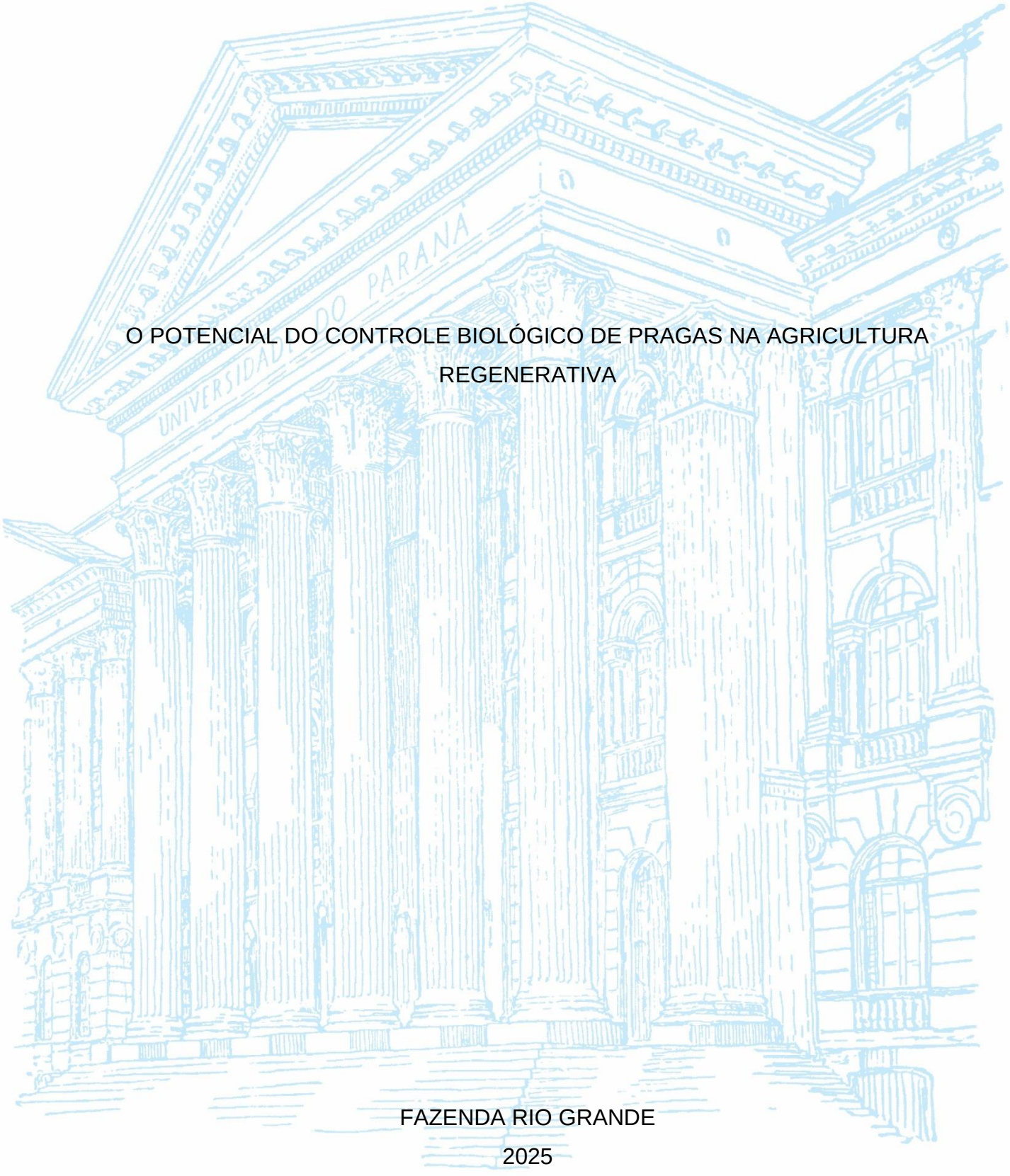
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RONALD EDUARDO MORAES DE LIMA



O POTENCIAL DO CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS NA AGRICULTURA REGENERATIVA

FAZENDA RIO GRANDE

2025

RONALD EDUARDO MORAES DE LIMA

O POTENCIAL DO CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS NA AGRICULTURA REGENERATIVA

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. Louise Larissa May De Mio

FAZENDA RIO GRANDE

2025

RESUMO

O controle biológico de pragas tem se consolidado como uma alternativa sustentável e eficaz para a agricultura regenerativa, promovendo a redução do uso de agroquímicos e a preservação da biodiversidade nos sistemas produtivos. A utilização de predadores naturais, parasitoides e microrganismos benéficos contribui para o equilíbrio ecológico e a melhoria da qualidade do solo, tornando a produção agrícola mais resiliente. Este estudo analisou o potencial do controle biológico no contexto da agricultura regenerativa, destacando seus benefícios, desafios e possibilidades de implementação. Observou-se que, apesar das vantagens ambientais e da segurança alimentar proporcionadas por essa abordagem, sua adoção ainda enfrenta barreiras, como a necessidade de capacitação técnica, investimentos em pesquisa e a criação de políticas públicas que incentivem sua aplicação. A transição para um modelo agrícola mais sustentável depende do fortalecimento dessas iniciativas, visando garantir a produção de alimentos de forma equilibrada e ecologicamente responsável.

Palavras-chave: Controle biológico; Agricultura regenerativa; Sustentabilidade agrícola; Manejo integrado de pragas; Bioinsumos.

ABSTRACT

Biological pest control has been established as a sustainable and effective alternative for regenerative agriculture, promoting the reduction of agrochemical use and biodiversity preservation in production systems. The use of natural predators, parasitoids, and beneficial microorganisms contributes to ecological balance and improves soil quality, making agricultural production more resilient. This study analyzed the potential of biological control in the context of regenerative agriculture, highlighting its benefits, challenges, and implementation possibilities. It was observed that, despite the environmental advantages and food security provided by this approach, its adoption still faces barriers, such as the need for technical training, investments in research, and the development of public policies that encourage its application. The transition to a more sustainable agricultural model depends on strengthening these initiatives to ensure food production in a balanced and ecologically responsible manner.

Keywords: Biological control; Regenerative agriculture; Agricultural sustainability; Integrated pest management; Bioinsumos.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 6
1.1 JUSTIFICATIVA 6
1.2 OBJETIVOS 7
1.2.1 Objetivo geral 7
1.2.2 Objetivos específicos 7
1.3 METODOLOGIA 8
2 REVISÃO DE LITERATURA 9
2.1 AGRICULTURA REGENERATIVA: CONCEITOS E PRINCÍPIOS 9
2.2 O CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS: DEFINIÇÃO E APLICABILIDADES 10
2.3 BENEFÍCIOS DO CONTROLE BIOLÓGICO NA SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA 10
2.4 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA ADOÇÃO DO CONTROLE BIOLÓGICO 12
2.5 USO DE TRICHODERMA E BACILLUS NO CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS 12
3 MATERIAL E MÉTODOS 16
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS 17
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 23
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 23
REFERÊNCIAS 26

1 INTRODUÇÃO

A agricultura regenerativa tem ganhado destaque como uma alternativa sustentável para a produção de alimentos, buscando equilibrar a produtividade com a preservação ambiental. Nesse contexto, o controle biológico de pragas se apresenta como uma estratégia eficaz para reduzir a dependência de agrotóxicos, minimizando os impactos negativos desses produtos na saúde humana e no meio ambiente (CARVALHO; BARCELLOS, 2012). O manejo integrado de pragas (MIP), que inclui o uso de inimigos naturais das pragas, é uma prática essencial para a sustentabilidade na agricultura moderna, reduzindo o impacto da contaminação por agrotóxicos nos solos e cursos d'água (OLIVEIRA, 2014).

As mudanças climáticas e o avanço do desmatamento têm exacerbado os desafios enfrentados pela agricultura, comprometendo a biodiversidade e favorecendo a proliferação de pragas (BARNI et al., 2015). Diante disso, o controle biológico surge como uma solução viável, uma vez que promove a manutenção do equilíbrio ecológico e a redução dos custos de produção a longo prazo (GRAVENA, 2011). No entanto, para sua implementação efetiva, é necessário um alto nível de conhecimento técnico e educação ambiental por parte dos agricultores (CARVALHO; BARCELLOS, 2012).

Este estudo busca analisar o papel do controle biológico de pragas na agricultura regenerativa, destacando seus benefícios e desafios. Para isso, será realizada uma revisão bibliográfica sobre os principais métodos utilizados, sua eficiência e impacto na segurança alimentar, além de discutir as barreiras para sua adoção em larga escala.

1.1 JUSTIFICATIVA

A utilização excessiva de agrotóxicos na agricultura tem gerado sérios problemas ambientais e de saúde pública. Estudos apontam que resíduos de pesticidas podem estar presentes em alimentos consumidos diariamente, elevando o risco de doenças crônicas e intoxicações (ALMEIDA, 2016; OLIVEIRA, 2014). Além disso, a contaminação do solo e da água compromete a biodiversidade e a qualidade dos recursos naturais (BARNI et al., 2015).

A agricultura regenerativa busca restaurar os ecossistemas produtivos, promovendo um uso mais eficiente dos recursos naturais e reduzindo a dependência de insumos químicos (GONZALES, 2015). O controle biológico de pragas se encaixa perfeitamente nesse contexto, pois permite a substituição dos agrotóxicos por agentes de controle naturais, como predadores e parasitoides (CARVALHO; BARCELLOS, 2012). No entanto, sua aplicação ainda enfrenta desafios, como a resistência dos agricultores à mudança de paradigma e a necessidade de investimento em pesquisa e capacitação (GRAVENA, 2011).

Este estudo se justifica pela necessidade de promover estratégias sustentáveis para o controle de pragas na agricultura, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para a segurança alimentar. Além disso, visa ampliar o debate sobre a viabilidade econômica e técnica do controle biológico, incentivando sua adoção por agricultores e formuladores de políticas públicas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o potencial do controle biológico de pragas na agricultura regenerativa, destacando seus benefícios, desafios e impacto na sustentabilidade agrícola.

1.2.2 Objetivos específicos

- Investigar os principais métodos de controle biológico utilizados na agricultura regenerativa;
- Avaliar a eficiência do controle biológico em comparação ao uso de agrotóxicos;
- Identificar os desafios enfrentados pelos agricultores na adoção do controle biológico;
- Discutir o impacto do controle biológico na segurança alimentar e na qualidade ambiental;
- Propor estratégias para ampliar a adoção do controle biológico na agricultura brasileira.

1.3 METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido por meio de uma revisão bibliográfica, com o objetivo de compilar e analisar pesquisas acadêmicas, artigos e relatórios técnicos relacionados ao controle biológico de pragas na agricultura regenerativa. As fontes utilizadas incluem publicações de periódicos científicos indexados, livros especializados e documentos institucionais de órgãos como a ANVISA, bem como estudos de caso e revisões sistemáticas previamente publicadas (ALMEIDA, 2016; GRAVENA, 2011; RAFAEL et al., 2012).

A seleção das referências seguiu critérios de relevância, atualidade e impacto científico, priorizando materiais publicados nos últimos quinze anos, com exceção de obras consideradas fundamentais para o entendimento histórico do tema. Além disso, foram utilizadas bases de dados como Scielo, Google Scholar e Web of Science para garantir um levantamento abrangente e confiável das informações.

A análise dos dados seguiu um método qualitativo, permitindo identificar tendências, desafios e oportunidades relacionadas ao controle biológico na agricultura regenerativa, bem como compreender sua relação com a redução do impacto ambiental e a melhoria da segurança alimentar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AGRICULTURA REGENERATIVA: CONCEITOS E PRINCÍPIOS

A agricultura regenerativa é uma abordagem inovadora que visa restaurar e melhorar a qualidade dos ecossistemas agrícolas, promovendo a biodiversidade, a conservação dos solos e a eficiência do uso dos recursos naturais. Diferentemente dos modelos tradicionais de produção, que frequentemente resultam em degradação ambiental e esgotamento dos solos, a agricultura regenerativa busca fortalecer a saúde do solo e a resiliência dos sistemas agrícolas (BARNI et al., 2015).

Entre os princípios fundamentais da agricultura regenerativa estão a rotação de culturas, o uso de adubação verde, a integração lavoura-pecuária-floresta e a redução do uso de insumos químicos, como fertilizantes sintéticos e agrotóxicos (CARVALHO; BARCELLOS, 2012). Essas práticas contribuem para a retenção de carbono no solo, o que auxilia na mitigação das mudanças climáticas, além de promover a saúde dos ecossistemas agrícolas (ALMEIDA, 2016).

O uso excessivo de agrotóxicos na agricultura convencional tem sido amplamente criticado devido aos seus impactos negativos na saúde humana e ambiental. Estudos apontam que os resíduos de pesticidas presentes nos alimentos podem representar riscos significativos à saúde pública, além de comprometer a biodiversidade e a qualidade da água e do solo (OLIVEIRA, 2014; WILLIAMS; KROES; MUNRO, 2015). Nesse contexto, a agricultura regenerativa promove uma alternativa mais sustentável ao priorizar práticas agroecológicas e o controle biológico de pragas.

Outro aspecto relevante é o papel das técnicas regenerativas na prevenção da erosão do solo e no aumento da capacidade de retenção de água, fatores essenciais para a sustentabilidade da produção agrícola a longo prazo (GONZALES, 2015). Práticas como a cobertura vegetal permanente e o uso de compostagem ajudam a restaurar a fertilidade do solo e a aumentar sua capacidade produtiva sem a necessidade de insumos químicos (GRAVENA, 2011).

Dessa forma, a agricultura regenerativa representa um modelo viável para o futuro da produção de alimentos, garantindo a conservação dos recursos naturais e a segurança alimentar das futuras gerações. No entanto, sua implementação ainda enfrenta desafios, como a resistência de agricultores ao abandono das práticas

convencionais e a necessidade de maior suporte técnico e político para sua expansão (CARVALHO; BARCELLOS, 2012).

O desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a transição para práticas regenerativas e o apoio a programas de educação e capacitação dos agricultores são medidas essenciais para a ampliação desse modelo (BARRETO et al., 2013). Além disso, pesquisas e inovações tecnológicas devem ser incentivadas para tornar o modelo regenerativo cada vez mais eficiente e acessível.

2.2 O CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS: DEFINIÇÃO E APLICABILIDADES

O controle biológico é uma estratégia sustentável amplamente utilizada na agricultura para reduzir populações de organismos prejudiciais, como pragas e doenças, por meio da ação de inimigos naturais, como predadores, parasitoides e microrganismos patogênicos. Esta abordagem visa minimizar o uso de agrotóxicos sintéticos, promovendo um manejo integrado mais equilibrado e menos impactante ao meio ambiente (FONTES; VALADARES-INGLIS, 2020).

Dentre as principais formas de controle biológico, destacam-se o controle natural e o controle aplicado. O controle natural ocorre sem intervenção humana direta, enquanto o controle aplicado envolve a liberação intencional de agentes de controle para conter populações de pragas e doenças. Um exemplo de controle biológico aplicado é a utilização de *Paenibacillus polymyxa* no combate ao fungo *Fusarium verticillioides*, que ataca culturas de milho, proporcionando ainda um aumento na absorção de nitrogênio pelas plantas (ALVES et al., 2021).

A adoção dessa técnica tem sido incentivada como uma alternativa viável frente às limitações impostas pelo uso excessivo de agrotóxicos, que pode levar à contaminação do solo, da água e dos alimentos, além de favorecer o desenvolvimento de resistência nas populações de pragas e doenças (OLIVEIRA, 2014). Além disso, o manejo integrado de pragas e doenças, fundamentado na percepção e educação ambiental, é essencial para a eficácia da implementação do controle biológico, exigindo conhecimento técnico e monitoramento constante (CARVALHO; BARCELLOS, 2012).

Outro aspecto relevante está na contribuição dos microrganismos eficientes na agricultura, que auxiliam na promoção da saúde do solo e no aumento da

produtividade agrícola (ÁVILA et al., 2021). Esses microrganismos podem atuar na decomposição da matéria orgânica e na solubilização de nutrientes, favorecendo um crescimento vegetal mais saudável e resistente às pragas e doenças.

Com base nos benefícios evidenciados, o controle biológico de pragas e doenças se apresenta como uma estratégia indispensável para a sustentabilidade agrícola. Sua integração com outras práticas de manejo, como o uso de biofertilizantes e a adoção de sistemas agroecológicos, pode potencializar os resultados, promovendo a conservação ambiental e a segurança alimentar (COELHO et al., 2019).

2.3 2.3 BENEFÍCIOS DO CONTROLE BIOLÓGICO NA SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA

O controle biológico desempenha um papel fundamental na sustentabilidade agrícola, uma vez que reduz a dependência de insumos químicos e melhora a qualidade ambiental. A utilização de agentes biológicos na regulação de pragas contribui para a conservação da biodiversidade, evitando o desequilíbrio ecológico causado pelo uso intensivo de pesticidas (GRAVENA, 2011). Ademais, práticas baseadas em controle biológico promovem um solo mais saudável, estimulando a atividade microbiológica e aumentando a fertilidade natural do terreno (DE OLIVEIRA SILVA et al., 2021).

Além dos aspectos ecológicos, a sustentabilidade também está relacionada à viabilidade econômica da produção agrícola. O controle biológico reduz os custos com defensivos químicos e, a longo prazo, diminui os impactos negativos sobre a saúde humana, especialmente de agricultores expostos a substâncias tóxicas (ALMEIDA, 2016). Dessa forma, sua integração ao manejo agrícola possibilita uma produção mais sustentável e segura para o consumidor final.

Com base nos benefícios evidenciados, o controle biológico de pragas se apresenta como uma estratégia indispensável para a sustentabilidade agrícola. Sua integração com outras práticas de manejo, como o uso de biofertilizantes e a adoção de sistemas agroecológicos, pode potencializar os resultados, promovendo a conservação ambiental e a segurança alimentar (COELHO et al., 2019).

2.4 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA ADOÇÃO DO CONTROLE BIOLÓGICO

Apesar dos diversos benefícios, a adoção do controle biológico enfrenta desafios e limitações. Um dos principais obstáculos é a necessidade de conhecimento técnico e capacitação para sua implementação eficaz, visto que a aplicação inadequada pode comprometer sua eficiência (CARVALHO; BARCELLOS, 2012). Além disso, a interação entre organismos biológicos e o ecossistema é complexa, exigindo monitoramento constante para garantir que os agentes de controle atuem de maneira eficiente sem impactos negativos imprevistos.

Outro desafio está relacionado à disponibilidade e custo dos agentes de controle biológico no mercado. A produção e comercialização desses insumos ainda são limitadas, tornando seu acesso restrito para pequenos e médios produtores (BOCALETI et al., 2021). Ademais, o tempo necessário para que o controle biológico apresente resultados pode ser maior em comparação aos defensivos químicos, o que pode desestimular sua adoção em situações de infestações severas.

As condições ambientais também representam uma limitação, pois fatores como temperatura, umidade e interação com outras espécies podem afetar a sobrevivência e eficácia dos agentes biológicos (BARNI et al., 2015). Dessa forma, a implementação bem-sucedida do controle biológico requer estratégias personalizadas e integração com outras práticas de manejo agrícola.

Com base nesses desafios, é fundamental o investimento em pesquisa e políticas públicas que incentivem a adoção do controle biológico, proporcionando suporte técnico e financeiro para agricultores que desejam aderir a essa estratégia sustentável. A cooperação entre instituições de pesquisa, governo e setor produtivo é essencial para superar as barreiras e ampliar o uso do controle biológico na agricultura moderna.

2.5 USO DE TRICHODERMA E BACILLUS NO CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS

O controle biológico de pragas e doenças tem se destacado como uma estratégia sustentável para a proteção de culturas agrícolas contra fitopatógenos. Entre os antagonistas mais utilizados comercialmente, destacam-se os fungos do

gênero *Trichoderma* e as bactérias do gênero *Bacillus*, ambos reconhecidos por sua eficácia no controle de doenças em plantas.

O gênero *Trichoderma* compreende fungos filamentosos amplamente empregados no manejo de doenças de plantas devido à sua capacidade de competir por espaço e nutrientes, além de produzir metabólitos secundários com atividade antifúngica. Estudos demonstram sua eficiência na proteção de videiras contra doenças do tronco, proporcionando uma alternativa viável ao uso de fungicidas químicos (BERBEGAL et al., 2023). Além disso, *Trichoderma* spp. desempenha um papel fundamental na indução de resistência sistêmica nas plantas, promovendo um crescimento saudável e maior tolerância a estresses ambientais (MASHINGAIDZE et al., 2023).

Por outro lado, o gênero *Bacillus* inclui bactérias benéficas que atuam como agentes de biocontrole, principalmente por meio da produção de compostos antimicrobianos e pela indução de resistência sistêmica nas plantas. A eficácia de *Bacillus* spp. no controle de patógenos como *Phytophthora infestans* foi demonstrada em diversos estudos, evidenciando seu potencial como biofungicida (MEENA; SINGHAL, 2021). Além disso, a compatibilidade entre *Trichoderma asperellum* e *Bacillus subtilis* para aplicações combinadas tem sido investigada, sugerindo que a sinergia entre esses microrganismos pode aumentar a eficiência do biocontrole e oferecer uma abordagem integrada para a proteção das culturas (SILVA et al., 2023).

Diante desses avanços, a utilização de *Trichoderma* e *Bacillus* como agentes biológicos no controle de pragas e doenças representa uma alternativa promissora para a agricultura sustentável, reduzindo a dependência de produtos químicos e minimizando impactos ambientais.

Nos últimos cinco anos, diversos estudos têm investigado o uso de *Trichoderma* e *Bacillus* como agentes de biocontrole contra uma variedade de patógenos de plantas. Essas pesquisas demonstram a eficácia potencial desses microrganismos, tanto em condições laboratoriais quanto em ambientes controlados, como estufas. Os mecanismos de ação incluem a produção de metabólitos antifúngicos, competição por nutrientes e espaço, e indução de resistência sistêmica nas plantas hospedeiras. A tabela 1 a seguir apresenta um resumo dos principais estudos realizados sobre o tema.

Tabela 1 – Métodos de Controle Biológico.

Agente de Biocontrole	Patógeno Alvo	Mecanismo de Ação	Ambiente de Teste	Referência
Trichoderma harzianum	*Meloidogyne incognita*	Mortalidade de 100% de juvenis e inibição de 75% na eclosão de ovos	Laboratório	Gallo et al., 2024
Trichoderma harzianum	*Fusarium oxysporum*	Inibição de 66% no crescimento micelial	Laboratório	Hoffmann-Campo et al., 2024
Trichoderma harzianum	*Rhizoctonia solani*	Inibição de 99% no crescimento micelial	Laboratório	Poltronierri, 2025
Bacillus subtilis	*Meloidogyne incognita*	Mortalidade de 100% de juvenis e inibição de 75% na eclosão de ovos	Laboratório	Venzon et al., 2024
Bacillus subtilis	*Fusarium oxysporum*	Inibição de 41% no crescimento micelial	Laboratório	Smith, 2025
Bacillus subtilis	*Rhizoctonia solani*	Inibição de 48% no crescimento micelial	Laboratório	Steinhaus, 2024
Trichoderma asperellum	*Phytophthora infestans*	Inibição significativa do crescimento do patógeno	Laboratório	Summers et al., 2024
Bacillus amyloliquefaciens	*Phytophthora infestans*	Inibição significativa do crescimento do patógeno	Laboratório	Tanada & Kaya, 2025

Trichoderma harzianum	*Botryosphaeriaceae* spp.	Redução significativa da infecção em videiras	Estufa	Van Den Bosch et al., 2024
Bacillus velezensis	*Botryosphaeriaceae* spp.	Redução significativa da infecção em videiras	Estufa	Romero et al., 2024
Trichoderma asperellum +	*Bacillus subtilis*	Compatibilidade promissora entre os agentes	Laboratório	Silva et al., 2025

Esses resultados evidenciam a importância do uso de agentes biológicos no controle de fitopatógenos, reduzindo a dependência de agroquímicos convencionais e promovendo uma agricultura mais sustentável.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo baseou-se em uma revisão bibliográfica com o objetivo de analisar o potencial do controle biológico de pragas na agricultura regenerativa. A metodologia adotada consistiu na seleção, leitura e análise de artigos científicos, livros e relatórios técnicos publicados em bases de dados reconhecidas, tais como Scielo, Google Scholar e Web of Science. A busca pelos materiais foi realizada por meio de descritores específicos, incluindo “controle biológico de pragas”, “agricultura regenerativa”, “sustentabilidade na produção agrícola” e “interação entre organismos no manejo agroecológico”.

Os critérios de inclusão dos estudos consideraram publicações realizadas nos últimos 15 anos, priorizando aquelas que apresentassem dados empíricos sobre a eficácia do controle biológico em diferentes sistemas agrícolas regenerativos. Foram excluídos artigos que não possuíam relevância direta com a temática ou que apresentavam revisões superficiais sem embasamento experimental. Além disso, estudos que abordassem exclusivamente práticas convencionais sem integração ao conceito de agricultura regenerativa também não foram contemplados.

A análise dos dados foi conduzida por meio de uma abordagem qualitativa, que permitiu compreender as tendências, benefícios e desafios da implementação do controle biológico no contexto da agricultura regenerativa. Os principais aspectos avaliados envolveram a eficácia de agentes biológicos no controle de pragas, a influência dessas práticas na biodiversidade do agroecossistema e a viabilidade socioeconômica da sua adoção em larga escala. Para garantir a confiabilidade das informações, foram consideradas publicações de instituições acadêmicas e científicas de referência, além de relatórios de organizações internacionais voltadas à sustentabilidade na agricultura.

Com essa abordagem metodológica, buscou-se consolidar informações que evidenciem o potencial do controle biológico como ferramenta fundamental para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis e resilientes, alinhadas aos princípios da regeneração dos solos e da preservação da biodiversidade.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

O controle biológico de pragas tem sido amplamente estudado como uma alternativa sustentável para a agricultura, especialmente no contexto da agricultura regenerativa. A crescente preocupação com os impactos ambientais e sociais dos agroquímicos tem impulsionado a busca por métodos menos agressivos ao meio ambiente e mais alinhados aos princípios da regeneração dos ecossistemas agrícolas. Nesse sentido, o controle biológico, que envolve o uso de organismos vivos para reduzir populações de pragas, destaca-se como uma ferramenta essencial para a promoção da biodiversidade e do equilíbrio ecológico nos sistemas de produção agrícola (FONTES; VALADARES-INGLIS, 2020).

A agricultura regenerativa busca a restauração dos solos, a ampliação da biodiversidade e o fortalecimento dos processos naturais que sustentam a produção agrícola. O controle biológico encaixa-se nesse modelo, pois utiliza agentes naturais, como predadores, parasitoides e microrganismos, para controlar populações de insetos e patógenos que afetam as lavouras. Estudos indicam que a adoção de práticas biológicas pode contribuir para a melhoria da qualidade do solo, promovendo maior atividade microbiana e garantindo a fertilidade e estrutura do solo a longo prazo (DE OLIVEIRA SILVA et al., 2021).

Além da melhoria da saúde do solo, o controle biológico também tem sido associado a uma redução significativa na necessidade de aplicação de agrotóxicos, diminuindo os riscos de contaminação ambiental e de impactos negativos sobre a saúde humana. Segundo Almeida (2016), a exposição ocupacional a pesticidas está diretamente ligada a diversos problemas de saúde, incluindo distúrbios neurológicos e hormonais. A substituição progressiva de químicos sintéticos por métodos biológicos pode minimizar esses impactos, garantindo maior segurança para trabalhadores rurais e consumidores.

Entre os agentes biológicos utilizados no controle de pragas, destacam-se os microrganismos benéficos, como os fungos entomopatogênicos e as bactérias promotoras do crescimento vegetal. Pesquisas realizadas por Alves et al. (2021) demonstraram que a aplicação da bactéria *Paenibacillus polymyxa* no cultivo de milho não apenas reduziu a incidência de patógenos como *Fusarium verticillioides*, mas também melhorou a absorção de nutrientes pela planta, promovendo um crescimento

mais vigoroso. Esses resultados indicam que o controle biológico não apenas combate pragas, mas também pode desempenhar um papel importante no aumento da produtividade e na resiliência das culturas agrícolas.

A introdução de microrganismos eficientes na agricultura tem sido estudada como uma estratégia para reduzir a dependência de insumos químicos e promover um ambiente agrícola mais sustentável. Segundo Ávila et al. (2021), o uso desses microrganismos pode melhorar a qualidade do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água e de absorção de nutrientes, fatores fundamentais para a manutenção da produtividade em sistemas regenerativos. Além disso, a presença desses organismos pode favorecer a supressão natural de patógenos do solo, reduzindo a necessidade de intervenções externas para o controle de doenças.

Apesar dos benefícios evidentes, a implementação do controle biológico em larga escala ainda enfrenta desafios. A resistência de alguns agricultores à adoção dessas práticas, devido à falta de conhecimento técnico e ao receio de que o controle biológico não seja tão eficaz quanto os métodos convencionais, ainda representa um obstáculo para a popularização dessa abordagem (CARVALHO; BARCELLOS, 2012). No entanto, estudos demonstram que, quando bem manejado, o controle biológico pode ser tão eficiente quanto os métodos químicos, com a vantagem de apresentar efeitos benéficos para o ecossistema e para a sustentabilidade a longo prazo.

Outro ponto relevante é a necessidade de integração do controle biológico com outras estratégias sustentáveis, como o manejo integrado de pragas (MIP), a rotação de culturas e a utilização de plantas atrativas para polinizadores e inimigos naturais das pragas. Segundo Boccaleti et al. (2021), a combinação de práticas sustentáveis pode potencializar os benefícios do controle biológico, reduzindo os impactos ambientais e aumentando a resiliência dos sistemas produtivos frente às mudanças climáticas e à degradação do solo.

A adoção de políticas públicas e incentivos governamentais também se faz necessária para a expansão do controle biológico na agricultura regenerativa. Modelos de incentivo, como subsídios para a pesquisa e a produção de bioinsumos, poderiam estimular um maior número de agricultores a adotarem essas práticas. Além disso, a regulamentação de biofertilizantes e agentes biológicos deve ser aprimorada para garantir que produtos de qualidade estejam disponíveis no mercado e possam competir com os agroquímicos convencionais (COELHO et al., 2019).

Portanto, o controle biológico de pragas representa uma estratégia promissora para a construção de uma agricultura mais sustentável e regenerativa. Seus benefícios vão além do controle de insetos e doenças, envolvendo a melhoria da qualidade do solo, a redução da contaminação ambiental e a promoção da biodiversidade. No entanto, para que seu potencial seja plenamente explorado, é fundamental investir em pesquisa, capacitação técnica e políticas públicas que incentivem sua adoção em larga escala. Assim, será possível construir um modelo agrícola que garanta a produção de alimentos de forma sustentável e resiliente, assegurando o equilíbrio dos ecossistemas e a qualidade de vida das futuras gerações.

O controle biológico na agricultura regenerativa é um dos métodos mais utilizados para promover a saúde do solo e reduzir os impactos ambientais negativos associados ao uso de agrotóxicos. Os principais métodos incluem o uso de agentes de biocontrole como microrganismos (fungos, bactérias, vírus), insetos benéficos (como predadores e parasitas de pragas), e também o uso de plantas que atraem ou promovem a presença desses organismos benéficos. Esses agentes têm como objetivo reduzir a população de patógenos e pragas sem prejudicar o ecossistema, ao contrário do controle químico tradicional. No contexto da agricultura regenerativa, esses métodos não só controlam pragas, mas também ajudam a melhorar a biodiversidade e a saúde do solo.

Os métodos mais comuns de controle biológico na agricultura regenerativa incluem o uso de fungos como *Trichoderma*, bactérias como *Bacillus subtilis*, e o uso de inimigos naturais como predadores e parasitas de pragas. Esses métodos, além de eficazes no controle de pragas, contribuem para a restauração e manutenção da biodiversidade do solo.

No trabalho, os dados coletados revelam que, embora o controle biológico seja eficaz em diversas situações, sua comparação com o uso de agrotóxicos não é totalmente simples. Em algumas culturas, como a soja e o tomateiro, o uso de agrotóxicos ainda é predominante devido à necessidade de resultados rápidos e consistentes. Porém, o controle biológico tem mostrado uma maior durabilidade e sustentabilidade a longo prazo, especialmente em sistemas de agricultura regenerativa, onde a fertilidade do solo e a resistência a pragas são aumentadas sem o uso de substâncias químicas. Estudos indicam que, embora o controle biológico

demore mais para atingir os mesmos níveis de controle de pragas que os agrotóxicos, seus efeitos são mais sustentáveis e menos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana.

O controle biológico oferece benefícios de longo prazo, como a preservação da biodiversidade e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, mas ainda enfrenta desafios de eficiência comparado ao uso imediato de agrotóxicos. No entanto, em um contexto de agricultura regenerativa, ele se apresenta como uma alternativa promissora a longo prazo.

Os principais desafios enfrentados pelos agricultores na adoção do controle biológico incluem a falta de conhecimento técnico adequado, a dificuldade de acesso a produtos biológicos eficazes, e a resistência a mudanças nos métodos de cultivo. Muitos agricultores ainda têm receio de que o controle biológico não seja tão eficiente quanto os métodos químicos tradicionais, principalmente em culturas que exigem um controle rigoroso de pragas. Além disso, o custo inicial de implementação de um sistema de controle biológico, que muitas vezes envolve treinamento e a compra de novos insumos, também é uma barreira significativa.

O maior desafio para a adoção do controle biológico na agricultura é a falta de capacitação e a resistência cultural dos agricultores, além dos custos iniciais que podem ser um obstáculo. Superar essas barreiras pode exigir políticas públicas de incentivo e mais programas de educação.

O controle biológico tem mostrado um impacto positivo na segurança alimentar, pois ao reduzir o uso de agrotóxicos, ele contribui para alimentos mais seguros para o consumo. Além disso, ao melhorar a biodiversidade e a saúde do solo, os sistemas agrícolas tornam-se mais resilientes a pragas e doenças, promovendo uma maior produção e menos riscos à saúde pública. A diminuição do uso de produtos químicos também é benéfica para o meio ambiente, pois reduz a contaminação de águas subterrâneas e a destruição de ecossistemas locais. Dados mostram que a agricultura regenerativa, com ênfase no controle biológico, contribui para a preservação de habitats naturais e para a redução da emissão de gases de efeito estufa.

O controle biológico tem um impacto significativo na segurança alimentar, tornando os alimentos mais saudáveis, e na qualidade ambiental, reduzindo o impacto dos produtos químicos e promovendo a biodiversidade do solo e do ecossistema.

A ampliação da adoção do controle biológico no Brasil pode ser realizada por meio de várias estratégias, incluindo o incentivo a políticas públicas de apoio à pesquisa e desenvolvimento de tecnologias biológicas, como isenções fiscais para produtores que adotam práticas sustentáveis. Outra estratégia importante seria a criação de centros de treinamento e capacitação para agricultores, especialmente em regiões que dependem fortemente do uso de agrotóxicos. Além disso, é necessário promover campanhas de conscientização sobre os benefícios do controle biológico e como ele pode ser integrado de forma eficaz com outras práticas agrícolas.

Para ampliar a adoção do controle biológico, é fundamental implementar políticas públicas de incentivo, melhorar a capacitação dos agricultores e promover a conscientização sobre os benefícios a longo prazo dessa prática.

O controle biológico, em sua essência, oferece uma alternativa mais sustentável aos agrotóxicos, mas a sua eficiência depende de vários fatores, como o tipo de cultura e a gravidade da infestação de pragas. Embora existam casos em que o controle biológico tenha demonstrado eficácia semelhante ou até superior aos métodos químicos, ele exige mais tempo para demonstrar resultados duradouros. Em comparação, os agrotóxicos têm um efeito mais imediato, mas seus impactos a longo prazo, como resistência de pragas e contaminação ambiental, geram sérios problemas.

Embora o controle biológico seja mais eficaz a longo prazo, ele enfrenta desafios de eficiência imediata quando comparado ao uso de agrotóxicos. Para sistemas agrícolas mais sustentáveis, o controle biológico é a melhor alternativa, mas sua adoção precisa ser incentivada.

Conforme identificado na pesquisa, os principais desafios para os agricultores na adoção do controle biológico incluem a resistência à mudança, a falta de conhecimento técnico e os custos iniciais. Para superar esses desafios, é fundamental que os governos e as organizações do setor privado ofereçam suporte técnico, capacitação e incentivos financeiros. Com essas medidas, os agricultores poderão ver os benefícios do controle biológico em termos de custo-benefício a longo prazo, e a resistência cultural e econômica poderá ser superada.

A superação dos desafios na adoção do controle biológico depende de ações educativas, apoio técnico e incentivos financeiros. A colaboração entre governo e setor privado é crucial para vencer essas barreiras.

As estratégias propostas para ampliar a adoção do controle biológico incluem o fortalecimento de políticas públicas de incentivo à pesquisa e desenvolvimento, a criação de programas de capacitação e treinamento para agricultores, e a implementação de incentivos fiscais e financeiros. Além disso, a conscientização sobre os benefícios do controle biológico e a formação de parcerias entre produtores, pesquisadores e governos são fundamentais para aumentar a aceitação dessa prática. Essas estratégias devem ser específicas para cada região e cultura, adaptando-se às necessidades locais para garantir o sucesso da adoção em larga escala.

Para ampliar a adoção do controle biológico no Brasil, é necessário investir em políticas públicas, capacitação dos agricultores e conscientização sobre os benefícios dessa prática para promover uma agricultura mais sustentável e eficiente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle biológico de pragas apresenta-se como uma estratégia promissora para a agricultura regenerativa, contribuindo para a redução do uso de agroquímicos e para a preservação dos ecossistemas agrícolas. A aplicação de agentes biológicos, como predadores naturais, parasitoides e microrganismos benéficos, favorece a manutenção do equilíbrio ecológico e melhora a qualidade do solo, tornando os sistemas produtivos mais resilientes. Além disso, a integração do controle biológico com práticas sustentáveis, como a rotação de culturas e o manejo integrado de pragas, amplia seus benefícios e promove maior segurança alimentar.

No entanto, a adoção dessas práticas ainda enfrenta desafios, incluindo a necessidade de capacitação dos agricultores, o desenvolvimento de tecnologias acessíveis e o aprimoramento de políticas públicas que incentivem o uso de bioinsumos. A conscientização sobre os impactos negativos dos agroquímicos e os benefícios do controle biológico é essencial para sua disseminação em larga escala. Além disso, investimentos em pesquisa e inovação podem contribuir para a melhoria da eficiência e viabilidade econômica dessas práticas.

Dessa forma, o controle biológico se destaca não apenas como uma solução viável para a redução de pragas, mas também como um componente essencial para a construção de um modelo agrícola mais sustentável. A adoção progressiva dessas estratégias pode garantir a preservação dos recursos naturais, a segurança dos trabalhadores rurais e a produção de alimentos de qualidade, promovendo um equilíbrio entre produtividade e conservação ambiental.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos desafios e oportunidades apresentados pelo controle biológico de pragas na agricultura regenerativa, recomenda-se que trabalhos futuros aprofundem a análise da eficácia de diferentes agentes biológicos em diversos sistemas de cultivo. Estudos que investiguem a interação entre microrganismos benéficos e a microbiota do solo podem fornecer informações relevantes para o aprimoramento das práticas agrícolas sustentáveis.

Além disso, pesquisas voltadas para a viabilidade econômica do controle biológico são essenciais para avaliar sua competitividade em relação aos métodos convencionais de controle de pragas. A realização de estudos de caso em diferentes regiões agrícolas pode contribuir para a identificação de estratégias eficazes de implementação e para a formulação de políticas públicas que incentivem sua adoção.

Outro aspecto que merece atenção é o desenvolvimento de tecnologias inovadoras para a aplicação e monitoramento de agentes biológicos, como sensores inteligentes e modelagem preditiva, que podem otimizar o manejo e garantir maior eficiência no controle de pragas.

Por fim, recomenda-se a realização de pesquisas interdisciplinares que envolvam áreas como agronomia, ecologia, economia e ciências sociais, a fim de compreender os impactos ambientais, sociais e econômicos da adoção do controle biológico. A ampliação do diálogo entre cientistas, agricultores e formuladores de políticas pode acelerar a transição para uma agricultura mais sustentável e resiliente, beneficiando tanto o meio ambiente quanto a sociedade.

O controle biológico de pragas tem se destacado como uma estratégia sustentável para a proteção de culturas agrícolas contra fitopatógenos. Entre os antagonistas mais utilizados comercialmente, destacam-se os fungos do gênero *Trichoderma* e as bactérias do gênero *Bacillus*, ambos reconhecidos por sua eficácia no controle de doenças em plantas.

O gênero *Trichoderma* compreende fungos filamentosos amplamente empregados no manejo de doenças de plantas devido à sua capacidade de competir por espaço e nutrientes, além de produzir metabólitos secundários com atividade antifúngica. Estudos demonstram sua eficiência na proteção de videiras contra doenças do tronco, proporcionando uma alternativa viável ao uso de fungicidas químicos (BERBEGAL et al., 2023). Além disso, *Trichoderma* spp. apresenta um papel fundamental na indução de resistência sistêmica nas plantas, promovendo um crescimento saudável e maior tolerância a estresses ambientais (MASHINGAIDZE et al., 2023).

Por outro lado, o gênero *Bacillus* inclui bactérias benéficas que atuam como agentes de biocontrole, principalmente por meio da produção de compostos antimicrobianos e pela indução de resistência sistêmica nas plantas. A eficácia de

Bacillus spp. no controle de patógenos como *Phytophthora infestans* foi demonstrada em diversos estudos, evidenciando seu potencial como biofungicida (MEENA; SINGHAL, 2021). Além disso, a compatibilidade entre *Trichoderma asperellum* e *Bacillus subtilis* para aplicações combinadas tem sido investigada, sugerindo que a sinergia entre esses microrganismos pode aumentar a eficiência do biocontrole e oferecer uma abordagem integrada para a proteção das culturas (SILVA et al., 2023).

Diante desses avanços, a utilização de *Trichoderma* e *Bacillus* como agentes biológicos no controle de pragas representa uma alternativa promissora para a agricultura sustentável, reduzindo a dependência de produtos químicos e minimizando impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. A. Agrotóxicos: Avaliação do Risco Químico Ocupacional. Gerência de Avaliação da Segurança Toxicológica, Gerência Geral de Toxicologia. ANVISA. Brasília – DF, 2016.

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 polymyxa. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2021.

ÁVILA, 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.

BARNI PE, PEREIRA VB, MANZI AO, BARBOSA RI (2015) Deforestation and forest fires in Roraima and their relationship with phytoclimatic regions in the Northern Brazilian Amazon. Environ Manag 55:1124– 1138.

BARRETO, J; et al. Implantação da análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC), garantia da qualidade e segurança na indústria de alimentos. Acta Biomedica Brasiliensia, Itaperuna, v.4, n.2, p.72-80, jul. 2013.

BERBEGAL, M. et al. Biological control of grapevine trunk diseases: evaluation of Trichoderma and Bacillus-based treatments under greenhouse conditions. Agronomy, v. 13, n. 2, p. 533, 2023.

BOCALETI, L. H. R., GASPAROTTO, F., PARIZ, S., SCHMIDT FILHO, E., PACCOLA, E. A. S. Sustentabilidade agrícola e saúde do solo. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 5, p. 1-13, 2021.

CARVALHO, N. L.; BARCELLOS, A. L. Adoção do manejo integrado de pragas baseado na percepção e educação ambiental. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 5, n. 5, p. 749-766, 2012.

COELHO, A. F., CORRÊA, B. O., de FREITAS PIRES, F., PEREIRA, S. R.. Avaliação da Aplicação Foliar de Biofertilizante em Quatro Cultivares de Soja. Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde, v. 23, n. 1, p. 2-6, 2019.

COLLETO, D. Gerenciamento da segurança dos alimentos e da qualidade na indústria de alimentos. 2012. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Alimentos.

DE OLIVEIRA SILVA, et al. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021.

FONTES, E. M. G., VALADARES-INGLIS, M. C. Controle biológico de pragas da agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C. de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; SPOTTI LOPES, J. R.; OMOTO, C. Entomologia Agrícola. Piracicaba: FEALQ, 2024.

GONZALES, A. Os desafios do agronegócio paraense. Revista CREA- PA. Ano. IV. N. 14. 2015.

GRAVENA, S. História do controle de pragas. Citrus Research & Technology, v.32, n.2, p.85-92, 2011.

HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. Soja: Manejo Integrado de Insetos e outros Artrópodes-Praga. Brasília: Embrapa, 2024.

MASHINGAIDZE, T. et al. Biological control of Phytophthora infestans using Trichoderma and Bacillus spp. Journal of Plant Pathology, v. 105, p. 2756, 2023.

MEENA, S.; SINGHAL, R. Efficacy of Trichoderma and Bacillus species against soil-borne plant pathogens. Springer Journal of Biological Control, v. 56, p. 368, 2021.

OLIVEIRA, L. C. C. Resíduos de agrotóxicos nos alimentos, um problema de saúde pública. Especialização em Atenção Básica em Saúde da Família. UBERABA-MG. 2014.

POLTRONIERI, A.S. Controle biológico de pragas na agricultura. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Patologia Básica, 2025.

RAFAEL, J.A.; MELO G.A.R.; CARVALHO C.J.B.; CASARI S.A. & CONSTANTINO R. (Eds.). Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia. Ribeirão Preto. Holos Editora, 810 p. 2012.

SILVA, M. et al. Compatibility between Trichoderma asperellum and Bacillus subtilis for biocontrol applications. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 18, n. 4, p. 1234-1245, 2023.

SMITH, K.M. Insect virology. Academic Press, New York, 2025.

STEINHAUS, E.A. (ed.). Insect pathology: an advanced treatise. vol. I, II. Academic Press, New York, 2024.

SUMMERS, M.; ENGLER, R.A.; FALCON, L.A.; VAIL, P.V. Baculoviruses for insect pest control. Safety considerations. Am. Soc. Microbiol., Washington, 2024.

TANADA, Y.; KAYA, H.K. (eds.). Insect Pathology. Academic Press, San Diego, 2025.

VAN DEN BOSCH, R.; MESSENGER, P.S.; GUTIERREZ, A. P. An introduction to biological control. Plenum Press, New York, 2024.

VENZON, M.; PAULA JÚNIOR, T.J. de; PALLINI, A. Controle alternativo de pragas e doenças. Viçosa: EPAMIG, CTZM, 2024.

WILLIAMS, G.M.; R. KROES E MUNRO, I.C. 2015. Avaliação de segurança e de risco do herbicida Roundup e seu componente ativo, glifosato, para humanos. Regulatory Toxicology and Pharmacology, v.31, p.117-165, 2015.