

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
dissertação será
disponibilizado somente a
partir de 02/07/2028

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**COMPATIBILIDADE DE *Beauveria bassiana* E INSETICIDAS
QUÍMICOS: UMA AVALIAÇÃO INTEGRADA PARA O
CONTROLE DE *Sphenophorus levis***

Beatriz Batista Rocha Cacemiro
Engenheira Agrônoma

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

COMPATIBILIDADE DE *Beauveria bassiana* E INSETICIDAS
QUÍMICOS: UMA AVALIAÇÃO INTEGRADA PARA O
CONTROLE DE *Sphenophorus levis*

Discente: Beatriz Batista Rocha Cacemiro
Orientador: Prof. Dr. Ricardo Antonio Polanczyk
Coorientadora: Dra. Andressa de Souza Pollo

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Entomologia Agrícola).

C118c	Cacemiro, Beatriz Batista Rocha Compatibilidade de <i>Beauveria bassiana</i> e inseticidas químicos: Uma avaliação integrada para o controle de <i>Sphenophorus levis</i> / Beatriz Batista Rocha Cacemiro. -- , 2026 69 p. : tabs., fotos Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, Orientador: Ricardo Antonio Polanczyk Coorientadora: Andressa de Souza Pollo 1. Controle integrado de pragas. 2. Agentes biológicos no controle de pragas. 3. Weevil. 4. Inseticidas. 5. Cana-de-açúcar. I. Título.
-------	--

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **COMPATIBILIDADE** DE *Beauveria bassiana* E INSETICIDAS QUÍMICOS: UMA AVALIAÇÃO INTEGRADA PARA O CONTROLE DE *Sphenophorus levis*

AUTORA: BEATRIZ BATISTA ROCHA **CACEMIRO**

ORIENTADOR: RICARDO ANTONIO POLANCZYK

COORIENTADORA: ANDRESSA DE SOUZA POLLO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia (Entomologia Agrícola), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. RICARDO ANTONIO POLANCZYK (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade / UNESP / Câmpus de Jaboticabal - FCAV



Pesquisador Dr. WALTER MACCHERONI JUNIOR (Participação Presencial)
Grupo São Martinho S.A. / Pradópolis/SP



Prof. Dr. ODAIR APARECIDO FERNANDES (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade / UNESP / Câmpus de Jaboticabal - FCAV

Jaboticabal, 02 de julho de 2026.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Beatriz Batista Rocha Cacemiro – Natural de Monte Alto, SP, nascida em 07 de fevereiro de 1998, filha de Neuci Rocha do Nascimento e Neide Batista de Oliveira Barcelos. Formada Técnica em Agropecuária pelo Colégio Técnico Agrícola (CTA) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, no ano de 2016. No período de 2015 a 2016, atuou como estagiária na COPLANA, participando da avaliação de genótipos de cana-de-açúcar e de projetos voltados à produção de mudas pré-brotadas (MPB). Formada Engenheira Agrônoma pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), Câmpus de Jaboticabal, no ano de 2022. Durante a graduação desenvolveu trabalhos nas áreas de entomologia agrícola e fisiologia de plantas, sendo bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), com pesquisa sobre suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* à proteína Cry1Ab, e bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), atuando com nutrição e tolerância da cana-de-açúcar a estresses químicos. Realizou atividades práticas e experimentais em laboratório e casa de vegetação, com ênfase em análise de dados agrônômicos, condução de experimentos, monitoramento de pragas, doenças e plantas daninhas. Entre 2018 e 2019, integrou a equipe Ano Agrícola da CAP Júnior (Empresa Júnior da UNESP Jaboticabal), realizando operações agrícolas, organização de atividades de campo e apoio na execução do Dia de Campo. No ano de 2021, iniciou sua atuação profissional como Analista de Qualidade, onde desenvolveu atividades relacionadas à condução de experimentos a campo, execução de protocolos sob diretrizes de Boas Práticas de Laboratório (BPL), gestão de atividades agrícolas, calibração de equipamentos e elaboração de relatórios técnicos. Em 2024, iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola), na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, desenvolvendo pesquisas na área de Controle Microbiano de Artrópodes Pragas, com enfoque na compatibilidade entre controle químico e biológico, vinculada ao Centro de Pesquisa em Engenharia – Fitossanidade em Cana-de-açúcar (CEPENFITO).

**Em Ti, encontrei a direção da minha vida;
nas incertezas, encontrei em Ti minha força;
e em cada conquista, a certeza de que nunca caminhei sozinha.**

Autoria própria

Dedico

A Deus, ao meu marido Álvaro e à minha família,
pelo apoio incondicional!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por cuidar de mim, pelo privilégio da vida, por tudo o que sou e por tudo o que ainda me tornarei. Pela linda família que tenho e tanto valorizo, por todo o caminho que percorri, por me manter de pé e por cada conquista que alcancei.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Antônio Polanczyk, pela confiança na realização deste trabalho, pelo incentivo e pela orientação, bem como pela disponibilização dos recursos essenciais para a execução deste trabalho.

À minha coorientadora, Dra. Andressa de Souza Pollo, por todos os ensinamentos de bancada e profissionais, pela paciência e dedicação ao meu projeto de mestrado, pela amizade, orientações firmes e por todo o incentivo. Expresso minha profunda admiração e respeito.

Agradeço ao meu marido, Álvaro Cacemiro, por ser meu porto seguro, pelo apoio incondicional e pelo cuidado diário. Sou profundamente grata por todo o amor e incentivo e por estar sempre ao meu lado, me fortalecendo em cada momento dessa caminhada.

À minha mãe, Neide Barcelos, e ao meu pai de coração, José Barcelos (*in memoriam*), pelo amor, cuidado e pelos valores que me ensinaram. Aos meus irmãos, Roliney Rocha, Gercy Rocha, Odineia Nascimento e Ednalva Rocha, e aos meus sobrinhos, por serem fonte constante de alegria, apoio e carinho em minha vida. E a toda a minha família, pelo incentivo e carinho ao longo desta caminhada.

Aos meus amigos de infância, de faculdade e da igreja, Gabriel Bonetti, Larissa dos Santos, Stefania Fernandes, Tales Alonso, Natália Braga, Milena Máximo, e a minha prima Terina Rocha que estiveram ao meu lado ao longo do mestrado, compartilhando momentos, oferecendo apoio e fortalecendo minha caminhada com uma amizade sincera.

Aos meus amigos de laboratório e de pós-graduação, Cananda Ferreira, Felipe Diniz, Kelly Gonçalves, Paulo Martins, Alessandra Andrade, Fabiana Machado, Kauan Binhardi, Linda Pacherres, Lana Carvalho, Nicolas Mendes, Raqueli Viana, Sofia Picotte e Victor Wakida pela convivência diária, pelas trocas de experiências na bancada, pelas conversas descontraídas e pelo compartilhamento de conhecimentos. À Stela Montoro e à Giovana Beraldo, do CEPENFITO, pela atenção e pelo apoio.

Ao Prof. Dr. Daniel de Andrade Júnior, do AcaroLab – Laboratório de Acarologia da FCAV/UNESP, e ao Prof. Dr. Pedro Luiz Martins Soares, do LABNEMA – Laboratório de Nematologia da FCAV/UNESP, pela disponibilidade, generosidade e colaboração, possibilitando o acesso aos equipamentos de seus respectivos laboratórios, essenciais para a realização deste trabalho. Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola), pela contribuição à minha formação e pelos conhecimentos compartilhados durante o mestrado, especialmente à Profa. Dra. Nilza Martinelli pela participação na Comissão Examinadora do Exame Geral de Qualificação, e ao Prof. Dr. Odair Fernandes, pela participação na banca de defesa da dissertação de mestrado.

À FCAV UNESP – Jaboticabal pelo ensino durante esses anos, ao Departamento de Fitossanidade, em especial ao Laboratório de Controle Microbiano de Artrópodes Pragas (LCMAP) e Laboratório de Biologia Molecular Aplicado à Fitossanidade, por permitirem que o projeto fosse executado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado, Código de Financiamento 001.

Ao Centro de Pesquisa em Engenharia – Fitossanidade em Cana-de-Açúcar (CEPENFITO), processo FAPESP nº 2017/25258-1, pelo apoio a este trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 A cultura da cana-de-açúcar	3
2.2 <i>Sphenophorus levis</i> : biologia e ecologia	4
2.3 <i>Sphenophorus levis</i> : métodos de controle	6
2.3.1 Controle cultural	6
2.3.2 Controle químico	7
2.3.3 Controle microbiano	9
2.4 Compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e inseticidas químicos	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Coleta e manutenção de <i>Sphenophorus levis</i>	13
3.2 Preparo da suspensão de conídios de <i>Beauveria bassiana</i> e avaliação da viabilidade	14
3.3 Avaliação preliminar de cepas de <i>Beauveria bassiana</i> sobre a mortalidade de <i>Sphenophorus levis</i>	15
3.4 Preparo das soluções para os ensaios de compatibilidade entre inseticidas químicos e conídios de <i>Beauveria bassiana</i>	16
3.4.1 Ensaio de medição do comprimento do tubo germinativo de conídios de <i>Beauveria bassiana</i> expostos aos inseticidas químicos	17
3.4.2 Ensaio de mortalidade de <i>Sphenophorus levis</i>	18
3.4.3 Avaliação da disponibilidade relativa de inseticidas após exposição a <i>Beauveria bassiana</i> por LC-MS	20

3.4.4	Quantificação relativa de DNA de conídios de <i>Beauveria bassiana</i> sob efeito de inseticidas químicos por qPCR.....	21
4.	RESULTADOS	25
4.1	Avaliação preliminar de cepas de <i>Beauveria bassiana</i> sobre a mortalidade de <i>Sphenophorus levis</i>	25
4.2	Ensaio de medição do comprimento do tubo germinativo de conídios de <i>Beauveria bassiana</i> expostos aos inseticidas químicos	26
4.3	Ensaio de mortalidade de <i>Sphenophorus levis</i>	30
4.4	Avaliação da disponibilidade relativa de inseticidas após exposição a <i>Beauveria bassiana</i> por LC-MS	34
4.5	Quantificação relativa de DNA de conídios de <i>Beauveria bassiana</i> sob efeito de inseticidas químicos por qPCR	37
5.	DISCUSSÃO	40
6.	CONCLUSÃO	49
7.	REFERÊNCIAS	49

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mortalidade acumulada de *Sphenophorus levis* após 28 dias da aplicação e reaplicação de suspensões contendo $1,0 \times 10^8$ conídios. mL⁻¹ de três cepas distintas de *Beauveria bassiana*. As médias $\pm$ erro-padrão seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($\alpha = 0,05$) dentro de cada aplicação.26
- Figura 2.** Comprimento do tubo germinativo de conídios de *Beauveria bassiana* após 0 e 6 h de pré-exposição aos inseticidas químicos Engeo Pleno™ S e Regent® Duo. As colunas = média $\pm$ erro-padrão; O não compartilhamento de letras indica diferença significativa entre tratamento $\times$ tempo; (Tukey–Kramer, $\alpha = 0,05$).27
- Figura 3.** Comprimento do tubo germinativo de conídios de *Beauveria bassiana* (IBCB 66) após 0 e 6 h de pré-exposição aos inseticidas químicos Engeo Pleno™ S e Regent® Duo. Os pontos representam a média $\pm$ erro-padrão (n = 10 lâminas por combinação). As linhas conectam os tempos dentro de cada tratamento apenas para fins de visualização.28
- Figura 4.** Representação da medição do comprimento do tubo germinativo de conídios germinados de *Beauveria bassiana*. (A) IBCB 66 no tempo de 0 h; (B) IBCB 66 no tempo de 6 h; (C) IBCB 66 com Engeo Pleno™ S no tempo de 0 h; (D) IBCB 66 com Engeo Pleno™ S no tempo de 6 h; (E) IBCB 66 com Regent® Duo no tempo de 0 h; (F) IBCB 66 com Regent® Duo no tempo de 6 h. Barra de escala = 20 μ m.29
- Figura 5.** Mortalidade acumulada (%) de adultos de *Sphenophorus levis* aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA). Os tratamentos foram aplicados imediatamente (0 h) ou após 6 h de agitação. Colunas = média $\pm$ erro-padrão. Letras sobre as barras indicam agrupamentos de Tukey–Kramer ($\alpha = 0,05$); Letras diferentes indicam diferenças significativas apenas dentro de cada tempo (0 e 6 h). Tratamentos que compartilham a mesma letra não diferem entre si. Análises por dia conduzidas via PROC GLIMMIX.31
- Figura 6.** Disponibilidade relativa (%) dos ingredientes ativos. (A) Fipronil e fipronil + *Beauveria bassiana* IBCB 66 nos tempos de 0 h e 6 h. (B) Alfa-cipermetrina e alfa-cipermetrina + B. bassiana IBCB 66 nos tempos de 0 h e 6 h. As colunas representam a média e as barras verticais indicam o erro padrão. Os dados foram normalizados pela área média do pico cromatográfico do respectivo ingrediente ativo isolado no tempo zero (0 h = 100%). Letras diferentes sobre os colchetes indicam diferença estatística significativa para o efeito principal de Tratamento ($P < 0,05$). O asterisco (*) indica diferença significativa para o efeito principal de Tempo em relação ao tempo inicial de 0 h ($P < 0,05$).36
- Figura 7.** Quantificação relativa (fold change) do DNA amplificável de conídios de *Beauveria bassiana* expostos aos inseticidas Engeo Pleno S e Regent Duo, na ausência e presença de monoazida de propídio (PMA), ao longo do tempo. (A) Efeito temporal dos tratamentos; (B) efeito dos tratamentos no tempo zero (0 h); (C) efeito dos tratamentos após 6 horas de exposição; (D) interação entre inseticidas e tempo sobre a integridade de membrana dos conídios. Os valores de fold change foram calculados considerando a eficiência de amplificação dos primers ($E = 1,90$). Barras representam a média $\pm$ desvio padrão. As análises estatísticas foram realizadas com base nos valores de ΔC_t , sendo as diferenças entre tratamentos indicadas por letras diferentes ($P < 0,05$).38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Inseticidas químicos utilizados nos bioensaios de compatibilidade com conídios de <i>Beauveria bassiana</i> , indicando os ingredientes ativos, os grupos químicos e as doses médias recomendadas pelos fabricantes para controle de <i>Sphenophorus levis</i> em cana-de-açúcar.	17
Tabela 2. Interação de conídios de <i>Beauveria bassiana</i> com os inseticidas Engeo Pleno™ S (tiametoxam + lambda-cialotrina) e Regent® Duo (fipronil + alfa-cipermetrina), após 0 e 6 horas de pré-contato, avaliada nos dias 7, 14, 21 e 28 após a aplicação.	33
Tabela 3. Área integrada dos picos cromatográficos dos ingredientes ativos tiametoxam e lambda-cialotrina (Engeo Pleno™ S), e fipronil e alfa-cipermetrina (Regent® Duo), na ausência e na presença de conídios de <i>Beauveria bassiana</i> , nos tempos de 0 e 6 h após o preparo das misturas.	35
Tabela 4. Valores médios de ΔC_t para avaliação da integridade de conídios de <i>Beauveria bassiana</i> (IBCB 66) submetidos a diferentes tempos de exposição e tratamentos com inseticidas.	40

COMPATIBILIDADE DE *Beauveria bassiana* E INSETICIDAS QUÍMICOS: UMA AVALIAÇÃO INTEGRADA PARA O CONTROLE DE *Sphenophorus levis*

RESUMO – A proibição da queima na colheita da cana-de-açúcar favoreceu o estabelecimento de *Sphenophorus levis* como uma das principais pragas da cultura. O inseto se desenvolve no solo e sob restos vegetais, atacando a base dos colmos e rizomas. As estratégias de controle químico e biológico não têm alcançado níveis satisfatórios de controle da praga, tornando necessária a integração de métodos compatíveis entre si. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a compatibilidade de inseticidas químicos com conídios de *Beauveria bassiana*, utilizando uma cepa previamente selecionada para o controle de *S. levis*. Nos ensaios, foram testadas misturas de tiametoxam + lambda-cialotrina (Engeo Pleno™ S) e fipronil + alfa-cipermetrina (Regent® Duo) com conídios de *B. bassiana*, imediatamente após o preparo das soluções e após 6 horas sob agitação. Os parâmetros avaliados compreenderam o vigor dos conídios de *B. bassiana*, mensurado pelo comprimento do tubo germinativo, a mortalidade de *S. levis* e a disponibilidade dos ingredientes ativos após contato com os conídios, determinada por espectrometria de massas. Adicionalmente, a integridade celular dos conídios foi avaliada por qPCR associado ao uso de monoazida de propídio. Os inseticidas químicos exerceram efeitos contrastantes sobre o comprimento do tubo germinativo de *B. bassiana*, com estímulo de até 20% na presença do Engeo Pleno™ S e redução de aproximadamente 25% em contato com o Regent® Duo, especialmente após seis horas de exposição. Com relação à mortalidade de *S. levis*, tanto a aplicação isolada do Engeo Pleno™ S quanto em combinação com *B. bassiana*, nos tempos 0 e 6 h após o preparo das soluções, resultaram em mortalidade de 58,3%. Os menores valores de mortalidade foram observados com a aplicação isolada do fungo (média de 34%). A maior mortalidade dos insetos foi alcançada com aplicação do Regent® Duo em mistura com *B. bassiana* no tempo zero (61,1%), reduzindo para 38,9% após seis horas. Esse comportamento pode estar relacionado à diminuição da disponibilidade dos ingredientes ativos fipronil e alfa-cipermetrina ao longo do tempo, principalmente em contato com conídios do fungo. Após seis horas, observaram-se reduções na detecção analítica de aproximadamente 21% para o fipronil e 24% para a alfa-cipermetrina, com diminuições já evidentes no tempo zero. Em contraste, os ingredientes ativos componentes do Engeo Pleno™ S não apresentaram redução na área dos picos cromatográficos na presença de *B. bassiana*. A análise por qPCR indicou que os inseticidas Engeo Pleno™ S e Regent® Duo não comprometeram a integridade celular dos conídios de *B. bassiana*. No entanto, a combinação com o Regent® Duo resultou em comprometimento da fisiologia fúngica e redução da biodisponibilidade dos compostos ativos, sugerindo a ocorrência de interações físico-químicas. Dessa forma, observou-se compatibilidade entre o Engeo Pleno™ S e os conídios de *B. bassiana*, enquanto a mistura com o Regent® Duo não é recomendada nas condições avaliadas. Esses resultados evidenciam que a compatibilidade entre agentes biológicos e químicos deve ser avaliada por meio de uma abordagem integrada.

Palavra-chave: Manejo Integrado de Pragas, vigor germinativo, compatibilidade químico-biológica, fungos entomopatogênicos, controle biológico, cana-de-açúcar

COMPATIBILITY BETWEEN *Beauveria bassiana* AND CHEMICAL INSECTICIDES: AN INTEGRATED APPROACH FOR THE CONTROL OF *Sphenophorus levis*

ABSTRACT – The ban on pre-harvest burning in sugarcane cultivation has promoted the establishment of *Sphenophorus levis* as one of the major pests affecting the crop. This insect develops in the soil and beneath plant residues, attacking the base of stalks and rhizomes. Chemical and biological control strategies have not achieved satisfactory levels of pest suppression, highlighting the need to integrate compatible control methods. In this context, the present study aimed to evaluate the compatibility of chemical insecticides with spores of *Beauveria bassiana*, using a strain previously selected for the control of *S. levis*. The assays evaluated mixtures of thiamethoxam + lambda-cyhalothrin (Engeo Pleno™ S) and fipronil + alpha-cypermethrin (Regent® Duo) with *B. bassiana* spores immediately after solution preparation and after 6 h under agitation. The evaluated parameters included the vigor of *Beauveria bassiana* spores, measured by germ tube length, the mortality of *Sphenophorus levis*, and the availability of the active ingredients after contact with the spores, as determined by mass spectrometry. Additionally, spore cell integrity was assessed by qPCR associated with the use of propidium monoazide. The chemical insecticides exerted contrasting effects on the germ tube length of *B. bassiana*. An increase of up to 20% was observed in the presence of Engeo Pleno™ S, whereas a reduction of approximately 25% occurred following exposure to Regent® Duo, particularly after six hours of incubation. Regarding the mortality of *S. levis*, both the application of Engeo Pleno™ S alone and in combination with *B. bassiana*, at 0 and 6 h after solution preparation, resulted in 58.3% mortality. The lowest mortality values were observed following the application of the fungus alone, with a mean mortality of 34%. The highest insect mortality was achieved with the application of Regent® Duo in mixture with *B. bassiana* immediately after solution preparation (61.1%), decreasing to 38.9% after six hours. This behavior may be associated with the reduced availability of the active ingredients fipronil and alpha-cypermethrin over time, particularly following contact with *B. bassiana* spores. After six hours, reductions in analytical detection of approximately 21% for fipronil and 24% for alpha-cypermethrin were observed, with decreases already evident at time zero. In contrast, the active ingredients present in Engeo Pleno™ S showed no reduction in chromatographic peak area in the presence of *B. bassiana*. Analysis of qPCR indicated that Engeo Pleno™ S and Regent® Duo did not compromise the cellular integrity of *B. bassiana* spores. However, the combination with Regent® Duo resulted in impairment of fungal physiology and reduced bioavailability of the active compounds, suggesting the occurrence of physicochemical interactions. Thus, compatibility was observed between Engeo Pleno™ S and *B. bassiana* spores, whereas the mixture with Regent® Duo is not recommended under the evaluated conditions. These findings demonstrate that compatibility between biological and chemical agents should be assessed through an integrated approach.

Keywords: Integrated Pest Management, germinative vigor, chemical-biological compatibility, entomopathogenic fungi, biological control, sugarcane

1. INTRODUÇÃO

O complexo sucroenergético brasileiro, alicerçado na produção de açúcar e etanol, ocupa papel de destaque no cenário mundial. Em um contexto de crescente preocupação com as emissões de carbono, especialmente associadas ao uso de combustíveis fósseis, o etanol apresenta vantagem em termos de emissões equivalentes de CO₂ frente a outros biocombustíveis, o que coloca a produção de cana-de-açúcar no Brasil em ascensão (Follador et al., 2021). Culturas em expansão, como a cana-de-açúcar, enfrentam desafios fitossanitários expressivos, que impactam diretamente a produtividade e qualidade (Iqbal et al., 2021). Nesse contexto, a manutenção da produtividade dos canaviais depende de estratégias de manejos fitossanitários eficientes, capazes de minimizar perdas e, ao mesmo tempo, atender às exigências de sustentabilidade dos sistemas produtivos (Prudencio et al., 2025).

Dentre os insetos-praga, destaca-se o bicudo-da-cana-de-açúcar, como uma das principais ameaças aos canaviais do Centro-Sul do Brasil, com ocorrência relatada em 135 municípios paulistas (Dinardo-Miranda, 2005; 2008). A espécie *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae) foi registrada no país no final da década de 1970, na região de Piracicaba/SP, e se disseminou posteriormente por meio de mudas de cana-de-açúcar infestadas, dado seu baixo potencial de dispersão natural (Dinardo-Miranda, 2005).

Até a proibição do uso de fogo nos canaviais (Lei Federal nº 12.651/2012), o manejo populacional de *S. levis* era facilitado. Após essa mudança, observou-se um aumento expressivo na população e na dispersão do inseto, com estimativas de expansão das áreas danificadas em 11,96% a cada safra (Dinardo-Miranda e Fracasso, 2013; Rosa et al., 2024). Os danos podem levar a reduções significativas na produtividade, como perdas de até 0,318% no peso dos colmos e de 0,68% no número de perfilhos (Casteliani et al., 2020). Com hábito noturno e voo restrito, o inseto passa seu ciclo sob restos vegetais e na base dos colmos e rizomas, abrindo túneis e galerias que dificultam o controle químico e biológico (Casteliani et al., 2020; Faria et al, 2024; Ferreira et., 2024).

Embora os inseticidas químicos constituam o principal método de controle de *S. levis*, sua eficácia é limitada (Pereira e Santos, 2022; Ferreira et al., 2024). O

comportamento do inseto e a tecnologia de aplicação têm sido apontados como um dos fatores responsáveis pela baixa eficiência observada em condições de campo (Dinardo-Miranda et al., 2006; Tavares, 2006; Alencar, 2016; Ferreira e Ferreira, 2023; Ferreira et al., 2024). Além disso, o uso indiscriminado desses produtos tem suscitado preocupações quanto ao risco de desenvolvimento de resistência decorrente de aplicações excessivas, bem como à contaminação ambiental e aos efeitos adversos sobre organismos não alvo (Sparks et al., 2015; Wang et al., 2021; Triques et al., 2022; Ferreira et al., 2024).

Nesse contexto, os fungos entomopatogênicos têm se destacado como aliados no controle de pragas (Parra e Bento, 2006; Pereira e Santos, 2022). O sucesso do controle microbiano por fungos depende de diversos fatores, incluindo a patogenicidade do isolado, a formulação, as condições ambientais e o método de aplicação (Ferreira e Ferreira, 2023; Quesada-Moraga et al., 2024; Keswani et al., 2014; Mwikali et al., 2024). A principal vantagem do controle biológico consiste em sua ação sobre o organismo-alvo, com menor pressão de seleção sobre a praga (Dubovskiy et al., 2013; Islam et al., 2021). No entanto, sua eficácia tende a ser menor, e o tempo necessário para reduzir o impacto econômico das infestações é geralmente mais longo (Fontes e Valadares-Inglis, 2020; Gomes & Oliveira, 2020).

Dentre os fungos entomopatogênicos, *Beauveria bassiana* tem sido amplamente utilizada contra diversos insetos-praga, inclusive *S. levis*, devido à sua seletividade em relação a organismos benéficos e ausência de risco à saúde humana (Badilla e Alves, 1991; Keswani, 2013; Sain et al., 2019; Islam et al., 2021). Estudos que investigaram a interação entre agentes químicos e biológicos indicam que a associação de inseticidas com fungos entomopatogênicos pode aumentar a mortalidade de pragas-alvo, especialmente quando aplicados de forma combinada ou sequencial (Meyling et al., 2018; Sain et al., 2019; Salem et al., 2023). Esses estudos sugerem que a integração de métodos químicos e biológicos pode proporcionar maior eficiência no controle das pragas, oferecendo ao produtor vantagens em termos de economia e praticidade nas operações de campo.

Embora *B. bassiana* seja amplamente estudada como agente de controle microbiano, a compatibilidade com inseticidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar é pouco explorada (Pereira e Santos, 2022). A incompatibilidade pode comprometer a germinação de conídios, o crescimento micelial e a viabilidade de conídios (Tavares et al., 2009; Chen et al., 2021; Polanczyk, 2025). Por outro lado, quando em contato

com os inseticidas, o fungo também pode atuar como agente degradador, metabolizando compostos químicos e convertendo-os em formas mais simples (Zhang et al., 2011; Singh et al., 2021; Muthabathula e Biruduganti, 2022). Assim, compreender essas interações é crucial para aprimorar práticas de manejo integrado e aumentar a eficiência no controle de pragas (Tavares et al., 2009; Wakil et al., 2022).

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a compatibilidade entre conídios de *B. bassiana* e inseticidas químicos amplamente utilizados no controle de *S. levis*, por meio de uma abordagem integrada que incluiu ensaios de vigor germinativo, bioensaios de mortalidade, análises cromatográficas da disponibilidade relativa dos ingredientes ativos e a avaliação da integridade celular dos conídios por quantificação relativa de DNA de células íntegras via PCR em tempo real.

6. CONCLUSÃO

O Engeo Pleno™ S é compatível com *B. bassiana* e pode ser utilizado em misturas de tanque, nas condições avaliadas, sem prejuízo à integridade celular do fungo ou aos ingredientes ativos da formulação. Por outro lado, o Regent® Duo apresentou evidências de interação negativa com os conídios de *B. bassiana*, resultando em redução da funcionalidade biológica e da eficácia da mistura, não sendo recomendado para aplicação conjunta nessas mesmas condições.

7. REFERÊNCIAS

Abbott, W. S (1925) A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology** 18: 265–267.

Alencar K (2012) **Análise do balanço entre demanda por etanol e oferta de cana-de-açúcar no Brasil**. 49 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Alencar MAV (2016) ***Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae): Caracterização macroscópica e determinação de inseticida e época de aplicação para controle**. 59 f. Tese (Doutorado em Agronomia (Entomologia Agrícola) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

Ali SE, Yuan Q, Wang S, Farag MA (2021) More than sweet: A phytochemical and pharmacological review of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Food Bioscience** 44:101431. 10.1016/j.fbio.2021.101431

Almeida LC (2005) **Bicudo da cana-de-açúcar**. Boletim técnico C.T.C Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira, 1-3 p.

Alves SB, Moino Júnior A, Almeida JEM (1998) Produtos fitossanitários e entomopatógenos. In: Alves, S.B (Org.) **Controle microbiano de insetos**. Piracicaba: FEALQ. p. 217-238.

Alves SB, Moraes SA (1998) Quantificação de inóculos de patógenos de insetos. In: Alves, S.B (Org.) **Controle microbiano de insetos**. Piracicaba: FEALQ. p. 765-777.

Anderson TE, Roberts DW (1983) Compatibility of *Beauveria bassiana* isolates with insecticide formulations used in Colorado Potato Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) Control. **Journal of Economic Entomology** 76(6):1437–1441. 10.1093/jee/76.6.1437

Aksu Z (2005) Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. **Process Biochemistry** 40(4):997-1026. 10.1016/j.procbio.2004.04.008

Arrigoni EB (2011) New pests of the new system. Revista Opiniões 28:65-67. <https://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/pt-br/revista/detalhes/40-principais-pragas-do-novo-sistema/>

Badilla FF (1989) **Controle microbiano do gorgulho da cana-de-açúcar *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Col.: Curculionidae) com *Beauveria* spp. e *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin, 1883**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 1989. doi:10.11606/D.11.2019.tde-20190821-120019.

Badilla FF, Alves SB (1991) Controle do gorgulho da cana-de-açúcar *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae) com *Beauveria* spp. em condições de laboratório e campo. **Anais Da Sociedade Entomológica Do Brasil**, 20(2):251–263. 10.37486/0301-8059.v20i2.710

Balabanidou V, Grigoraki L, Vontas J (2018) Insect cuticle: a critical determinant of insecticide resistance. **Current Opinion in Insect Science** 27:68–74. 10.1016/j.cois.2018.03.001

Barari H, Ghazavi M, Naseri B, Sheikhi Garjan A, Rashid M (2012) Compatibility of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* with the insecticides fipronil, pyriproxyfen, and hexaflumuron. **J. Entomol. Soc. Iran** 31 (2):29–37. 10.5281/zenodo.17562940

Barrientos FA, Echeverria FB, Hernández AS, Gatica, AA, Hernández CMG, Carvajal PQ, Rodríguez AM, Pérez J (2025) Mutation breeding strategies and advances for sugarcane (*Saccharum* spp.) improvement. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, 162(3):66. 10.1007/s11240-025-03188-y

BASF S.A. (2026) **Regent® Duo**: inseticida. Bula do produto. São Paulo: BASF.

Batista Filho A, Almeida JEM, Lamas C (2001) Effect of thiamethoxam on entomopathogenic microorganisms. **Neotrop. Entomol.** 30:437–447. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2001000300017>

Bell JP, Tsezos M (1987) Removal of hazardous organic pollutants by adsorption on microbial biomass. *Water Sci. Technol*, 19:409-416

Bhatt P, Zhou X, Huang Y, Zhang W, Chen S (2021). Characterization of the role of esterases in the biodegradation of organophosphate, carbamate, and pyrethroid pesticides. *Journal of Hazardous Materials* 411:125026. 10.1016/j.jhazmat.2020.125026

Bhatt P, Bhatt K, Huang Y, Lin Z, Chen S (2020) Esterase is a powerful tool for the biodegradation of pyrethroid insecticides. *Chemosphere* 244:125507. 10.1016/j.chemosphere.2019.125507

Bitsadze N, Jaronski S, Khasdan V, Abashidze E, Abashidze, M, Latchininsky A, and Horowitz AR (2013) Joint action of *Beauveria bassiana* and the insect growth regulators diflubenzuron and novaluron, on the migratory locust, *Locusta migratoria*. **Journal of Pest Science** 86:293-300.

Bliss, CI (1939) The toxicity of poisons applied jointly. **Annals of Applied Biology**, 26: 585-615. 10.1111/j.1744-7348.1939.tb06990.x

Bobé A, Meallier P, Cooper JF, Coste C (1998) Kinetics and mechanisms of abiotic degradation of fipronil (hydrolysis and photolysis). **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46(7):2834–2839. 10.1021/jf970874d

BRASIL. Ministério da agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria N° 148, de 26 de dezembro de 2017 (2017) Estabelece critérios e procedimentos a serem adotados para recomendação de mistura em tanque de agrotóxicos e afins, e sua prescrição em receituário agrônomo. Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil. Brasília.

Canassa F (2015). **Distribuição espacial, efeito do manejo da palha pós-colheita e da aplicação de *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Hypocreales: Cordycipitaceae) na ocorrência de *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae) em cana-de-açúcar.** 98 f. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 10.11606/D.11.2015.tde-12032015-153838.

Casagrande AA, Vasconcelos ACM (2010) Fisiologia da parte aérea. In: Dinardo-Miranda LL, Vasconcelos ACM, LANDELL MGA. (E.d.) **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo. p. 57-78.

Casida JE, Durkin KA (2013) Neuroactive insecticides: targets, selectivity, resistance, and secondary effects. **Annu Rev Entomol** 58(1):99–117. 10.1146/annurev-ento-120811-153645

Casteliani A, de Fatima Martins L, Maringoli Cardoso JF, Oliveira Silva, MS, Abe da Silva RS, Chacon-Orozco JG, Barbosa Casteliani AG, Půža V, Harakava R, Leite LG (2020) Behavioral aspects of *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae), damage to sugarcane and its natural infection by *Steinernema carpocapsae* (Nematoda: Rhabditidae). **Crop Protection** 137:105262. 10.1016/j.cropro.2020.105262

Castellanos González L, Nicao L, María E, Muiño BL (2013). Compatibilidad de cuatro plaguicidas de diferentes grupos químicos con *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) Zare & Gams. **Revista de Protección Vegetal** 28:199-203.

Castro SGQ de, Dinardo-Miranda LL, Fracasso JV, Bordonal RO, Menandro LMS, Franco HCJ; Carvalho JLN (2019). Changes in soil pest populations caused by sugarcane straw removal in Brazil. **BioEnergy Research** 12(4):878–887. 10.1007/s12155-019-10019-4

Chaaieri Oudou H, Bruun Hansen HC (2002) Sorption of lambda-cyhalothrin, cypermethrin, deltamethrin and fenvalerate to quartz, corundum, kaolinite and montmorillonite. **Chemosphere** 49(10):1285–1294. 10.1016/S0045-6535(02)00507-6

Chen L, Li L, Xie X, Chai A, Shi Y, Fan T, Xie J, Li B (2022) An improved method for quantification of viable fusarium cells in infected soil products by propidium monoazide Coupled with Real-Time PCR. **Microorganisms** 10:1037. 10.3390/microorganisms10051037

Chen XM, Wang XY, Lu W, Zheng, XL (2021) Use of *Beauveria bassiana* in combination with commercial insecticides to manage *Phauda flammans* (walker) (Lepidoptera: Phaudidae): testing for compatibility and synergy. **J Asia Pac Entomol** 24 (2): 272–278. 10.1016/j.aspen.2021.01.016

Cycoń M, Mrozik A, Piotrowska-Seget Z (2017) Bioaugmentation as a strategy for the remediation of pesticide-polluted soil: A review. **Chemosphere** 172:52-71. 10.1016/j.chemosphere.2016.12.129

Coelho LF, Bragagnolo C (2024) Fatores determinantes da eficiência técnica da cana-de-açúcar nos polos de produção do sudeste e centro-oeste brasileiros. **Estudos Econômicos (São Paulo)** 54(1):167–204. 10.1590/1980-53575416lccb

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2026) Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Safra 2025/26 - Quarto Levantamento Brasília, DF, 3(4):1-52. <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cana-de-acucar/arquivos-boletins/4o-levantamento-safra-2025-26/4o-levantamento-safra-2025-26>

Custódio HH, Martinelli PRP, Santos LS (2017) Controle químico e biológico de *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera: Curculionidae) na cultura da cana-de-açúcar. **Entomología Mexicana** 4:331-337.

Da Costa, MA, Loureiro ES de, Pessoa LGA, Dias PM (2018) Compatibilidade de inseticidas utilizados na cultura do eucalipto com *Metarhizium rileyi* (farlow) (=nomuraea rileyi). **Revista de Agricultura Neotropical** 5(3):44–48. 10.32404/rean.v5i3.2149

Degaspari N, Botelho PSM, Almeida LC, Castilho HJ (1987) Biologia de *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Col.: Curculionidae), em dieta artificial e no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília 22(6):553-558. 10.1590/S1678-3921.pab1987.v22.14389

Dillon RJ, Charnley AK (1990) Initiation of germination in conidia of the entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae*. **Mycol Res**, 94(3):299–304. 10.1016/S0953-7562(09)80353-5

Dinardo-Miranda LL (2005) Nematóides e pragas de solo em cana-de-açúcar. *Informações agronômicas*, Piracicaba, v. 110, n. 1, p. 25-32.

Dinardo-Miranda LL et al (2006) Eficiência de inseticidas aplicados em soqueiras de cana-de-açúcar no controle de *Sphenophorus levis*. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos** 24(5):34-37.

Dinardo-Miranda, L. L (2008) Pragas. In: Dinardo-Miranda LL, Vasconcelos ACM, LANDELL MGA. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronomico, 349 – 404 p.

Dinardo-Miranda LL, Fracasso JV (2010) Effect of insecticides applied at sugarcane planting on *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera; Curculionidae) control and on the yield of first two harvests. **Proceedings International Society of Sugar Cane Technology** 27: 1-5. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20193249443>

Dinardo-Miranda LL, Fracasso JV (2013) Sugarcane straw and the populations of pests and nematoids. **Scientia Agricola** 70:305-310. 10.1590/S0103-90162013000500012

Dinardo-Miranda LL (2014) Introdução ao manejo integrado de pragas. In: DINARDO-MIRANDA, L. L. **Nematóides e pragas da cana-de-açúcar**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas. cap. 1, p. 13-18.

Dinardo-Miranda LL (2014) *Sphenophorus levis*. In: Dinardo-Miranda LL **Nematoides e pragas da cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico. 7:210-262.

Dinesh Babu KS, Janakiraman V, Palaniswamy H, Kasirajan L, Gomathi R, Ramkumar TR (2022) A short review on sugarcane: its domestication, molecular manipulations and future perspectives. **Genetic Resources and Crop Evolution** 69(8):2623–2643. 10.1007/s10722-022-01430-6

Dubovskiy IM, Whitten MMA, Yaroslavtseva ON, Greig C, Kryukov VY, Grizanov EV, Mukherjee K, Vilcinskis Andreas, Glupov Viktor V, Butt Tariq M (2013) Can insects develop resistance to insect pathogenic fungi? **PLoS ONE**, 8(4):e60248. 10.1371/journal.pone.0060248

Duke SO (2018) Interaction of Chemical Pesticides and Their Formulation Ingredients with Microbes Associated with Plants and Plant Pests. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 66(29):7553 – 7561. 10.1021/acs.jafc.8b02316

Evangelista EFD, Santos LS, Simone-Zera F, Cruz BRG. Controle químico de *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera: Curculionidae) na cultura da cana-de-açúcar. **Entomologia Mexicana**, Jaboticabal, 2017.

FAO - Food and Agriculture Organizations of the United Nations (2024) – FAO DATABASE. https://www.fao.org/faostat/en/?utm_source=chatgpt.com#data/QCL/visualize

Faria LV, Takahashi TA, Garcia AG, Parra JRP (2024) Artificial Diet for Immatures of *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae), Based on a Multidimensional Model. **Insects** 15(12):944. [10.3390/insects15120944](https://doi.org/10.3390/insects15120944)

Faria M, Lopes RB, Souza DA, Wraight SP (2015) Conidial vigor vs. viability as predictors of virulence of entomopathogenic fungi. **Journal of Invertebrate Pathology** 125:68–72. 10.1016/j.jip.2014.12.012

Fenet, H, Beltran E, Gadji B, Cooper F, Coste CM (2001) Fate of a Phenylpyrazole in Vegetation and Soil under Tropical Field Conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 49(3):1293–1297. 10.1021/jf000996x

Fernandes ÉK, Rangel DE, Braga GU, Roberts DW (2015) Tolerance of entomopathogenic fungi to ultraviolet radiation: a review on screening of strains and their formulation. **Current Genetics** 61(3):427–440. 10.1007/s00294-015-0492-z

Ferreira PHU, Ferreira MC, Vieira E (2024) Improving *Sphenophorus levis* adult mortality through solid insecticide applications and increased insecticide Dose. **Neotropical Entomology** 53(6):1293–1308. 10.1007/s13744-024-01204-y

Ferreira PHU, Ferreira M da C (2023) *Sphenophorus levis* behavior studies: evaluating insect attractiveness or repellency to one insecticide treatment and assessing nocturnal insect activity and location pattern. **Insects** 14(2):205. <https://doi.org/10.3390/insects14020205>

Follador M, Soares-Filho BS, Philippidis G, Davis JL, de Oliveira AR, Rajão R (2021) Brazil's sugarcane embitters the eu-mercosur trade talks. **Sci Rep** 11(1):13768. 10.1038/s41598-021-93349-8

Fontes, MGE, Valadares-Inglis MC (2020) Capítulo 7 – Controle de artrópodes-praga com fungos entomopatogênicos. In: Fontes EMG, Valadares-Inglis MC. (Eds.). **Controle biológico de pragas da agricultura**. 1ª edição ed. Brasília, DF: Embrapa. p. 1–514. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1121825>

Franchini G; Soares JRS; Fernandes AO (2026) Straw management in sugarcane affects sugarcane billbug (Coleoptera: Curculionidae) dispersal. **Journal of Economic Entomology**. 10.1093/jee/toag062

Garsmeur O, Rio S et al. (2025) The genomic footprints of wild *Saccharum* species trace domestication, diversification, and modern breeding of sugarcane. **Cell** 188(25): 7252- 7266.e15. 10.1016/j.cell.2025.09.017

Gazziero DLP (2015) Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha** 33:83-92. 10.1590/S0100-83582015000100010

Giometti FHC, Leite LG, Tavares FM, Schmit FS, Batista Filho A, Dell'acqua R (2011) Virulência de nematóides entomopatogênicos (Nematoda: Rhabditida) a *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae). **Bragantia** 70(1):81–86. 10.1590/S0006-87052011000100013

Girón-Pérez K, Nakano O, Silva AC, Oda-Souza M (2009) Atração de adultos de *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera: Curculionidae) a fragmentos vegetais em

diferentes estados de conservação. **Neotropical Entomology** 38(6):842–846, dez. 2009. 10.1590/S1519-566X2009000600019

Gomes J de A, Oliveira AL (2020) Eficácia para o combate da broca da cana-de-açúcar. **Revista Interface Tecnológica** 17 (1):467–478. 10.31510/infav17i1.818

Gossen BD, Al-Daoud F, Dumonceaux T, Dalton JA, Penga G, Pageauc D, McDonald MR (2019) Comparison of techniques for estimation of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* in soil. **Plant Pathology** 68:954–961. 10.1111/ppa.13007

Gunasekara, AS, Truong T, Goh KS, Spurlock F, Tjeerdema R (2007) Environmental fate and toxicology of fipronil. **Journal of Pesticide Science** 32 (3):189–199. 10.1584/jpestics.R07-02

Islam W, Adnan M, Shabbir A, Naveed H, Abubakar YS, Qasim M, Tayyab M, Noman A, Nisar MS, Khan KA, Ali H (2021) Insect-fungal-interactions: A detailed review on entomopathogenic fungi pathogenicity to combat insect pests. **Microbial Pathogenesis**, 159:105122. 10.1016/j.micpath.2021.105122

Hack B, Egger H, Uhlemann J, Henriët M, Wirth W, Vermeer AWP, Duff DG (2012) Advanced agrochemical formulations through encapsulation strategies? **Chemie Ingenieur Technik** 84(3):223–234. 10.1002/cite.201100212

Haisi A, Nogueira MF, Possebon FS, Júnior JPA, Marinho-Prado JSM (2025) Viral community and novel viral genomes associated with the sugarcane weevil, *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae) in Brazil. **Viruses** 17(10):1312. 10.3390/v17101312

Hall IM, Dunn PH (1959). The effect of certain insecticides and fungicides on fungi pathogenic to the spotted alfalfa aphid. **Journal of Economic Entomology** 52: 28-29.

Hiromori H, Nishigaki J (2001). Factor analysis of synergistic effect between the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* and synthetic insecticides. **Applied Entomology and Zoology** 36:231-236. 10.1303/aez.2001.231

Ignoffo CM, Hostetter DL, Garcia C, Pinnell RE (1975). Sensitivity of the entomopathogenic fungus *Nomuraea rileyi* to chemical pesticides used on soybeans. **Environmental Entomology** 4:765-768. 10.1093/ee/4.5.765

Inglis GD, Goettel MS, Butt TM, Strasser H (2001) Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential, 23-69. 10.1079/9780851993560.0023

Iqbal A, Khan RS, Khan MA, Gul K, Jalil F, Shah DA, Rahman H, Ahmed T (2021) Genetic engineering approaches for enhanced insect pest resistance in sugarcane. **Molecular Biotechnology** 63(7):557-568. 10.1007/s12033-021-00328-5

IRAC (Insecticide Resistance Action Committee), 2025. <https://irac-online.org/documents/moa-brochure/>

Izeppi TS (2015) **Distribuição espacial e dinâmica populacional de *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae) em cana-de-açúcar**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Entomologia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

Keswani C, Singh SP, Singh HB (2013) *Beauveria bassiana*: Status, Mode of Action, Applications and Safety Issues. **Biotech Today** 3 (1):16. 10.5958/j.2322-0996.3.1.002

Leite LG, Tavares FM, Botelho PSM, Batista Filho A, Polanczyk RA, Schmidt FS (2012) Eficiência de nematoides entomopatogênicos e inseticidas químicos contra *Sphenophorus levis* e *Leucothyreus* sp. em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia 42:40-48. 10.1590/S1983-40632012000100006

Leite LG. Batista Filho A, Tavares FM, Ginarte CMA, Botelho PSM, Almeida LC (2006) Alternativa de controle. **Revista Cultivar**, p. 30–33. www.biologico.sp.gov.br/publicacoes/comunicados-documentos-tecnicos/comunicados-tecnicos/alternativa-de-controle-bicudo-da-cana-de-acuca

Lewis, KA, Tzilivakis, J., Warner, D. e Green, A. (2016) Um banco de dados internacional para avaliações e gerenciamento de riscos de pesticidas. **Human and**

Ecological Risk Assessment: An International Journal 22 (4):1050-1064.
10.1080/10807039.2015.1133242

Li N, Sun C et al (2021) Advances in controlled-release pesticide formulations with improved efficacy and targetability. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 69(43):12579–12597. 10.1021/acs.jafc.0c05431

Litwin A, Bernat P, Nowak M, Słaba M, Różalska S (2021) Lipidomic response of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* to pyrethroids. **Sci Rep**, 11(1): 21319. 10.1038/s41598-021-00702-y

Litwin, A, Nowak M; Różalska S (2020) Entomopathogenic fungi: unconventional applications 2020 **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology** 19(1):23–42. 10.1007/s11157-020-09525-1

Liu H, Zhao X, Guo M, Liu H, Zheng Z (2015) Growth and metabolism of *Beauveria bassiana* spores and mycelia. **BMC Microbiology** 15(1):267. 10.1186/s12866-015-0592-4

Lomer CJ, Bateman RP, Johnson DL, Langewald J, Thomas M (2001) Biological control of locusts and grasshoppers. **Annu Rev Entomol** 46:667–702. 10.1146/annurev.ento.46.1.667

Lu W, Liu Z, Fan X, Zhang X, Qiao X, Huang J (2022) Nicotinic acetylcholine receptor modulator insecticides act on diverse receptor subtypes with distinct subunit compositions. **PLoS Genet** 19:18(1):e1009920. 10.1371/journal.pgen.1009920

Majchrowska-Safaryan A, Różalska S, Tkaczuk C, Nowak M (2025) Effect of pyrethroids on the colony growth and metabolic activity of entomopathogenic fungi of the *Beauveria* genus. **Insects** 16:533. 10.3390/insects16050533

Manimekalai R, Suresh G, Singaravelu B (2022) Sugarcane transcriptomics in response to abiotic and biotic stresses: A review. **Sugar Tech** 24(5):1295–1318. 10.1007/s12355-021-01098-9

Marafon AC (2012) **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p 21. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/944871>

Masutti CSM, Mermut AR (2007). Degradation of fipronil under laboratory conditions in a tropical soil from sirinhaém pernambuco, Brazil. **Journal of Environmental Science and Health, Part B** 42(1):33–43. 10.1080/03601230601017981

Meyling NV, Arthur S, Pedersen KE (2018) Dhakal, S.; Cedergreen, N.; Fredensborg, B. L. Implications of sequence and timing of exposure for synergy between the pyrethroid insecticide alpha-cypermethrin and the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. **Pest Management Science** 74(11):2488–2495. 10.1002/ps.4926

Moino AJr, Alves SB (1998) Efeito de imidacloprid e fipronil sobre *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. e *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. e no comportamento de limpeza de *Heterotermes tenuis* (Hagen). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 27(4):611–619. 10.1590/S0301-80591998000400014

Muthabathula P, Biruduganti S (2022) Analysis of biodegradation of the synthetic pyrethroid cypermethrin by *Beauveria bassiana*. **Current Microbiology** 79(2):46. 10.1007/s00284-021-02744-x

Mwikali PC, Mwamburi LA, Peter Musinguzi S (2024) Formulation and bio-efficacy of different isolates of *Beauveria bassiana* against adults and third nymphal instar of desert locust (*Schistocerca gregaria* Forskål). **Biological Control** 198:105642. 10.1016/j.biocontrol.2024.105642

Nawaz A, Razzaq F, Razzaq A, Gogi MD, Fernández-Grandon GM, Tayib M, Ayub MA, Sufyan M, Shahid MR, Qayyum MA, Naveed M, Ijaz A, Arif MJ (2022) Compatibility and synergistic interactions of fungi, *Metarhizium anisopliae*, and insecticide combinations against the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). **Sci Rep** 12(1):4843. 10.1038/s41598-022-08841-6

Neves PMOJ, Hirose E, Tchujo PT, Moino AJr (2001) Compatibility of entomopathogenic fungi with neonicotinoid insecticides. **Neotropical Entomology** 30(2):263–268. 10.1590/S1519-566X2001000200009

Niassy S, Maniania NK, Subramanian S, Gitonga ML, Maranga R, Obonyo AB, Ekesi S (2012) Compatibility of *Metarhizium anisopliae* isolate ICIPE 69 with agrochemicals used in French bean production. **International Journal of Pest Management** 58:131-137.

Nunes B. de M. **Efeito de inseticidas na qualidade da cana-de-açúcar e microbiota da fermentação etanólica sob infestação de *Sphenophorus levis***. 2012. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2012.

Oliveira CN de, Neves PMOJ, Kawazoe LS (2003) Compatibility between the Entomopathogenic Fungus *Beauveria bassiana* and Insecticides Used in Coffee Plantations. **Sci Agric** 60(4):663–667. 10.1590/S0103-90162003000400009

Oliveira DGP, Pauli G, Mascarin GM, Delalibera I (2015) A protocol for determination of conidial viability of the fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* from commercial products. **J Microbiol Methods** 119:44–52. 10.1016/j.mimet.2015.09.021

Oliveira RP, Pessoa LGA, Loureiro ES de, Oliveira MP (2018) Compatibilidade de inseticidas utilizados no controle da mosca branca em soja com *Beauveria bassiana*. **Revista de Agricultura Neotropical** 5(4):88–93. 10.32404/rean.v5i4.2416

Ortiz-Urquiza A, Keyhani N (2013) Action on the surface: Entomopathogenic fungi versus the insect cuticle. **Insects** 4(3):357–374. 10.3390/insects4030357

Parra JRP, Bento JMS (2006) Parasitóides e predadores no controle biológico de insetos-praga. In: Oliveira-Filho, EC.; Monnerat, RG. (Ed. téc.) **Fundamentos para a regulação de semioquímicos, inimigos naturais e agentes microbiológicos de controle de pragas**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. p. 103-119

Pavlu FA (2012) **Plano de amostragem e distribuição especial visando o controle localizado de *Sphenophorus levis* em cana-de-açúcar**. 80 f. (Dissertação de Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo. 10.11606/D.11.2012.tde-24102012-145217

Pelizza SA, Schalamuk S, Simón MR, Stenglein SA, Pacheco-Marino SG, Scorsetti AC (2018) Compatibility of chemical insecticides and entomopathogenic fungi for control of soybean defoliating pest, *Rachiplusia nu*. **Revista Argentina de Microbiología** 50(2):189–201. 10.1016/j.ram.2017.06.002

Pereira DGS, Santos LAO (2022) Revisão de literatura: uso de *Beauveria bassiana* no controle biológico de *Sphenophorus levis* Vaurie 1978 (Coleoptera: Curculionidae) em cana-de-açúcar. In: **Manejo de Pragas e Doenças - a busca por formas sustentáveis de controle - Volume 2**. [S.l.]: Editora Científica Digital. p. 133–150. 10.37885/220308014

Pfaffl MW (2001) A new mathematical model for relative quantification in real-time RT–PCR. **Nucleic Acids Research** 29(9):e45. 10.1093/nar/29.9.e45

Polanczyk RA, Almeida LC, Padulla L, Batista Alves S. (2004). Pragas de cana-de-açúcar x métodos alternativos de controle. **Revista de biotecnologia Ciência & Desenvolvimento** 33:14-17

Polanczyk RA, Smaniotto G, Gonçalves KC (2025) *Beauveria bassiana* in vitro compatibility with pesticides: A mixture efficacy prediction against the sugar cane

weevil, *Sphenophorus levis*. **ACS Omega** 10(30):33837–33842. 10.1021/acsomega.5c05193

Precetti AACM, Arrigoni EB (1990) **Aspectos bioecológicos e controle do besouro *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera, Curculionidae) em cana-de-açúcar**. São Paulo: Copersucar, 15 p. (Boletim Técnico - Edição Especial).

Prudencio, MF, Marciano, MC, Figueiredo, PAM, Prado, EP; Viana, R da S (2025) Atualizações no manejo integrado das principais pragas da cana-de-açúcar no brasil: Uma revisão dos últimos 10 anos **Aracê** 7 (7), 35354-35374. 10.56238/arev7n7-013.

Quesada-Moraga E, González-Mas N, Yousef-Yousef M, Garrido-Jurado I, Fernández-Bravo M (2024) Key role of environmental competence in successful use of entomopathogenic fungi in microbial. Pest Control. **J Pest Sci** 97 (1):1–15. 10.1007/s10340-023-01622-8

Ramírez JRG, Muñoz LAI, Balagurusamy N, Ramírez JEF, Hernández LA, Campos JC (2023) Microbiology and biochemistry of pesticides biodegradation. **Int J Mol Sci** 24(21):15969. 10.3390/ijms242115969

Rashid M, Baghdadi A, Sheikhi A, Pourian HR, Gazavi M (2010) Compatibility of *Metarhizium anisopliae* (Ascomycota: Hypocreales) with several insecticides. **Journal of Plant Protection Research** 50:22–27.

Rosa JO, Soares JRS, Fernandes OA (2024) Harvest load transfer sites influence sugarcane billbug (Coleoptera: Curculionidae) spatiotemporal injury in sugarcane. **Pest Management Science** 80(4):1771–1778. 10.1002/ps.7912

Rossetto R, Ramos, NP, Pires RCM, Xavier MA, Cantarella H, Landell MGA (2022) Sustainability in sugarcane supply chain in Brazil: Issues and Way Forward. **Sugar Tech** 24(3):941–966. 10.1007/s12355-022-01170-y

Rossi-Zalaf LS, Alves SB, Lopes RB, Neto SS, Tanzini MR (2008). Interação de microrganismos com outros agentes de controle de pragas e doenças, p.279- 302. In

Alves SB, Lopes RB (ed.) Controle microbiano de pragas na América Latina: avanços e desafios. Piracicaba, FEALQ, 414p.

Roy HE, Steinkraus DC, Eilenberg J, Hajek AE, Pell JK (2006) Bizarre interactions and endgames: Entomopathogenic Fungi and Their Arthropod Hosts. **Annual Review Entomology**. 51:331-357. 10.1146/annurev.ento.51.110104.150941

Sain SK, Monga D, Kumar R, Nagrale DT, Hiremani NS, Kranthi S (2019) Compatibility of entomopathogenic fungi with insecticides and their efficacy for IPM of *Bemisia tabaci* in cotton. **J Pestic Sci** 44 (2):97–105. <https://doi.org/10.1584/jpestics.D18-067>

Salem HHA, Mohammed SH, Eltaly RI, Moustafa MAM, Fónagy A, Farag SM (2023) Co-application of entomopathogenic fungi with chemical insecticides against *Culex Pipiens*. **J Invertebr Pathol** 198:107916. 10.1016/j.jip.2023.107916.

SAS Institute Inc. SAS on demand for academics. Cary (NC): SAS Institute; 2025. https://www.sas.com/pt_br/software/on-demand-for-academics.html

Scarpari MS, Beauclair EGF (2008) Anatomia e botânica. In: Dinardo- Miranda LL, Vasconcelos ACM, Landell MGA. **Cana-de- açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico. p. 47-56.

Shah PA, Pell JK (2003) Entomopathogenic fungi as biological control agents. **Applied Microbiology and Biotechnology** 61(5–6):413–423. 10.1007/s00253-003-1240-8

Shapiro-Ilan DI, Cottrell TE, Wood BW (2011) Effects of combining microbial and chemical insecticides on mortality of the pecan weevil (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Economic Entomology** 104:14 – 20. 10.1603/ec10303

Shrivastava AK, Pathak AD, Misra V, Srivastava S, Swapna M, Shukla SP (2017) Sugarcane crop: Its tolerance towards abiotic stresses. In: **Abiotic Stress Management for Resilient Agriculture**. Singapore: Springer Singapore. p. 375–397. 10.1007/978-981-10-5744-1_17

Siegwart M, Graillot B, Lopez CB, Besse S, Bardin M, Nicot PC, Lopez-Ferber M (2015) Resistance to bio-insecticides or how to enhance their sustainability: a review. **Frontiers in Plant Science** 6: 381. 10.3389/fpls.2015.00381

Silva DLG, Batisti DLS, Ferreira MJG, Merlini FB, Camargo RB, Bolanho BC (2021) Sugarcane: Economic, social, environmental, by-products and sustainability. **Research, Society and Development** 10(7):e44410714163. 10.33448/rsd-v10i7.14163

Silva MSO, Cardoso JFM, Ferreira MEP, Baldo FB, Silva RSA, Chacon-Orozco JG, Shapiro-Ilan DI, Hazir S, Bueno CJ, Leite LG (2021) An assessment of *Steinernema rarum* as a biocontrol agent in sugarcane with focus on *Sphenophorus levis*, host-finding ability, compatibility with vinasse and field efficacy. **Agriculture** 11(6):500.

Simi LD (2014) **Controle de *Sphenophorus levis* e *Conotrachelus humeropictus* pelo uso combinado de nematoides e fungos entomopatogênicos**. 107 f. Tese (Doutorado) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

Singh NS, Sharma R, Singh SK, Singh DK (2021) A comprehensive review of environmental fate and degradation of fipronil and its toxic metabolites. **Environmental Research** 199:111316. 10.1016/j.envres.2021.111316

Slattery M, Harper B, Harper S (2019) Pesticide encapsulation at the nanoscale drives changes to the hydrophobic partitioning and toxicity of an active ingredient. **Nanomaterials** 9(1):81. 10.3390/nano9010081

Smaniotto, Giovani. **Compatibilidade com inseticidas químicos e encapsulamento de *Beauveria bassiana* para controle de *Sphenophorus levis***. 2019. 79 f. Tese (Doutorado) - Curso de Entomologia Agrícola, Entomologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Faculdades de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2019.

Sousa, GB, Filho MVM, Matias SSR (2012) Perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica em uma vertente coberta com diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar em Guariba - SP. **Engenharia Agrícola** 32(3):490–500. 10.1590/S0100-69162012000300008

Sparks TC, Nauen R (2015) IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. **Pestic Biochem Physiol** 121:122–128. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>

Subbanna ARNS, Stanley J, Venkateswarlu V, Chinna Babu Naik V, Khan MS (2019) **Toxicological prospects on joint action of microbial insecticides and chemical pesticides**. In: Khan, M., Ahmad, W. (eds) *Microbes for Sustainable Insect Pest Management. Sustainability in Plant and Crop Protection*. Springer, Cham. p. 317–340. 10.1007/978-3-030-23045-6_12

Syngenta Proteção de Cultivos Ltda (2024) **Engeo Pleno S: inseticida**. São Paulo: Syngenta Proteção de Cultivos Ltda., 2024. Bula de produto.

Tavares FM (2006) **Avaliação de nematóides entomopatogênicos contra o bicudo da cana-de açúcar *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978, e efeito da associação desses agentes com inseticidas químicos**. Dissertação de Mestrado, Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, Brasil; pág. 61.

Tavares FM, Batista Filho A, Leite LG, Almeida LC, Goulart TM (2009) Efeitos sinérgicos de combinações entre nematóides entomopatogênicos (Nemata: Rhabditida) e inseticidas químicos na mortalidade de *Sphenophorus levis* (Vaurie) (Coleoptera: Curculionidae). **BioAssay**, 4:1-10. 10.14295/BA.v4.0.31

Terán F, Precetti AACM (1982) *Sphenophorus levis* e *Metamasius hemipterus* como pragas da cana-de açúcar. **Boletim Técnico Copersucar** (18):24-26.

Triques MC, Ribeiro F, de Oliveira D, Goulart BV, Montagner CC, Espíndola ELG, de Menezes-Oliveira VB (2022) The ecotoxicity of sugarcane pesticides to non-target soil organisms as a function of soil properties and moisture conditions. **Int J Environ Res** 16(4):61. 10.1007/s41742-022-00433-6

Tsuji, K (2001) Microencapsulation of pesticides and their improved handling safety. **Journal of Microencapsulation** 18(2):137–147. 10.1080/026520401750063856

Vanin SA (1990). A new species of *Sphenophorus* Schoenherr from Brazil (Coleoptera, Curculionidae, Rhynchophorinae). **Revista Brasileira de Entomologia** 34: 697-701.

Vermelho AB, Moreira JV, Akamine IT, Cardoso VS, Mansoldo FRP (2024) Agricultural pest management: the role of microorganisms in biopesticides and soil bioremediation. **Plants** 13:2762. 10.3390/plants13192762

Vinha FB, Delfanti LA de A, Pagliarani VD, Ferreira VS, Pinto, A de S (2020) Entomopathogenic fungi on the control of *Sphenophorus levis* in sugarcane crop. **Scientia Agraria Paranaensis** 19(3):280–288. 10.18188/sap.v19i3.24426

Wakil W, Kavallieratos NG, Nika EP, Qayyum MA, Yaseen T, Ghazanfar MU, Yasin M (2022) Combinations of *Beauveria bassiana* and spinetoram for the management of four important stored-product pests: laboratory and field trials. **Environmental Science and Pollution Research** 30(10):27698–27715. 10.1007/s11356-022-23753-8

Wang T, Fang J, Zhang J (2022) Advances in sugarcane genomics and genetics. **Sugar Tech** 24(1):354–368. 10.1007/s12355-021-01065-4

Wang H, Peng H, Li W, Cheng P, Gong M (2021) The toxins of *Beauveria bassiana* and the strategies to improve their virulence to insects. **Front Microbiol** 12: 12:705343. 10.3389/fmicb.2021.705343.

White TJ, Bruns T, Lee S, Taylor J (1990) Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In **PCR Protocols**; Elsevier; cap.38, p. 315–322. 10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1

Xavier MA, Landell MGA., Pires R.C.M., Rossetto R., Dinardo-Miranda L.L., Perecin D., do Prado H., Garcia J.C., Vitti A.C., Fracasso J., et al (2020) **Gemas brotadas de cana-de-açúcar: Produção sustentável e utilização experimental na formação de áreas de multiplicação**. Doc. IAC;115:1–52.

Zar JH (2010) **Biostatistical Analysis**. 5th ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 944.

Zhang Z, Wu Q, Wang D, Zhang y, Chen F, Que Y (2025) Sugarcane genomics: Origin, evolution, and domestication. **The Innovation Life** 3(4):100175. 10.59717/j.xinn-life.2025.100175

Zhang C, Jia L, Wang S, Qu J, Li K, Xu L, Shi Y, Yan Y (2010) Biodegradation of beta-cypermethrin by two *Serratia* spp. with different cell surface hydrophobicity. **Bioresource Technology** 101(10):3423–3429. 10.1016/j.biortech.2009.12.083

Zhang S, Xia YX, Kim B, Keyhani NO (2011) Two hydrophobins are involved in fungal spore coat rodlet layer assembly and each play distinct roles in surface interactions, development and pathogenesis in the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*. **Molecular Microbiology** 80(3):811–826. 10.1111/j.1365-2958.2011.07613.

Zheng J, Huang X, Wei Y, Li W, Chen B, Li W (2025). Identification of functional pathways and hub genes associated with the heterochronic development of sugarcane axillary buds and sett roots through multi-omics analysis. **Frontiers in Plant Science** 16:1551783. 10.3389/fpls.2025.1551783

Zhou W, Arcot Y, Medina RF, Bernal J, Cisneros-Zevallos L, Akbulut MES (2024) Integrated Pest Management: An update on the sustainability approach to crop protection. **ACS Omega** 9(40):41130–41147. 10.1021/acsomega.4c06628