

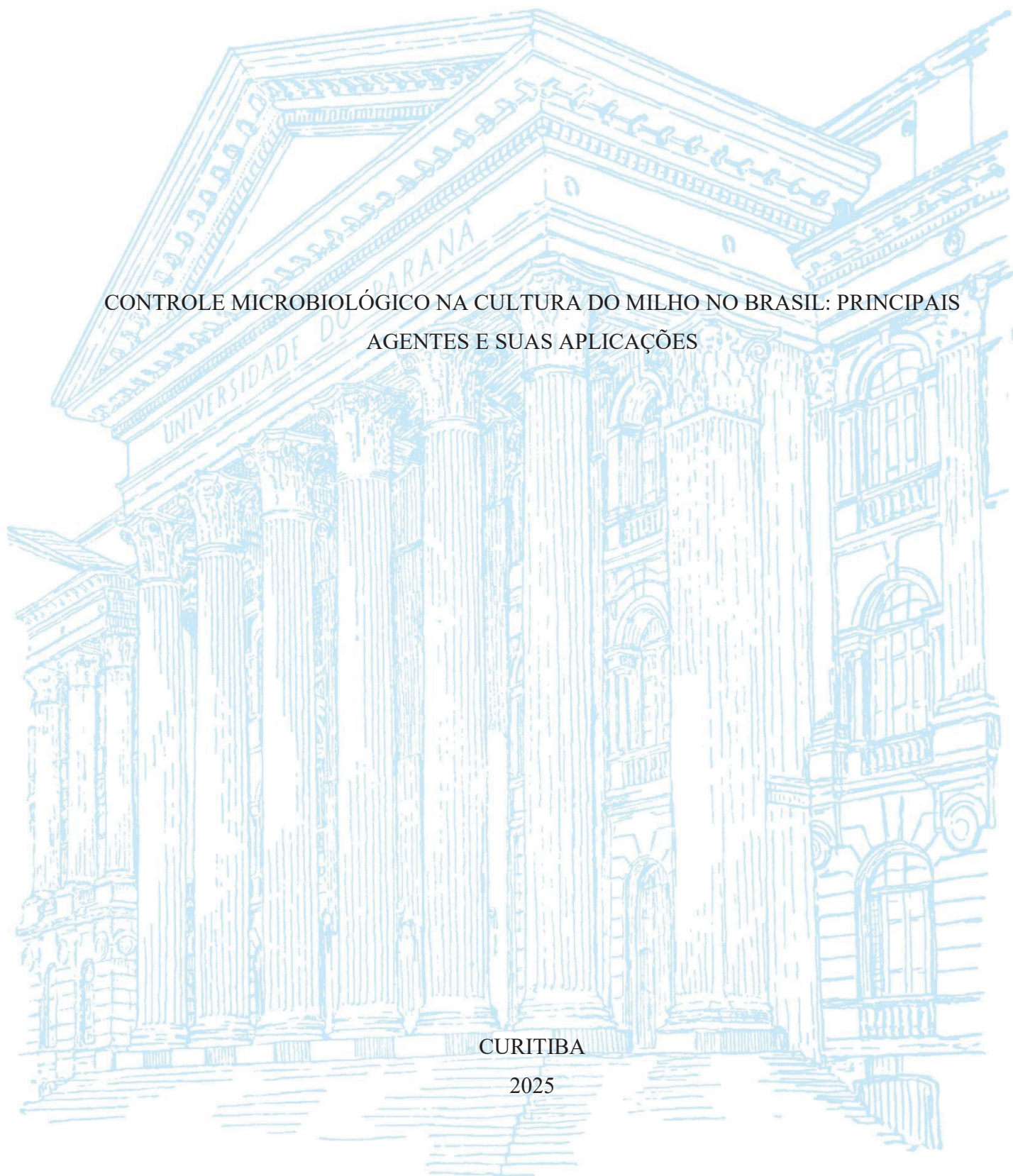
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA LUIZA MOTTA MARICATO

CONTROLE MICROBIOLÓGICO NA CULTURA DO MILHO NO BRASIL: PRINCIPAIS
AGENTES E SUAS APLICAÇÕES

CURITIBA

2025



ANA LUIZA MOTTA MARICATO

CONTROLE MICROBIOLÓGICO NA CULTURA DO MILHO NO BRASIL: PRINCIPAIS
AGENTES E SUAS APLICAÇÕES

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.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Miguel Mazaro

CURITIBA

2025

“Seu sucesso depende exclusivamente do seu esforço.”

(Rangelthr)

RESUMO

O milho é uma das culturas de maior importância econômica e social, sendo cultivado em diferentes países do planeta, servindo como alimentação humana, animal e na geração de biocombustível. O Brasil é o terceiro maior produtor de milho do mundo e, devido às variações regionais e climáticas, é possível cultivar até três safras ao longo do ano: a 1ª safra (safra de verão), a 2ª safra (conhecida como safrinha) e a 3ª safra (também chamada de safra de inverno ou safrinha tardia). Portanto, em função da sua relevância e demanda, a cultura do milho expõe a necessidade de estudos recorrentes para aumentar a eficiência de manejo, em virtude do aumento nos custos dos adubos e pesticidas que tem ocorrido de forma contínua. Dessa forma, surge a estratégia de utilizar produtos biológicos que são organismos vivos ou resultantes deles e que são utilizados como ingredientes ativos nas formulações. Na cultura do milho as oportunidades de aplicações de agentes de biocontrole vêm crescendo com novos produtos e isolados, bem como pelo incentivo e regulamentação do setor de biológicos impulsionado pelas políticas públicas. Nesse sentido, diante da crescente demanda por produtos biológicos e da necessidade de uma agricultura mais sustentável e de baixo impacto ambiental, esta pesquisa tem como objetivo, trazer informações assertivas sobre controle microbiológico e destacar as principais características e aplicações dos agentes de biocontrole mais empregados e com maior eficiência utilizados na cultura do milho no Brasil. A pesquisa foi realizada no modelo de revisão bibliográfica por meio da análise de artigos científicos, teses, dissertações e outros documentos técnicos publicados entre os anos de 1990 e 2025 com o objetivo de reunir, analisar e discutir informações já publicadas sobre o controle microbiológico de pragas e doenças agrícolas na cultura do milho, destacando fungos de maior relevância como *Trichoderma spp.*, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e bactérias do gênero *Bacillus*, especialmente *B. thuringiensis* e *B. subtilis*, além dos *baculovirus*. Ao fim, os estudos realizados mostraram que esses microrganismos possuem diferentes modos de ação, como antibiose, parasitismo, competição, promoção de crescimento e indução de resistência, que garantem eficácia no controle de importantes pragas e doenças do milho, como *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis*, *Dalbulus maidis*, *Fusarium spp.* e *Pantoea ananatis*. Também ficou evidente a importância do uso de produtos biológicos na cultura do milho, tanto pela capacidade de proteger eficazmente as plantas quanto por oferecerem uma alternativa mais segura, sustentável e ambientalmente responsável.

Palavras-chave: Milho. Controle Biológico no Brasil. Bioinsumos.

ABSTRACT

Maize is one of the most economically and socially important crops, cultivated in several countries around the world, serving as food for humans and animals, as well as for biofuel production. Brazil is the third-largest maize producer globally and, due to regional and climatic variations, it is possible to cultivate up to three harvests throughout the year: the first crop (summer crop), the second crop (known as “safrinha”), and the third crop (also called the winter or late “safrinha”). Therefore, given its relevance and increasing demand, the maize crop requires continuous research to improve management efficiency, especially in the face of rising fertilizer and pesticide costs. In this context, the use of biological products has emerged as a strategy. These products are living organisms or derivatives used as active ingredients in agricultural formulations. In maize production, the opportunities for applying biocontrol agents have been expanding through new products and isolates, as well as through regulatory incentives and public policies that promote biological inputs. Given the growing demand for biological products and the need for more sustainable and environmentally friendly agriculture, this study aims to provide assertive information on microbial control and highlight the main characteristics and applications of the most widely used and efficient biocontrol agents in Brazilian maize cultivation. This work was carried out as a bibliographic review, analyzing scientific articles, theses, dissertations, and technical documents published between 1990 and 2025, with the goal of compiling, analyzing, and discussing existing knowledge on the microbial control of agricultural pests and diseases in maize. The study highlights key fungi such as *Trichoderma spp.*, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and bacteria of the genus *Bacillus*, especially *B. thuringiensis* and *B. subtilis*, in addition to baculoviruses. The reviewed literature demonstrates that these microorganisms act through various mechanisms—such as antibiosis, parasitism, competition, plant growth promotion, and induction of plant resistance—ensuring effective control of major maize pests and diseases, including *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis*, *Dalbulus maidis*, *Fusarium spp.*, and *Pantoea ananatis*. The findings also underscore the importance of using biological products in maize cultivation, both for their effectiveness in plant protection and for providing a safer, more sustainable, and environmentally responsible alternative.

Keywords: Maize. Biological Control in Brazil. Bioinputs.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 METODOLOGIA.....	9
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1 A CULTURA DO MILHO	10
3.2 CONTROLE BIOLÓGICO	12
3.2.1 Histórico	12
3.2.2 Definição e mercado.....	15
3.2.3 Tipos de controle biológico	17
3.2.4 Modos de ação	18
3.2.4.1 Competição.....	18
3.2.4.2 Micoparasitismo	19
3.2.4.3 Antibiose	20
3.2.4.4 Promoção de crescimento.....	21
3.2.4.5 Indução de resistência de plantas	21
3.2.5 Agentes	23
3.3 CONTROLE MICROBIOLÓGICO DO MILHO.....	23
3.3.1 Aspectos gerais das principais pragas, doenças e seus antagonistas	24
3.3.1.1 Trichoderma spp.....	26
3.3.1.2 Bacillus spp.	28
3.3.1.3 Baculovirus.....	31
3.3.1.4 Metarhizium spp.....	31
3.3.1.5 Isaria e Beauveria	32
3.4 DESAFIOS	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
6 REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

O milho é uma gramínea que teve origem no México, sendo parte da família Poaceae que é formada por várias espécies, apontado uma das principais culturas, o milho (*Zea mays*) (Lajús et al., 2024).

Segundo a Embrapa (2019), o milho é uma cultura de extrema relevância econômica e social, sendo cultivado em diferentes países do planeta, servindo como alimentação humana, animal e na geração de biocombustível. No cenário mundial, o Brasil tem se mostrado como o terceiro maior produtor de milho do mundo (Gonçalves et al., 2021) atrás somente dos Estados Unidos (348,75 milhões de toneladas) e da China (277,20 milhões de toneladas) (MAPA, 2024). De acordo com o oitavo levantamento da Conab (2025) a área estimada plantada no Brasil na safra de 2024/25 é de 21.387 milhões de hectares e uma produção de 126.878 milhões de toneladas com uma média de produtividade de 5.933kg/ha, demonstrando assim a sua relevância.

Assim sendo, a cultura do milho expõe a necessidade de estudos recorrentes para aumentar a eficiência de manejo, em virtude do aumento nos custos dos adubos e pesticidas que tem ocorrido de forma contínua (Oliveira et al., 2021).

Os produtos biológicos podem levar a diferentes efeitos positivos na cultura do milho, dependendo do tipo, da forma, da dose, do momento e da frequência de aplicação, tal como das condições edafoclimáticas e do manejo da lavoura (Barros, 2024).

A evolução da participação do controle biológico no mercado brasileiro de insumos agrícolas tem permitido a construção de espaços importantes na procura por inovações na produção agropecuária alinhadas à sustentabilidade. Essa transformação está presente na agricultura convencional e na produção orgânica (Sousa, 2023).

Segundo estudo da CropLife Brasil e pelo Observatório de Economia da Fundação Getúlio Vargas (FGV), o mercado global de bioinsumos agrícolas deve atingir cerca de US\$ 45 bilhões até 2032, se manter a taxa de crescimento anual entre 13% e 14%. Nesse ritmo, em oito anos, o mercado global dos insumos biológicos tende a triplicar (Duarte, 2024).

Os bioinsumos para controle biológico, introduzidos no mercado de insumos agrícolas, correspondem como tecnologias biológicas que fazem uso de microrganismos, como fungos e bactérias, e macrorganismos, como vespas e ácaros, entre outros inimigos naturais, para controlar pragas e doenças nas produções agrícolas. Essas tecnologias, dispõem de características que promovem a sustentabilidade ao diminuir os impactos do uso intenso de agrotóxicos químicos, contudo, enfrentam desafios em seu desenvolvimento. Um desses

desafios está associado a cultura dos produtores rurais, que estão familiarizados a aplicação de agrotóxicos e carecem de mudança de tecnologia e conhecimento sobre o uso de produtos biológicos (Parra et al., 2024).

As oportunidades de aplicações de agentes de biocontrole na cultura do milho vêm crescendo com novos produtos e isolados, bem como pelo incentivo e regulamentação do setor de biológicos impulsionado pelas políticas públicas, como o Plano Nacional de Bioinsumos (Brasil, 2020), que possibilita maior disponibilidade de novos produtos e marcas comerciais, com maiores possibilidade de diminuição de custos ao agricultor (Francisconi; Bonaldo; 2022).

Desse modo, diante da crescente demanda por produtos biológicos e da necessidade de uma agricultura mais sustentável e de baixo impacto ambiental, esta pesquisa tem como objetivo, trazer informações assertivas sobre controle microbiológico e destacar as principais características e aplicações dos agentes de biocontrole mais empregados e com maior eficiência utilizados na cultura do milho no Brasil.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa consiste em uma revisão de literatura com o objetivo de reunir, analisar e discutir informações já publicadas sobre o controle microbiológico de pragas e doenças agrícolas na cultura do milho. Para isso, foram consultadas fontes científicas, como artigos, anais, teses, monografias, dissertações e livros buscando compreender os princípios do controle biológico, sua evolução ao longo do tempo e sua aplicação prática na agricultura.

A busca pelos documentos foi realizada manualmente por meio eletrônico, considerando como critérios de inclusão: publicações entre os anos de 1980 a 2025, escritas em idioma português ou inglês, com acesso online do texto completo. Foram utilizadas ferramentas como o Google Acadêmico, SciELO e periódicos específicos. Para localizar os documentos foi utilizado os descritores “Controle biológico no milho”, “Cultura do milho e uso de biológicos”, “Benefícios do uso de produtos biológicos”, “Principais pragas e doenças do milho”, “Controle biológico”, “Trichoderma no milho”, “Bacillus em milho” e “Uso de beauveria e isaria no milho”. As informações foram reunidas no período entre os meses de abril a junho de 2025.

Tendo coletado todos os dados necessários, foi realizada a estruturação da pesquisa, utilizando como norte o objetivo geral e específicos. Ao final, foi realizada uma análise crítica da literatura consultada, apontando lacunas no conhecimento e possíveis tendências futuras para a área.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A CULTURA DO MILHO

O milho é uma gramínea que teve origem no México, sendo parte da família Poaceae que é formada por várias espécies, apontado uma das principais culturas, o milho (*Zea mays*) (Lajús et al., 2024).

Segundo a Embrapa (2019), o milho é uma cultura de extrema relevância econômica e social, sendo cultivado em diferentes países do planeta, servindo como alimentação humana, animal e na geração de biocombustível. No cenário mundial, o Brasil tem se mostrado como o terceiro maior produtor de milho do mundo (Gonçalves et al., 2021).

Historicamente, ainda que entre os quatro principais produtores mundiais, o Brasil não marcava uma participação significativa na produção mundial de milho (em média 5% na década de 70 a 90). Durante os últimos anos, porém, nota-se o crescimento dessa participação, de forma que na produção mundial do grão, na safra 2022/23 (1,15 bilhão de toneladas), o Brasil marcou 11,7% de participação. Hoje o país é o terceiro maior produtor mundial de milho, atrás somente dos Estados Unidos (348,75 milhões de toneladas) e da China (277,20 milhões de toneladas) (MAPA, 2024). De acordo com o oitavo levantamento da Conab (2025) a área estimada plantada no Brasil na safra de 2024/25 é de 21.387 milhões de hectares e uma produção de 126.878 milhões de toneladas com uma média de produtividade de 5.933kg/ha.

O milho é plantado em todas as regiões do Brasil, sua produção ocorre em diversas épocas do ano, face às condições climáticas das regiões. O cultivo de verão, também chamado de primeira safra, é o semeio concentrado na primavera/verão e prevalece na maioria das regiões produtoras, com exceção das regiões Norte e Nordeste, em que, pela época de maior concentração de chuvas ser a partir do mês de janeiro, o período de semeadura é denominado segunda safra. Já o cultivo de milho semeado na região Centro-Sul do Brasil, finalizado após a colheita de soja, com semeio concentrado no verão/outono, intencionalmente é chamado de safrinha (Contini et al., 2022).

O Brasil dispõe em toda sua extensão de condições climáticas que favorecem o ataque de diferentes patógenos ao milho. As principais doenças da cultura são a mancha branca, as ferrugens, cercosporiose, podridões de espigas e os enfezamentos. Além destas, nos últimos anos algumas doenças (antracnose-foliar, helmintosporiose, mancha-foliar-de-diplodia e mancha-de-bipolaris), julgadas de menor importância, tem aparecido com elevada severidade em algumas regiões produtoras. A relevância destas doenças é mutável de ano em ano e de

região para região, em função das condições climáticas, do nível de suscetibilidade das cultivares semeadas e do sistema de plantio empregado (Costa et al., 2017b).

Os desafios fitossanitários para a produção de milho de qualidade estão associados a questões de saúde dos consumidores, perdas em quantidade e qualidade dos grãos e seus subprodutos devido a ocorrência de infecção por patógenos, resíduos e micotoxinas. As dificuldades causadas por doenças também interferem na comercialização dos grãos (Contini et al., 2022).

Segundo os mesmos autores, considerando que são várias as doenças que ocorrem no milho, dificultando que uma cultivar seja resistente a diversos patógenos simultaneamente, sabendo das dificuldades de obtenção de resistência, o controle químico é a opção mais utilizada para diminuir as doenças em milho. Embora seja extremamente eficiente para algumas doenças como a mancha-branca (*Pantoea ananatis*), existem relatos de falha no controle. Além disso, o controle químico é limitado a poucos grupos químicos disponíveis nos fungicidas registrados no Sistema de Agrotóxicos Fitossanitário - AGROFIT, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Dessa forma, o uso intensivo dos fungicidas com princípios ativos iguais pode beneficiar a seleção para resistência, reduzindo ainda mais a quantidade de princípios para a cultura.

Além das políticas de fomento ao uso sustentável de fungicidas, é interessante que haja um intenso trabalho de monitoramento dos resíduos em alimentos em razão do seu uso, bem como para as micotoxinas. Ainda, outras possibilidades de controle devem ser incentivadas, entre elas, o controle biológico (Contini et al., 2022).

Já para manejo de pragas na cultura do milho, o desafio é dividido em dois grupos de insetos: lagartas e sugadores. A lagarta do cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda*) é a principal praga em lavouras de milho no Brasil e aparece em todas as regiões onde o milho é cultivado. No grupo de sugadores, os percevejos provenientes das lavouras de soja cultivada na primeira safra, são considerados pragas iniciais de alta importância na lavoura do milho, neste sistema de produção. A principal espécie é o barriga-verde (*Dichelops spp.*) e o segundo maior desafio entre os insetos sugadores é a cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*) (Contini et al., 2022).

Nesse sentido, realizar estratégias de manejo integrado de pragas que combinem diferentes métodos de controle, como o manejo da paisagem agrícola (cultural), controle biológico, resistência de plantas, uso de tecnologia BT, controle químico, entre outros, transforma-se um desafio que norteia a pesquisa. Assim, o controle biológico com uso de

entomófagos e bioinseticidas tem sido o coração da pesquisa da Embrapa há várias décadas, para abordar soluções sustentáveis e viáveis para o produtor rural (Contini et al., 2022).

3.2 CONTROLE BIOLÓGICO

3.2.1 Histórico

Na antiguidade, a primeira manipulação de predadores como instrumento no manejo de pragas foi realizada na China há 3 mil anos (Olkowski; Zhang 1998). Agricultores colocavam ninhos da formiga *Oecophylla smaragdina* F. nas laranjeiras para protegê-las contra outros insetos (Fontes et al., 2020).

Em 1835, o italiano Agostino Bassi de Lodi foi o primeiro a exhibir experimentalmente a natureza infecciosa do fungo *Beauveria bassiana* no bicho-da-seda. Foi ele que sugeriu primeiro o uso de patógenos causadores de doenças para matar insetos inoportunos. Já em 1884, o entomologista russo Elie Metchnikoff desenvolveu uma estrutura de produção massal de esporos do fungo *M. anisopliae*, e utilizou os esporos em testes de campo contra larvas do curculionídeo *Cleonus punctiventris*, praga da beterraba, atingindo entre 55%-80% de mortalidade (Driesche; Bellows, 1996).

No século passado, existiu considerável esforço da pesquisa para o entendimento de como os inimigos naturais poderiam ser manuseados para o uso efetivo e seguro no manejo integrado de pragas. Embora as pesquisas tenham aumentado recentemente, a ação de predadores e parasitoides no controle de insetos-pragas é conhecida e usada há milhares de anos (Fontes et al., 2020).

Muitos foram os programas que marcaram a trajetória do controle biológico no Brasil. Robs (1992) conta a introdução de *Prospaltella berlesei* para o controle da cochonilha-branca da amoreira e do pessegueiro *Pseudaulacaspis pentagona* no estado de São Paulo, afirmando que o programa teve ótimos resultados. Outras introduções se sucederam (Robs, 1992; Parra, 2014), porém, talvez por causa da característica empírica dessas introduções, habitual aos programas de controle biológico à época, conforme relata Van den Bosh et al. (1982), os resultados de muitos desses programas não foram publicados.

Entre 1921 e 1944 foram realizadas inúmeras tentativas, sem sucesso, de importação e liberação de agentes de biocontrole de pragas no Brasil (Parra, 2014; Bueno et al., 2020). O primeiro projeto bem-sucedido foi a introdução em 1967 do parasitoide *Neodusmetia sangwani* para o controle da cochonilha das pastagens (*Antonina graminis*). Esse parasitoide adaptou-se

com sucesso no Brasil, tanto na região de introdução (Bahia), como em outras unidades da federação (Gabriel, 2017).

O primeiro programa com indícios de sucesso do controle biológico por importação no Brasil, detalhadamente relatado por Salvadori e Salles (2002), foi o controle dos pulgões-do-trigo no Rio Grande do Sul, nas décadas de 1970-1980. Nos anos de 1970, os pulgões se tornaram o problema central da cultura do trigo no Rio Grande do Sul, exigindo uso intensivo de inseticidas químicos. Como as espécies de pulgão que causavam problemas a cultura, *Metopolophium dirhodum* e *Sitobion avenae*, eram espécies exóticas, pesquisadores da Embrapa Trigo compreenderam a possibilidade de introduzir inimigos naturais da região de origem das pragas. Em 1978, com o apoio da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e da Universidade da Califórnia, teve início a introdução de parasitoides de diversos países e regiões. Quatorze espécies de himenópteros parasitoides e duas espécies de coccinelídeos predadores foram introduzidas da Europa e do Oriente Médio e liberadas de forma inoculativa de 1982 até 1992, inclusive com a colaboração dos agricultores.

Este sucesso foi seguido de outro acontecimento muito relevante, que foi a liberação de parasitoides para o controle da cochonilha da mandioca, *Phenacoccus herreni*, no Nordeste do Brasil (Bento et al., 2002). A importação de inimigos naturais tomou impulso depois desses casos de sucesso e da construção, em 1991, do laboratório de Quarentena “Costa Lima”, na Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna, São Paulo. Desde seu estabelecimento, cerca de 773 espécies de inimigos naturais, incluindo predadores, parasitoides e patógenos (fungos, bactérias e nematoides), foram importados (Sá, 2015; Fontes et al., 2020).

Em relação aos microrganismos como agente de biocontrole, *Metarhizium anisopliae*, foi o primeiro fungo usado para o controle de pragas no Brasil (Alves; Lopes, 2008; Li et al., 2010; Bueno et al., 2020). Além deste, também *Verticillium lecanii*, *Hirsutela verticillioides* e *Beauveria bassiana*, entre outros, foram estudados a partir de 1930 (Charles, 1937; Viegas, 1939; Li et al., 2010; Bettiol, 2022).

Um caso mais recente de sucesso do controle biológico clássico no Brasil foi o da mosca-minadora-dos-citros *Phyllocnistis citrella*, relatado por Chagas et al. (2002) que diz, que a presença da mosca no Brasil foi identificada nos anos 1990 e, a partir daí, a cultura passou a apresentar diversos problemas fitossanitários causados pelo dano direto da mosca e pelo favorecimento ao desenvolvimento de fitopatógenos, como a bactéria *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*, causadora do cancro cítrico, por causa das galerias feitas nas folhas pela mosca-minadora. Em 1998, cerca de 2 anos após a constatação da presença da praga no Brasil,

pesquisadores da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), e diversos colaboradores introduziram da Flórida (EUA) o parasitoide de ovos e/ou lagartas, *Ageniaspis citrícola*. Técnicas de criação e produção do parasitoide foram melhoradas para posterior liberação massal em campo em 1998, primeiramente em 38 municípios de São Paulo, obtendo sucesso imediato no controle da praga no estado. O sucesso obtido possibilitou a liberação posterior em outros estados produtores de citros, como Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Piauí, Sergipe, Bahia e Rio de Janeiro, e também no Uruguai (Fontes et al., 2020).

Outros exemplos de sucesso se sucederam, como o uso de parasitoides para o controle da broca da cana de açúcar que tem uma área superior a 5 milhões de hectares sob controle biológico (Bueno et al., 2020). No mercado brasileiro são disponíveis os seguintes organismos: *Cotesia flavipes*, *Cryptolaemus montrouzieri*, *Diachasmimorpha longicaudata*, *Deladenus siricidicola*, *Neoseiulus californicus*, *Orius insidiosus*, *Phytoseiulus macropilis*, *Stratiolaelaps scimitus*, *Steinernema puertoricense*, *Trichogramma galloi*, *Trichogramma pretiosum* e *Trissolcus basalis* (Bueno et al., 2020; Mapa, 2022).

Entre os entomopatógenos, um dos casos de importância no Brasil e no mundo foi o programa de controle da lagarta da soja, *Anticarsia gemmatalis*, com o *Baculovirus anticarsia* (AgNPV), nos anos 1980 e 1990, no estado do Paraná. (Fontes et al., 2020). Outros microrganismos foram usados em programas de controle biológico no Brasil, fungos entomopatôgenos como agentes de controle biológico tem sido estudado desde 1920 no país (Li et al., 2010; Fontes et al., 2020).

Para o controle de doenças de plantas, o primeiro estudo publicado utilizando antagonistas foi com o *Trichoderma* em 1950 (Bettiol et al., 2014), mas o primeiro destaque veio com o controle da tristeza dos citros por meio da premunização com estirpes fracas do vírus da tristeza dos citros (Costa; Muller, 1980; Bettiol, 1996), as quais são usadas em larga escala na citricultura brasileira até os dias de hoje.

Atualmente, os principais antagonistas utilizados no Brasil para o controle de doenças de plantas são: *Aspergillus flavus*, *Clonostachys rosea*, *Paecilomyces lilacinus* (*Purpureocillium lilacinum*), *Pochonia chlamydosporia*, *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma koningiopsis*, *Trichoderma stromaticum*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus firmus*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus methilotrophicus*, *Bacillus pumilus* e *Bacillus subtilis* (Bettiol et al., 2019; Bueno et al., 2020; Mapa, 2022).

3.2.2 Definição e mercado

O controle biológico é um fenômeno natural que corresponde na regulação do número de espécies por inimigos naturais, nas quais se constituem nos agentes de mortalidade biótica. Dessa forma, todos os seres vivos possuem inimigos naturais atacando seus vários estágios de vida. Dentre estes existem grupos muito diversificados, como insetos, fungos, vírus, bactérias, nematoides, protozoários, rickettsias, micoplasmas, ácaros, aranhas, peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos (Parra et al., 2002). Segundo Wilson & Huffaker (1976) o termo “Controle Biológico” foi utilizado pela primeira vez pelo pesquisador Harry S. Smith em 1919, quando se referiu ao uso de inimigos naturais no controle de insetos-praga. Hoje, o controle biológico assume relevância cada vez maior em programas de manejo integrado de pragas (MIP), especialmente em um momento em que se discute a produção integrada rumo a uma agricultura sustentável (Abreu et al., 2015).

Assim, embasando nos aspectos agrícolas, podemos destacar o controle biológico em duas formas: o Controle Biológico Natural e o Controle Biológico Aplicado. Segundo Parra (2000) o Controle Biológico Natural refere-se à população de inimigos que ocorrem naturalmente. Seguindo um dos preceitos básicos do controle biológico, ou seja, conservação, tais parasitoides ou predadores devem ser preservados por meio da manipulação de seu ambiente de forma favorável. Visto que são importantes em programas de manejo de pragas, sendo responsáveis pela mortalidade natural no agroecossistema e, como resultado, pela manutenção do nível de equilíbrio das pragas.

Já o Controle Biológico Aplicado, consiste em liberações inundativas de parasitoides ou predadores, após a criação massal em laboratório, visando a diminuição rápida da população da praga para seu nível de controle (Abreu et al., 2015).

A princípio, os agentes de biocontrole são microrganismos antagonistas com potencial de intervir na sobrevivência ou crescimento dos patógenos. Os principais microrganismos para o controle biológico de doenças são os fungos e as bactérias (Medeiros, Bavia, Seixas, 2022).

Assim sendo, o uso de bioinsumos vem aumentando no Brasil e no mundo devido aos fatores relacionados às questões regulatórias, de mercado e de manejo das culturas (Borsari, Vieira, 2022). Segundo as mesmas autoras, no mercado de produtos biológicos de controle, grupo mais relevante entre os bioinsumos, diversos aspectos têm incitado o crescimento da utilização no mundo e no Brasil. O primeiro deles é a crescente pressão de órgãos reguladores no sentido de limitar a aprovação de produtos químicos, impondo critérios mais rígidos em termos de toxidez e persistência no ambiente. Dessa forma, o tempo e o custo envolvido desde

a descoberta de uma nova molécula até a disponibilização de novos defensivos químicos, que já eram altos, tornam-se ainda maiores. Outro fator de estímulo ao mercado de produtos biológicos está ligado à redução das opções de controle de pragas e doenças, em razão da perda de efetividade de alguns ativos químicos, acelerada pelo uso intensivo e consequente surgimento de resistência. Esse fato associado a menor velocidade de desenvolvimento e lançamento de novas moléculas, abre espaço para opções com modos de ação distintos, como são os produtos biológicos.

O mercado global de biológicos para a agricultura, que abrange biodefensivos, inoculantes, biofertilizantes e bioestimulantes, foi estimado em US\$9,9 bilhões em 2020 e, nesse rol, apenas os produtos biológicos de controle, respondem por US\$5,2 bilhões (IHS Markit, 2021).

Segundo estudo da CropLife Brasil e pelo Observatório de Economia da Fundação Getúlio Vargas (FGV), o mercado global de bioinsumos agrícolas deve atingir cerca de US\$ 45 bilhões até 2032, se manter a taxa de crescimento anual entre 13% e 14%. Nesse ritmo, em oito anos, o mercado global dos insumos biológicos tende a triplicar. Em 2023, o valor do mercado global de bioinsumos somou entre US\$ 13 bilhões e 15 bilhões, incluindo os segmentos de controle biológico, inoculantes, bioestimulantes e solubilizadores. Ainda assim, o setor de controle biológico é destaque no segmento, respondendo por 57% do mercado atual (Duarte, 2024).

Segundo Bueno et al. (2020) o Brasil é o país com a maior área tratada com agentes de biocontrole, atingindo mais de 50 milhões de hectares em 2021. A área potencial tratada com bioinsumos, contando com o número de aplicações na mesma área, deve chegar a 155,4 milhões de hectares na safra 2024/2025. A projeção representa um aumento de 13% em relação à safra 2023/2024 e 22% em relação à safra 2022/2023, nos principais cultivos brasileiros (Freitas; D'agustini, 2024).

De acordo com a mesma, avalia-se que o crescimento do mercado de bioinsumos nos últimos 10 anos se deve, principalmente, ao avanço acelerado do mercado nos últimos quatro anos e a adoção por parte dos produtores rurais como instrumento para o manejo integrado de pragas. Porém, de acordo com Observatório de Economia da Fundação Getúlio Vargas (FGV), apesar dos avanços expressivos, como o crescimento de 50% da área cultivada entre as safras 2021/22 e 2023/24, o setor enfrenta desafios significativos como capacitação técnica e a necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (Freitas; D'agustini, 2024).

3.2.3 Tipos de controle biológico

Segundo DeBach e Rosen (1991) e Van Driesche e Bellows (1996) retrataram três formas de manipulação do controle biológico: importação, aumento e conservação de inimigos naturais.

O controle biológico por importação ou controle biológico clássico, consiste no método de buscar inimigos naturais de uma praga exótica (espécie invasora) em outras áreas geográficas distintas para introdução, liberação e estabelecimento na área onde a praga exótica foi inserida, visando ao seu controle (Fontes et al., 2020).

O controle biológico aumentativo ou aumento é realizado por liberações do agente de controle biológico por meio de técnicas inoculativas e inundativas. O método mais comum é a produção massal do inimigo natural, em geral em indústrias comerciais altamente especializadas, e a liberação em campo de um elevado número de indivíduos com o objetivo de suprimir a praga em relativamente curto prazo. Essa estratégia de controle biológico é a mais adequada quando o agente é um microrganismo e é muito utilizada no Brasil para controle de artrópodes e doenças de plantas. O aumento de inimigos naturais tem sido bem-sucedido quando o inimigo natural é passível de produção massal (Fontes et al., 2020).

Segundo os mesmos autores, no controle biológico aumentativo com estratégia inundativa, os organismos benéficos são liberados regularmente em grandes densidades, buscando o controle imediato das populações de pragas, sem a expectativa do estabelecimento desses inimigos naturais nas áreas de liberação.

O controle biológico conservativo fundamenta-se no entendimento de que os agroecossistemas podem ser manejados com objetivo de preservar e elevar as populações de inimigos naturais (parasitoides, predadores e patógenos) e assim possibilitar o controle das populações de pragas. Para que os inimigos naturais sejam atraídos e se preservem em um agroecossistema, é necessário fornecer presas ou alimentos alternativos, como fontes de carboidratos, como néctar e melato e de proteínas, como pólen, para parasitoides e predadores. Várias espécies de predadores e parasitoides têm a longevidade, a sobrevivência e a fecundidade favorecidas por uma dieta diversa à base de plantas, complementar às presas (Wyckhuys et al., 2013).

Além das provisões de recursos complementares, é fundamental criar e manter locais de refúgio que, além de moderar as condições físicas do ambiente criando microclimas favoráveis, protejam os parasitoides e predadores de seus próprios inimigos naturais (Fontes et al., 2020).

3.2.4 Modos de ação

Os mecanismos de ações antagonicas são divididos em antibiose, indução de resistência, parasitismo, predação, competição e promoção de crescimento (Medeiros et al., 2022). Os distintos mecanismos de ação dos agentes de biocontrole ocorrem por meio de vasto espectro de fatores diretamente relacionados à quantidade de contato entre interespecies e à especificidade das interações (Thambugala et al., 2020).

Esses mecanismos de ações não podem ser generalizados, porque devem ser consideradas particularidades que abrangem as diferentes espécies e isolados/cepas e, ainda, a associação entre microrganismos, permitindo comportamentos distintos quanto aos modos de ação (Seixas et al., 2022).

3.2.4.1 Competição

A competição é um mecanismo que acontece quando dois ou mais organismos precisam do mesmo recurso (espaço, nutrientes, água) e o uso deste reduz a quantidade disponível para o outro (Mello et al. 2020).

A competição por nutrientes e nichos é um mecanismo essencial pelo qual os agentes biológicos agem na proteção das plantas aos fitopatógenos, sendo que os agentes microbianos normalmente atuam por colonização competitiva e da excreção de compostos antifúngicos (Seixas et al., 2022).

Inúmeros fitopatógenos necessitam penetrar e colonizar internamente os tecidos da planta hospedeira para ter acesso aos seus nutrientes, começando o processo de infecção a partir da sua superfície. Em alguns casos, principalmente para fitobacterioses, é fundamental que o patógeno primeiramente se estabeleça na superfície da planta, e somente quando alcançarem um nível populacional mínimo é que se inicia a produção de fatores de virulência responsáveis pelo processo de invasão da planta. Os agentes de controle biológico atuam no estabelecimento e infecção da planta pelos fitopatógenos, ao dificultarem o acesso aos nutrientes da planta para sua multiplicação e/ou aos sítios de penetração (locais utilizados pelos fitopatógenos para entrar na planta, como os estômatos). O agente de biocontrole também pode alterar a rizosfera, acidificando o solo a um nível em que o patógeno não consegue se desenvolver (Benítez et al., 2004).

Esses são as causas pelos quais o rápido estabelecimento do inimigo natural e sua alta capacidade de competir por nutrientes exsudados pela planta são considerados características importantes de um agente de controle biológico (Mello et al., 2020).

A eficiência do biocontrole é determinada, pelo menos parcialmente, pela capacidade intrínseca de utilizar nutrientes liberados pela planta hospedeira em competição com outros microrganismos, o que possivelmente leva à exclusão do patógeno (Boogert, 1996).

Dessa forma, um ótimo agente de biocontrole de fungos de solo, por exemplo, deve possuir rizocompetência, ou seja, capacidade de colonizar raízes vegetais, ocupando os sítios de penetração/infecção usados pelo patógeno. Seu desempenho cresce significativamente se, além de utilizar eficientemente os nutrientes, também for capaz de secretar substâncias nocivas aos fitopatógenos, entre elas antibióticos e enzimas degradadoras de parede de fungos (Mello et al., 2020).

3.2.4.2 Micoparasitismo

A interação antagonista estabelecida entre espécies de diferentes fungos, mencionada como micoparasitismo ou hiperparasitismo, representa uma associação muito intrigante do ponto de vista do controle biológico. Essa interação pode ser classificada, de acordo com a agressividade parasítica para os hospedeiros, em dois tipos: biotrófica e necrotrófica. Os hiperparasitas biotróficos normalmente são parasitas obrigatórios, portanto são incapazes de sobreviverem sem seus hospedeiros. Eles apresentam alta especificidade e reconhecimento dos organismos parasitados, alcançando nutrientes e compostos por eles produzidos, muitas vezes sem evidências de danos (Melo; Faull, 2000; Cortes-Penagos et al., 2007).

Os hiperparasitas necrotróficos, por outro lado, são parasitas facultativos que destroem o protoplasma do hospedeiro, nutrindo-se da matéria orgânica morta, por esse motivo despertam maior atenção como agentes de biocontrole, pois os danos, nesse caso, são maiores. O hiperparasitismo envolve os seguintes passos:

1. Quimiotropismo ou crescimento do antagonista em direção ao hospedeiro, possivelmente, em resposta a estímulos químicos atribuídos a presença de lectinas presentes na superfície do hospedeiro;

2. Reconhecimento e ligação do micoparásita ao hospedeiro, por meio do desenvolvimento de hifas paralelas ou enrolamento das hifas do parasita em volta das células hospedeiras;
3. Ataque, degradação e lise da parede celular;
4. Morte do hospedeiro e exploração do seu conteúdo.

O parasita pode entrar na célula hospedeira por mecanismos de pressão ou por estruturas especializadas, como apressórios ou plugs de penetração. A extinção do hospedeiro pode ser induzida por toxinas em conjunto com a degradação enzimática da parede celular (Cortes-Penagos et al., 2007).

Entre as enzimas líticas produzidas e secretadas por agentes de controle biológico, responsáveis pela degradação de parede celular de fungos, estão incluídas as quitinases, celulasas, hemicelulasas, β 1,3-glucanases, lipases e proteases. A maior parte das atividades enzimáticas relatadas para diferentes espécies de fungos tem como alvos os componentes estruturais da parede celular. Ao degradarem paredes celulares de fungos fitopatogênicos, essas enzimas auxiliam diretamente para a supressão dos patógenos de plantas (Cortes-Penagos et al., 2007). Em diferentes agentes de controle biológico que atuam por esse modo de ação, especialmente no caso de fungos do gênero *Trichoderma*, a secreção de enzimas líticas parece ter importância significativa para sua atuação como biocontroladores. Tem sido postulado que paredes celulares de fungos são também degradadas por quitinases bacterianas (Mello et al. 2020).

3.2.4.3 Antibiose

A antibiose é formação e a secreção de compostos e metabólitos secundários antimicrobianos por fungos e bactérias antagonistas para inibir ou controlar os microrganismos patogênicos (Seixas et al., 2022).

Existe uma grande diversidade de antibióticos com amplo espectro e estruturas diversas secretadas por *B. subtilis*, que incluem peptídeos, proteínas (enzimas) e produtos não peptídicos (Woo et al., 2014). *Bacillus subtilis* QST-713 produz iturina, agrastatina/plipastatina e surfactina, entre outros compostos que inibem a germinação de esporos e o crescimento do tubo germinativo de patógenos (Bettioli et al., 2012).

Metabólitos secundários desenvolvidos por fungos podem alterar o crescimento e o metabolismo das plantas, enquanto outros parecem ter como alvo processos fúngicos específicos, como esporulação e alongamento de hifas (Thambugala et al., 2020).

Os compostos compreendem antibióticos, enzimas líticas, substâncias voláteis, sideróforos, peptídeos, proteínas, fenóis, terpenos, policetídeos, entre outros (Haggag; Mohamed, 2007; Ramírez Granillo et al., 2015; Mello et al., 2020). Tanta é a importância da antibiose para os microrganismos, que muitos agentes de controle biológico dirigem boa parte de sua energia para sua realização. Por exemplo, a bactéria *Bacillus subtilis* possui, em média, de 4% a 5% do seu genoma composto por genes para a síntese de compostos antimicrobianos (Stein, 2005). Espécies de *Trichoderma* são prolíficas produtoras de metabólitos secundários, com estrutura de mais de 100 desses compostos relatados (Mello et al., 2020).

3.2.4.4 Promoção de crescimento

Inúmeros microrganismos são classificados como promotores de crescimento das plantas. Esse efeito é conferido na germinação de sementes, enraizamento, brotação de estacas, crescimento de ramos, incremento de área foliar, atraso da senescência e incremento no rendimento das culturas. Muitos desses microrganismos, por elevarem a absorção de nutrientes, podem ser utilizados em formulações, como biofertilizantes. Porém, nem todo promotor de crescimento é biofertilizante, e o efeito na planta pode ser decorrente da atividade de controle de fitopatógenos (Mello et al. 2020).

3.2.4.5 Indução de resistência de plantas

O termo resistência induzido (IR) é generalizado e refere-se a um estado de resistência expresso em plantas contra agressões aos ataques de patógenos, infestações de insetos ou qualquer tipo de estresse. Ele pode ser estimulado por diversos fatores, bióticos ou abióticos, incluindo patógenos e bactérias promotoras de crescimento de plantas, lesões físicas ou quaisquer indutores químicos (Kumar et al., 2016).

Levando em conta os sistemas de defesa das plantas contra os patógenos, a resistência de plantas pode ser dividida em duas categorias: passiva e ativa. Fatores de resistência passiva são aqueles que estão presentes na planta antes do seu contato com o patógeno (pré-formados).

Agora, fatores de resistência ativa compõem aqueles que estão ausentes ou em concentrações baixas na planta e são ativados ou produzidos pelo ataque de fitopatógenos ou por estímulos de organismos não fitopatogênicos (Misaghi, 1982).

Diferentes fungos e bactérias, incluindo agentes de controle biológico, apresentam a capacidade de ativar o sistema de defesa das plantas contra os fitopatógenos. Assim, a indução de resistência das plantas contra fitopatógenos é mais um dos meios de biocontrole das doenças de plantas. Esse é um mecanismo indireto, já que o agente de biocontrole não age diretamente sobre o patógeno, mas produz estímulos para ativação de mecanismos de defesa na planta contra o agressor (Mello et al., 2020).

A planta se defende do ataque de patógenos por duas vias, a da resistência sistêmica adquirida (RSA) e da resistência sistêmica induzida (RSI). Embora fenotipicamente RSA e RSI sejam semelhantes e muitas vezes esses conceitos sejam usados como sinônimos, a primeira diz respeito à reação de resistência na planta em razão da infecção por patógenos, enquanto a segunda resulta da interação planta-organismo não patogênico. Nitidamente, RSA é caracterizada pelo acúmulo de ácido acetil salicílico, produzido com regularidade após a infecção por patógenos e que tipicamente leva à expressão de proteínas relacionadas à patogênese; RSI é mediada por ácido jasmônico (JA) e/ou etileno, produzidos quando da indução de resistência, normalmente através de microrganismos e/ou insetos (Choudhary et al., 2007).

No caso dos microrganismos, grande parte dos indutores são fungos e bactérias não patogênicos que colonizam a rizosfera e ativam a via de defesa mediada por ácido jasmônico. A indução da defesa pode ser local, quando apenas a região que esteve em contato com o agente indutor da resistência é ativada, ou sistêmica, quando através de um sinal (ácido salicílico ou ácido jasmônico e etileno), outros segmentos da planta que não estavam em contato com o agente indutor de resistência também formam compostos químicos e estruturais para a defesa contra o patógeno (Misaghi, 1982).

A resistência de plantas a doenças não é induzida pelo agente de controle biológico como um todo, mas por moléculas específicas que têm potencial de estar presentes na superfície da célula bacteriana/fúngica ou podem ser secretadas por esses microrganismos, que irão provocar a resposta de defesa na planta. Vários são os compostos gerados por fungos e bactérias

capazes de induzir a resistência. É visto que, muitas vezes, um mesmo organismo é capaz de induzir a resistência em diferentes hospedeiros vegetais e que, em diversos casos, o microrganismo gera mais de um composto que induz a resistência. Outra característica relevante relacionada a esse mecanismo é que, de uma forma geral, a defesa ativada tem efeito sobre vários patógenos, incluindo vírus, bactérias, fungos e nematoides (Mello et al., 2020).

3.2.5 Agentes

O grupo dos inimigos naturais que agem como agentes de controle biológico são constituídos por patógenos, predadores e parasitoides. O primeiro é chamado de agente entomopatogênico e os dois últimos agentes entomófagos (Abreu et al., 2015).

Hoje em dia, no mercado brasileiro estão disponíveis as seguintes espécies de microrganismos para o controle de pragas: *Beauveria bassiana*, *Isaria fumosorosea*, *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces fumosoroseus* e *Bacillus thuringiensis* (Bueno et al., 2020; Mapa, 2022). E os antagonistas utilizados no Brasil para o controle de doenças de plantas são: *Aspergillus flavus*, *Clonostachys rosea*, *Paecilomyces lilacinus* (*Purpureocillium lilacinum*), *Pochonia chlamydosporia*, *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma koningiopsis*, *Trichoderma stromaticum*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus firmus*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus methilotrophicus*, *Bacillus pumilus* e *Bacillus subtilis* (Bettioli et al., 2019; Bueno et al., 2020; Mapa, 2022).

3.3 CONTROLE MICROBIOLÓGICO DO MILHO

Os produtos biológicos são organismos vivos ou resultantes deles e são utilizados como ingredientes ativos nas formulações. Além de inocular, também são tidos como biopesticidas (Miranda et al., 2023).

As oportunidades de aplicações de agentes de biocontrole na cultura do milho vêm crescendo com novos produtos e isolados, bem como pelo incentivo e regulamentação do setor de biológicos impulsionado pelas políticas públicas, como o Plano Nacional de Bioinsumos (Brasil, 2020), que possibilita maior disponibilidade de novos produtos e marcas comerciais, com maiores possibilidade de diminuição de custos ao agricultor (Francisconi; Bonaldo; 2022).

Os entomopatógenos auxiliam de forma positiva para eliminação de insetos pragas através de vírus, bactérias e fungos, que contaminam os hospedeiros, adentrando o tegumento e colonizando o seu corpo pela hemolinfa, causando assim epizootias, isto é, enfermidades que

levam a morte, além de interferir na alimentação e reprodução dos insetos e ácaros, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Baculoviridae* são alguns dos organismos mais estudados para controle de pragas (Rohrig, 2021).

Segundo Mascarin & Paulin (2010) retratam que os fungos entomopatogênicos são importantes agentes de controle microbiano de pragas no Brasil. Isso se dá por causa de diversas características positivas que algumas espécies desses patógenos mostram, tais como: amplo espectro de hospedeiros devido a sua larga diversidade natural; causam epizootias em condições naturais; apresentam elevada capacidade de disseminação entre os indivíduos da população da praga e manifestam mecanismos de sobrevivência que permitem sua persistência no ambiente (Valicente, 2009).

Outro atributo positivo é que os fungos, ao contrário de outros microrganismos entomopatogênicos, como vírus e bactérias, não necessitam ser consumidos pelos insetos para causarem a infecção, já que os seus esporos podem invadir o corpo do hospedeiro através do contato com o tegumento, causando a doença e a morte num processo dependente de fatores bióticos e abióticos (Mustafa & Kaur 2008).

3.3.1 Aspectos gerais das principais pragas, doenças e seus antagonistas

A ocorrência de doenças, plantas daninhas e insetos pragas, juntos ou individualmente, podem diminuir o potencial produtivo da lavoura de milho. As pragas em especial, podem prejudicar de maneira total ou parcial esse potencial produtivo, causando impactos econômicos significativos na cadeia produtiva do milho (Oliveira et al., 2014).

As pragas da fase vegetativa, as pragas do colmo, como a broca da cana-de-açúcar (*Diatraea saccharalis*), que no estágio larval alimenta-se do colmo, diminuindo assim a translocação de fotoassimilados (Cereza et al., 2021; Miranda et al., 2023). A lagarta elasm (*Elasmoplus lignosellus*) que destrói o ponto de crescimento, ocasionando assim murcha e morte das folhas centrais (Valicente, et. al, 2015). A lagarta rosca (*Agrotis ipsilon*) que mostra característica fototrópica negativa, pois durante o dia a mesma permanece no solo, e a noite é capaz de cortar várias plantas (Camargos, et. al, 2021; Miranda et al., 2023).

O percevejo barriga verde (*Dichelops melacanthus*), que se alimenta de seiva nos vasos do xilema, e injetam substâncias tóxicas através da bainha até as folhas internas causando lesões, além de causar encarquilhamento das folhas mais jovens que não se abrem, formando uma espécie de “charuto” (Miranda et al., 2023).

Insetos sugadores como a cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*), que age na sucção de seiva do floema, diminuindo o desenvolvimento do sistema radicular, além de transmitir fitopatógenos, (Cruz, et. al, 2015; Miranda et al., 2023). Já o pulgão-do-milho (*Rhopalosiphum maidis*) suga a seiva da planta e deixa líquido açucarado que contribuem para a formação de fumagina sobre as folhas, dificultando ações fotossintéticas, além de serem vetores de diversos vírus (Sieg et al, 2021; Miranda et al., 2023).

No caso dos insetos mastigadores, a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) é conhecida como a principal praga do milho no Brasil, demanda alto investimento para o seu controle, e pode ocasionar perdas de até 60% na produção. As larvas mais novas alimentam-se dos tecidos de folha de um lado, deixando a epiderme oposta intacta. Depois do segundo ou terceiro instar, as larvas começam a fazer buracos nas folhas, se alimentado em seguida do cartucho das plantas de milho, produzindo uma característica fileira de perfurações nas folhas (Cruz et al., 2020).

Todavia a utilização do controle biológico nas lavouras para controle das pragas da parte vegetativa do milho encontra-se a *Cotesia flavipes* que é um parasitoide da broca (*D. Saccharalis*), esse parasitismo acontece através da ovoposição da vespa no interior da lagarta, desses ovos eclodem larvas e as mesmas alimentam-se, dos tecidos da lagarta que morre exaurida (Nava et al, 2009; Miranda et al., 2023). Já o controle da lagarta rosca pode ser realizado por insetos benéficos através de microhimenópteros e dípteros (Filho et al., 2022). No caso do percevejo barriga verde, existe a *Ectophasiopsis sp* uma espécie de mosca parasitoide do adulto do percevejo, que ovopositam no corpo da praga, característicos pela sua coloração clara, que após penetrar no corpo inseto ficam escurecidos, assim a larva entra no trato digestivo, e alimenta-se da praga, a matando (Panizzi et. al, 2015).

A cigarrinha do milho, cigarrinha das pastagem e lagarta elasma, podem ser controlados por fungos entomopatogênicos, *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* que têm capacidade de infeccionar esses insetos e os utiliza como hospedeiros para germinação dos seus esporos e liberação de conídios no cadáver dos mesmo após 72 horas de infecção (Nogueira et al., 2022; Matioli, 2020; Viana, 2009), e o pulgão do milho pode ser controlado através do parasitismo das vespas do gênero *Lysiphlebus* que fazem postura de ovos no interior do praga, e as larvas alimentam-se do interior do inseto, causando a morte, modo de ação semelhante a *Cotesia flavipes* (Vicente, Junior, 2011).

Pensando em doenças na cultura do milho, a mesma é afetada por diferentes enfermidades, desde as causadas por fungos, bactérias e mollicutes. Doenças como

cercosporiose (*Cercospora zea-maydis*), helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*, *Cochliobolus heterostrophus*, *Cochliobolus carbonum*), mancha-branca (*Pantoea ananatis*), ferrugens (*Puccinia sorghi*, *Puccinia polysora*, *Physopella zae*), mancha de macrospora (*Stenocarpella macrospora*), fusariose (*Fusarium spp.*), podridão branca da espiga (*Stenocarpella spp.*), enfezamento-vermelho (*Maize bush stunt phytoplasma*) e enfezamento-pálido (*Spiroplasma kunkelii*) que podem levar a perdas de até 80% na produção (Casela et al., 2006; Francisconi; Bonaldo; 2022).

Deste modo, esta pesquisa abordará alguns dos principais microrganismos utilizados no controle biológico da cultura do milho, com ênfase nos agentes de biocontrole mais empregados e com maior eficiência no Brasil. Serão destacados os seguintes organismos: *Trichoderma spp.*, *Bacillus spp.*, baculovírus, *Metarhizium spp.*, *Isaria spp.* e *Beauveria spp.*

3.3.1.1 *Trichoderma spp*

Os fungos do gênero *Trichoderma* são de extrema importância econômica para a agricultura, uma vez que são aptos a atuarem como agentes de controle de doenças de diversas plantas cultivadas, promotores de crescimento e indutores de resistência de plantas a doenças (Santos et al., 2012). Pesquisas têm descrito o potencial na solubilização de fosfato (Kapri e Tewari, 2010; Chagas et al., 2015). Além disso, as espécies de *Trichoderma* estão sempre relacionadas à colonização de raiz e que muitas vezes proporcionam o aumento, o crescimento e o desenvolvimento das raízes de plantas, favorecendo a absorção e utilização de nutrientes, seguido do aumento da resistência aos estresses abióticos e consequentemente, da produtividade das culturas (Kapri e Tewari, 2010; Hannan et al., 2013; Chagas et al., 2015; Chagas et al., 2016).

Mais de 200 espécies de *Trichoderma* foram classificadas molecularmente, objetivando o controle de pragas e doenças na agricultura (Atanasova et al., 2013). Dentre esses, ressalta a espécie *T. harzianum rifai* (Ascomycota, Hypocreales, Hypocreaceae), fungo assexuado, já comercializado e recomendado para o controle de patógenos como *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* e *Esclerotinia* (Kamala & Indira, 2014).

Uma variedade de espécies de *Trichoderma* são empregados na agricultura, incluindo *T. harzianum*, *T. atroviride*, *T. longibrachiatum*, *T. viridae* e *T. polysporum*. As qualidades da utilização deste fungo no controle de doenças de plantas vêm da probabilidade de inibir o crescimento micelial de patógenos, e, ao mesmo tempo, agir nas plantas como regulador de

crescimento, favorecendo o aumento da biomassa e a produtividade das culturas (Imran et al., 2022).

Os mecanismos de controle dos fitopatógenos compreendem diferentes mecanismos como antibiotismo, competição e micoparasitismo (Ruangwong, 2014). Além disso, os ácidos orgânicos liberados por *Trichoderma* ajudam na solubilização de magnésio, ferro, manganês e fosfatos, e podem auxiliar na disposição de outros nutrientes ao participar no processo de decomposição da matéria orgânica (Sanjeev et al., 2014).

Sobre a indução de resistência, estudos apresentaram que ocorre a ativação de mecanismos de defesa vegetal que estão ligados a mudanças na composição da parede celular, a produção de proteínas relacionadas à patogênese (PR), como quitinases e glucanases, ao crescimento nas atividades de enzimas como a fenilalanina amoniacaliase (FAL) e peroxidase (POD) e síntese de fitoalexinas, associadas à resistência (Woo et al., 2014; Monte et al., 2019; Paula et al., 2021; Seixas et al., 2022). Além disso, o *Trichoderma* é um ótimo competidor por recursos nutricionais nos solos, o que diminui a quantidade de nutrientes, oxigênio e espaço físico para agentes fitopatogênicos (Seixas et al., 2022).

Dentre os agentes causadores de doenças em plantas, os fungos são declarados um dos de maior relevância (Boerboom, 2018). De acordo com Shan et al. (2017), um dos gêneros de maior importância fitopatológica é o *Fusarium*, com alta capacidade de causar danos à cultura do milho, causando as doenças de podridão de colmo, podridão rosada da espiga, podridão das raízes, grãos ardidos, entre outras, além da liberação de micotoxinas, que também são nocivas aos animais e ao homem, elevando custos de produção e, conseqüentemente, diminuindo a produtividade e os lucros (Chet et al., 1998; Harman, 2006; Hungria, 2010; Oldenburg et al., 2017).

Segundo Medeiros et al (2020) em seu trabalho de pesquisa, o tratamento de solo com diferentes espécies de *trichoderma* mostrou-se mais eficiente em proteger as plantas de milho com menos sintomas de infecção por *Fusarium moniliforme*. Neste tratamento, boa parte das plantas apresentaram somente clorose das primeiras folhas, e a taxa de plantas resistentes foi de 90%, indicando que as espécies de *trichoderma* estudadas induziram as plantas a ativarem mecanismos de resistência oriundos da relação antecipada dos agentes com as sementes. Além disso, para o tratamento que utilizou aplicação foliar das espécies de *Trichoderma*, os resultados também foram satisfatórios, com 85% de plantas resistentes ao fitopatógeno.

Também Venegas e Scudeler (2012), perceberam que em plantas de milho, as sementes inoculadas com *trichoderma* obtiveram maiores resultados em comparação aos demais

tratamentos. Tais autores concluíram que esses organismos favorecem a síntese hormonal e antibiótica que tendem a suprimir possíveis doenças na cultura.

Na pesquisa realizada por Bezerra et al (2022) o uso de *Trichoderma Harzianum*, independente da concentração utilizada nas sementes de milho, foram eficazes na redução de *Aspergillus sp.*, *Aspergillus niger*, *Penicillium sp.* e *Fusarium sp.* Além disso, o *Trichoderma harzianum* não interferiu negativamente na qualidade fisiológica das sementes e proporcionou um aumento nos percentuais de germinação.

3.3.1.2 *Bacillus* spp.

Diversas espécies de *Bacillus* são antagonistas de fungos fitopatogênicos podendo ser utilizados em programas de controle biológico (Angonese et al., 2009; Schisler et al., 2004; Wilhelm et al., 1998, Wulff et al., 2002; Figueiredo et al., 2010). As bactérias do gênero *Bacillus* apresentam grande potencial para serem utilizadas como agentes de controle biológico, pois têm viabilidade quando estocadas por longos períodos (Petras; Casida, 1985; Figueiredo et al., 2010).

Para controle de doenças radiculares o *Bacillus* constitui o gênero mais estudado e aplicado. Com diferentes mecanismos de ação e facilidade de produção, se tornou o principal ativo biológico dos produtos registrados para uso comercial no Brasil (Medeiros et al., 2022).

Para tanto, este estudo discute as principais espécies de *Bacillus* spp. mais utilizadas no controle biológico da cultura do milho, com destaque para *Bacillus thuringiensis* e *Bacillus subtilis*..

O *Bacillus thuringiensis* é uma bactéria que advém naturalmente no ambiente, atacando lagartas. É uma bactéria gram positiva que possui a habilidade de formar cristais proteicos durante a fase estacionária ou de esporulação dos insetos/pragas. Esse cristal, que é proteico, pode ser denominado de delta-endotoxinas sendo responsável pela sua característica de inseticida para as pragas (Szydloski et al., 2023). Essa bactéria foi retratada na Alemanha em 1911, isolada a partir da lepidoptera *Anagasta kuehniella* (Shelton et al., 2002).

Depois do momento da esporulação, *B. thuringiensis* produz cristais proteicos com ação inseticida, chamado de toxina Cry ou Cyt (James, 2009; Rocha, 2024). Atualmente são conhecidos mais de 70 grupos de toxinas Cry, identificados por letras e números (Cry1A, Cry2A), agindo sobre determinado tipo de inseto (Szydloski et al., 2023). Com propriedades inseticidas, *B. thuringiensis* também pode produzir α -exotoxinas, β exotoxinas, hemolisinas, enterotoxinas, quitinases, fosfolipases, parasporinas e outras proteínas inseticidas com funções

específicas semelhantes (Crickmore et al., 2022). Além disso, outras proteínas com atividade inseticida também são desenvolvidas pela bactéria *Bacillus thuringiensis*, porém, em menor frequência, sendo elas as proteínas Vip e Cyt (CORTEVA, 2022).

As proteínas Cry são tóxicas a um elevado número de espécies de insetos, já que a estrutura dessa proteína prejudica fatores fundamentais ao inseto, como por exemplo, o pH intestinal, o qual é dominante as proteinases digestivas nas membranas das células do epitélio intestinal (Cruz *et al.*, 2011).

A morte dos insetos acontece na fase larval, onde se nota que as toxinas rompem o tecido do intestino do inseto (Raymond et al., 2010). Visando o controle de lagartas nos cultivos de milho, as toxinas Cry foram introduzidas na planta a partir da transgenia (Bravo, et al. 2011; Rocha, 2024).

Visando o melhor manejo em agroecossistemas e controle de pragas na agricultura os híbridos com tecnologia Bt (*Bacillus thuringiensis*) vêm para o auxílio na produção. A tecnologia Bt (*Bacillus thuringiensis*) foi desenvolvida para que a planta tenha uma maior resistência a pragas e doenças. A tecnologia do milho Bt se fundamenta na mudança e expressão de genes de resistência a insetos-praga para o milho, isolados da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Carneiro *et al.*, 2009).

Nesse sentido, evidencia que o milho Bt é caracterizado pela inserção em plantas de um ou mais genes da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt), que induz a produção de uma ou mais proteínas tóxicas apenas para determinadas pragas (Leite *et al.*, 2011). Assim, nas espigas, o milho Bt permite diminuir o ataque de insetos em até 90%, reduzindo, conseqüentemente, a probabilidade de crescimento de fungos através das perfurações provocadas pelos insetos-pragas (Szydloski et al., 2023).

Por esse motivo, o controle obtido pelas plantas Bt é o melhor que os métodos convencionais, reduzindo a demanda por produtos químicos, a produção torna-se mais barata para o agricultor e mais sustentável, haja vista a redução de resíduos tóxicos que podem causar danos ao meio ambiente (Marques, 2011; Szydloski et al., 2023).

Além dessa estratégia, o uso da bactéria na pulverização pode possibilitar a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos e promover o crescimento (Clemente et al., 2016). De acordo com o González-Cabrera et al. (2010) a pulverização de *B. thuringiensis* pode diminuir os danos causados pelas pragas. E a ação contra fitopatógenos, ocorre na rizosfera através da competição por espaço, nutrientes e sínteses antimicrobianas (Leelasuphakul et al., 2008).

Já bactérias do gênero *Bacillus spp.*, também se apresentam eficazes no controle biológico de doenças em plantas, agindo em patógenos foliares e radiculares. Algumas espécies produzem fitohormônios e sideróforos, promovendo o crescimento das plantas (Júnior et al., 2000). Um microrganismo altamente resistente ao calor devido a formação de endósporos, possibilitando maior sobrevivência em diferentes ambientes de produção (Bettiol, 2009).

Entre as espécies de bactérias, *Bacillus Subtilis* é a mais estudada do gênero e se destaca pelos resultados positivos como agente de biocontrole (Filho et al., 2010). Bactérias antagonicas, como *B. subtilis*, de modo geral, atuam significativamente por antibiose e, ocasionalmente, por parasitismo e competição (Kupper et al., 2003). Microrganismos que agem por antibiose, produzindo lipopeptídeos das famílias da surfactina, iturina e fengicina que possuem atividade antifúngica e inibitória no crescimento de fitopatógenos (Filho et al., 2010) geralmente têm amplo espectro de ação, de forma que na inibição dos fungos a produção de substâncias tóxicas é mais efetiva do que qualquer outro mecanismo de ação envolvido (Kupper et al., 2003).

Na planta, *B. subtilis* pode induzir a resistência sob casos de estresse através da produção de hormônios vegetais pela planta, como o IAA (Mumtaz, 2020) e pela capacidade em competir por espaço e nutrientes, influenciando diretamente o complexo planta, ambiente e patógeno, melhorando o crescimento vegetal (Wang et al., 2018). Possui alto potencial antibiótico, pelo menos 4% a 5% do genoma de qualquer grupo de *B. subtilis*, pode ser utilizado para produção de compostos com efeito antimicrobiano (Stein, 2005).

B. subtilis apresenta atividade in vitro contra vários tipos de patógenos para diferentes espécies cultivadas, por meio da produção de antibióticos como iturina A e surfactina, capazes de inibir o crescimento micelial de fungos (Asaka; Shoda, 1996).

Em estudos, a bactéria endofítica *Bacillus subtilis* foi capaz de diminuir os níveis de micotoxinas acumuladas nas sementes de milho por *Fusarium moniliforme* (Bacon et al., 2001). Já no trabalho realizado por Shiomi et al. (2015) a aplicação foliar de *B. subtilis* possibilitou efeito significativo no controle da mancha de turcicum no milho.

Em outros estudos, descrevem o potencial no controle de nematoides fitopatogênicos com a utilização da espécie *B. subtilis*, isso porque, de acordo com Araújo et al. (2002), prejudica o ciclo de vida dos nematoides através da produção de metabólitos tóxicos, tendo também, a produção de proteases e indução de enzimas de defesa na planta, o *B. subtilis* pode afetar a orientação do nematoide devido a esse agente interferir na produção de exsudados das raízes.

Com os avanços nas pesquisas dos metabólicos, a descrição de substâncias com potenciais agrônômicos pode nos trazer a luz do entendimento das interações de *B. subtilis*-planta, baseado na formulação de bioprodutos eficientes no controle de doenças ou crescimento de plantas. Assim, obtendo-se formulados mais estáveis, com maior viabilidade para uso (Lanna Filho et al., 2010).

3.3.1.3 Baculovirus

Os vírus do gênero *Baculovirus* são os de maior incidência e um dos mais estudados entre os vírus patogênicos de insetos (Valicente; Tuelher, 2010; Behlea; Pophan, 2012; Garavazo et al., 2020). Utilizados para o controle da lagarta-do-cartucho e chamado de vírus da poliedrose nuclear (VPN), conhecido como *Baculovirus Spodoptera* (Mantragolo, 2003; Valicente; Barreto, 1999).

Esse vírus, identificado em 1989 por Valicente et al. (1989), atua por ingestão e apresenta alto potencial de utilização, principalmente pela sua alta virulência, sendo considerado específico à lagarta-do-cartucho (Mantragolo, 2003).

Os sintomas comuns da infecção das lagartas por *Baculovirus* são a perda de apetite, geotropismo negativo, clareamento da epiderme devido acúmulo de vírus nos núcleos das células da epiderme e tecido adiposo (Valicente; Tuelher, 2010). As lagartas de *S. frugiperda* infectadas mostram mobilidade reduzida e por fim tornam-se escuras devido a desintegração do tecido interno que se rompe ao menor contato quando acontece o extravasamento do conteúdo corporal (Valicente; Cruz, 1991; Garavazo et al., 2020).

Em estudo realizado por Corrêa et al., (2012) a utilização do inseticida microbiano *Baculovirus Spodoptera* no manejo integrado de pragas na cultura do milho é uma estratégia importante no controle da *S. frugiperda*, pois através da sua utilização podem-se reduzir populações resistentes a um determinado princípio ativo sem causar danos aos inimigos naturais.

3.3.1.4 Metarhizium spp

O *Metarhizium* é um fungo entomopatogênico pertencente ao reino Fungi, grupo Ascomycota, classe Sordariomycetes, ordem Hypocreales e família Clavicipitaceae, (Lovett & leger, 2018). Fungos do gênero *Metarhizium* são reproduzidos em escala comercial com objetivo de controlar pragas agrícolas substituindo e/ou diminuindo o uso de inseticidas

(Mnyone et al., 2012). Outras espécies, *M. robertsii*, *M. anisopliae* e *M. pinghaense*, são conhecidas por apresentar efeitos benéficos decorrentes da colonização das raízes (Ahmad et al., 2020).

Os efeitos endófitos positivos são resultantes da colonização na rizosfera. Esses fungos são capazes de proporcionar o crescimento das plantas e serem antagonísticos a fitopatógenos (Jaber & Ownley, 2018). Culturas tratadas com *M. anisoplie* apresentam melhor desenvolvimento (Rocha, 2024).

Helicoverpa zea consiste em uma das pragas de maior relevância pela sua ocorrência endêmica e pela dificuldade de seu controle. Além de seus danos diretos, que podem alcançar a 8%, causa danos indiretos pela abertura da espiga favorecendo a entrada de outras pragas, umidade e fungos causadores de podridões (Waquil, 2007). O controle de *H. zea* é complicado e na maioria dos casos, as perdas causadas pelo seu ataque nas espigas são inevitáveis devido à ausência de medidas de controle econômicas e efetivas (Rummel et al., 1986; Freitas et al., 2010), pois a lagarta localiza-se no interior da espiga, dificultando a aplicação de inseticidas (Freitas et al., 2010).

Dentre os agentes entomopatogênicos destaca-se o fungo *Metarhizium anisopliae*, que é um importante agente de controle de insetos no solo (Quintela & McCoy, 1998), mundialmente conhecido e utilizado como biocontrolador de inúmeras pragas agrícolas (Figueiredo et al., 2002).

Em pesquisa realizada por Vercesi et al. (2008), obteve diferenças significativas entre os tratamentos utilizando o fungo quanto aos danos nas folhas.

3.3.1.5 Isaria e Beauveria

Relacionada ao cultivo do milho, *D. maidis* é facilmente encontrada na América Latina e em algumas regiões dos EUA (Santana et al., 2019). No Brasil, pela probabilidade do cultivo em diferentes épocas do ano (primeira e segunda safra), transformou-se em uma das principais pragas da cultura por transmitir um complexo de doenças, no momento da alimentação (Waquil, 1997).

O enfezamento é o principal sintoma da doença transmitida por *D. maidis* ocasionada pelos mollicutes: Espiroplasma *Spiroplasma kunkelli* Whitcomb (enfezamento pálido) e o fitoplasma *Maize bushy stuntphytoplasma* (enfezamento vermelho) (Balmer, 1980; Gordon et al. 1981). Além da transmissão dos mollicutes, *D. maidis* também é vetor do *Maize rayado fino virus* (vírus da risca do milho) (Rocha, 2024).

Os sintomas iniciais surgem de forma leve aos 7 dias após a inoculação, e quanto mais jovens são as plantas infectadas, maior será a redução do crescimento, além de levar ao abortamento das gemas florais. As perdas nas produtividades causadas pelo vírus são somente 30%, mas torna-se pior pela transmissão simultânea junto dos mollicutes, formando um complexo que resulta no “enfazamento” da planta (Oliveira & Sabato, 2018; Rocha, 2024).

Frente as altas infestações encontradas, o controle de *D. maidis* é indispensável, para isso, o controle químico, biológico e cultural são as principais estratégias que integrando-se ao manejo podem reduzir os impactos negativos, entretanto não existem medidas curativas para as doenças transmitidas (Ávila, 2021). Visando garantir a produtividade, surgem no manejo diversas estratégias, uma delas é o uso de bioinsumos visando fortalecer as plantas mediante ao ataque (Martiello et al. 1997; Bonaldo et al. 2005; Singh et al. 2020).

O controle biológico em populações da cigarrinha-do-milho acontece naturalmente por meio da ação de parasitoides de ovos, de ninfas e adultos por predadores e por meio de fungos entomopatogênicos. O uso de patógenos como *B. bassiana* ou *I. fumosorosea* (Ávila, 2021) e *Metarhizium anisopliae* (Kist et al., 2020) aplicados em pulverização tem se tornando um instrumento importante para o manejo da cigarrinha (Ávila, 2021).

Embora a ação dos fungos seja mais devagar que a dos inseticidas químicos, o seu uso é eficiente na diminuição das populações do inseto-vetor para os plantios subsequentes (Cabral, 2023).

Beauveria bassiana é um dos micoinseticidas mais utilizados e eficientes no controle de inúmeros insetos-praga e em diferentes culturas, sendo um gênero de ampla distribuição geográfica (Dalzoto; Uhry, 2009).

A ação dos fungos entomopatogênicos começa quando os conídios entram em contato com a superfície da cutícula do inseto. A partir desse contato, os conídios formam tubos germinativos e hifas, que se expandem e penetram na cutícula, ultrapassando o tegumento do inseto. Ao invadir o corpo do hospedeiro, o fungo se propaga na hemolinfa, utilizando os nutrientes do inseto para sustentar seu próprio crescimento. Esse processo de multiplicação no interior do corpo do hospedeiro causa uma série de efeitos fisiológicos adversos, levando à morte do inseto devido ao comprometimento de seus sistemas vitais (Lazzarini, 2005).

No estudo de Libera et al. (2022) avaliou-se o potencial da *Beauveria spp.*, no controle da cigarrinha em campo, observando respostas diferentes entre diversos híbridos de milho, com alguns híbridos apresentando menor incidência de enfazamento e maior produtividade de grãos após a aplicação do fungo. Na pesquisa de Santos (2023) houve uma maior quantidade de

cigarrinhas-do-milho infectadas por fungos entomopatogênicos nas parcelas com *Isaria fumosorosea* (Isa), do que com *Beauveria bassiana* (Bb) ou *Metarhizium anisopliae* (Ma).

A *Beauveria bassiana* também se sobressai por seu amplo espectro de ação, sendo largamente empregado para controle biológico de ácaros (Barbosa et al. 2018), cochonilhas (Prestes et al. 2015), coleópteros (Fancelli et al. 2013), moscas-brancas (Lima et al. 2012), pulgões (Araujo et al. 2009), percevejos (Lorencetti et al. 2018) e algumas lagartas (Zambiazzi et al. 2016).

Além disso, a junção de inseticidas sintéticos com produtos biológicos à base de fungos entomopatogênicos (*Isaria fumosorosea* e *Beauveria bassiana*) é uma ideia importante para o manejo da resistência e também aumentar a eficácia das pulverizações e incrementar o período residual (Ribeiro; Canale, 2021).

Por fim, nota-se que o controle biológico é eficiente por diminuir populações de pragas agrícolas, garantindo assim uma população abaixo do nível de controle, além de minimizar danos causados pelas pragas, e reduzir custo com produtos químicos para controle das mesmas, pois os inimigos naturais, ou agentes possuem capacidade de se reproduzir e sobreviver no ambiente, não deixa, resíduos de produtos agrícolas e não causam resistência, beneficiando o ambiente e os consumidores (Passos, Mendonça, 2020; Miranda et al., 2023).

3.4 DESAFIOS

Entre os desafios, o consórcio de microrganismo e a compatibilidade biológica, campo com grande potencial prático e que deve avançar amplamente nos próximos anos (Medeiros et al, 2022).

Condições meteorológicas inadequadas (temperatura, umidade e precipitação, entre outras), podem influenciar os produtos biológicos, fazendo com que o agente se degrade rapidamente e não expresse todo o seu potencial de controle sobre os alvos de interesse (Pessoa et al., 2020a).

Segundo PET Biotecnologia Agrícola (2022), existem desafios a serem alcançados na tecnologia de produção de bioinsumos. O tempo de prateleira (Shelf life) é um deles, pois grande parte dos produtos tem um prazo de validade muito curto. Por se tratar de um produto, na maior parte das vezes constituído de um organismo vivo, é fundamental o cuidado com o processo de transporte e com a temperatura em várias etapas do processo, sendo necessária infraestrutura adequada para seu armazenamento.

A produção dos bioinsumos demanda instalações adequadas que permitem a perfeita manipulação dos inóculos e evitando a contaminação com organismos indesejados. A produção destes bioprodutos de forma inadequada é de altíssimo risco para toda cadeia produtiva. A contaminação de um processo de produção com um fitopatógeno pode ter consequências imensuráveis. Assim sendo, para a produção de bioinsumos de forma segura, é importante um rigoroso sistema de controle de qualidade e mão de obra altamente especializada. Por serem formulações biológicas, o seu desempenho depende muito do ambiente ao redor e da tecnologia de aplicação (PET BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA, 2022).

De acordo com os mesmos autores, além dos cuidados especiais de armazenamento, os produtos biológicos ainda demandam maiores precauções caso se queira trabalhar com mistura envolvendo produtos sintéticos. Neste caso é fundamental conhecer a compatibilidade entre esses produtos. Atualmente são poucos os estudos que demonstram ou explorem essas compatibilidades.

Ainda, é conhecido que muitos casos de ineficiência do uso de bioinsumos, ocorrem principalmente por se fazer misturas com outros produtos de natureza sintética e que comprometem a viabilidade dos organismos vivos, agentes ativos dos produtos biológicos. As pesquisas de compatibilidade são fundamentais para um melhor aproveitamento da tecnologia biológica em consórcio com outros métodos de manejo já consolidados (PET BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA, 2022).

Por fim, a disponibilização de produtos com estabilidade das formulações e com adequada solubilidade em água é essencial para a qualidade das aplicações de produtos biológicos. Os tipos predominantes de formulações dos produtos biológicos atuais (WP e SC) exigem atenção na agitação e nos sistemas de filtragem do pulverizador, de forma a evitar que as possíveis incompatibilidades físicas e químicas possam comprometer a qualidade do tratamento (Oliveira et al., 2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A revisão bibliográfica realizada permitiu identificar os principais agentes microbianos utilizados no controle biológico na cultura do milho no Brasil, destacando fungos de maior relevância como *Trichoderma spp.*, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e bactérias do gênero *Bacillus*, especialmente *B. thuringiensis* e *B. subtilis*, além dos *baculovirus*.

Os estudos realizados mostram que esses microrganismos possuem distintos modos de ação, como antibiose, parasitismo, competição, promoção de crescimento e indução de resistência, que garantem eficácia no controle de importantes pragas e doenças do milho, como *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis*, *Dalbulus maidis*, *Fusarium spp.* e *Pantoea ananatis*. A ação de controle desses microrganismos é otimizada quando associada a condições favoráveis no ambiente, como temperatura, umidade, estágio adequado da aplicação na planta e manejo da cultura.

Nas pesquisas encontradas, houve estudos testando diversos microrganismos no controle de patógenos e pragas do milho, como foi o caso do estudo com *Trichoderma spp.*, que demonstrou eficiência significativa na proteção contra doenças fúngicas, principalmente *Fusarium moniliforme*, além de propiciar o crescimento vegetal. O estudo com *Bacillus thuringiensis*, que expressa toxinas Cry letais a determinadas lagartas utilizado no desenvolvimento de híbridos Bt, que promoveu expressiva redução na incidência de *S. frugiperda*, enquanto *B. subtilis* atua sobre fitopatógenos por antibiose, indução de resistência e competição, além de promover o crescimento vegetal.

Entre os fungos entomopatogênicos estudados, *Metarhizium anisopliae* se destaca pelo controle de insetos-praga do solo e por sua capacidade de colonizar a rizosfera, contribuindo para o crescimento das plantas. Estudos indicam sua eficiência contra pragas de difícil controle, como *Helicoverpa zea*, cujas larvas se protegem no interior das espigas. Já *Beauveria bassiana* e *Isaria fumosorosea* demonstram elevada eficácia no controle de cigarrinhas, percevejos e lagartas, promovendo epizootias que resultam na morte dos insetos por infecção fúngica, mesmo sem ingestão direta, o que amplia o espectro e a efetividade de controle.

Também foi relatado o uso de *baculovirus* que apresentou resultados positivos principalmente no controle da lagarta-do-cartucho, com alta especificidade e eficácia. Essa especificidade, no entanto, exige estratégias de manejo integrado para evitar resistência e garantir sua eficiência ao longo do tempo.

Dessa forma, é possível compreender que os agentes de biocontrole desempenham um papel fundamental na agricultura moderna, atuando de maneira eficaz no manejo de pragas e

fitopatógenos, contribuindo para a redução do uso de defensivos químicos. Essa prática não apenas favorece a sustentabilidade ambiental, como também diminui os riscos de surgimento de populações resistentes. Além disso, determinados microrganismos possuem a capacidade de promover o crescimento vegetal, agregando benefícios adicionais ao desenvolvimento das culturas.

Os estudos evidenciam que, embora o controle biológico represente uma alternativa viável, eficiente e ambientalmente sustentável, sua adoção ainda encontra entraves importantes. Entre os principais desafios, destacam-se a resistência por parte de alguns produtores rurais — ainda habituados ao uso de defensivos químicos —, a carência de capacitação técnica para o correto manuseio e aplicação dos produtos biológicos, e a limitada disponibilidade de formulações comerciais estáveis e acessíveis.

Um dos grandes impasses para a consolidação e expansão do uso desses bioinsumos no mercado é o fato de que muitos deles contêm microrganismos vivos em sua composição. Isso implica em restrições quanto à vida de prateleira, à forma de armazenamento e às condições de aplicação em campo, já que elevadas temperaturas, baixa umidade e exposição direta à radiação solar podem comprometer sua eficácia. Além disso, é comum a tentativa de mistura desses produtos com agroquímicos durante a pulverização, o que pode inativar os agentes biológicos, principalmente quando não há compatibilidade entre os produtos ou quando se utilizam adjuvantes, surfactantes e solventes que interferem na viabilidade dos microrganismos.

Esses aspectos técnicos, aliados à necessidade de maior regulamentação, investimento em pesquisa e inovação, e ampliação da rede de distribuição e orientação ao produtor, são fatores determinantes para garantir a consolidação dos bioinsumos como ferramentas essenciais no manejo integrado de pragas e doenças. Superar essas barreiras é essencial para que o controle biológico ocupe seu devido espaço como pilar de uma agricultura mais sustentável, segura e produtiva. Ademais, a atuação de políticas públicas, como o Plano Nacional de Bioinsumos, tem sido fundamental para impulsionar esse setor.

Portanto, a utilização de agentes de biocontrole representa uma estratégia promissora no manejo fitossanitário do milho, principalmente diante da crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis e da limitação do uso de defensivos químicos. Contudo, sua eficácia depende de estratégias integradas de manejo, condições climáticas adequadas, pesquisa contínua, regulamentação eficiente e capacitação do produtor rural e profissionais da área.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle microbiológico na cultura do milho através dos principais microrganismos estudados se mostrou eficaz contra uma ampla gama de agentes fitopatogênicos e pragas, com destaque para seu modo de ação diversificado e capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas. Além dos benefícios que agregam ao sistema e em alguns casos, o incremento na produção.

Também ficou evidente a importância do uso de produtos biológicos na cultura do milho, tanto pela capacidade de proteger eficazmente as plantas quanto por oferecerem uma alternativa mais segura, sustentável e ambientalmente responsável. Além de não causarem riscos de resistência por parte de pragas e patógenos, esses produtos favorecem um manejo mais integrado e equilibrado, contribuindo para a saúde do agroecossistema e a produtividade da lavoura.

6 REFERÊNCIAS

- ABREU, J. A. S.; RODOVIDA, A. F. S.; CONTE, H. Controle biológico por insetos parasitoides em culturas agrícolas no Brasil: revisão de literatura. Vol.22,n.2,pp.22-25 (Abr - Jun 2015). Disponível em: <<https://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/download/1626/1237>>. Acesso em: 15 maio 2025
- AHMAD, I. M.; JIMÉNEZ-GASCO, M. DEL, D. S. LUTHE, S. N. SHAKEEL, M. E. BARBERCHECK. 2020. O *Metarhizium robertsii* endofítico promove o crescimento do milho, suprime o crescimento dos insetos e altera a expressão do gene de defesa das plantas. **Biol. Controle**, v. 114. doi: 10.1016/j.biocontrol.2019.104167.
- ALVES, S.B.; LOPES, R.B. (eds) Controle microbiano de pragas na América Latina. Fapesp/Fealq. São Paulo, Brazil. 2008
- ANGONESE, M. T.; DELLA-GIUSTINA, J.; PAIM, L. H.; PANSERA, M. R.; PAGNO, R. S.; MEZZOMO, F.; ZORZI, E.; PEREIRA, C. O. F.; RIBEIRO, R. T. S. Fungistatic effect of *Bacillus* spp on plant pathogenic fungi. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 97-100, 2009.
- ARAÚJO, F. F. de; SILVA, J. F. V.; ARAÚJO, A. S. F. de. Influência de *Bacillus subtilis* na eclosão, orientação e infecção de *Heterodera glycines* em soja. **Ciência Rural**, v. 32, n.2, p. 197-203, 2002.
- ARAÚJO, J.M.; MARQUES, E.J.; OLIVEIRA, J.V. (2009) Potential of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* isolates and Neem oil to control the Aphid *Lipaphis erysimi* (Kalt.) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, 38(4), 520-525
- ASAKA, O.; SHODA, M. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* damping-off of tomato with *Bacillus subtilis* RB14. *Applied and Environmental Microbiology*, **Washington**, v. 62, p. 4081-4085, 1996
- ATANASOVA, L., S. LE CROM, S. GRUBER, F. COUPIER, V. SEIDL-SEIBOTH, C. P. KUBICEK, I. S. DRUZHININA. 2013. Transcriptômica comparativa revela diferentes estratégias de micoparasitismo por *Trichoderma*. *Genoma BMC*. v. 14, 121p
- ÁVILA, C. J.; OLIVEIRA, C. M.; MOREIRA, S. C. S.; BIANCO, R.; TAMAI, M. A. A. 2021. cigarrinha *Dalbulus maidis* e os enfezamentos do milho no Brasil. **Revista Plantio Direto**, v. 30, edição 182, p. 18–25
- AVILA, C.J. 2021. Cigarrinha *Dalbulus maidis* e os enfezamentos do milho no Brasil. **Embrapa Agropecuária Oeste**. Edição 182, p. 8.
- BACON, C. W.; YATES, I. E.; HINTON D. M.; MEREDITH, F. Biological control of *Fusarium moniliforme* in maize. **Environmental Health Perspectives**, v. 109, p. 325-332, 2001. Suplemento 2

BALMER, E. Doenças do milho. In: GALLI, F. 1980. **Manual de fitopatologia doenças das plantas cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres. p. 371-391.

Barbosa, L.R.; LORENCETTI, G.A.T.; POTRICH, M.; MAZARO, S.M.; LOZANO, E.R.; MENEZES, M.J.S.; GONÇALVES, T.E. (2018) Eficiência de *Beauveria bassiana* Vuill. e *Isaria* sp. 47 para o controle de *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé (Hemiptera: Thaumastocoridae). **Ciência Florestal**, 28(1), 403-411.

BARROS, R. B. Efeito do uso de bactérias multifuncionais na cultura do milho (*Zea mays* L.). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiás, 2024. Disponível em:<
<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/8077/1/TCC%20-%20Rafael%20Brito%20Barros.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2025

BEHLEA, R. W.; POPHAM, H. J. R. Laboratory and field evaluations of the efficacy of a fast-killing baculovirus isolate from *Spodoptera frugiperda*. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 109, n. 2, p. 194-200, 2012.

BENÍTEZ, T.; RINCÓN, A. M.; LIMÓN, M. C.; CODÓN, A. C. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. **International Microbiology**, v. 7, n. 4, p. 249-260, Dec. 2004

BENTO, J. M. S. MORAES, G. J.; WARUMBY, J. F.; BELLOTI, A. C. Controle biológico da cochonilha no nordeste do Brasil. In: PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. **Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores**. São Paulo: Manole, 2002. p. 395-408

BETTIOL, W. Biological control of plant pathogens in Brazil: application and current research. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 12, p. 505–510, 1996.

BETTIOL, W.; MAFFIA, L. A.; CASTRO, M. L. M. P. Control biológico de enfermidades de plantas en Brasil. In: BETTIOL, W.; RIVERA, M.C.; MONDINO, P.; MONTEALEGRE, J. R.; COLMENÁREZ, Y.C. (Eds.). **Control biológico de enfermidades de planta en América Latina y el Caribe**. Montevideo: Universidad de la República, pp. 91–137, 2014.

BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas. 1 ed. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2009. 341p

BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B.; PINTO, V. Z.; PAULA JUNIOR, T. J.; CORRÊA, E. D.; MOURA, A. B.; LUCON, C. M. M.; COSTA, J. C. B.; BEZERRA, J. L. Produtos comerciais a base de agentes de biocontrole de doenças de plantas. Jaguariúna: **Embrapa**, 2012. 155 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 88).

BETTIOL, W.; SILVA, J. C.; CASTRO, M. L. M. P. Uso atual e perspectivas do *Trichoderma* no Brasil. In: MEYER, M.C.; MAZARO, S.M.; SILVA, J.C. (Eds.). **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília: Embrapa, p. 21-43, 2019.

BETTIOL, W. Pesquisa, desenvolvimento e inovação com bioinsumos. In: BETTIOL, Wagner; MORANDI, Marcelo Antonio B. (org.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. cap. 1, p. 19–34.

BEZERRA, M. C. L. Redução de fungos e qualidade fisiológica de sementes de milho inoculadas com *Trichoderma harzianum*. **Nativa**, Sinop, v. 10, n. 1, p. 69-73, 2022.

BOERBOOM, M. L. Plants and seeds of corn variety CV466191. U.S. Patent n. 10, 143, 158, 4 dez. 2018

BONALDO, S. M.; PASCHOLATI, S. F.; ROMEIRO, R. D. S. 2005. Indução de resistência: noções básicas e perspectivas. Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos.

BOOGERT, P. H. J. F VAN DEN. Mycoparasitism and biocontrol. In: SNEH, B.; JABAJI-HARE, S.; NEATE, S.; DIJST, G. (Eds.). **Rhizoctonia Species: taxonomy, molecular biology, ecology, pathology and disease control**. Noordwijkerhout, Netherlands: Springer, 1996. p. 485-493. DOI: 10.1007/978-94-017-2901-7

BORSARI, A. C. P.; VIEIRA, L. C. Mercado e perspectivas dos bioinsumos no Brasil. In: SILVA, F. G. da; SAUTTER, K. D. (org.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. Cap. 2, p. 39-40. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1147047/1/cap-17-Bioinsumos-na-cultura-da-soja.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2025.

BRASIL. **Decreto nº10375 de 26 de maio de 2020**. Institui o Plano Nacional de Bioinsumos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2020.

BUENO, V. H. P.; PARRA, J. R. P.; BETTIOL, W.; VAN LENTEREN, J. C. Biological control in Brazil. In: van LENTEREN, J.C.; BUENO, V.H.P.; LUNA, M.G.; COLMENAREZ, Y.C. (Eds.). **Biological control in Latin America and the Caribbean: its rich history and bright future**. Wallingford: CABI. p. 78-107, 2020.

CABRAL, R. S. **Manejo de cigarrinha do milho (*dalbulus maidis*) com o uso de produtos biológicos**. Dissertação de mestrado em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, 2023. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/4908/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Rafael%20da%20Silva%20Cabral.pdf. Acesso em: 02 maio 2025

CARNEIRO, A. A et al. Milho Bt: Teoria e Prática da Produção de Plantas Transgênicas Resistentes a Insetos-Praga. **MAPA** (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento). Sete Lagoas, MG, 2009

CHAGAS, L.F.B.; CASTRO, H.G.; COLONIA, B.S.O.; CARVALHO FILHO, M.R.; MILLER, L.O. & CHAGAS JUNIOR, A.F. (2016). Efficiency of *Trichoderma* spp. as a growth promoter of cowpea (*Vigna unguiculata*) and analysis of phosphate solubilization and indole acetic acid synthesis. **Brazilian Journal of Botany** 39(2):437-445. <http://doi.org/10.1007/s40415-015-0247-6>

CHAGAS, L.F.B.; CHAGAS JUNIOR, A.F.; CARVALHO, M.R. de; MILLER, L. de O. & COLONIA, B.S.O. (2015). Evaluation of the phosphate solubilization potential of *Trichoderma* strains (*Trichoplus* JCO) and effects on rice biomass. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 15(3):794-804.

CHAGAS, M. C. M.; PARRA, J. R. P.; MILANO, P.; NASCIMENTO, A. M.; PARRA, A. L. G. C.; YAMAMOTO, P. T. *Ageniaspis citricola*: criação e estabelecimento no Brasil. In: PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊAFERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores**. São Paulo: Manole, 2002. p. 377-394.

CHARLES, V. K. A fungus on lace bug. **Mycologia** v. 29, p. 216–221, 1937.

CHET, I. et al. Mycoparasitism and lytic enzymes. London, p. 153-172, 1998.

CHOUDHARY, D. K.; PRAKASH, A.; JOHRI, B. N. Induced systemic resistance (ISR) in plants: mechanism of action. **Indian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 4, p. 289-297, Dec. 2007. DOI: 10.1007/s12088-007-0054-2

CLEMENTE, J.M.; C. R. CARDOSO, B. S.; VIEIRA, I. M.; FLOR, R. L.; COSTA. 2016. Use of *Bacillus* spp. as growth promoter in carrot crop. **African Journal of Agricultural Research**. Johannesburg, v.11, p. 3355-3359.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Safra – Estimativa de Evolução de Grãos: Milho, safra total, ano agrícola 2024/25. 8º levantamento. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-estimativa-de-evolucao-graos.html>. Acesso em: 24 maio 2025.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E. Série Desafios do Agronegócio Brasileiro – NT2: Milho – Caracterização e Desafios Tecnológicos. Campinas: **Embrapa Territorial**, 2020. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/342476155>> Acesso em: 24 maio 2025.

CORREA, M. B.; OLIVEIRA, N. C.; VALICENTE, F. H. Manejo da Lagarta-do-cartucho na cultura do milho: aplicação de baculovirus *spodoptera* isolado e associado com inseticida. Campo Digital: **Rev. Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v.7, n.1, p. 59-67, dez, 2012. ISSN:1981-092

CORTES-PENAGOS, C.; OLMEDO-MONFIL, V.; HERRERA-ESTRELLA, A. The nature of fungal mycoparasitic biocontrol agents. In: CHINCHOLKAR, S. B.; MUKERJI, K. G. (Ed.). **Biological control of plant diseases**. New Work: The Haworth Press, 2007. p. 327-353

CORTEVA. Tecnologia Bt Manejo da Resistência de Insetos Áreas de Refúgio. **Manual Corteva**. 2022 Disponível em: https://www.corteva.com.br/content/dam/dpagco/corteva/la/br/pt/bpa-site/ebooks/pdfs/Ebook_MIP_Tecnologia_Bt_Manejo_da_Resistencia_de_Insetos_Area_de_refugio.pdf. Acesso em: 13 junho 2025.

COSTA, A. S.; MULLER, G. W. Tristeza control by cross protection. **Plant Disease**, v. 64, p. 538–541, 1980.

COSTA, R. V.; SILVA, D. D.; COTA, L. V.; AGUIAR, F. M. Manejo de doenças na cultura do milho. In: KAPPES, C. (Ed.). **Boletim de pesquisa 2017/2018: soja, algodão, milho**. Rondonópolis: Fundação MT, 2017b. p. 274-309.

Crickmore N. 2022. Bacillus thuringiensis Toxin Nomenclature. Disponível em: http://www.lifesci.sussex.ac.uk/home/Neil_Crickmore/Bt/. Acesso em: 08 junho de 2025

CRUZ, I.; VIANA, P. A.; WAGUIL, J.M. Milho: Pragas da Fase Vegetativa e Reprodutiva. In: **AGEITEC: Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_69_16820051120.html. Acesso em: 04 mar 2025.

CRUZ, J. C et al. Milho: O produtor pergunta, a Embrapa responde. **Embrapa Informação Tecnológica**. Brasília. 2011

DALZOTO, P. R.; UHRY, K. F. Controle biológico de pragas no Brasil por meio de beauveria bassiana (bals.) Vuill. *Biológico*, São Paulo, v.71, n.1, p.37-41, 2009.

DEBACH, P.; ROSEN, D. Biological control by natural enemies. 2. ed. London: Cambridge University, 1991. 440 p

DUARTE, I. Mercado global de bioinsumos pode atingir US\$ 45 bilhões até 2032, diz pesquisa. **CNN Brasil**, 10 nov. 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/mercado-global-de-bioinsumos-pode-atingir-us-45-bilhoes-ate-2032-diz-pesquisa/>. Acesso em: 27 jun. 2025.

FANCELLI, M.; DIAS, A.B.; DELALIBERA JR, I.; JESUS, S.C.; NASCIMENTO, A.S.; SILVA, S.O.; CALDAS, R.C; LEDO, C.A.S. (2013) Beauveria bassiana strains for biological control of *Cosmopolites sordidus* (Germ.) (Coleoptera: Curculionidae) in plantain. **BioMed Research International**, 01-07

FIGUEIREDO, J. E. F; TEIXEIRA, M. A; LIMA, G. V. C; BRESSAN, W; PINTO, N. F. J; CASELA, C.R. Atividade antagonista in vitro de Bacillus subtilis contra fungos fitopatogênicos do milho e sorgo. **XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, 2010, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo. CD-Rom. Disponível em: <<https://core.ac.uk/reader/45483310>>. Acesso em: 13 junho 2025

FIGUEIRÊDO, M. F. S.; MARQUES, E. J.; LIMA, R. O. R.; OLIVEIRA, J. V. Seleção de isolados de Beauveria bassiana (Bals.) Vuill e Metarhizium anisopliae (Metsch.) Sorok. contra a broca gigante da cana-de-açúcar Castnia licus (Drury) (Lepidoptera: Castniidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 3, p. 397-403, 2002

FILHO, R. L.; FERROL, H. M.; PINHO, R. S. C. de. Controle biológico mediado por Bacillus subtilis. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 4, n. 2, p. 12, 2010.

FONTES, E. M. G; PIRES, C. S. S; SUJII, E. R. Estratégias de uso e histórico. In: EMBRAPA. **Controle biológico: avanços e perspectivas**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Cap. 1, p. 17–48. Disponível em:< <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1121825/1/CBdocument.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2025.

FRANCISCONI, E. J.; BONALDO, S. M. Controle biológico e preparado homeopático de própolis verde no manejo de doenças e efeito na produtividade e qualidade de grãos de milho. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.5, p. 35124-35144, may., 2022.

Disponível

em:https://www.researchgate.net/profile/SolangeBonaldo/publication/361047594_Control_e_preparado_homeopatico_de_propolis_verde_no_manejo_de_doencas_e_efeito_na_produtividade_e_qualidade_de_graos_de_milho_Biological_control_and_homeopathic_preparation_of_green_propolis/links/63f7e22b0cf1030a56463584/Controle-biologico-e-preparado-homeopatico-de-propolis-verde-no-manejo-de-doencas-e-efeito-na-produtividade-e-qualidade-de-graos-de-milho-Biological-control-and-homeopathic-preparation-of-green-prop.pdf. Acesso em: 30 abril 2025

FREITAS, I.; D'AGUSTINI, P. R. Fórum Bioinsumos Brasil apresenta dados inéditos e perspectivas para o setor. **CropLife Brasil**, 7 nov. 2024. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/forum-bioinsumos-brasil-apresenta-dados-ineditos-e-perspectivas-para-o-setor/>. Acesso em: 27 jun. 2025.

FREITAS, J. R.; SILVA, A. B.; BESERRA, E. B.; DANTAS, J. P. Flutuação populacional e parasitismo de ovos de *spodoptera frugiperda* e *helicoverpa zea* em milho pulverizado com extratos vegetais e *metarhizium anisopliae*. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 7, n. 3, p. 291-300, jul./set. 2010. Disponível em:< <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=1259&article=479&mode=pdf>> . Acesso em: 02 junho 2025

GABRIEL, D. Cochonilha dos capins *Antonina graminis* [Rhodesgrass scale *Antonina graminis*]. São Paulo: **Instituto Biológico**. 2017. 14p. (Instituto Biológico. Documento Técnico, 30). Disponível em:< <https://biologico.agricultura.sp.gov.br/uploads/dt/09918147-62a7-4696-b747-a6a692760353.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2025

GARAVAZO, F.; PATRONI, B. H.; LOPES, A.; BALIEIRO, C. C. Comparativo do controle biológico e químico de *spodoptera frugiperda* na cultura do milho. **Ensaio Pioneiros**, São João da Boa Vista. 2020 Disponível em: <http://ensaiospioneiros.usf.edu.br>. Acesso em: 8 jun. 2025.

GONÇALVES, M. V. M. Fertirrigação de milho (*Zea mays* L.) com água residuária de suinocultura e piscicultura. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) -Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano. Rio Verde, 2021. Disponível em: < https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1856/1/tcc_MaykelleVieira_Mendes%20Gon%C3%A7alves.pdf>. Acesso em: 10 maio 2025

- GONZÁLEZ-CABRERA, J., M. OSCAR, M. H. MONTÓN, A. URBANEJA. 2010. "Efficacy of *Bacillus Thuringiensis* (Berliner) in Controlling the Tomato Borer, *Tuta Absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)." **BioControl** 56, P. 71–80.
- GORDON, D. T., J. K. KNOKE, G. E. SCOTT. 1981. Virus and viruslike diseases of maize in the United States Wooster: Ohio Agricultural Research and Development Custer, 210 p.
- HAGGAG, W. M.; MOHAMED, H. A.-L. A. Biotechnological aspects of microorganisms used in plant biological control. **American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture**, v. 1, n. 1, p. 7-12, 2007.
- HANNAN, M.A.; HASAN, M.M. & HOSSAIN, I. (2013). Impact of dual inoculations with *Rhizobium* and *Trichoderma* on root rot disease and plant growth parameters of grasspea under field conditions. **Persian Gulf Crop Protection** 2(1):1-9.
- HARMAN, G. E. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* ssp. **Phitopathology**, Lancaster, v. 96, p. 190-194, 2006.
- HUNGRIA, M. et al. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant Soil**, v. 331, p. 413-425, 2010.
- IHS MARKIT. Annual New Product Introductions: Biological vs Conventional. Disponível em: <https://ihsmarkit.com/research-analysis/biologicalsinnovation.html>. Acesso em: 20 março de 2025.
- IMRAN, M., K. A. M. ABO-ELYOUSR, M. E. EL-SHARNOUBY, E. F. ALI, N. M. A. SALLAM, H. M. M. K. BAGY, I. R. ABDEL-RAHIM. 2022. Biocontrol Potencial de *Trichoderma harzianum* e nanopartículas de zinco para mitigar a doença do mofo cinzento do tomate. *Gesunde Pflanz*.
- JABER, L. R., B. H. OWNLEY. 2018. Podemos usar fungos entomopatogênicos como endófitos para controle biológico duplo de pragas de insetos e patógenos de plantas? **Biol. Controle**, v.116, p.36–45.
- JÚNIOR, A. G.; SANTOS, A. F.; AUER, C. G. Perspectivas do uso do controle biológico contra doenças florestais. **Floresta**, v. 30, n. 0, p. 155-165, 2000.
- KAMALA, T. & S. INDIRA. 2014. Molecular characterization of *Trichoderma harzianum* strains from Manipur and their biocontrol potential against *Pythium ultimum* Th. **Int.J. Curr. Microbiol. App. Sci**, v. 3, p.258-270.
- KAPRI, A. & TEWARI, L. (2010). Phosphate solubilization potential and phosphatase activity of rhizospheric *Trichoderma* spp. **Brazilian Journal of Microbiology** 41(3):787-795. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-83822010005000001>
- KIST, N. A.; PRATES, F. S.; MURARO, R. S.; MASIERO, C. E. P.; ENGEL, E.; PASINI, M. P. B. Eficiência de fungos entomopatogênicos no controle de *Dalbulus maidis* (hemiptera: cicadelidae), 2020. Disponível em: <https://revistaanais.unicruz.edu.br/index.php/inter/article/download/728/657>. Acesso em: 16 maio. 2025.

KUMAR, M.; TOMAR, R. S.; LADE, H.; PAUL D. Methylo-trophic bacteria in sustainable agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 32, p. 1-9, 2016. DOI: 10.1007/s11274-016-2074-8.

KUPPER, K.C.; GIMENES-FERNANDES, N.; GOES, A. de. Controle biológico de *Colletotrichum acutatum*, agente causal da queda prematura dos frutos cítricos. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, p.251-257, 2003.

LAJÚS, C. R.; BUSNELLO, F. J.; SAUER, A. V.; COSTELLA, M. F.; DALCANTON, F. Tecnologia e gestão da inovação em sistemas de produção sustentáveis. v. 2. 1. ed. Campina Grande-PB: EPTEC, 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/AlineSauer2/publication/381547637_TECNOLOGIA_E_GESTAO_DA_INOVACAO_EM_SISTEMAS_DE_PRODUCAO_SUSTENTAVEIS_Vol_2/links/667322f31846ca33b83d759d/TECNOLOGIA-E-GESTAO-DA-INOVACAO-EM-SISTEMAS-DE-PRODUCAO-SUSTENTAVEIS-Vol-2.pdf#page=67>. Acesso em: 24 maio 2025.

LANNA FILHO, ROBERTO, FERRO, HENRIQUE MONTEIRO et al. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas** V. 4, N. 2, p. 12, 2010

LAZZARINI, G. M. J. **Efeito da umidade sobre a germinação in vitro de Beauveria bassiana e Metarhizium anisopliae e atividade contra Triatoma infestans**. 2005. 46p. Dissertação (Mestrado em Parasitologia) - Instituto de Patologia Tropical e Saúde Pública, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

LEELASUPHAKUL, W., H. PUNPEN, S. CHUENCHITT. 2008. Growth inhibitory properties of *Bacillus subtilis* strains and their metabolites against the green mold pathogen (*Penicillium digitatum* Sacc.) of citrus fruit. **Postharvest Biology and Technology**. v. 48, p. 113-121.]

LEITE, N. A et al. O milho Bt no Brasil: a situação e evolução da resistência de insetos. Documentos/Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2011

LI, Z.; ALVES, S. B.; ROBERTS, D.; FAN, M.; DELALIBERA, I.; TANG, J.; LOPES, R. B.; FARIA, M.; RANGEL, D. E. N. Biological control of insects in Brazil and China: history, current programs and reasons for their successes using entomopathogenic fungi. **Biocontrol Science and Technology** v.20, p.117–136, 2010.

LIBERA, D. S. D et al. Controle biológico da cigarrinha (*Dalbulus aidis*) e da lagarta-do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) do milho com *Beauveria* spp. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 41727-41738, 2022.

LIMA, M.H.D.; SOUZA LOUREIRO, E.; KASSAB, S.O.; SOUZA SILVA, A. (2012) Eficiência de fungos entomopatogênicos para o controle de ninfas de *Bemisia tuberculata* (Bondar, 1923) (Hemiptera: Aleyrodidae) em cultivo de mandioca. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, 8(1), 47-56.

- LORENCETTI, G.A.T.; POTRICH, M.; MAZARO, S.M.; LOZANO, E.R.; BARBOSA, L.R.; MENEZES, M.J.S.; GONÇALVES, T.E. (2018) Eficiência de *Beauveria bassiana* Vuill. e *Isaria* sp. 47 para o controle de *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé (Hemiptera: Thaumastocoridae). **Ciência Florestal**, 28(1), 403-411.
- LOVETT, B., R. J. ST LEGER. 2018. Engenharia genética de melhores biopesticidas fúngicos. **Controle de Pragas Sci**, v. 74 p. 781–789. doi:10.1002/ps.4734.
- MAPA. Agrofit: consulta aberta. 2022. Disponível em: . Acesso em: 10 maio. 2025.
- MAPA. Agrofit: consulta aberta. 2022. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agro_fit_cons. Acesso em: 15 maio 2025.
- MASCARIN, G.M.; PAULI, G. (2010) Bioprodutos à base de fungos entomopatogênicos. In: MADELAINE, V., TRAZILBO, J.P.J., ANGELO, P. (Org.). **Controle Alternativo de Pragas e Doenças na Agricultura Orgânica**. 1 ed. Viçosa: U.R. EPAMIG ZM, v. 4, p. 169-195.
- MATRANGOLO, W. J. R. **Interação de agentes naturais no controle de populacional de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) em milho**. Tese de doutorado em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2003, 120f.
- MEDEIROS, F. H. V.; BAVIA, G. P.; SEIXAS, C. D. S. Manejo de doenças fúngicas radiculares da soja. In: SILVA, F. G. da; SAUTTER, K. D. (org.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. Cap. 17, p. 369-386. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1147047/1/cap-17-Bioinsumos-na-cultura-da-soja.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- MEDEIROS, J. C. D. et al. Antagonismo de *Trichoderma* spp. no biocontrole de *Fusarium moniliforme* na cultura do milho. **Rev. Sítio Novo Palmas** v. 4 n. 4 p. 170-178 out./dez. 2020. e-ISSN: 2594-7036
- MELLO, S. C. M; ECKSTEIN, B; MARQUES, E; CARVALHO, D. D. C. Controle de doenças de plantas. In: EMBRAPA. **Controle biológico de pragas das agriculturas**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Cap. 10, p. 291- 326
- Ministério da Agricultura e Pecuária. Panorama do mercado de milho. Brasília: MAPA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/relacoes-internacionais/documentos/Milho.pdf>. Acesso em: 24 maio 2025.
- MIRANDA, H. R. N.; SOUSA, E. S. B; SANTANA, G. G. Controle biológico: combate de pragas de forma sustentável na fase vegetativa do milho. Instituto Educacional Santa Catarina – Faculdade Guarai (IESC/FAG). [s.d.]. Disponível em: <<https://revistas.faculdefacit.edu.br/index.php/JNT/article/view/2502/1685> >. Acesso em: 27 jun. 2025.
- MISAGHI, I. J. Physiology and biochemistry of plant – pathogen interactions. **New Work: Plenum Press**, 1982. 287 p. DOI: 10.1007/978-1-4684-1149-2

MNYONE, L.L., K. R. NGHABI, H. D. MAZIGO, A. A. KATAKWEBA, I. N. LYIMO. 2012. Fungos entomopatogênicos, *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana* reduzem a sobrevivência de larvas de *Xenopsylla brasiliensis* (Siphonaptera: Pulicidae). **Vetores de parasitas**, v.5, p.204

MONTE, E.; BETTIOL, W.; HERMOSA, R. Trichoderma e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. In: MEYER, M.C.; MAZARO, S.M.; SILVA, J.C. (eds). **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília: Embrapa, p. 181-199, 2019.

MUMTAZ, M. Z., A. MALIK, F. NAZLI, M. LATIF, A. ZAHEER, Q. ALI, M. JAMIL, M. AHMAD. 2020. Potencial de cepas de bacilus solubilizantes de zinco para melhorar o crescimento, rendimento e qualidade do milho (*Zea mays*). **Internacional J. Agric. Biol.**, v. 24, p.691–698.

MUSTAFA, U.; KAUR, G. (2008) Entomopathogenic fungi as potent biocontrol agents. **Journal of Environmental Research and Development**, 3(2).

OLDENBURG, E. et al. Fusarium diseases of maize associated with mycotoxin contamination of agricultural products intended to be used for food and feed. **Mycotoxin research**, v. 33, n. 3, p. 167-182, 2017.

OLIVEIRA, C.M.; AUAD, A.M.; MENDES, S.M.; FRIZZAS, M.R. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, v.56, p.50-54, 2014.

OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. R.; LOUREIRO, E. S.; PESSOA, L. G. A.; BAILO, F. H.R.; Tecnologia de aplicação foliar de bioinsumos In: EMBRAPA. **Bioinsumos para a cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Cap. 6, p. 107 – 126.

PANIZZI, A. R. et al. Manejo integrado dos percevejos barriga-verde, *Dichelops* spp. Em **trigo**. 1ª ed. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2015.

PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORREA-FERREIRA, B.S.; BENTO, J. M. S. Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores. São Paulo: **Editora Manole**. 2002; 609p

PARRA, J. R. P. Biological Control in Brazil. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 420-429, Sept./Oct. 2014. DOI: 10.1590/0103-9016-2014-0167.

PARRA, J. R. P; PINTO, A. S; NAVA, D. E; OLIVEIRA, R. C; DINIZ, A. J. F. Controle biológico com parasitoides e predadores na agricultura brasileira. **Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz**. Piracicaba-SP. 2024

PESSOA, L. G. A.; DUTRA, K. R.; LOUREIRO, E. S.; ADÃO, D. V.; OLIVEIRA, G. S.; DIAS, P. M. The type of exposure interferes with the compatibility of herbicides with *Metarhizium rileyi*. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 6, e138963400, 2020a

PET Biotecnologia Agrícola (Org.). (2022). Panorama dos biológicos na agricultura [PDF]. Piracicaba, SP: PECEGE Editora. **Fealq. ISBN** [se disponível]. Disponível em: <

<https://fealq.org.br/wp-content/uploads/2022/10/Panorama-dos-Biologicos-na-Agricultura-PET-Biotecnologia-Agricola.pdf>>. Acesso em: 27 junho 2025

PETRAS, S. F.; CASIDA, L. E. J. Survival of *Bacillus thuringiensis* spores in soil. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 50, p. 1496-1501, 1985

PRESTES, T.M.V.; PIETROWSKI, V.; ZANINI, A.; FORMENTINI, M.A.; ALVES, L.F.A. (2015) Natural occurrence of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Moniliales: Moniliaceae) and pathogenicity on *Protortonia navesi* Fonseca (Hemiptera: Monophlebiidae) in cassava plantation, in Marechal Cândido Rondon, Paraná. *Arquivos do Instituto Biológico*, 82, 1- 4

QUINTELA, E. D. & MCCOY. C. W. Efeito da combinação de Fungos Entomopatogênicos e imidacloprid no comportamento e mortalidade de larvas da praga da raiz dos citros, *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera, curculionidae) no solo. **VII Congresso Brasileiro de Entomologia e VIII Encontro Nacional de Fitossanitaristas**. Resumos, livro 1. Rio de Janeiro. Pág. 278, 1998.

RAMÍREZ GRANILLO, A.; CANALES, M. G. M.; ESPÍNDOLA, M. E. S.; MARTÍNEZ RIVERA, A.; LUCIO, V. M. B. de; RODRÍGUEZ TOVAR, A. V. Antibiosis interaction of *Staphylococcus aureus* on *Aspergillus Fumigatus* assessed in vitro by mixed biofilm formation. **BMC Microbiology**, v. 15, article number 33, 2015. DOI: 10.1186/s12866-015-0363-2.

RAYMOND. B. P. R.; JOHNSTON, C.; NIELSEN-LEROUX, D.; LERECLUS, N.; CRICKMORE. 2010. *Bacillus thuringiensis*: an impotent pathogen? *Trends Microbiol*, p. 189–194.

RIBEIRO, L. P.; CANALE, M. C. Cigarrinha-do-milho e o complexo de enfezamentos em Santa Catarina: panorama, patossistema e estratégias de manejo. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.34, p.22-25, n.2, maio/ago. 2021

ROCHA, D. V. M. **Desempenho agronômico e fitossanitário do milho em resposta ao uso de bioinsumos**. Dissertação de mestrado em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. 2024. Disponível em: < https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/4522/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o__Da_nnilo%20Vono%20Moura%20da%20Rocha.pdf>. Acesso em: 2 junho 2025

ROHRIG, B. Fungos entomopatogênicos no controle de pragas: o que são e como utilizá-los na lavoura. **Aegro**, 2021. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/fungos-entomopatogenticos-no-controle-de-pragas/>. Acessou em: 9 fev. 2025

RUMMEL, D. R.; LESER, J. F.; SLOSSERS, J. E.; PUTERKA, G. J.; NEEB, C. W.; WALKER, J. K.; BENEDICT, J. H.; HEILMAN, M. D.; NAMKEN, L. N.; NORMAN, J. W.; YOUNG, J. H. Theory and tactics of *Heliothis* population management. USDA. **Cult. Biol. Contr. Bull** 316, 38 p., 1986. SAXEMA, R. C. Inseticides from neem, p. 110-129. In: Arnason, J. T.; Philogene, B. J. R.; Morand, P. (Ed) *Inseticides of plant origin*. Washington: American Chemical Society, 213 p., 1989.

- SÁ, L. A. N. de. Importação de inimigos naturais para o controle biológico de pragas. In: SIMPÓSIO DE PRAGAS QUARENTENÁRIAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA, 1., 2015, Boa Vista. **Anais...** Boa Vista: Embrapa Roraima, 2015. 5 p
- SALVADORI, J. R.; SALLES, L. A. Controle biológico dos pulgões do trigo. In: PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores**. São Paulo: Manole, 2002. p. 427-447.
- SANJEEV, K., T. MANIBHUSHAN, R. ARCHANA. 2014. Trichoderma: Produção em massa, formulação, controle de qualidade, entrega e seu escopo de comercialização na Índia para o manejo de doenças de plantas. **Afr. J. Agric. Res.**, v. 9, p.3838–3852
- SANTANA P. A.; L. KUMAR, R. S.; DA SILVA, J. L.; PEREIRA, M. C.; PICANÇO. 2019. Assessing the impact of climate change on the worldwide distribution of *Dalbulus maidis* (DeLong) using MaxEnt. **Pest Management Science**
- SANTOS, C.C.; OLIVEIRA, F.A.; SANTOS, M.S.; TALAMINI, V.; FERREIRA, J.M.S. & SANTOS, F.J. (2012). Influência de *Trichoderma* spp. sobre o crescimento micelial de *Thielaviopsis paradoxa*. **Scientia plena** 8(4):1-5.
- SANTOS, D. **Estratégia de manejo com bioinsumos para *dalbulus maidis*, incluindo em plantas não hospedeiras**. Dissertação de mestrado em Proteção de Plantas ao Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí. 2023. Disponível em: <<https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/3660>>. Acesso em: 06 maio 2025
- SCHISLER, D. A.; SLININGER, J. P.; BEHLE, W. R.; JACKSON, A. M. Formulation of *Bacillus* spp. for biological control of plant diseases. **Phytopathology**, St. Paul, v. 94, p. 1267-1271, 2004.
- SCUDELER, F.; VENEGAS, F. *Trichoderma harzianum* associado ou não a fungicidas em tratamento de sementes na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 16, n. 5, p. 9-19. 2012.
- SEIXAS, C. D. S.; MAZARO, S. M.; DINIZ, L. E. C.; GODOY, C. V.; MEYER, M. C. Bioinsumos para o manejo de doenças foliares na cultura da soja In: In: SILVA, F. G. da; SAUTTER, K. D. (org.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. Cap. 19, p. 331- 343. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1147047/1/cap-17-Bioinsumos-na-cultura-da-soja.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- SHELTON, A.M.; J. Z. ZHAO, R. T. ROUSH. 2002. Economic, ecological, food safety and social consequences of the deployment of Bt transgenic plants. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 47, p. 845-881.
- SHIOMI, H. F.; MELO, I. S.; MINHONI, M. T. A. Avaliação de bactérias endofíticas para o controle biológico da mancha foliar de *Exserohilum turcicum* em milho. Arquivos do Instituto Biológico, v.83, 1-4, 2015.

SINGH, S., L. P. AWASTHI, H. N. VERMA. Systemic resistance inducers from plants, an ecofriendly approach for the management of viral diseases of crops. In: AWASTHI L. P. 2020. **Applied plant virology advances, detection, and antiviral Strategies Elsevier Inc.** p. 603-617.

SOUSA, J. M. **Análise da participação dos bioinsumos para controle biológico na agricultura orgânica brasileira.** Dissertação de mestrado (Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio) - Instituto Biológico, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. São Paulo – SP, 2023. Disponível em:<
<http://www.repositoriobiologico.com.br/jspui/bitstream/123456789/1212/1/jeremias-marques.pdf>>. Acesso em: 30 abril 2025

STEIN, T. Bacillus subtilis antibiotics: structures, syntheses and specific functions. **Molecular Microbiology**, v. 56, n. 4, p. 845-857, May 2005. DOI: 10.1111/j.1365-2958.2005.04587.x.

STEIN. 2005. Bacillus subtilis: Estruturas, sínteses e funções específicas. **Mol. Microbiol**, v. 56, p.845–857. *Mol. Microbiol*, v. 56, p.845–857.

SZYDLOSKI, J. E. et al. Ecnologiabt no controle de spodoptera frugiperda. na cultura do milho. Vol 2, 2023 –ISSN 2764-919

SZYDLOSKI, J. E; RHODEN, A. C; MUHL, F. R; FELDMANN, N. A; GABRIEL, V. J. Tecnologia Bt no controle de Spodoptera frugiperda na cultura do milho. **Revista Inovação: Gestão e Tecnologia no Agronegócio**, v. 2, p. 255-276, 2023. Disponível em:
<https://revistas.uceff.edu.br/inovacao/article/view/246/246>. Acesso em: 8 jun. 2025.

THAMBUGALA, K.M.; DARANAGAMA, D. A.; PHILLIPS, A. J. L.; KANNANGARA, S. D.; PROMPUTTHA, I. Fungi vs. fungi in biocontrol: an overview of fungal antagonists applied against fungal plant pathogens. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, v. 10, 2020. DOI: 10.3389/ fcimb.2020.604923

VALICENTE, F. H. Manejo Integrado de Pragas na Cultura do Milho. 1ª ed. Sete Lagoas, MG: **Circular Técnica**, 208, 2015.

VALICENTE, F.; TUELHER, E. S. Controle biológico da lagarta do cartucho, Spodoptera frugiperda, com baculovírus. **Circular técnica Embrapa**, n. 4, Sete Lagoas, 2010, 14 p.

VALICENTE, F.H. (2009) Controle biológico de pragas com entomopatógenos. **Informe agropecuário**, 20(251), 58-55.

VALICENTE, F.H.; BARRETO, M.R. Levantamento dos inimigos naturais da lagarta do cartucho do milho Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), na região de Cascavel, PR. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, p. 333-337, 1999

VALICENTE, F.H.; PEIXOTO, M.J.V.V.D.; PAIVA, E.; KITAJIMA, E. Identificação e purificação de um vírus de poliedrose nuclear da lagarta-do-cartucho, Spodoptera frugiperda. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v.18, p.71-82. 1989.

VAN DEN BOSCH, R.; MESSENGER, P. S.; GUTIERREZ, A. P. An introduction to biological control. **New York: Plenum Press**, 1982. 247 p

VAN DRIESCHE, R. G.; BELLOWS JUNIOR, T. S. **Biological control**. New York: Chapman & Hall, 1996. 539 p.

VERCESI, D.B. et al. Eficiência dos fungos *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana* aplicados em pulverização ou granulado no controle de *Spodoptera frugiperda* em milho “safrinha”. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 22., Uberlândia, 2008. **Anais...** Sete Lagoas: UFU/Embrapa Milho e Sorgo/UFV, 2008. (CD-ROM). Disponível em: <https://www.abms.org.br/eventos_antiores/cnms2010/trabalhos/0476.pdf>. Acesso em 20 maio 2025.

VICENTE, C. B; JÚNIOR, J. C. R. Controle biológico de pulgões na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Enciclopédia biosfera** - Goiânia, vol.7, N.12; 2011.

VU, N. T.; VIEGAS, A. P. Um amigo do fazendeiro: *Verticillium lecanii* (Zimm) n. comb., o causador do halo branco do *Coccus viridis* (Green). Campinas: Instituto Agrônômico do Estado. 1939. 17p. (**IAC. Boletim Técnico**, 69)

WANG, K., Y. TIAN, N. ZHOU, D. LIU, D. AND ZHANG. 2018. Studies on fermentation optimization, stability and application of prolyl aminopeptidase from *Bacillus subtilis*. **Process Biochem.** v. 74, p. 10–20. doi: 10.1016/j.procbio.2018.08.035

WAQUIL, J. M. 1997. Amostragem e abundância de cigarrinhas e danos de *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Homoptera: Cicadellidae) em plântulas de milho. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 26, n. 1, p. 27-33.

WAQUIL, J. M. Manejo Fitossanitário e Ambiental: Milho transgênico Bt e resistência das plantas ao ataque da lagarta-do-cartucho. 2007. Artigo em Hipertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/manfito/index.htm. Acesso em: 15 maio 2025.

WILHELM, E.; ARTHOFER, W.; SCHAFLEITNER, R.; KREBS, B. *Bacillus subtilis*, an endophyte of chestnut (*Castanea sativa*), as antagonist against chestnut blight (*Cryphonectria parasitica*). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, The Hague, v. 52, n. 1/2, p. 105-108, 1998.

WILSON F, HUFFAKER CB. The physiology, scope and importance of biological control. In: Huffaker CH, Messenger PS, editors. **Theory and Practice of Biological Control**. 1976; 3–15.

WOO, S. L.; RUOCCO, M.; VINALE, F.; NIGRO, M.; MARRA, R.; LOMBARDI, N.; LORITO, M. Trichoderma-based products and their widespread use in agriculture. **The Open Mycology Journal**, v. 8, n. 1, 2014

WULFF, E. G.; MGUNI, C. M.; MORTENSEN, C. N.; KESWANI, C. L.; HOCKENHULL, J. Biological control of black rot (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*) of brassicas with

an antagonistic strain of bacillus subtilis in Zimbabwe. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 108, n. 4, p. 317-325, 2002.

WYCKHUYS, K. A. G; LU, Y.; MORALES, H.; VAZQUEZ, L. L.; LEGASPI, J. C.; ELIOPOULOS, P. A.; HERNANDEZ, L. M. Current status and potential of conservation biological control for agriculture in the developing world. **Biological Control**, v. 65, n. 1, p. 152-167, Apr. 2013. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2012.11.010.

ZAMBIAZZI, E.V.; GUILHERME, S.R.; CORASSA, J.N.; BONALDO, S.M.; ZUFFO, A.M.; SOARES, I.O.; OLIVEIRA, D.C.S. (2016) Patogenicidade de Beauveria bassiana no controle in vitro da lagarta-da-espiga do milho (*Helicoverpa zea*). **Revista de Ciências Agrárias**, 39(1), 89- 94.