando microrganismos.

Fonte: BioGreen, 2025.

Outro mecanismo relevante é a indução de resistência sistêmica (ISR), caracterizada pela ativação de defesas latentes da planta após estímulo por microrganismos benéficos ou fatores abióticos, proporcionando proteção contra ampla gama de patógenos (PIETERSE et al., 2014).

No que tange à competição por recursos, esta domina a interação entre microrganismos (SCHLECHTER et al. 2023). Os microrganismos podem competir contra patógenos por meio do bloqueio de nutrientes, para o qual a alta diversidade microbiana contribui (SPRAGGE et al. 2023), além de ocupar espaços na planta que seriam ocupados pelos patógenos. Assim, a sobreposição de nutrientes, de ambientes compartilhados com um patógeno é crucial para a supressão de patógenos mediada pela competição de recursos.

4.4.2 Indução de resistência sistêmica em plantas

Há mais de um século, já se sabe que as plantas possuem um sistema que as ajuda a se proteger de doenças, atuando como uma espécie de pré-condicionamento contra possíveis ataques (VALLAD; GOODMAN, 2004).

De modo geral, a indução de resistência é a capacidade que a planta tem de se defender contra uma grande variedade de organismos que causam doenças, como fungos, bactérias e vírus. Os indutores de resistência ativam mecanismos internos de defesa que já existem na planta, ajudando a evitar ou atrasar os danos causados por esses patógenos

(ELEVAGRO, 2020).

Entre os mecanismos de defesa que podem ser ativados estão algumas enzimas, como a peroxidase, que participa dos processos de fortalecimento da parede celular (lignificação), e a polifenoloxidase, que transforma fenóis em quinonas tóxicas aos microrganismos invasores e fenilalanina amônia-liase, enzima precursora da síntese dos fenilpropanóides envolvidos na defesa vegetal (LORENZETTI et al., 2018). Após a ativação, o efeito ocorre de maneira sistêmica, podendo persistir ao longo do ciclo da planta, conforme a via de ativação envolvida.

4.5 Estudos de caso e aplicações práticas

4.5.1 Fungos e bactérias produtoras de metabólitos bioativos

Os procariotos produzem cerca de 22.000 compostos bioativos, sendo que aproximadamente 75% deles têm atividade antibiótica (SALAMONI, 2020). Essa produção faz parte do metabolismo secundário desses microrganismos e tem como principal objetivo protegê-los de outros organismos, ajudando na competição e no crescimento no ambiente (PUSZTAHELYI et al., 2015). A capacidade de produzir compostos antimicrobianos, conhecida como antibiose, é um mecanismo importante na maioria dos estudos sobre controle biológico (ARSENEAULT E FILION, 2017). Alguns microrganismos antagonistas conseguem produzir diferentes tipos de metabólitos solúveis e voláteis que podem inibir um ou mais patógenos, ampliando assim o espectro de doenças que podem ser controladas com esses produtos (ARSENEAULT E FILION, 2017).

De modo geral, o metabolismo dos fungos é bastante parecido com o das plantas, e foram encontrados diversos compostos fitoquímicos nesses organismos, como o paclitaxel e a vincristina. No entanto, a maioria dos fungos possui rotas bioquímicas únicas, que levam à produção de metabólitos específicos de cada espécie. Esses metabólitos podem variar dependendo de fatores como o ambiente onde o fungo vive e as condições de crescimento. Entre os produtos dessas rotas estão medicamentos importantes, como a penicilina e as estatinas, além de substâncias tóxicas, como as aflatoxinas (KELLER et al., 2005).

As substâncias bioativas produzidas pelos fungos geralmente vêm do metabolismo secundário, que gera compostos de baixo peso molecular, pertencentes a várias classes químicas. Nos fungos endofíticos, há uma particularidade: a relação de simbiose com as plantas ajuda o fungo a biossintetizar os metabólitos produzidos pela planta hospedeira.

Outro ponto importante é entender onde os metabólitos bioativos estão localizados. Algumas vezes, os fungos liberam esses metabólitos para fora, no meio em que estão crescendo, e por isso é preciso extraí-los do caldo de fermentação. Em outros casos, os fungos mantêm esses compostos dentro deles, sendo necessário fazer uma extração química dos micélios para obtê-los.

Um exemplo disso é o *Epicoccum nigrum*, que é um fungo que vive na cana-de-açúcar. Quando se avaliou o potencial antifúngico dos extratos desse fungo, tanto do caldo quanto do micélio, foi observado que apenas os metabólitos liberados no meio de cultura tinham atividade antifúngica (FÁVARO et al., 2012).

Em estudos com *Trichoderma* spp. como agente de biocontrole observou-se uma infinidade de metabólitos secundários. Dentre eles, a gliotoxina foi o primeiro composto derivado de *Trichoderma* para o qual foi relatada atividade antifúngica e um papel na atividade antagonística de *T. virens*. Além disso, pode ter ação como micoparasita, inibindo e/ou matando suas presas fúngicas por uma ação combinada de metabólitos secundários e enzimas hidrolíticas que lisam a parede celular do fungo presa. Para a gliotoxina, foi demonstrado sinergismo com uma endoquitinase para inibição da germinação de esporos de *Botrytis cinerea* (ZEILINGER et al., 2016).

Além disso, a presença de produção de gliotoxina resultou na atenuação do micoparasitismo do patógeno da soja *Sclerotinia sclerotiorum*; no entanto, a atividade micoparasitária contra *Rhizoctonia solani* parece ser independente. Além de serem micoparasitas, várias espécies de *Trichoderma* estão associadas a raízes de plantas com as quais podem estabelecer interações robustas e duradouras. São semelhantes a outros microrganismos benéficos de plantas, desencadeiam respostas de resistência localizadas ou sistêmicas na planta liberando substâncias semelhantes a elicitores (HARMAN et al., 2004). Vários metabólitos secundários, como peptaibóis e certos compostos orgânicos voláteis (pironas, terpenos - álcoois, cetonas, alcanos e alcenos), são conhecidos por suas atividades antifúngicas e promotoras do crescimento de plantas.

Espécies do gênero *Bacillus* são conhecidas por produzir diversos compostos antimicrobianos, tanto voláteis quanto não voláteis. Esse gênero possui de 4 a 8% de todo seu genoma dedicado à biossíntese de diferentes metabólitos, incluindo os compostos antifúngicos fengicina, a iturina, a surfactina, bacilisina, bacillomicina, micosubtilina, plipastatina, macrolactina (ZAID et al., 2022).

Bactérias do gênero *Pseudomonas* também são bastante investigadas quanto à atividade antagonista por apresentarem capacidade de produzir uma ampla gama de

compostos que são ativos contra diversos fungos fitopatogênicos (BHATTACHARYYA E JHA, 2012). Os principais metabólitos produzidos por *Pseudomonas* incluem antifúngicos peptídicos como a viscosinamida; antibióticos, como floroglucinóis, fenazinas, pioluteorina e pirrolnitrila; enzimas; gás hidrocianeto; sideróforos, como o ácido salicílico, a pioeverdina e a pioquelina, responsáveis por quelar o ferro e outros metais, que conferem vantagem competitiva aos agentes de biocontrole pela limitação de minerais essenciais nos habitats naturais (RADZKI, 2013).

Espécies de *Paenibacillus polymyxa* são eficientes produtoras de metabólitos secundários principalmente fusaricidinas e polimixinas, que são lipopeptídeos potentes contra patógenos fúngicos e bacterianos (MÜLNER et al., 2021).

4.5.2 Exemplos na cultura da soja

A seguir estão relatados os principais grupos de microrganismos que apresentam potencial utilização na cultura da soja, seus efeitos benéficos possuem funções de inseticidas biológicos, fungicidas biológicos, promotores de crescimento, tolerância a estresses, entre outros.

Os microrganismos do gênero *Bacillus*, são bactérias Gram-positivas aeróbias ou anaeróbias facultativas, podendo apresentar flagelos para locomoção e que possuem a capacidade de formação de endósporos, para sobrevivência a condições adversas. Desse gênero, estão as principais bactérias benéficas utilizadas na agricultura, tais como *B. subtilis*, *B. megaterium*, *B. aryabhattai* e *B. thurigiensis*. Se destacam por apresentarem diversos mecanismos de ação contra patógenos e pragas além da promoção de crescimento e solubilização de nutrientes. (RABINOCITCH E OLIVEIRA, 2015).

Trichoderma spp. são fungos habitantes de solo, algumas linhagens colonizam raízes e auxiliam no crescimento e desenvolvimento, produtividade, resistência a estresses abióticos e absorção de nutrientes pelas plantas. Além disso, atuam como antagonistas no controle de microrganismos maléficos, como fungos patogênicos, vírus, bactérias e também nematóides (SHARON et al., 2011). Conforme Milanesi et al. (2019), atestaram *in vitro* e *in vivo* que isolados de *Trichoderma spp.* demonstrou ser agente de biocontrole sobre *Fusarium spp.* em soja, além disso, o microrganismo atuou como promotor de crescimento de plântulas de soja.

Beauveria bassiana é um fungo entomopatogênico que atua no controle biológico de artrópodes, parasita facultativo, produz conídios que penetram na cutícula do inseto se multiplicando em uma massa hifal, o levando a morte. Quando os nutrientes cessam e existem condições favoráveis, as hifas se externalizam apresentando uma camada branca sobre o inseto (LAZZARINI, 2005).

Metarhizium anisopliae é um fungo entomopatogênico, que possui uma ampla variedade de hospedeiros, apresentando grande importância no controle biológico de uma variedade de insetos pragas, mas para a cultura da soja, sua importância se dá no controle de percevejos. A infecção se inicia na penetração ativa do fungo na cutícula do hospedeiro, alguns sintomas são a falta de coordenação e cessação da alimentação do hospedeiro, como consequência, o leva à morte (GONÇALVES, 2020).

O vírus *Baculovirus anticarsia* (AgMNPV) apresenta um DNA de dupla fita, é um importante agente no controle biológico da lagarta *Anticarsia gammaialis*, um inseto desfolhador. Desde 1977, o vírus vem sendo estudado pela Embrapa. Após isso, foram lançadas tecnologias que possibilitaram a produção de isolados do AgMNPV, em condições de laboratórios, como cita Meyer et al. (2022).

Pseudomonas fluorescens são promotoras de crescimento em plantas, colonizadoras de solo, água e superfície vegetal. Importante no controle biológico, antagonista na supressão de doenças, através da produção de 2,4-diacetilfloroglucinol pertencente a classe de compostos floroquinolina, age na degradação da parede celular de fungos, extravasando seu conteúdo citoplasmático (SANTOS et al., 2010).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de bioinsumos na agricultura representa uma mudança importante, buscando equilibrar a produção de alimentos em grande escala com a preservação do meio ambiente e a saúde do solo. Neste estudo, foram abordados o conceito, os tipos e as características desses insumos, além de sua evolução ao longo do tempo. Também foram analisadas as instituições e empresas que pesquisam e desenvolvem os bioinsumos, os diferentes modelos de aplicação, as culturas que mais se beneficiam, as vantagens e desvantagens de seu uso, as expectativas em relação aos custos, as dificuldades enfrentadas para sua adoção e as tendências para o futuro. A partir dessas informações, ficou claro que os bioinsumos têm um papel fundamental na sustentabilidade da agricultura.

Um dos pontos mais importantes é a capacidade deles de diminuir a dependência de produtos químicos sintéticos nas plantações. Essa redução pode ajudar a diminuir bastante a poluição do meio ambiente, a contaminação das águas subterrâneas e os impactos negativos associados ao uso excessivo de químicos.

O cenário aqui apresentado demonstra que os bioinsumos desempenharão um papel cada vez mais central na agricultura sustentável. A crescente ênfase na agricultura orgânica e sustentável e os avanços contínuos na pesquisa microbiana e nas políticas agrícolas favoráveis indicam um horizonte promissor para os bioinsumos. Ademais, a tecnologia e a inovação na produção e distribuição desses insumos facilitarão sua adoção em larga escala.

Cabe ressaltar que a pesquisa sobre o mercado atual de bioinsumos no controle de doenças de plantas é extremamente relevante e pode ser explorada sob várias perspectivas — técnicas, econômicas, regulatórias e ambientais. Abaixo estão algumas linhas de pesquisa promissoras que podem ser desenvolvidas com base nesse tema, como: eficiência comparativa entre bioinsumos e defensivos químicos; desenvolvimento e formulação de novos bioinsumos; análise de mercado e tendências de consumo; impactos ambientais e sociais da substituição por bioinsumos; aspectos regulatórios e desafios de registro; mecanismos de ação de bioinsumos no controle de fitopatógenos e viabilidade econômica da produção de bioinsumos.

6. REFERÊNCIAS

- ARSENEAULT, T.; FILION, M. Biocontrol through antibiosis: Exploring the role played by subinhibitory concentrations of antibiotics in soil and their impact on plant pathogens. **Canadian Journal of Plant Pathology**, 39:3, p. 267-274, 2017.
- AVILA, G.M.A.; GABARDO, G.; CLOCK, D.C.; LIMA JUNIOR, O.S. Use of efficient microorganisms in agriculture. **Research Society and Development**, v.10, n.8, p.1-13, 2021.
- BALDINI, C.; MENDIZÁBAL, A. Entre los commodities, el agronegocio y una población que demanda avanzar hacia la agroecología: pensar las políticas públicas agroecológicas en Argentina a partir de la reflexión sobre experiencias en Francia. **Cardinalis**, v. 7, n. 13, p. 82- 116, 2019.
- BETTIOL, W.; GHINI, R.; MARIANO, R.R.L.; MICHEREFF, S.J.; MATTOS, L.P.V.; ALVARADO, I.C.M.; PINTO, Z.V. Supressividade de fitopatógenos habitantes do solo. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (Eds.). **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p.187-208, 2009.
- BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 28, p. 1327- 1350, 2012.
- BRASIL. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 maio 2020. Seção 1.
- BONFIM, F.P.G. **Caderno dos microrganismos eficientes (EM):** Instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM. Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Fitotecnia 2ª ed, 32p, 2011.
- BORTOLOTTI, G.; SAMPAIO, R. M. Demandas tecnológicas: os bioinsumos para controle biológico no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 39, n. 1, p. 123-145, 2022.
- BULGARELLI, D.; SCHLAEPPI, K.; SPAEPEN, S.; VAN THEMAAT, E. V. L.; SCHULZE-LEFERT, P. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 64, p. 807-838, 2013.
- CAETANO, M.I. **Micro-organismos eficientes (EM's) na compostagem de palha de cana-de-açúcar e esterco bovino**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Brasil. 2014. 70p.
- CALERO-HURTADO, A.; RODRIGUEZ, E.Q.; DIASZ, Y.P.; VICIEDO, D.O.; CALZADA, K.P.; HERNANDEZ, J.J. Efecto entre microrganismos eficientes y fitomas-e en el incremento agroproductivo del frijol. **Biotechnologia en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v.17, n.1, p.25-33, 2019.
- CASTRO, P. R. C. **Agroquímicos de controle hormonal na agricultura tropical**. Piracicaba, SP: ESALQ, 2006.
- COSTA, A. R. **A transferência de tecnologia em controle biológico pelo PROBIO do Instituto Biológico**. 2022. Dissertação (Mestrado em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio) - Instituto Biológico, São Paulo, 2022

DEMAIN, A.L. Microbial natural products: alive and well in 1998. **Nature Biotechnology**, London, v. 16, p. 3-4, 1998.

MORALES, D. K. et al. Antifungal mechanisms by which a novel *Pseudomonas* ... *PLoS ONE/PMC*, (2010 article)

ELEVAGRO, 2025. Disponível em: < https://elevagro.com/indutores-de-resistencia-em-plantas/?utm_source=chatgpt.com > . Acesso em: 07 de Agosto de 2025.

FAVARO, L. C. L.; SEBASTIANES, F. L. S.; ARAÚJO, W. L. *Epicoccum nigrum* P16, a sugarcane endophyte, produces antifungal compounds and induces root growth. **Plos One**, v. 7 n. 6, p. 1-10, 2012.

GONÇALVES, M. B. **Suscetibilidade do percevejo marrom da soja com o uso de *Metarhizium anisopliae***. 2020. Tese (Doutorado) — CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS – UniEVANGÉLICA, Anápolis, 2020.

HARMAN, G.E.; HOWELL, A. C.R.; VITERBO, I.; CHET, M. L. *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature reviews microbiology**, v. 2, p. 43-56, 2004.

LAZZARINI, G. M. J. **Efeito da umidade sobre a germinação in vitro de *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* e atividade contra *Triatoma infestans***. 2005. Dissertação (Mestrado em Parasitologia) — Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

KELLER, N.P.; TURNER, G.; BENNETT, J.W. Fungal secondary metabolism – from biochemistry to genomics. **Nature Reviews Microbiology**, London, v. 3, n.12, p. 937- 947, 2005.

LIMA, J. S. **Avaliação econômica das práticas agrícolas: um estudo comparativo de custos na agricultura regenerativa e tradicional no cerrado**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2023.

LEE, J.; KIM, S.; JUNG, H.; KOO, B.K.; HAN, J.A.; LEE, H.S. Exploiting Bacterial Genera as Biocontrol Agents: Mechanisms, Interactions and Applications in Sustainable Agriculture *Journal of Plant Biology*, v.66, p. 485–498, 2023.

LORENZETTI, E; STANGARLIN, J.R.; KUHN, ODAIR, J.; PORTZ, R.L. **Indução de resistência à *Macrophomina phaseolina* em soja tratada com extrato de alecrim**. *Summa Phytopathologica*, v.44, n.1, p.45-50, 2018.

MEYER, M. C.; DE FREITAS BUENO, A.; MAZZARO, S.M.; DA SILVA, J.C. **Bioinsumos na cultura da soja**. Embrapa Soja, 2022.

MILANESI, P. M. et al. Biocontrole de *Fusarium* spp. com *Trichoderma* spp. e promoção de crescimento em plântulas de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, p. 347–356, 2019.

MÜLNER, P.; SCHWARZ, E.; DIETEL, K.; HERFORT, S.; JÄHNE, J.; LASCH, P.; CERNAVA, T.; BERG, G.; VATER, J. Fusaricidins, Polymyxins and Volatiles Produced by *Paenibacillus polymyxa* Strains DSM 32871 and M1. **Pathogens**, v. 10, n. 11, p. 1485, 2021.

PIETERSE, C. M.; ZAMIOUDIS, C.; BERENDSEN, R. L.; WELLER, D. M.; VAN WEES, S. C.; BAKKER, P. A. Induced systemic resistance by beneficial microbes. **Annual review of**

phytopathology, v. 52, p. 347-375, 2014.

PUGAS, A.S.; GOMES, S.S.; DUARTE, A.P.R.; DOS SANTOS, T.E.M.; ROCHA, F.C. Efeito dos Microrganismos Eficientes na taxa germinação e no crescimento da abobrinha (*Cucurbita pepo* L.). **Cadernos de Agroecologia**, v.8, p.1-5, 2013.

PUSZTAHELYI, T.; HOLB, I. J.; PÓSCI, I. Secondary metabolites in fungus-plant interactions. **Frontiers in Plant Science**. v. 6: 573, 2015

RABINOCITCH, L.; OLIVEIRA, E. J. **Coletânea de procedimentos técnicos e metodologias empregadas para o estudo de *Bacillus* e gêneros esporulados aeróbios correlatos**. Montenegro Comunicação, n. 1, p. 160, 2015.

RADWAN, M. A.; FARRAG, S. A. A.; ABU-ELAMAYEM, M. M.; AHMED, N. S. Biological control of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato using bioproducts of microbial origin. **Applied Soil Ecology**, v. 56, p. 58–62, 2012.

RADZKI, W.; MANERO, F. G.; ALGAR, E.; GARCIA, J. L.; GARCIA, V. A.; SOLANO, B. R. Bacterial siderophores efficiently provide iron to iron-starved tomato plants in hydroponics culture. **Antonie Van Leeuwenhoek**, Amsterdam, v. 104(3), p. 321-330, 2013.

ROUMA. A. Plant Diseases: Types, Causes and Impacts. Egypt. J. Agric. Sci., v.76, n.3, p. 21-46. 2025.

SALAMONI, S. P. **Avaliação da atividade antimicrobiana de isolados de *Streptomyces* e estudo de produção de moléculas bioativas**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola e do Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

SANTOS, V. O. A formação docente em Educação e agroecologia: relato das ações da escola popular de agroecologia e agrofloresta Egídio Brunetto no extremo sul da Bahia. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 26, p. e7, 2022.

SANTOS, P. J. C. et al. **Utilização de *Pseudomonas fluorescens* no controle biológico de *Macrophomina phaseolina***. [S.l.]: Embrapa Soja, 2010.

SHARON, E.; CHET, I.; SPIEGEL, Y. Trichoderma as a biological control agent. In: DAVIES, K.; SPIEGEL, Y. (Ed.). Biological control of plant-parasitic Nematodes. **Dordrecht: Springer Netherlands**, p. 183–201, 2011.

SAXENA, S.; PANDEY, A.K. Microbial metabolites as ecofriendly agrochemicals for the next millennium. **Applied Microbiology Biotechnology**, Berlin, v. 55, p. 395-403, 2001.

SILVA, M. A. Biorreguladores: nova tecnologia para maior produtividade e longevidade do canavial. **Revista Pesquisa & Tecnologia**, v. 7, n. 2, 2010.

SOUZA, F. P.; CASTILHO, T. P.; MACEDO, L. O. B. Um marco institucional para os bioinsumos na agricultura brasileira baseado na economia ecológica. **Sustainability in Debate**, v. 13, n. 1, p. 266-285, 2022.

SCHLECHTER, R.O.; KEAR, E.J.; BERNACH, M. Metabolic resource overlap impacts competition

among phyllosphere bacteria. **ISME J**, v.17, p. 1445–1454, 2023.

SPRAGGE, F.; BAKKEREN, E.; JAHN, M.T. Microbiome diversity protects against pathogens by nutrient blocking. **Science**, n. 382, eadj3502, 2023.

VALLAD, G. E.; GOODMAN, R. M.. **Systemic acquired resistance and induced systemic resistance in conventional agriculture**. Crop Science, v.44, n.6, p. 1920-1934, 2004.

ZAID, D. S.; CAI, S., HU, C.; LI, Z.; LI Y. Comparative Genome Analysis Reveals Phylogenetic Identity of *Bacillus velezensis* HNA3 and Genomic Insights into Its Plant Growth Promotion and Biocontrol Effects. **Microbiology Spectrum**, v. 10, e0216921, 2022.

WANG, S. Y., et al. Review: Biocontrol ability of phenazine-producing strains for management of fungal and oomycete plant pathogens. *Biological Control*, (article abstract), 2021.

ZANCAN, W. L. A.; MACHADO, J. C.; SOUSA, B. F. M.; MATOS, C. S. M. Crescimento micelial, produção e germinação de escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum* na presença de fungicidas químicos e *Trichoderma harzianum*. **Bioscience Journal**, v.28, n.5, p.782-789, 2012.

ZEILINGER, S.; GRUBER, S.; BANSAL, R.; MUKHERJEE, P.K. Secondary metabolism in *Trichoderma* – Chemistry meets genomics. **Fungal Biology Reviews**, v. 30, n. 2, p. 74-90, 2016.