CAPÍTULO DO LIVRO – AGRICULTURA SUSTENTÁVEL E SANIDADE VEGETAL SOLOS, ÁGUA, BIOINSUMOS E MANEJO INTEGRADO - PUBLICADO POR: EDITORA MANUAL
ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

CAPÍTULO 6

COMPATIBILIDADE DE FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS COM INSETICIDAS ORGANOSSINTÉTICOS NO CONTROLE DE PRAGAS AGRÍCOLAS

DOI DO CAPÍTULO: 10.29327/5963730.1-6

Samuel Farias Santana, e-mail: samuel.santana@ceca.ufal.br, URL lattes: http://lattes.cnpq.br/1458348397042006

RESUMO
O uso intensivo de inseticidas organossintéticos no manejo de pragas agrícolas têm estimulado a busca por estratégias que conciliam eficiência de controle e maior integração entre métodos químicos e biológicos. Nesse contexto, os fungos entomopatogênicos apresentam potencial para associação com inseticidas em programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP). Esta revisão sistemática objetivou analisar a compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e inseticidas organossintéticos, considerando os fatores que influenciam essa interação e seus efeitos sobre o controle de pragas agrícolas. A revisão foi conduzida conforme as recomendações do protocolo PRISMA 2020, contemplando estudos publicados entre 2021 e 2026. Inicialmente, foram identificados 90 estudos potencialmente relevantes e, após a aplicação dos critérios de elegibilidade, 19 artigos constituíram a amostra final. As evidências demonstraram que a compatibilidade varia de acordo com a espécie e o isolado fúngico, ingrediente ativo, formulação, concentração, período de exposição e condições experimentais. *Beauveria bassiana* e espécies de *Metarhizium* destacaram-se entre os agentes mais investigados. Associações compatíveis apresentaram potencial para aumentar a mortalidade das pragas, reduzir o tempo necessário para o controle e, em determinadas condições, produzir interações aditivas ou sinérgicas. Entretanto, resultados obtidos *in vitro* nem sempre corresponderam ao desempenho observado em condições mais próximas da aplicação prática, evidenciando a influência de fatores ambientais e metodológicos. Conclui-se que a integração entre fungos entomopatogênicos e inseticidas organossintéticos constitui uma estratégia promissora para o MIP, embora sua recomendação dependa da seleção criteriosa das combinações e da ampliação de estudos de campo com protocolos padronizados.

PALAVRAS-CHAVE: Controle biológico; Entomopatógenos; Compatibilidade.

1. INTRODUÇÃO

O manejo de pragas agrícolas constitui um componente essencial para a manutenção da produtividade e da qualidade das culturas. Embora os inseticidas organossintéticos apresentem elevada importância nesse processo, seu uso frequente e inadequado pode favorecer a seleção de populações resistentes e aumentar os riscos de efeitos indesejáveis sobre organismos não alvo e o ambiente. Diante desse cenário, estratégias que integrem diferentes métodos de controle têm recebido maior atenção, especialmente aquelas capazes de conciliar eficiência fitossanitária e redução da dependência exclusiva do controle químico (Sparks *et al*., 2021; Tudi *et al.*, 2021).

Entre as alternativas disponíveis, os fungos entomopatogênicos destacam-se como agentes de controle biológico capazes de infectar diferentes grupos de artrópodes. Espécies pertencentes aos gêneros *Beauveria*, *Metarhizium*, *Cordyceps* e *Akanthomyces* apresentam potencial para utilização no manejo de pragas devido à capacidade de penetrar diretamente pelo

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

tegumento do hospedeiro e desencadear processos infecciosos que resultam em sua morte. Além da ação entomopatogênica, determinados fungos podem estabelecer associações com plantas e participar de interações ecológicas que ampliam suas possibilidades de utilização em sistemas agrícolas (Lovett; St. Leger, 2023; Wallis; Sisterson, 2024).

Nesse contexto, a associação de fungos entomopatogênicos com inseticidas organossintéticos representa uma estratégia promissora para o Manejo Integrado de Pragas (MIP). Entretanto, a utilização conjunta desses agentes depende de sua compatibilidade, uma vez que determinados inseticidas podem interferir na germinação, no crescimento vegetativo, na esporulação e na capacidade infectiva dos fungos. Por outro lado, combinações adequadas podem manter a atividade do entomopatógeno e favorecer o controle da praga, inclusive por meio de interações aditivas ou sinérgicas. Essas respostas variam conforme o fungo, o isolado, o ingrediente ativo, a formulação e a concentração utilizada, o que impossibilita generalizações entre diferentes associações (Ribeiro *et al.*, 2023; Polanczyk et al., 2025).

Apesar do avanço das pesquisas, os estudos apresentam considerável diversidade quanto aos fungos, inseticidas, organismos-alvo e métodos empregados para determinar a compatibilidade. Além disso, resultados obtidos *in vitro* nem sempre correspondem ao desempenho observado *in vivo* ou em condições de campo, dificultando a definição das combinações mais adequadas para aplicação prática. Desse modo, a sistematização das evidências disponíveis torna-se necessária para compreender os fatores responsáveis por essa variabilidade e identificar lacunas que ainda limitam a integração entre os métodos de controle (Wallis; Sisterson, 2024; Bouketta *et al*., 2026).

Diante disso, esta revisão sistemática, conduzida de acordo com as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), foi orientada pela seguinte pergunta: “Qual é a compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e inseticidas organossintéticos e quais fatores influenciam o desempenho dessa associação no controle de pragas agrícolas?” Assim, objetivou-se sistematizar e analisar criticamente as evidências disponíveis sobre essas interações, considerando os principais fungos e inseticidas avaliados, os fatores que condicionam a compatibilidade e os efeitos das associações sobre o controle das pragas, bem como suas limitações e perspectivas de aplicação no MIP.

2. METODOLOGIA

2.1 Delineamento da revisão e estratégia de busca

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

O estudo foi desenvolvido por meio de uma revisão sistemática da literatura, conduzida de acordo com as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA 2020), visando garantir maior transparência e reprodutibilidade nas etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos. A revisão foi direcionada à análise de pesquisas sobre a compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e inseticidas organossintéticos empregados no controle de pragas agrícolas (Page *et al*., 2021).

A busca bibliográfica foi estruturada a partir de descritores relacionados ao tema da revisão, combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR. Foram utilizados termos em português e inglês referentes a fungos entomopatogênicos, inseticidas, compatibilidade e controle de pragas, incluindo combinações como: *"entomopathogenic fungi"* AND *"insecticides"* AND *"compatibility"*, *"Beauveria bassiana"* AND *"insecticides"*, *"Metarhizium anisopliae"* AND *"insecticides"* e *"entomopathogenic fungi"* AND *"integrated pest management"*. As buscas foram delimitadas no período de 2021 a 2026, considerando publicações relacionadas diretamente ao objetivo da revisão.

2.2 Critérios de elegibilidade

Foram considerados elegíveis artigos científicos publicados no período estabelecido, disponíveis em texto completo e que apresentassem resultados relacionados à associação ou compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e inseticidas organossintéticos no controle de pragas agrícolas. Foram incluídos estudos conduzidos *in vitro, in vivo,* em casa de vegetação, semicampo ou campo, desde que avaliassem pelo menos um parâmetro relacionado à compatibilidade, ao desenvolvimento do fungo ou à eficiência da associação sobre o organismo-alvo.

Foram excluídos estudos duplicados, trabalhos publicados fora do período estabelecido, revisões de literatura, capítulos de livros, resumos de eventos, dissertações, teses e publicações que não apresentassem relação direta com a pergunta de pesquisa. Também foram excluídos trabalhos que abordassem exclusivamente fungicidas, herbicidas ou outros produtos fitossanitários sem avaliação de inseticidas organossintéticos, bem como estudos que utilizassem fungos sem finalidade entomopatogênica.

2.3 Seleção dos estudos

O processo de seleção foi realizado de forma sequencial, conforme as etapas recomendadas pelo PRISMA 2020. Inicialmente, as estratégias de busca resultaram na identificação de 90 estudos potencialmente relevantes. Posteriormente, os registros foram submetidos à triagem com base nos títulos e resumos, considerando sua correspondência com

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

a pergunta de pesquisa e os critérios de elegibilidade previamente estabelecidos. Os trabalhos potencialmente pertinentes foram, então, avaliados em texto completo para confirmação da elegibilidade.

Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão ao longo das etapas de seleção, 19 artigos científicos atenderam aos requisitos estabelecidos e constituíram a amostra final desta revisão sistemática. O processo de identificação, triagem, avaliação da elegibilidade e inclusão dos estudos foi organizado conforme o fluxograma PRISMA, permitindo representar de maneira sistemática a redução dos registros inicialmente identificados até a composição da amostra final.

2.4 Extração, organização e análise dos dados

Dos 19 estudos selecionados foram extraídas informações relacionadas aos fungos entomopatogênicos e respectivos isolados, inseticidas e ingredientes ativos avaliados, pragas-alvo, condições experimentais, concentrações utilizadas e parâmetros empregados para determinar a compatibilidade. Também foram registrados os principais efeitos dos inseticidas sobre germinação, crescimento vegetativo, esporulação e viabilidade dos fungos, além dos resultados referentes à mortalidade das pragas e às possíveis interações aditivas, sinérgicas ou antagônicas relatadas pelos autores.

Após a extração, os dados foram organizados e analisados de forma descritiva e comparativa, buscando identificar padrões e divergências entre os estudos. A síntese das evidências considerou os principais fungos entomopatogênicos utilizados no controle de pragas, a compatibilidade com inseticidas organossintéticos, os fatores responsáveis pela variação dessa interação, as diferenças entre avaliações in vitro e condições de campo e os efeitos das associações sobre o controle das pragas. Por fim, foram discutidas as possibilidades de aplicação dessas combinações no Manejo Integrado de Pragas, bem como as principais limitações e lacunas identificadas na literatura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fungos entomopatogênicos utilizados no controle de pragas agrícolas

Os fungos entomopatogênicos constituem importantes agentes de controle biológico de artrópodes-praga, com crescente utilização em programas de manejo integrado. Diferentemente de microrganismos cuja infecção depende predominantemente da ingestão, esses fungos podem iniciar o processo infeccioso pelo contato dos propágulos com a superfície corporal do

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

hospedeiro. Essa característica amplia sua aplicação contra insetos com diferentes hábitos alimentares e em distintos sistemas agrícolas (Rajula *et al*., 2021; Karthi *et al*., 2024).

Entre os principais agentes utilizados destacam-se espécies dos gêneros *Beauveria*, *Metarhizium*, *Cordyceps* e *Akanthomyces*. Nesse grupo, *Beauveria bassiana* e espécies de *Metarhizium* apresentam especial relevância pela diversidade de hospedeiros suscetíveis, disponibilidade de isolados virulentos e desenvolvimento de formulações para uso agrícola. Consequentemente, esses fungos estão entre os agentes microbiológicos mais investigados para o controle de diferentes grupos de insetos-praga (Wallis; Sisterson, 2024; Karthi *et al*., 2024).

A eficiência desses microrganismos está relacionada às diferentes etapas do processo infeccioso. Após a adesão dos conídios à cutícula, ocorre a germinação e a penetração no tegumento, favorecida pela ação mecânica e pela produção de enzimas, como proteases, quitinases e lipases. Posteriormente, o fungo coloniza os tecidos internos e interfere na homeostase do hospedeiro até provocar sua morte. Portanto, o sucesso da infecção depende da ocorrência coordenada de adesão, germinação, penetração e colonização (Lovett; St. Leger, 2023; Karthi *et al*., 2024).

Além da infecção direta, algumas espécies podem colonizar tecidos vegetais como endófitos sem causar sintomas de doença. Essa capacidade, relatada principalmente para representantes de *Beauveria* e *Metarhizium*, pode contribuir para a proteção das plantas ao interferir na alimentação, no desenvolvimento, na sobrevivência ou na oviposição de determinados artrópodes. Entretanto, esses efeitos dependem da interação entre a espécie vegetal, o isolado fúngico e o organismo-alvo (Panwar *et al*., 2024; Wallis; Sisterson, 2024).

A atividade entomopatogênica, contudo, não é uniforme entre isolados de uma mesma espécie. Diferenças na virulência, germinação, produção de conídios, tolerância ambiental e capacidade de infectar hospedeiros tornam a seleção de isolados uma etapa fundamental para o desenvolvimento de agentes eficientes. Essa variabilidade também deve ser considerada na integração com outras medidas fitossanitárias, uma vez que isolados da mesma espécie podem responder de maneira distinta aos produtos utilizados no sistema de produção (Wallis; Sisterson, 2024).

Nesse sentido, a prospecção de isolados adaptados às condições locais apresenta importância para o controle biológico. Santos *et al.* (2026) demonstraram o potencial de fungos entomopatogênicos nativos do Semiárido brasileiro como fonte de agentes para o manejo de insetos-praga. Paralelamente, avanços na produção e formulação de blastosporos de *B. bassiana* e *Cordyceps javanica* evidenciam que o desempenho desses microrganismos depende não

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

apenas da virulência, mas também das características do propágulo, da formulação e da estabilidade do produto (Santos *et al*., 2026; Mascarin *et al*., 2026).

Apesar desse potencial, a eficiência dos fungos entomopatogênicos em sistemas agrícolas é influenciada por fatores ambientais e tecnológicos. Temperatura, umidade, radiação solar, método de aplicação, formulação e persistência dos propágulos podem alterar o desempenho dos agentes e contribuir para diferenças entre resultados laboratoriais e de campo. Por isso, a seleção de isolados adaptados e o aprimoramento das formulações e estratégias de aplicação são essenciais para aumentar sua persistência e atividade no agroecossistema (Wallis; Sisterson, 2024; Liu *et al*., 2026).

Diante dessas limitações, os fungos entomopatogênicos devem ser considerados componentes de estratégias integradas, e não necessariamente substitutos isolados do controle químico. Sua associação com inseticidas apresenta potencial para o manejo de pragas, desde que a compatibilidade entre os agentes seja previamente determinada (Liu *et al*., 2026). Em *B. bassiana*, por exemplo, diferentes isolados apresentaram respostas distintas a inseticidas utilizados no manejo de *Dalbulus maidis* (Ribeiro *et al*., 2023). Assim, compreender a diversidade e as características desses fungos é fundamental para estabelecer associações eficientes entre o controle biológico e o químico.

3.2 Compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e inseticidas organossintéticos

A integração de fungos entomopatogênicos com inseticidas organossintéticos constitui uma alternativa relevante para o manejo de pragas agrícolas. Entretanto, sua utilização conjunta depende da compatibilidade entre os agentes, uma vez que os compostos químicos podem interferir em processos essenciais ao desenvolvimento e à atividade infectiva dos fungos. Dessa forma, a compatibilidade deve considerar não apenas a possibilidade de associação entre os produtos, mas também a preservação da germinação, do crescimento vegetativo e da produção de conídios após a exposição ao inseticida (Ribeiro *et al*., 2023; Polanczyk *et al.*, 2025).

Entre os parâmetros utilizados para avaliar essa interação, a germinação dos conídios apresenta particular importância por representar uma das etapas iniciais do processo infeccioso. Sua redução pode diminuir a quantidade de propágulos capazes de infectar o hospedeiro. Contudo, esse indicador não deve ser analisado isoladamente, pois um inseticida pode apresentar baixo efeito sobre a germinação e, simultaneamente, comprometer etapas posteriores do desenvolvimento fúngico (Ribeiro *et al*., 2023).

O crescimento vegetativo e a esporulação também constituem indicadores relevantes de compatibilidade. Enquanto alterações no crescimento micelial podem limitar o

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

desenvolvimento do fungo, a redução da produção de conídios pode comprometer sua multiplicação e disseminação. Nesse viés, Sperotto *et al.* (2025) observaram que a esporulação de fungos entomopatogênicos foi mais afetada por inseticidas à base de isocicloseram do que o crescimento vegetativo e a germinação, demonstrando que diferentes etapas do desenvolvimento fúngico podem apresentar sensibilidades distintas.

Além disso, a resposta aos inseticidas pode variar entre espécies e isolados de fungos entomopatogênicos. Ribeiro *et al.* (2023), ao avaliarem isolados de *Beauveria bassiana* e *Cordyceps fumosorosea*, identificaram diferenças de sensibilidade aos produtos testados, evidenciando que resultados obtidos para determinado isolado não devem ser generalizados para toda a espécie. Assim, a identidade do isolado constitui um aspecto importante na seleção de agentes microbiológicos destinados à integração com o controle químico.

De modo semelhante, inseticidas pertencentes ao mesmo grupo ou contendo ingredientes ativos semelhantes podem apresentar respostas distintas em função da formulação e das condições de avaliação. Polanczyk *et al*. (2025) verificaram diferenças na compatibilidade de produtos comerciais com *B. bassiana* IBCB 170, incluindo formulações contendo imidacloprido. Esse comportamento reforça que a seletividade deve ser avaliada para cada associação específica entre produto e agente microbiológico.

A variabilidade observada entre fungos, isolados e inseticidas evidencia, portanto, que a compatibilidade não constitui uma característica fixa de determinada classe química. Ao contrário, resulta da interação entre as características do produto e do microrganismo avaliado. Nesse sentido, a Tabela 1 sintetiza resultados recentes sobre a compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e inseticidas organossintéticos, considerando os principais efeitos observados sobre parâmetros biológicos dos agentes fúngicos.

Tabela 1. Compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e inseticidas organossintéticos relatada em estudos recentes.

Fungo/isolado	Inseticida	Principal efeito observado	Compatibilidade	Referência
B. bassiana IBCB 66 e Simbi BB15; *C. fumosorosea* Esalq-1296	Diferentes inseticidas	Sensibilidade variável entre produtos e isolados	Variável	Ribeiro *et al.* (2023)

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

B. bassiana 170	IBCB	Tiametoxam	Redução dos parâmetros biológicos	Tóxico a moderadamente tóxico	Polanczyk *et al*. (2025)
B. bassiana 170	IBCB	Clorantraniliprole	Alterações no desenvolvimento fúngico	Tóxico	Polanczyk *et al*. (2025)
B. bassiana 170	IBCB	Bifentrina	Comprometimento do desempenho biológico	Tóxico	Polanczyk *et al.* (2025)
B. bassiana 170	IBCB	Imidacloprido	Efeito dependente da concentração	Compatível a moderadamente tóxico	Polanczyk *et al.* (2025)
B. bassiana 170	IBCB	Tiametoxam + lambda-cialotrina	Redução dos parâmetros biológicos	Tóxico	Polanczyk *et al.* (2025)
B. bassiana 170	IBCB	Fipronil	Redução do desempenho biológico	Tóxico	Polanczyk *et al*. (2025)
Fungos utilizados contra *D. maidis*		Isocicloseram	Maior efeito sobre a esporulação	Variável	Sperotto *et al.* (2025)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os resultados sintetizados na Tabela 1 demonstram que a classificação da compatibilidade pode mudar conforme o parâmetro biológico considerado. Em alguns casos, a germinação permanece relativamente preservada enquanto o crescimento ou a produção de conídios é reduzida. Portanto, a análise conjunta desses indicadores fornece uma interpretação mais consistente dos possíveis impactos dos inseticidas sobre os agentes entomopatogênicos (Polanczyk *et al.*, 2025; Sperotto *et al.*, 2025).

Outro aspecto relevante é que a exposição ao inseticida não resulta necessariamente em antagonismo entre os agentes. Zhang *et al.* (2021), por exemplo, observaram que a associação de *B. bassiana* com beta-cipermetrina em concentração reduzida apresentou baixo efeito sobre o crescimento micelial e interação sinérgica contra larvas de *Phauda flammans*. De forma

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

semelhante, Sperotto *et al.* (2025) identificaram efeito aditivo sobre a mortalidade de *D. maidis* em determinadas associações, apesar de alterações em parâmetros fúngicos.

Em síntese, as evidências indicam que a compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e inseticidas organossintéticos depende da combinação específica entre o microrganismo e o produto químico. Desse modo, classificações generalizadas devem ser evitadas, especialmente diante da variabilidade entre isolados, ingredientes ativos e formulações. Além disso, fatores como concentração e período de exposição podem modificar essas interações, aspectos que devem ser considerados na definição de estratégias de integração entre os métodos de controle.

3.3 Fatores que influenciam a compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e inseticidas

A compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e inseticidas é condicionada por diferentes fatores relacionados tanto ao agente microbiano quanto ao produto químico. Por essa razão, a classificação de uma associação como compatível ou incompatível não deve ser considerada uma característica absoluta. Ingrediente ativo, formulação, concentração, período de exposição e características do isolado podem modificar a resposta do fungo e, consequentemente, determinar a viabilidade de sua utilização conjunta com inseticidas em programas de manejo integrado (Ribeiro *et al*., 2023; Bouketta *et al.*, 2026).

Entre esses fatores, a concentração do inseticida exerce influência direta sobre a interação. O aumento da exposição ao composto químico pode intensificar seus efeitos sobre estruturas fúngicas, embora essa relação não seja uniforme entre produtos e isolados. Estudos recentes demonstram respostas dependentes da concentração, indicando que um produto tolerado pelo fungo em determinada condição pode apresentar maior efeito inibitório quando utilizado em concentração superior. Esse comportamento reforça a necessidade de avaliar os produtos nas doses efetivamente empregadas no manejo da cultura, evitando extrapolações entre diferentes condições experimentais (Polanczyk *et al.*, 2025; Sperotto *et al*., 2026).

Além da concentração, a sequência e o período de exposição podem modificar a interação entre os agentes. A aplicação simultânea promove contato direto entre os propágulos fúngicos e o inseticida, enquanto aplicações sequenciais podem reduzir essa exposição ou alterar a resposta do organismo-alvo. Em associações envolvendo *Metarhizium anisopliae* e diflubenzuron, por exemplo, a aplicação do inseticida após a exposição ao fungo resultou em interação sinérgica em determinadas condições, enquanto outras sequências produziram respostas aditivas. Portanto, o intervalo entre as aplicações constitui uma variável relevante para

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730
definir estratégias que preservem a atividade do entomopatógeno e potencializam o controle da praga.

As características genéticas e fisiológicas do isolado também contribuem para as diferenças de compatibilidade. Ribeiro *et al.* (2023) verificaram respostas distintas entre isolados de *Beauveria bassiana* e *Cordyceps fumosorosea* expostos a inseticidas empregados no manejo de *Dalbulus maidis*, sendo *B. bassiana* IBCB 66 mais sensível aos produtos testados. De forma semelhante, isolados nativos de *B. bassiana* apresentaram níveis diferentes de tolerância a imidacloprido, clorantraniliprole, tiametoxam, cipermetrina e outros produtos em estudo publicado por Nimisha *et al.* (2024). Assim, resultados obtidos para um isolado não devem ser generalizados para todos os representantes da mesma espécie.

Por sua vez, as características do inseticida também interferem nessa relação, uma vez que diferentes ingredientes ativos apresentam mecanismos de ação e propriedades físico-químicas distintas. Além disso, a formulação comercial incorpora componentes que podem alterar o contato entre os conídios e o ingrediente ativo. Essa particularidade ajuda a explicar por que produtos destinados ao controle da mesma praga podem produzir respostas diferentes quando associados aos entomopatógenos. Consequentemente, a avaliação da compatibilidade deve considerar o produto formulado utilizado no sistema agrícola, e não apenas o ingrediente ativo de maneira isolada (Ribeiro *et al.*, 2023; Sperotto *et al.*, 2025).

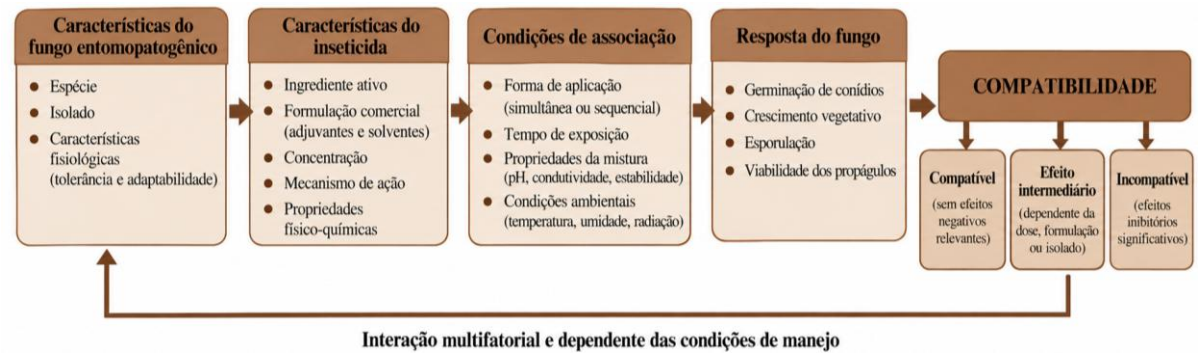
Outro aspecto relevante corresponde às propriedades físico-químicas das misturas destinadas à aplicação conjunta. Alterações de pH, condutividade elétrica, homogeneidade e estabilidade podem afetar a qualidade da calda e modificar a exposição dos propágulos ao produto químico. Ribeiro *et al.* (2023) observaram que a maioria das associações entre inseticidas e micoinseticidas avaliadas apresentou compatibilidade física, enquanto Sperotto *et al.* (2025) também identificaram compatibilidade físico-química na maior parte das misturas contendo inseticidas à base de isocicloseram. Esses resultados demonstram que a compatibilidade biológica e a físico-química representam dimensões complementares e devem ser consideradas antes da recomendação de misturas em tanque.

A própria metodologia empregada nos ensaios pode, ainda, influenciar a interpretação da compatibilidade. Bouketta *et al.* (2026) demonstraram que a incorporação de pesticidas ao meio de cultura e a exposição direta dos conídios à mistura podem resultar em classificações distintas. Os autores observaram que o método baseado no contato direto entre conídios e pesticidas apresentou maior correspondência com os resultados obtidos *in vivo*. Dessa forma, diferenças metodológicas entre os estudos devem ser consideradas na comparação das evidências, sobretudo em revisões sistemáticas que reúnem experimentos conduzidos sob

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

protocolos distintos. Diante da natureza multifatorial dessas interações, a Figura 1 sintetiza os principais fatores que condicionam a compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e inseticidas organossintéticos.

Figura 1. Principais fatores envolvidos na compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e inseticidas organossintéticos.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Em conjunto, essas evidências demonstram que a compatibilidade resulta da interação entre fungo, isolado, inseticida, concentração, formulação, sequência de aplicação e método de avaliação. Portanto, a seleção de associações para o manejo integrado deve considerar simultaneamente esses fatores, uma vez que resultados obtidos em uma condição experimental específica não podem ser automaticamente extrapolados para outras situações. Essa complexidade também evidencia a importância de confrontar os resultados obtidos *in vitro* com o desempenho das associações em condições mais próximas do ambiente de cultivo (Ribeiro *et al*., 2023; Bouketta *et al*., 2026).

3.4 Compatibilidade *in vitro* e desempenho da associação em condições de campo

A avaliação da compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e inseticidas requer a integração de diferentes condições experimentais, uma vez que resultados obtidos em laboratório nem sempre representam integralmente o desempenho da associação em situações de cultivo. Os ensaios *in vitro* permitem identificar respostas dos agentes biológicos sob condições controladas, enquanto experimentos em casa de vegetação e campo incorporam fatores que interferem na sobrevivência do fungo e na suscetibilidade da praga. Dessa forma, a validação em condições mais próximas da realidade agrícola constitui uma etapa fundamental para determinar o potencial de utilização conjunta desses agentes (Wakil *et al.*, 2022; Aynalem *et al.*, 2022).

Em condições laboratoriais, temperatura, concentração dos agentes e tempo de exposição podem ser controlados com maior precisão, facilitando a identificação das interações

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

entre fungos e inseticidas. Wakil *et al.* (2022), ao avaliarem *Beauveria bassiana* associada ao fipronil contra quatro espécies de coleópteros de produtos armazenados, verificaram aumento da mortalidade quando o fungo foi combinado à maior dose do inseticida. Além disso, a resposta variou em função da temperatura, com maior mortalidade a 30 °C. Esses resultados demonstram que mesmo sob condições controladas a eficácia da associação permanece condicionada às características do ambiente experimental.

Quando essas combinações são transferidas para condições de campo, outros fatores passam a interferir na atividade dos agentes. Em estudo envolvendo *B. bassiana* e spinetoram, Wakil *et al.* (2023) observaram que a associação apresentou desempenho superior aos tratamentos isolados contra diferentes pragas de grãos armazenados, tanto em laboratório quanto em avaliações de campo. Contudo, diferenças na mortalidade entre espécies e condições experimentais evidenciaram que a resposta obtida em ambiente controlado não deve ser automaticamente extrapolada para situações de aplicação prática.

A influência das condições de cultivo também foi demonstrada no manejo de *Tuta absoluta*. Aynalem *et al*. (2022) verificaram que *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, utilizados isoladamente ou em associação com outros agentes de controle, reduziram os danos causados pela praga em tomateiro. Em condições de campo, combinações envolvendo os entomopatógenos e concentrações reduzidas do inseticida proporcionaram elevada proteção das plantas, alcançando até 94,4% de proteção em um dos tratamentos. Esses resultados demonstram que associações entre agentes biológicos e doses reduzidas de inseticidas podem manter elevada eficiência de controle, reforçando a importância da validação dessas combinações em condições de cultivo antes de sua incorporação aos programas de manejo integrado (Aynalem *et al*., 2022).

Além do ambiente de aplicação, a proporção entre o agente biológico e o inseticida pode determinar o resultado da interação. Dearlove *et al.* (2024), ao avaliarem *B. bassiana* e *Cordyceps farinosa* associados ao spiromesifen contra *Trialeurodes vaporariorum*, observaram respostas que variaram entre aditividade, sinergismo e antagonismo conforme as concentrações utilizadas. Para determinadas combinações de *B. bassiana* e spiromesifen, também foi constatada redução no tempo necessário para provocar a mortalidade da praga. Portanto, a eficácia de uma mistura não deve ser interpretada apenas pela presença dos dois agentes, mas pela relação entre suas respectivas concentrações.

Outro aspecto relevante é que o desempenho observado em campo resulta da interação entre o agente de controle e as condições ambientais às quais ele permanece exposto. Temperatura, umidade, radiação solar e características do sistema de cultivo podem alterar a

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

persistência dos conídios e, consequentemente, modificar a eficiência da associação. Nesse contexto, os resultados de Wakil *et al.* (2023) demonstram que a temperatura influenciou significativamente a mortalidade das espécies avaliadas, reforçando que a eficácia obtida em laboratório representa apenas uma das dimensões necessárias para prever o desempenho do fungo associado ao inseticida em condições práticas.

Em conjunto, os estudos analisados indicam que as avaliações laboratoriais e de campo desempenham funções complementares. Enquanto os ensaios controlados permitem identificar associações potencialmente eficientes e compreender as interações entre os agentes, os experimentos realizados em condições de cultivo possibilitam verificar se essa resposta é mantida diante da variabilidade ambiental e biológica. Assim, a recomendação da utilização conjunta de fungos entomopatogênicos e inseticidas deve considerar evidências provenientes de diferentes escalas experimentais, especialmente quando o objetivo é incorporar essas associações aos programas de Manejo Integrado de Pragas (Wakil *et al.,* 2023; Aynalem *et al*., 2022).

3.5 Efeito da associação entre fungos entomopatogênicos e inseticidas no controle de pragas agrícolas

A associação entre fungos entomopatogênicos e inseticidas pode ampliar a eficiência do controle de pragas quando os agentes apresentam compatibilidade e atuam de forma complementar. Enquanto os inseticidas geralmente promovem resposta mais rápida sobre a população-alvo, os fungos dependem de etapas sucessivas de adesão, germinação, penetração e colonização do hospedeiro. Nesse contexto, a integração entre os dois métodos pode aumentar a mortalidade e reduzir o tempo necessário para o controle, além de possibilitar o emprego de concentrações menores dos agentes quando a interação é favorável (Nawaz *et al*., 2022; Dearlove *et al*., 2024).

O aumento da mortalidade constitui um dos principais efeitos observados nas associações. Nawaz *et al.* (2022), ao avaliarem *Metarhizium anisopliae* combinado com diferentes inseticidas contra *Aphis gossypii*, verificaram que as misturas foram mais tóxicas à praga do que os tratamentos individuais. Entre as combinações avaliadas, *M. anisopliae* associado ao flonicamida proporcionou mortalidade de 91,68% após 72 horas, enquanto o fungo aplicado isoladamente apresentou mortalidade de 17,08% na concentração considerada. Os resultados demonstram que a integração pode intensificar a ação dos agentes, desde que o inseticida empregado preserve a atividade do entomopatógeno.

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

Entretanto, o efeito combinado não deve ser interpretado exclusivamente a partir do aumento da mortalidade. As interações podem ser classificadas como sinérgicas, aditivas ou antagônicas, dependendo da resposta observada em relação àquela esperada para a ação independente dos agentes. No estudo de Nawaz *et al.* (2022), diferentes combinações apresentaram evidências de interação sinérgica ao longo do período de avaliação. Em contraste, Dearlove *et al.* (2024) demonstraram que a resposta de *Trialeurodes vaporariorum* às associações entre fungos entomopatogênicos e spiromesifen variou conforme o fungo e as concentrações utilizadas. Esses resultados evidenciam que a presença de dois agentes eficazes isoladamente não garante, por si só, uma interação favorável quando utilizados conjuntamente.

Além da mortalidade final, a velocidade de ação representa um componente importante da eficiência dessas associações. Embora os fungos entomopatogênicos possam proporcionar níveis elevados de controle, o processo infeccioso geralmente demanda tempo para resultar na morte do hospedeiro. Dearlove *et al.* (2024) verificaram que determinadas combinações de *Beauveria bassiana* com spiromesifen reduziram em cinco dias o tempo de ação contra *T. vaporariorum* em comparação aos tratamentos individuais. A redução do período necessário para causar a morte pode ser particularmente relevante em situações nas quais o rápido crescimento populacional da praga exige maior velocidade de supressão.

A integração também pode produzir efeitos sobre o desenvolvimento do inseto que ultrapassam a mortalidade imediata. Em estudo recente com *Spodoptera frugiperda*, a combinação de *B. bassiana* com benzoato de emamectina resultou em 92,6% de mortalidade larval e reduziu a pupação, a emergência de adultos e a eclosão dos ovos em comparação aos tratamentos avaliados. Além disso, foram observadas alterações na duração das fases de desenvolvimento e redução da longevidade dos adultos. Esses efeitos indicam que a avaliação da associação deve considerar não apenas a mortalidade aguda, mas também alterações subletais capazes de interferir na continuidade da população da praga.

Apesar dos resultados favoráveis observados em determinadas combinações, a eficiência da integração permanece dependente da escolha dos agentes e das condições de aplicação. Variações na concentração do inseticida e do fungo podem modificar uma interação inicialmente favorável, inclusive resultando em antagonismo. Dessa maneira, a identificação de sinergismo ou aditividade deve ser sustentada por análise experimental específica, não sendo adequado assumir que qualquer aumento de mortalidade representa necessariamente uma interação sinérgica (Dearlove *et al*., 2024).

Em conjunto, as evidências indicam que a associação entre fungos entomopatogênicos e inseticidas pode aumentar a mortalidade, acelerar o controle e produzir efeitos sobre diferentes

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

etapas do desenvolvimento das pragas. Contudo, esses benefícios dependem da combinação utilizada e das concentrações dos agentes, tornando necessária a seleção criteriosa das associações. Nesse sentido, a integração apresenta potencial para ampliar as alternativas disponíveis para o controle de pragas e reduzir a dependência exclusiva de aplicações sucessivas de inseticidas, aspecto particularmente relevante para sua inserção em programas de Manejo Integrado de Pragas (Nawaz *et al*., 2022; Dearlove *et al*., 2024).

3.6 Aplicabilidade no Manejo Integrado de Pragas, limitações e perspectivas

A utilização de fungos entomopatogênicos apresenta potencial para ampliar a diversificação das estratégias empregadas no Manejo Integrado de Pragas (MIP), especialmente diante das limitações decorrentes da dependência contínua do controle químico. A incorporação desses microrganismos aos programas de manejo permite combinar agentes com características distintas, desde que sejam selecionados isolados adaptados ao sistema produtivo e compatíveis com as demais práticas fitossanitárias. Nesse contexto, o desenvolvimento de estratégias integradas depende não apenas da capacidade infectiva dos fungos, mas também de sua estabilidade e persistência nas condições em que serão utilizados (Wallis; Sisterson, 2024).

Entretanto, a eficiência dos fungos entomopatogênicos em condições de campo permanece condicionada por fatores ambientais que podem limitar sua persistência e atividade. Diferenças de temperatura, umidade e características do agroecossistema influenciam a sobrevivência e o desempenho dos isolados, tornando necessária a seleção de materiais biológicos adequados às condições locais. Wallis e Sisterson (2024) destacam, nesse sentido, a necessidade de ampliar a prospecção e a caracterização de espécies e linhagens, bem como identificar aquelas mais adaptadas aos diferentes climas e agroecossistemas. Assim, a seleção criteriosa dos isolados constitui uma etapa essencial para reduzir a variabilidade da resposta observada em aplicações práticas.

Além da seleção do agente biológico, a produção e a formulação representam aspectos determinantes para a aplicação dos fungos em maior escala. A obtenção de propágulos com elevada qualidade e estabilidade é necessária para assegurar que o produto mantenha características adequadas durante o armazenamento e após a aplicação. Mascarin *et al.* (2024) destacam avanços na fermentação líquida submersa, tecnologia que possibilita maior controle das condições nutricionais e ambientais durante a produção e pode reduzir o tempo, a demanda de mão de obra e os custos associados ao processo produtivo. Dessa forma, avanços

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730
tecnológicos na produção e formulação podem contribuir para ampliar a disponibilidade e a consistência dos micoinseticidas utilizados no manejo de pragas.

Apesar desses avanços, a compatibilidade com os produtos fitossanitários empregados no sistema produtivo permanece como um requisito para a integração dos fungos ao MIP. Bouketta *et al.* (2026) demonstraram que a classificação da compatibilidade pode variar de acordo com o método utilizado para expor os fungos aos pesticidas. No estudo, a exposição direta dos conídios aos produtos apresentou maior correspondência com a atividade observada *in vivo* do que o método convencional baseado na incorporação dos pesticidas ao meio de cultura. Esse resultado evidencia que a metodologia empregada pode influenciar a interpretação da compatibilidade e reforça a necessidade de procedimentos experimentais capazes de representar adequadamente as condições de exposição encontradas durante a aplicação agrícola.

Outra limitação relevante corresponde à dificuldade de extrapolar resultados obtidos com determinada espécie ou isolado para outros agentes entomopatogênicos. A diversidade existente entre os fungos pode resultar em diferenças de virulência, tolerância às condições ambientais e resposta às tecnologias de formulação. Consequentemente, a identificação de um isolado eficiente em determinada condição não assegura comportamento semelhante em outros sistemas produtivos. Por essa razão, Wallis e Sisterson (2024) defendem maior esforço na coleta, triagem e caracterização de espécies e linhagens, associado ao estabelecimento de estruturas experimentais mais padronizadas para sua avaliação.

Nesse contexto, a padronização metodológica constitui uma perspectiva importante para o avanço das pesquisas sobre a integração entre fungos entomopatogênicos e produtos químicos. Diferenças nos métodos de exposição podem produzir classificações distintas para uma mesma associação, dificultando a comparação entre estudos. Bouketta *et al.* (2026) verificaram diferenças expressivas entre os resultados obtidos pelo método de incorporação ao meio de cultura e pela exposição direta dos conídios aos pesticidas. Portanto, protocolos que reproduzam com maior fidelidade as condições de aplicação podem aumentar a capacidade dos ensaios laboratoriais de prever o comportamento das associações em condições mais próximas da prática agrícola.

As perspectivas para ampliar a utilização desses agentes também envolvem o aperfeiçoamento das tecnologias de produção e formulação. A fermentação líquida permite a produção de diferentes tipos de propágulos, incluindo blastosporos, conídios submersos e outras estruturas fúngicas com potencial para aplicações no controle de pragas. Paralelamente, o desenvolvimento de formulações capazes de preservar a qualidade dos propágulos representa uma etapa importante para transformar isolados promissores em produtos adequados à

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

aplicação agrícola. Assim, a integração entre seleção de isolados, produção massal e tecnologia de formulação constitui um dos principais caminhos para aumentar a viabilidade prática dos fungos entomopatogênicos (Mascarin *et al*., 2024).

Em conjunto, as evidências indicam que a incorporação de fungos entomopatogênicos aos programas de MIP depende de uma abordagem integrada, envolvendo seleção de isolados, compatibilidade com produtos fitossanitários, métodos de avaliação representativos e tecnologias adequadas de produção e formulação. Embora avanços recentes tenham ampliado as possibilidades de utilização desses agentes, ainda são necessários estudos capazes de aproximar os resultados experimentais das condições encontradas nos sistemas produtivos. Nesse sentido, a padronização dos ensaios, a identificação de isolados adaptados aos diferentes agroecossistemas e o aperfeiçoamento das formulações representam caminhos importantes para ampliar a consistência e a aplicabilidade desses agentes no manejo integrado de pragas (Wallis; Sisterson, 2024; Mascarin *et al*., 2024; Bouketta *et al*., 2026).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão sistemática evidencia que a associação entre fungos entomopatogênicos e inseticidas organossintéticos apresenta potencial para o manejo de pragas agrícolas, embora sua eficiência dependa da combinação específica entre os agentes. A compatibilidade é influenciada pelo ingrediente ativo, formulação, concentração, espécie e isolado fúngico, além das condições de exposição. Quando adequadamente selecionadas, essas associações podem preservar a atividade dos entomopatógenos e, simultaneamente, aumentar a mortalidade ou reduzir o tempo necessário para o controle da praga.

Os estudos analisados também demonstram que resultados obtidos in vitro não devem ser utilizados isoladamente para prever o desempenho das associações em condições de cultivo. A variabilidade ambiental, a concentração dos agentes e a forma de aplicação podem modificar a resposta observada, tornando indispensável a integração entre ensaios laboratoriais, avaliações in vivo e experimentos de campo. Nesse sentido, a utilização conjunta dos agentes apresenta perspectivas para diversificar as estratégias empregadas no Manejo Integrado de Pragas e reduzir a dependência exclusiva do controle químico.

Apesar dos avanços, permanecem lacunas relacionadas à padronização dos métodos de avaliação, à validação de diferentes combinações em campo e à definição de concentrações, intervalos e sequências de aplicação mais adequados. Portanto, estudos futuros devem priorizar protocolos comparáveis e experimentos em diferentes condições edafoclimáticas e sistemas de

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

cultivo, visando identificar associações eficientes, estáveis e tecnicamente viáveis para ampliar a utilização integrada de fungos entomopatogênicos e inseticidas na agricultura.

REFERÊNCIAS

AYNALEM, B. *et al*. Biocontrol competence of Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae and Bacillus thuringiensis against tomato leaf miner, Tuta absoluta Meyrick 1917 under greenhouse and field conditions. Heliyon, v. 8, n. 6, e09694, 2022. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09694.

BOUKETTA, I. *et al*. Assessing pesticide compatibility with entomopathogenic fungi for biological control: evidence from in vivo and in vitro assays. Journal of Economic Entomology, v. 119, n. 4, p. 2535–2550, 2026. DOI: 10.1093/jee/toag127.

DEARLOVE, E. L. *et al*. Improved control of Trialeurodes vaporariorum using mixture combinations of entomopathogenic fungi and the chemical insecticide spiromesifen. Scientific Reports, v. 14, art. 15259, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-66051-8.

KARTHI, S. *et al*. Entomopathogenic fungi promising biocontrol agents for managing lepidopteran pests: review of current knowledge. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, v. 58, 103146, 2024. DOI: 10.1016/j.bcab.2024.103146.

KUMAR, A. *et al.* In vitro compatibility of entomopathogenic fungi, Beauveria bassiana (Balsam) with insecticides and fungicides. International Journal of Advanced Biochemistry Research, v. 10, n. 3S, p. 4–8, 2026. DOI: 10.33545/26174693.2026.v10.i3Sa.7783.

LIU, Q. *et al*. Advances in pest control technologies based on entomopathogenic fungi. Biological Control, v. 217, 106046, 2026. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2026.106046.

NAWAZ, A. et al. Compatibility and synergistic interactions of fungi, Metarhizium anisopliae, and insecticide combinations against the cotton aphid, Aphis gossypii Glover (Hemiptera: Aphididae). Scientific Reports, v. 12, art. 4843, 2022.

NIMISHA, T. *et al*. Tolerant native isolates of Beauveria bassiana with commonly used pesticides in Kerala. Journal of Eco-friendly Agriculture, v. 19, n. 1, 2024. DOI: 10.48165/jefa.2024.19.01.15.

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, v. 372, n. 71, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71.

PANWAR, V. *et al*. Endophytic entomopathogenic fungi as biological control agents of insect pests. Pest Management Science, 2024. DOI: 10.1002/ps.8322.

POLANCZYK, R. A.; SMANIOTTO, G.; GONÇALVES, K. C. Beauveria bassiana In Vitro Compatibility with Pesticides: A Mixture Efficacy Prediction against the Sugar Cane Weevil, Sphenophorus levis. ACS Omega, v. 10, n. 30, p. 33837–33842, 2025. DOI: 10.1021/acsomega.5c05193.

ISBN: 978-65-831-2134-9 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963730

RAJULA, J. *et al.* Insect-fungal-interactions: a detailed review on entomopathogenic fungi pathogenicity to combat insect pests. Microbial Pathogenesis, v. 159, 105122, 2021. DOI: 10.1016/j.micpath.2021.105122.

RIBEIRO, L. P. *et al*. Insecticides for corn leafhopper management versus entomopathogenic fungal isolates: In vitro compatibility, physical-chemical interactions, and on-farm assessments. Crop Protection, v. 174, 106417, 2023. DOI: 10.1016/j.cropro.2023.106417.

SPARKS, T. C. *et al*. Insecticide resistance management and industry: the origins and evolution of the Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) and the mode of action classification scheme. Pest Management Science, v. 77, n. 6, p. 2609–2619, 2021. DOI: 10.1002/ps.6254.

SPEROTTO, M. E. *et al*. In vitro and in vivo compatibility of isocycloseram-based insecticides with entomopathogenic fungi used for corn leafhopper management. Crop Protection, v. 194, 107204, 2025. DOI: 10.1016/j.cropro.2025.107204.

TUDI, M. *et al*. Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 18, n. 3, art. 1112, 2021. DOI: 10.3390/ijerph18031112.

WAKIL, W. *et al*. Laboratory and field studies on the combined application of Beauveria bassiana and fipronil against four major stored-product coleopteran insect pests. Environmental Science and Pollution Research, v. 29, p. 34912–34929, 2022. DOI: 10.1007/s11356-021-17527-x.

WAKIL, W. *et al*. Combinations of Beauveria bassiana and spinetoram for the management of four important stored-product pests: laboratory and field trials. Environmental Science and Pollution Research, v. 30, n. 10, p. 27698–27715, 2023. DOI: 10.1007/s11356-022-23753-8.

WALLIS, C. M.; SISTERSON, M. S. Opportunities for optimizing fungal biological control agents for long-term and effective management of insect pests of orchards and vineyards: a review. Frontiers in Fungal Biology, v. 5, 1443343, 2024. DOI: 10.3389/ffunb.2024.1443343.