

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA AGRONÔMICA

HENRIQUE COSTA SIBILLE

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A EVOLUÇÃO DO USO DE
MACROBIOLÓGICOS NA CANAVICULTURA**

ARARAS

2025

HENRIQUE COSTA SIBILLE

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A EVOLUÇÃO DO USO DE
MACROBIOLÓGICOS NA CANAVICULTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) do Centro de Ciências Agrárias (CCA), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Toshio Fujihara

ARARAS

2025

Resumo

A canavicultura é uma das culturas agrícolas mais relevantes na história da formação do Brasil, desde o período de colonização até os dias atuais, mantendo expressiva importância econômica e social. Atualmente, o setor se destaca como uma das bases do agronegócio brasileiro. Em 2023, a cana-de-açúcar gerou aproximadamente R\$ 111,2 bilhões, a partir de uma área cultivada de cerca de 9,6 milhões de hectares. Entretanto, o uso de monocultivos intensivos pode provocar desequilíbrios ecológicos, favorecendo a formação de superpopulações de insetos-praga. Esses organismos, por sua vez, possuem inimigos naturais capazes de regular suas populações de forma natural. Esta revisão teve como objetivo revisar a trajetória e o desenvolvimento do controle biológico na cultura da cana-de-açúcar, com ênfase na utilização de agentes macrobiológicos e na consolidação de espécies como *Cotesia flavipes* e *Trichogramma galloi* no manejo da broca-da-cana, *Diatraea saccharalis*. Buscou-se compreender a evolução das práticas de controle biológico no país, identificando marcos históricos, avanços, desafios e perspectivas futuras, reforçando sua importância como ferramenta de sustentabilidade e competitividade na agricultura tropical brasileira.

Palavras-chave: cana-de-açúcar; controle biológico; parasitoides; *Diatraea saccharalis*; *Cotesia flavipes*.

Abstract

Sugarcane cultivation is one of the most important agricultural activities in the history of Brazil, from the colonial period to the present day, maintaining significant economic and social relevance. Currently, the sector stands out as one of the pillars of Brazilian agribusiness. In 2023, sugarcane generated approximately R\$ 111.2 billion from a cultivated area of about 9.6 million hectares. However, the use of intensive monoculture systems can lead to ecological imbalances, favoring the development of pest insect outbreaks. These organisms, in turn, have natural enemies capable of regulating their populations naturally. This review aimed to revisit the trajectory and development of biological control in sugarcane crops, with emphasis on the use of macrobiological agents and on the consolidation of species such as *Cotesia flavipes* and *Trichogramma galloi* in the management of the sugarcane borer, *Diatraea saccharalis*. The study sought to understand the evolution of biological control practices in Brazil by identifying historical milestones, advances, challenges, and future perspectives, reinforcing its importance as a tool for sustainability and competitiveness in Brazilian tropical agriculture.

Keywords: sugarcane; biological control; parasitoids; *Cotesia flavipes*; *Diatraea saccharalis*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. METODOLOGIA.....	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. CONTROLE BIOLÓGICO	4
3.2 CANAVICULTURA	7
3.2.1 ASPECTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	7
3.2.2 PRAGAS DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	11
3.2.2.1 Pragas primárias	14
3.2.2.2 Pragas secundárias	18
4. AGENTES DE CONTROLE MACROBIOLÓGICOS NA CANA-DE-AÇÚCAR	21
4.1. <i>Cotesia flavipes</i>	22
4.2. <i>Trichogramma galloi</i>	26
4.3. OUTRAS ESPÉCIES	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6. CONCLUSÃO.....	33
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

A canavicultura desempenha papel central na formação econômica e social do Brasil desde o período colonial, quando o país se consolidou como importante exportador de açúcar para o mercado europeu. Na atualidade, o setor sucroenergético permanece como um dos pilares do agronegócio nacional, destacando-se pela expressiva geração de empregos, renda e pela produção de derivados estratégicos, como açúcar, etanol e bioenergia. A produção canvieira apresenta elevada heterogeneidade, característica comum às culturas agrícolas brasileiras, uma vez que fatores edafoclimáticos, topográficos e socioeconômicos, incluindo condições antrópicas como disponibilidade de mão de obra qualificada e nível tecnológico, variam amplamente entre as regiões produtoras (Neves, 2010). A compreensão integrada desses fatores, sob as perspectivas socioeconômica e ambiental, é fundamental para o planejamento de sistemas produtivos mais eficientes, resilientes e sustentáveis.

Para que o produtor alcance sucesso a médio e longo prazos, torna-se indispensável a adoção de práticas adequadas de manejo, com ênfase no manejo conservacionista do solo e no Manejo Integrado de Pragas (MIP), no qual o controle biológico (CB) assume papel de destaque. Entre as alternativas sustentáveis disponíveis, o CB tem se consolidado como uma ferramenta eficiente, segura e tecnicamente robusta. Na cultura da cana-de-açúcar, um dos exemplos mais emblemáticos é a introdução e utilização do parasitoide *Cotesia flavipes* (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae) no controle da broca-da-cana, *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae), representando um marco histórico do MIP no Brasil e figurando entre os programas de CB mais bem-sucedidos em escala mundial (Molter, 2023).

Cultivada há séculos em solos brasileiros, a cana-de-açúcar está sujeita a uma ampla gama de fatores bióticos e abióticos que influenciam diretamente sua produtividade. O cultivo intensivo e contínuo de uma única espécie em extensas áreas favorece a simplificação dos agroecossistemas e a redução da biodiversidade local, comprometendo os mecanismos naturais de regulação populacional. Essa simplificação ambiental está associada ao aumento da incidência de pragas e doenças, uma vez que a diminuição da diversidade de inimigos naturais reduz o CB natural das populações de insetos fitófagos. Embora o modelo predominante de monocultivo apresente elevada eficiência

sob a ótica industrial, ele impõe desafios significativos ao manejo ecológico das lavouras, demandando estratégias que promovam o restabelecimento do equilíbrio ambiental sem comprometer a viabilidade econômica do sistema produtivo.

Nesse contexto, o CB emerge como alternativa viável e estratégica, alinhada aos princípios da agricultura sustentável e da conservação dos recursos naturais (Parra, 2021). Além de reduzir a dependência do uso de inseticidas químicos, essa prática contribui para a manutenção da biodiversidade funcional e para o equilíbrio dos agroecossistemas, resultando em benefícios econômicos, ambientais e sociais para o setor sucroenergético. Apesar dos avanços observados nas últimas décadas, ainda são relativamente escassos os estudos que sistematizam, de forma integrada, a evolução histórica, científica e tecnológica do uso de agentes microbiológicos na canavicultura brasileira.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo revisar a trajetória e o desenvolvimento do CB na cultura da cana-de-açúcar, com ênfase na utilização de agentes microbiológicos e na consolidação de espécies como *C. flavipes* e *Trichogramma galloi* Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae) no manejo da broca-da-cana. Buscou-se analisar a evolução das práticas de CB no Brasil, identificando seus principais marcos históricos, avanços, limitações e perspectivas futuras, reforçando sua relevância como ferramenta estratégica para a sustentabilidade e a competitividade da agricultura tropical brasileira.

2. METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de caráter exploratório e qualitativo, desenvolvida com o objetivo de compreender a evolução científica, histórica e tecnológica do uso de agentes microbiológicos na canavicultura brasileira, desde as primeiras iniciativas de CB até as estratégias contemporâneas utilizadas como alicerces no MIP. A pesquisa buscou não apenas reunir publicações recentes, mas também resgatar os marcos conceituais e os fundamentos teóricos que estruturaram o CB moderno, consolidado a partir das contribuições de pesquisadores da escola holandesa e de autores que estabeleceram as bases ecológicas e operacionais da entomologia aplicada.

O levantamento bibliográfico foi realizado entre os meses de agosto e novembro de 2025, utilizando bases científicas reconhecidas internacionalmente, como Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, SciELO e o Portal de Periódicos CAPES, além de fontes técnicas complementares de instituições como a Embrapa, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). Foram também incluídos relatórios e documentos de organismos internacionais, como o USDA-FAS, que auxiliou na contextualização global da canavicultura e sua importância nacional e internacional.

As palavras-chave utilizadas na pesquisa foram “controle biológico”, “macrobiológicos”, “cana-de-açúcar”, “canavicultura”, “setor sucroenergético”, “agricultura sustentável”, “*Cotesia flavipes*”, “*Trichogramma gallo*”, “*Diatraea saccharalis*”, “parasitoides”, “predadores” e “Manejo Integrado de Pragas”, além de suas correspondentes em inglês. As combinações entre os termos foram feitas com os operadores booleanos AND e OR, permitindo um refinamento das buscas e a recuperação de publicações relevantes nas principais bases consultadas.

O recorte temporal compreendeu o período de 2000 a 2025, representando a fase de consolidação e expansão do CB na canavicultura, marcada pelo fortalecimento das biofábricas, pelo aprimoramento da criação massal e pela mecanização das liberações. Também foram consideradas obras clássicas de referência, indispensáveis para contextualizar a trajetória do CB e sua incorporação ao MIP.

No panorama internacional, destacam-se as contribuições de DeBach (1974), Van den Bosch (1982) e, sobretudo, de Johannes van Lenteren, pesquisador holandês considerado um dos principais responsáveis pela sistematização moderna do CB, suas obras (2000; 2005; 2011; 2018) redefiniram a terminologia, do CB e os parâmetros de eficiência e a relação entre CB e sustentabilidade agrícola, tornando-se referência global para o estudo e aplicação de inimigos naturais. O pesquisador Kogan (1998), teve grande importância para definição do MIP. Os trabalhos de Van Lenteren e colaboradores consolidaram a escola holandesa como um marco científico no campo da ecologia aplicada, enfatizando a necessidade de integração entre pesquisa, criação massal e uso comercial de agentes biológicos.

No contexto brasileiro, destacam-se os autores que constituem a base da entomologia agrícola e do CB aplicado, como Parra (2001; 2002; 2014; 2015; 2018; 2019; 2021 e 2022), Guagliumi (1972) e Gallo (2002), responsáveis por documentar as primeiras experiências com inimigos naturais e o sucesso da introdução de *C. flavipes* no controle da broca-da-cana (*D. saccharalis*). As contribuições de Leila Dinardo-Miranda (1999; 2001; 2008a; 2008b; 2012 e 2018) e Stupiello (1998 e 2005) foram igualmente essenciais para o entendimento das pragas da cana, abordando a biologia, o comportamento e a interação desses insetos com o ambiente de cultivo. Já os trabalhos de Marcos Fava Neves (2010, 2014, 2017, 2019a, 2019b, 2021,) foram fundamentais para contextualizar a canavicultura sob os aspectos econômico, produtivo e social, permitindo compreender como a modernização do setor e o avanço das tecnologias agrícolas consolidaram o CB como uma ferramenta estratégica para a sustentabilidade e a competitividade do sistema sucroenergético brasileiro.

A análise dos dados foi conduzida de forma descritiva e interpretativa, com enfoque na identificação de tendências, lacunas e marcos históricos que expliquem a trajetória do CB como ferramenta de sustentabilidade e competitividade no setor sucroenergético brasileiro.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. CONTROLE BIOLÓGICO

O CB tem apresentado crescimento expressivo em escala global, com taxas anuais estimadas entre 10 e 15% no manejo de pragas agrícolas (Van Lenteren et al., 2018). A concepção contemporânea desse método reconhece o CB não como uma prática isolada, mas como componente fundamental do MIP, definido por Kogan (1998) como um conjunto de estratégias destinadas a manter as populações de pragas abaixo do nível de dano econômico, considerando critérios econômicos, ecológicos e sociais. Nesse contexto, o CB constitui uma das principais ferramentas do MIP, caracterizando-se pela integração de diferentes áreas do conhecimento e pela necessidade de abordagens interdisciplinares. Essa diversidade de enfoques, contudo, tem gerado divergências terminológicas, uma vez que distintas áreas utilizam vocabulários específicos. Por essa razão, alguns autores propõem a padronização da

nomenclatura, restringindo o uso do termo “controle biológico” à aplicação de organismos vivos no manejo de pragas (Eilenberg et al., 2001).

No Brasil, o avanço do CB ocorreu em ritmo superior à média global, embora o manejo de pragas agrícolas ainda seja predominantemente baseado no uso de agrotóxicos (Parra, 2014). Tradicionalmente associado a ambientes protegidos, como casas de vegetação, o CB passou a ser amplamente empregado em áreas abertas de grande extensão, nas quais um único produtor pode cultivar dezenas de milhares de hectares de uma mesma cultura. O contexto agrícola brasileiro distingue-se pela adoção de sistemas de sucessão e rotação de culturas, plantio direto, irrigação e uso intensivo de plantas geneticamente modificadas em mais de cinquenta milhões de hectares, o que possibilita a obtenção de duas a três safras anuais. Essas características são típicas da agricultura tropical e contrastam com os sistemas de agricultura temperada, nos quais, em geral, não é possível a realização de múltiplas safras por ano (Waha et al., 2020). Tais fatores conferem à agricultura brasileira características singulares em relação a outras regiões do mundo.

O CB pode ser definido como um fenômeno natural de regulação populacional de plantas e animais por meio da ação de inimigos naturais, responsáveis por parcela significativa da mortalidade biótica observada nos ecossistemas. Todas as espécies vegetais e animais estão sujeitas à ação de inimigos naturais em diferentes estágios de desenvolvimento. Entre os agentes de mortalidade biótica incluem-se insetos, ácaros, fungos, vírus, bactérias, nematoides, protozoários, riquetsias, micoplasmas, aranhas, anfíbios, peixes, répteis, aves e mamíferos. Muitos desses organismos, entretanto, não são empregados diretamente pelo ser humano no manejo de pragas por apresentarem baixa especificidade, embora desempenhem papel relevante na regulação populacional, como observado em lagartixas, anfíbios, tamanduás, tatus, morcegos, saguis e diversas espécies de aves. Inicialmente, o CB foi utilizado principalmente no controle de insetos, ácaros e plantas daninhas; posteriormente, sua aplicação foi ampliada para outros invertebrados, patógenos de plantas e, em casos específicos, vertebrados (Parra et al., 2002).

No âmbito da entomologia aplicada, convencionou-se o uso do termo macroorganismos para designar agentes visíveis a olho nu, como insetos e ácaros, enquanto microrganismos refere-se aos patógenos entomófagos, como

fungos, vírus, bactérias, nematoides, protozoários, riquetsias e micoplasmas. Conforme destacado por Van den Bosch et al. (1982), o CB é um fenômeno dinâmico, influenciado por fatores climáticos, disponibilidade de recursos alimentares, competição e processos dependentes e independentes da densidade populacional. A intensificação dos sistemas agrícolas e o uso sistemático de agrotóxicos, embora tenham elevado a produtividade, contribuíram para desequilíbrios ecológicos que podem ser mitigados pela adoção de práticas de CB. Outras definições reforçam esse entendimento, como a de Van Lenteren et al. (2011), que definem o CB como o uso de um organismo para reduzir a população de outro, e a de Eilenberg et al. (2001), que o caracterizam como o uso de organismos vivos para suprimir populações de pragas, tornando-as menos abundantes e menos danosas.

Registros históricos indicam que práticas de CB são utilizadas desde a Antiguidade. Há evidências de que, por volta do século III a.C., povos chineses empregavam formigas do gênero *Oecophylla* no controle de insetos desfolhadores e coleobrocas em citros (Van den Bosch et al., 1982). Nesse mesmo período, há relatos do uso de moscas parasitoides do gênero *Exorista* no controle de *Bombyx mori* (Cai et al., 2005). Na Europa, observações sobre o parasitismo de insetos datam do século XVII, com destaque para Leeuwenhoek (1701) (DeBach, 1974). Revisões abrangentes sobre a história do CB foram publicadas por Van Lenteren (2005a), enquanto, no Brasil, contribuições relevantes foram apresentadas por Parra (2014, 2021).

Um marco do CB moderno foi a introdução da joaninha *Rodolia cardinalis* (atualmente *Novius cardinalis*), originária da Austrália, para o controle da cochonilha *Icerya purchasi* em pomares de citros da Califórnia, em 1888. O sucesso foi tão expressivo que, em aproximadamente um ano, a praga encontrava-se sob controle (Parra et al., 2002). Entre 1890 e 1975, foram registrados 176 casos de sucesso total ou parcial em programas de CB em diferentes países (Parra et al., 2002; Van den Bosch et al., 1982). Até 1975, estima-se que mais de 1.200 introduções de inimigos naturais tenham sido realizadas visando o controle de 543 espécies de pragas (Greathead & Greathead, 1992).

No Brasil, a primeira introdução registrada ocorreu em 1921, com a importação do parasitoide *Encarsia berlese* para o controle da cochonilha-

branca-do-pessegueiro, *Pseudaulacaspis pentagona*, embora o programa não tenha obtido êxito (Parra, 2014). Entre as décadas de 1940 e 1960, a descoberta e disseminação dos inseticidas sintéticos, como o DDT, levaram à crença de que os problemas fitossanitários seriam resolvidos exclusivamente por meio do controle químico. Esse período, marcado pelo uso indiscriminado de agrotóxicos, foi denominado por Kogan (1998) como o “período negro” do controle de pragas. A publicação de *Primavera Silenciosa* por Rachel Carson (1962) representou uma inflexão histórica, ao evidenciar os impactos ambientais e sanitários do uso intensivo de pesticidas, incluindo resistência de pragas, ressurgência de espécies secundárias, efeitos adversos sobre organismos não alvo e contaminação ambiental.

Dentro do conceito de MIP, o CB pode ser estruturado em três abordagens principais: introdução, conservação e CB aumentativo. A introdução, ou CB clássico, refere-se à importação e ao estabelecimento de inimigos naturais, sendo historicamente voltada ao controle de pragas exóticas. A conservação busca preservar e aumentar as populações de inimigos naturais já presentes nos agroecossistemas, por meio de práticas como o uso seletivo de inseticidas, manejo da paisagem e oferta de recursos alimentares. O CB aumentativo baseia-se na criação massal de inimigos naturais e em sua liberação em larga escala, geralmente de forma inundativa, com o objetivo de reduzir rapidamente as populações de pragas. Essa abordagem ganhou destaque a partir da década de 1970, com o desenvolvimento de dietas artificiais (Parra, 2001), e passou a ser amplamente adotada por apresentar resposta rápida e previsível (Diniz et al., 2020; Garcia et al., 2019). No Brasil, o marco do CB aumentativo foi a utilização de *C. flavipes* no controle da broca-da-cana, *D. saccharalis*, prática consolidada em milhões de hectares cultivados (Parra et al., 2011).

3.2 CANAVICULTURA

3.2.1 ASPECTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA CANA-DE-AÇÚCAR

A canavicultura brasileira constitui uma das bases mais complexas e estratégicas do agronegócio nacional, articulando de forma integrada dimensões históricas, econômicas, tecnológicas e socioambientais (Coelho et al., 2024). Desde a introdução da cana-de-açúcar no território brasileiro por Martim Afonso de Souza, em 1532, o cultivo consolidou-se como um dos pilares da economia

colonial, especialmente nas capitanias do Nordeste, onde os solos de massapê e as condições climáticas tropicais favoreceram o desenvolvimento dos engenhos (Medeiros, 2024). Ao longo dos séculos, a cultura expandiu-se em direção ao Centro-Sul, região que passou a concentrar a produção e a industrialização a partir do século XX, impulsionada pela mecanização agrícola, pelo avanço da pesquisa varietal e pelo aprimoramento tecnológico.

Atualmente, o Brasil ocupa a posição de maior produtor mundial de cana-de-açúcar, respondendo por aproximadamente 38,6% da produção global em 2019 (Zheng et al., 2022). O país apresenta produtividade média nacional em torno de 75,5 t ha⁻¹, com área colhida de 10.051.270 hectares (IBGE, 2024). Índices superiores a 76 t ha⁻¹ são observados na região Sudeste, que também se destaca como referência global em tecnologia para produção de etanol, açúcar e bioeletricidade. O Estado de São Paulo exerce papel central nesse contexto, sendo responsável por cerca de 59,2% da produção de cana-de-açúcar da região Centro-Sul e por 54,3% da produção nacional na safra 2023/2024 (USDA, 2024). Considerando o setor sucroenergético como um todo, no qual a canavicultura está inserida, a cadeia da cana-de-açúcar gerou aproximadamente R\$ 111,2 bilhões em 2023, a partir de uma área cultivada de cerca de 9,6 milhões de hectares (Embrapa, 2024a).

A cadeia produtiva da cana-de-açúcar envolve a integração de etapas agrícolas, industriais e logísticas, configurando um sistema agroindustrial complexo que depende da coordenação entre seus diferentes elos. Trata-se de um sistema dinâmico e sensível a mudanças institucionais, regulatórias e tecnológicas, podendo sofrer alterações significativas diante de novas legislações ou avanços científicos. Um marco relevante ocorreu no início dos anos 2000, com a promulgação da Lei nº 11.241/2002, no Estado de São Paulo, que estabeleceu a eliminação gradual da queima da palha da cana-de-açúcar antes da colheita, redefinindo profundamente a dinâmica produtiva do setor (Sabadin, 2023). Conforme discutido por Neves e Conejero (2010), o funcionamento do setor é caracterizado por elevada interdependência entre o fornecimento de insumos, o cultivo, a colheita mecanizada, o transporte e o processamento industrial, sendo a rentabilidade resultante do equilíbrio entre a eficiência agrícola e industrial.

A criação do Programa Nacional do Alcool (Proálcool), em 1975, e o subsequente processo de desregulamentação nos anos 1990 transformaram a estrutura de governança do setor sucroenergético, deslocando a coordenação estatal para mecanismos privados e introduzindo modelos contratuais mais padronizados. Nesse contexto, destaca-se o sistema CONSECANA-SP, que estabelece a remuneração dos fornecedores com base no Açúcar Total Recuperável (ATR), vinculando o pagamento à qualidade e ao rendimento da matéria-prima (Neves & Castro, 2014). Embora essa estrutura tenha contribuído para a redução de incertezas e custos de transação, persistem desafios relacionados à assimetria de informações e à limitada uniformidade contratual entre produtores e usinas (Neves, 2019b).

As relações entre produtores e unidades industriais ainda apresentam fragilidades que restringem a competitividade do setor. O endividamento de grupos industriais, a ausência de incentivos consistentes vinculados à qualidade da matéria-prima e os desequilíbrios contratuais criam um ambiente de dependência, dificultando a adoção de práticas mais eficientes (Faria-dos-Santos et al., 2022). Em resposta a esse cenário, emergiram propostas voltadas à gestão integrada e à valorização do produtor, com ênfase no aumento da produtividade, na descentralização administrativa e na incorporação de tecnologias digitais (APLA, 2022; Embrapa, 2024b). Iniciativas como o Cana Eficiente, o Olho do Dono e o Cana Digital exemplificam esse movimento ao buscar, respectivamente, a elevação do rendimento agrícola por área, o fortalecimento da autonomia decisória dos produtores e a integração de dados da lavoura e da indústria por meio de plataformas digitais, promovendo maior transparência e controle do processo produtivo (Neves, 2019b).

Nesse contexto, as associações de produtores desempenham papel estratégico no fortalecimento da governança setorial. Destaca-se a Organização de Associações de Produtores de Cana do Brasil (ORPLANA), que coordena 31 associações na região Centro-Sul, representando aproximadamente 18 mil fornecedores. Essas entidades oferecem suporte técnico, jurídico e administrativo, realizam análises laboratoriais e acompanham a apuração do ATR nas usinas, contribuindo para maior transparência e credibilidade nas relações comerciais. As chamadas associações técnicas diferenciam-se pelo modelo de gestão profissionalizada e pela oferta de serviços especializados,

favorecendo a redução de custos e o fortalecimento da representatividade dos produtores (Castro et al., 2015).

A dimensão tecnológica assumiu posição central na agenda da canavicultura brasileira. Nas últimas décadas, a adoção de práticas de agricultura de precisão, aliada ao uso de drones, sensores, sistemas de telemetria e inteligência artificial, transformou a gestão agrícola, especialmente no monitoramento da produtividade e na otimização do uso de insumos (Neves, 2019a). O avanço da mecanização da colheita contribuiu para a redução de impactos ambientais e de custos operacionais, enquanto o desenvolvimento de variedades adaptadas às distintas regiões do país ampliou a longevidade dos canaviais e o potencial de acúmulo de sacarose (Neves, 2021). O conceito de Cana Digital emergiu da necessidade de integrar dados em tempo real entre campo e indústria, permitindo o monitoramento de indicadores como pureza, brix, fibra e rendimento industrial, e aprimorando a tomada de decisão (Neves, 2019b). Paralelamente, o setor consolidou sua relevância na bioeconomia, com a expansão da bioeletricidade, do etanol de segunda geração e da produção de bioplásticos, reforçando o papel da cana-de-açúcar na agenda de descarbonização.

Nos últimos anos, sustentabilidade e inovação passaram a orientar o novo ciclo de desenvolvimento da canavicultura brasileira (Neves et al., 2017; Neves, 2019a). O setor busca conciliar estabilidade regulatória, eficiência logística e contratos mais equitativos com práticas que integrem responsabilidade ambiental e valorização social. A cana-de-açúcar consolidou-se como uma das principais fontes de energia renovável do país, contribuindo para a mitigação das emissões de carbono e para o fortalecimento do papel do Brasil na transição energética global. Essa fase é marcada pela valorização do produtor, pela profissionalização da gestão das propriedades e pela incorporação de tecnologias digitais que ampliam a produtividade e a transparência das relações de mercado (Munhos, 2021).

A governança coletiva, o reconhecimento por desempenho e a qualificação técnica da mão de obra tornaram-se elementos centrais de uma canavicultura mais moderna, eficiente e sustentável. Contudo, a heterogeneidade regional ainda impõe desafios específicos. Enquanto o Sudeste concentra elevados níveis de produtividade e eficiência, regiões como o

Nordeste e o Sul enfrentam limitações climáticas, como déficit hídrico e ocorrência de geadas, mas também apresentam oportunidades associadas à diversificação produtiva e à agricultura familiar (Medeiros, 2024). Nessas regiões, a canavieira mantém expressiva relevância social e cultural, sustentando pequenos produtores e agroindústrias artesanais voltadas à produção de rapadura, melado e cachaça, evidenciando a amplitude socioeconômica do setor.

3.2.2 PRAGAS DA CANA-DE-AÇÚCAR

Por definição, considera-se praga o inseto que, ao atingir determinada densidade populacional, causa dano econômico à cultura. Na cana-de-açúcar, diversas espécies de insetos provocam prejuízos significativos ao produtor, sendo, portanto, classificadas como pragas da cultura (Dinardo-Miranda, 2018). A importância relativa de cada espécie varia em função de múltiplos fatores, destacando-se a região de cultivo — incluindo características edáficas e climáticas —, o ano agrícola e as práticas de manejo adotadas na lavoura.

Na região Centro-Sul do Brasil, de modo geral, as pragas de maior relevância econômica são a broca-da-cana, *Diatraea saccharalis* (Fabr.) (Lepidoptera: Crambidae), a cigarrinha-das-raízes, *Mahanarva* spp. (Hemiptera: Cercopidae), e os besouros *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera: Curculionidae) e *Migdolus fryanus* Westwood (Coleoptera: Cerambycidae) (Dinardo-Miranda, 2008a). Essas espécies são denominadas pragas primárias em razão de sua ocorrência frequente e recorrente nos canaviais. A classificação de pragas como primárias ou secundárias, entretanto, é dinâmica e pode se alterar em função de mudanças climáticas, inovações tecnológicas, estratégias de manejo e alterações na legislação fitossanitária.

Os cupins, por exemplo, eram considerados pragas primárias na região Centro-Sul durante a década de 1990. Contudo, em função do uso intensivo de inseticidas altamente eficientes para seu controle, esses insetos deixaram de representar um problema econômico relevante na canavieira. Atualmente, são reconhecidos sete gêneros e nove espécies de cupins associados à cultura, entre os quais se destacam *Cornitermes cumulans* (Kollar), *Neocapritermes opacus* Hagen e *Procornitermes triacifer* (Silvestri).

Outros insetos podem assumir importância econômica de forma pontual, causando danos significativos em determinadas áreas, anos agrícolas ou condições específicas, sendo classificados como pragas secundárias. Entre esses grupos destacam-se os besouros da família Scarabaeidae, que incluem espécies dos gêneros *Ligyris*, *Stenocrates*, *Cyclocephala* e *Euethola humilis* (Burmeister), cujas larvas são conhecidas popularmente como “pão-de-galinha”. Também é considerada praga secundária o besouro *Metamasius hemipterus* (Linnaeus) (Coleoptera: Curculionidae), cujos danos são mais frequentes em áreas previamente infestadas por outras pragas, como a broca-da-cana e *S. levis*.

Nos últimos anos, têm sido registrados com maior frequência ataques de lagartas do gênero *Hyponeuma* (Lepidoptera: Noctuidae), conhecidas como lagartas-peludas ou brocas-peludas, que vêm causando danos expressivos em determinadas regiões, gerando preocupação entre produtores. Outro inseto potencialmente relevante para a região Centro-Sul é a broca-gigante, *Telchin licus* (Drury) (Lepidoptera: Castniidae), que até o início dos anos 2000 encontrava-se restrita às regiões Norte e Nordeste do Brasil. Em 2007, a espécie foi registrada no município de Limeira, SP (Almeida et al., 2007); desde então, porém, não foram observados surtos significativos em canaviais paulistas ou em outras áreas do Centro-Sul.

Na região Nordeste, além de *D. saccharalis*, destaca-se a ocorrência frequente de *Diatraea flavipennella* (Box) (Lepidoptera: Crambidae), espécie de difícil controle e responsável por danos expressivos aos canaviais. A cigarrinha-das-raízes, *Mahanarva* spp., e a cigarrinha-das-folhas, *Mahanarva posticata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae), também coexistem em muitos canaviais nordestinos, contribuindo para a complexidade do manejo fitossanitário na região (Dinardo-Miranda, 2018).

Para minimizar as perdas causadas por pragas agrícolas, é indispensável a adoção de métodos de controle que conciliem eficiência técnica, viabilidade econômica e segurança ambiental. Nesse contexto, destaca-se o MIP, cujas bases foram estabelecidas no final da década de 1950, a partir da proposição de Stern et al. (1959), que introduziram o conceito de “controle integrado de pragas” por meio da combinação de métodos químicos e biológicos. Com o avanço das

pesquisas e o amadurecimento das práticas agrícolas, o conceito evoluiu para o atual MIP, ampliando seu escopo e incorporando múltiplas táticas de manejo.

Estudos recentes reforçam a necessidade de atualização contínua das estratégias de MIP na canavicultura, destacando a integração crescente entre o CB e as tecnologias de agricultura de precisão (Silva et al., 2025). Embora o controle fitossanitário continue sendo essencial para a longevidade e a produtividade dos canaviais, a adoção de bioinsumos, especialmente aqueles associados ao CB, tem se mostrado uma alternativa capaz de agregar valor à produção em determinados contextos.

A elaboração de um programa de MIP deve contemplar a correta identificação das pragas de maior importância econômica, a avaliação do papel dos inimigos naturais, a influência das condições climáticas sobre a dinâmica populacional das espécies envolvidas, a definição dos níveis de dano econômico e de controle, bem como o desenvolvimento de métodos confiáveis de amostragem e monitoramento (Gallo et al., 2002). Adicionalmente, é fundamental avaliar os impactos das estratégias de controle sobre os demais organismos do agroecossistema, de modo a preservar o equilíbrio ecológico (Dinardo-Miranda, 2018; Guimarães, 2007).

Didaticamente, o MIP pode ser representado como uma estrutura sustentada por quatro pilares fundamentais: (i) taxonomia, que envolve o conhecimento das espécies-praga e de seus inimigos naturais, incluindo identificação correta, ciclo de vida, hábitos, nichos ecológicos e relações tróficas, constituindo a base para o planejamento de qualquer estratégia de controle; (ii) monitoramento e amostragem, que permitem o acompanhamento sistemático das populações e subsidiam a tomada de decisão baseada em dados; (iii) níveis de controle, que incluem o Nível de Dano Econômico (NDE), definido como o ponto em que o prejuízo causado pela praga se iguala ao custo do controle, e o Nível de Controle (NC), que indica o momento adequado para a intervenção, evitando que a população atinja o NDE; e (iv) condições ambientais do agroecossistema, que consideram a influência de fatores climáticos, edáficos e ecológicos sobre a dinâmica populacional das pragas e de seus inimigos naturais, determinando a eficiência das táticas de manejo e o equilíbrio biológico do sistema (Picanço, 2010; Dejean et al., 2025b).

Em razão da cana-de-açúcar ser uma cultura semiperene, algumas práticas de controle cultural podem ser adotadas apenas uma vez por ciclo, como a destruição mecânica das soqueiras, método de elevada importância no controle de *S. levis* e *M. fryanus*. Essa prática é altamente eficiente na redução das populações larvais concentradas nos primeiros 20 a 30 cm do solo; entretanto, apresenta menor eficácia para insetos que se desenvolvem em maiores profundidades (Dinardo-Miranda, 2008a). A utilização de mudas sadias constitui outro manejo cultural essencial, destacando-se a tecnologia das Mudas Pré-Brotadas (MPB), que permite a produção rápida de material propagativo com elevada qualidade fitossanitária, assegurando unidades vegetativas livres de pragas (Landell, 2012). Um exemplo emblemático da importância desse manejo refere-se a *S. levis*, cuja dispersão a longas distâncias é atribuída principalmente ao uso de mudas contaminadas, uma vez que a espécie apresenta capacidade de voo extremamente limitada, tornando improvável sua expansão natural (Dinardo-Miranda, 2018).

3.2.2.1 Pragas primárias

Como principal praga da canavicultura brasileira destacam-se as brocas-da-cana do gênero *Diatraea*, sendo *D. saccharalis* de maior importância na região Centro-Sul e *D. flavipennella* predominante na região Nordeste. Ambas são popularmente conhecidas como “broca-da-cana” ou “broca comum”. A elevada relevância dessas espécies para a canavicultura é evidenciada por sua ampla distribuição geográfica, com ocorrência em praticamente todo o continente americano, bem como por sua capacidade de atacar diversas culturas, incluindo sorgo, milho, arroz e algumas espécies de ciperáceas (Dinardo-Miranda, 2018).

O desenvolvimento e a dinâmica populacional das brocas são influenciados por diversos fatores, entre os quais se destacam a variedade de cana-de-açúcar, a idade da cultura (expressa em número de cortes), o ambiente de produção e as condições climáticas, especialmente precipitação e temperatura. Diversos estudos demonstram que a influência desses fatores é fortemente dependente de condições locais, não sendo possível extrapolar os resultados para escalas estaduais ou nacionais (Pannuti et al., 2013; Pannuti et al., 2015). Trabalhos clássicos, como o de Almeida e Arrigoni (1989), corroboram

a dificuldade de se estabelecer correlações consistentes entre a flutuação populacional da broca e parâmetros climáticos isolados. Apesar da variabilidade regional, na região Centro-Sul a broca-da-cana pode ser observada ao longo de todo o ano, apresentando picos populacionais, em geral, nos períodos de outubro–novembro e abril–maio, quando as temperaturas são mais elevadas e a umidade relativa do ar aumenta em função das chuvas mais frequentes (Dinardo-Miranda, 2008a).

Os danos causados por *D. saccharalis* decorrem principalmente da atividade alimentar das lagartas, que se desenvolvem no interior dos colmos, escavando galerias que comprometem a integridade estrutural da planta. Em canaviais jovens, o ataque pode resultar na morte da gema apical e no secamento das folhas mais novas, caracterizando o sintoma conhecido como “coração morto”. Em plantas mais desenvolvidas, a perfuração dos colmos provoca redução do diâmetro e do comprimento, fragilidade estrutural, queda da produtividade agrícola e aumento da suscetibilidade ao acamamento e à quebra pela ação do vento (Dinardo-Miranda, 2018).

Além dos danos diretos, a broca-da-cana ocasiona importantes danos indiretos, uma vez que as galerias abertas pelas lagartas atuam como portas de entrada para microrganismos oportunistas, como *Fusarium moniliforme* e *Colletotrichum falcatum*, agentes associados à podridão vermelha do colmo (Parra et al., 2002). O complexo broca–podridão vermelha desencadeia profundas alterações fisiológicas e tecnológicas na cana-de-açúcar. A deterioração fisiológica decorre da resposta oxidativa da planta à infecção microbiana, com formação de compostos fenólicos de coloração avermelhada que interagem com íons ferro, promovendo o escurecimento do caldo e a redução da qualidade industrial. A deterioração tecnológica está associada ao aumento do teor de fibra e à redução da pureza do caldo, dificultando a extração nas moendas, enquanto a deterioração microbiológica resulta do consumo de açúcares e da produção de ácidos orgânicos voláteis e gomas, prejudicando os processos de fabricação de açúcar e etanol (Stupiello, 1998; 2005).

Estudos clássicos conduzidos pela Copersucar demonstraram que, a cada 1% de entrenós brocados, ocorrem reduções médias de até 0,77% na produtividade de colmos, 0,25% na produção de açúcar e 0,20% na produção de álcool, podendo atingir, dependendo da variedade, até 1,5%, 0,49% e 0,28%,

respectivamente (Arrigoni, 2002). Resultados mais recentes obtidos no Instituto Agrônomo (IAC) indicaram que soqueiras infestadas apresentaram, em média, redução de 10% na produtividade de colmos, sendo que cada 1% de entrenós brocados ocasionou perdas de 2,2% na produtividade de colmos e 2,8% na de açúcar (Dinardo-Miranda et al., 2012). Em síntese, o complexo *D. saccharalis*-*F. moniliforme* constitui uma das principais causas de deterioração fisiológica e tecnológica da cana-de-açúcar no Brasil, com impactos diretos sobre o rendimento industrial e a qualidade do produto final.

No Brasil, são reconhecidas quatro espécies de cigarrinhas associadas à cultura da cana-de-açúcar, pertencentes ao gênero *Mahanarva*: *Mahanarva fimbriolata* (Stål), *M. spectabilis* (Distant), *M. posticata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae) e, mais recentemente, *Mahanarva diakantha* sp. n., espécie descrita recentemente e atualmente considerada a mais frequente em canaviais da região Centro-Sul (Paladini, 2025; Dinardo-Miranda, 2018). Até o início da década de 2010, acreditava-se que apenas *M. fimbriolata* ocorria nos canaviais brasileiros; contudo, Alves e Carvalho (2014) relataram a presença de *M. spectabilis* e *M. liturata* (Le Peletier & Serville) ampliando o conhecimento sobre a diversidade desse grupo na canavicultura.

A dinâmica populacional das cigarrinhas é fortemente influenciada por ambientes quentes e com elevada umidade relativa do ar. No estado de São Paulo, a adoção do sistema de colheita mecanizada sem queima, com manutenção de elevada quantidade de palha sobre o solo, criou um microclima favorável ao desenvolvimento desses insetos, contribuindo para o aumento expressivo de suas populações (Almeida Filho, 1995; Guimarães, 2007). A prática anterior de despalha da cana por meio da queima, embora ambientalmente indesejável, promovia elevada mortalidade das diferentes fases do ciclo biológico das cigarrinhas, especialmente dos ovos em diapausa (Dinardo-Miranda, 1999).

A cigarrinha-das-raízes causa danos à cana-de-açúcar tanto na fase jovem quanto na adulta. As ninfas alimentam-se das raízes, perfurando o sistema radicular e sugando seiva do xilema, comprometendo o transporte de água e nutrientes. Os adultos, por sua vez, alimentam-se da seiva das folhas, injetando saliva rica em enzimas que provocam toxidez nos tecidos vegetais (Dinardo-Miranda, 2011; Gallo et al., 2002). Como consequência, ocorre redução da

fotossíntese, prejuízo à formação e ao acúmulo de açúcares nos colmos e desenvolvimento de plantas mais finas, com entrenós curtos e aspecto desidratado. Em infestações severas, observa-se o secamento progressivo dos colmos, amarelecimento das folhas e, em casos extremos, a morte do canavial, que assume aparência de queimado mesmo durante o período chuvoso. O ataque contínuo às raízes reduz o transporte de fotoassimilados, resultando em queda do teor de sacarose e do açúcar total recuperável (ATR), além de falhas na brotação das soqueiras, o que antecipa a necessidade de reforma dos canaviais (Madaleno, 2010).

O bicudo-da-cana, *S. levis*, constitui atualmente um dos principais desafios fitossanitários em áreas conduzidas sob sistema de cana crua. Presente nos canaviais paulistas desde a década de 1970, a espécie encontra-se amplamente distribuída na região Centro-Sul. Em função de sua capacidade de voo extremamente limitada, sua disseminação ao longo do estado de São Paulo e para outras regiões do país é atribuída predominantemente à ação antrópica, especialmente ao transporte de mudas contaminadas contendo ovos, larvas ou adultos, reforçando a importância da utilização de material propagativo com elevada qualidade fitossanitária.

A dinâmica populacional de *S. levis* é influenciada por fatores como baixa umidade do solo, com maior incidência de danos nos meses de maio, junho e julho, período correspondente ao pico populacional das larvas. Além disso, diferentes variedades de cana-de-açúcar apresentam níveis distintos de atratividade, uma vez que oferecem abrigo e alimento ao inseto, sendo historicamente reconhecida a preferência pela variedade SP70-1143 (Izeppe et al., 2014; 2015; Ferreira & Ferreira, 2023; Rosa, 2021). As larvas atacam os rizomas e colmos basais, escavando galerias que interrompem o fluxo de seiva e comprometem o sistema radicular, resultando em murcha, tombamento e falhas na brotação, com perdas produtivas que podem atingir até 30% (Dinardo-Miranda & Fracasso, 2008b).

O besouro *M. fryanus*, conhecido como broca-dos-rizomas, é a principal espécie do gênero associada à canavicultura na região Centro-Sul. Embora existam cerca de dez espécies do gênero *Migdolus* registradas atacando a cultura da cana-de-açúcar, apenas *M. fryanus* ocorre com frequência econômica relevante nos canaviais. Suas larvas vivem em galerias profundas no solo,

podendo permanecer de dois a três anos alimentando-se de raízes e rizomas, causando murcha, tombamento de touceiras e redução progressiva da produtividade (Dinardo-Miranda, 2008a; CTC, 2018). A espécie não apresenta associação restrita a um tipo específico de solo; entretanto, em solos de textura arenosa, os danos tendem a ser mais severos, em função da menor capacidade de água disponível (CAD), o que reduz a resiliência das plantas ao ataque. Em contraste, solos argilosos, com maior CAD, oferecem melhores condições para tolerância aos danos causados por *M. fryanus* (Brady & Weil, 2018; Basch, 2012). Além da cana-de-açúcar, a espécie apresenta diversos hospedeiros alternativos, incluindo café, feijão, mandioca, algodão, eucalipto e outras gramíneas (Bento et al., 2004).

3.2.2.2 Pragas secundárias

A broca-gigante, *T. licus*, representa uma ameaça crescente à canavieira brasileira. Tradicionalmente, é considerada a principal praga da cana-de-açúcar na região Nordeste, onde pode ocasionar reduções de até 25% na produtividade em áreas severamente infestadas (Negrisoli et al., 2015). A espécie também já foi registrada no estado de São Paulo, o que elevou a preocupação quanto ao seu potencial de disseminação para o principal polo canavieiro do país (Dinardo-Miranda, 2008a; Negrisoli et al., 2015). As lagartas perfuram os colmos e formam galerias internas com acúmulo de serragem e excrementos, comprometendo o transporte de seiva, favorecendo a entrada de patógenos e intensificando as perdas de produtividade agrícola e de qualidade industrial.

A broca-peluda, *Hyponeuma taltula* (Schaus) (Lepidoptera: Erebidae), constitui um exemplo clássico de inseto que deixou de ser considerado apenas uma praga secundária e vem ganhando importância econômica nos canaviais brasileiros (Seleglim, 2020). As lagartas atacam preferencialmente a base dos colmos, provocando o sintoma conhecido como “coração morto”, caracterizado pela morte da gema apical e pela ocorrência de falhas na brotação das soqueiras (Seleglim, 2020; Triana, 2015). Registros históricos indicam a presença da espécie desde a década de 1970 em estados como São Paulo e Pernambuco; contudo, com a expansão do sistema de colheita mecanizada sem queima (cana

crua), os níveis de infestação passaram a superar o nível de dano econômico em diversas regiões produtoras (Fernandez, 2015).

No Brasil, Moreira (1921) foi responsável pelo primeiro registro da cigarrinha-das-folhas, *M. posticata*, ao encontrá-la, em 1898, em áreas onde não se cultivava cana-de-açúcar em Minas Gerais, bem como em canaviais de Campos, no litoral do estado do Rio de Janeiro. Posteriormente, a espécie também foi registrada em outros estados da região Sudeste, incluindo São Paulo (Guagliumi, 1972). Apesar desses registros históricos, a cigarrinha-das-folhas não ocorre atualmente em canaviais paulistas, sendo considerada praga relevante sobretudo na região Nordeste, onde frequentemente convive com a cigarrinha-das-raízes (Dinardo-Miranda, 2011; Silva et al., 2020). Assim como ocorre com a cigarrinha-das-raízes, a cigarrinha-das-folhas apresenta elevada dependência de ambientes úmidos, sendo mais comum no Nordeste durante o período chuvoso (inverno), quando pode completar dois ou três ciclos biológicos.

Os adultos alimentam-se da seiva das folhas, injetando enzimas e aminoácidos que promovem a destruição de cloroplastos, obstrução dos vasos condutores e necrose dos tecidos vegetais. Esses danos manifestam-se inicialmente como pontos e estrias amareladas, que evoluem para o secamento total das folhas (Gallo et al., 2002). Em infestações severas, o canavial adquire aspecto de queimado, e a perda da área fotossintética resulta em expressiva redução da produtividade. Além da diminuição na produção de colmos e de açúcar, associada à queda da fotossíntese, a desordem fisiológica provocada pela injeção de toxinas compromete a qualidade da matéria-prima destinada à indústria (Roma et al., 2003). Ressalta-se que não há dados recentes quantificando a magnitude dos danos causados pela cigarrinha-das-folhas, sendo os estudos mais recentes datados da década de 1970 (Marques & Villas Boas, 1978).

Diversas espécies de cupins já foram registradas atacando canaviais no Brasil. No estado de São Paulo, ocorrem sete gêneros e nove espécies associadas à cultura, com destaque para *Heterotermes tenuis* (Hagen), *C. cumulans*, *N. opacus* e *P. triacifer* (Arrigoni et al., 1989). Na canavicultura, os cupins podem ser classificados quanto ao hábito de nidificação em dois grupos principais: cupins de montículo e cupins subterrâneos, sendo estes últimos os mais importantes economicamente, em razão da distribuição difusa da colônia

no solo e do ataque direto ao sistema radicular. Os danos mais frequentes estão associados à destruição de toletes e, conseqüentemente, à inviabilização das gemas, resultando em falhas na brotação. Em ataques severos, pode ocorrer o sintoma de “coração morto”, uma vez que os cupins destroem o interior dos entrenós basais, levando à morte dos perfilhos. Estimativas indicam que os danos podem resultar em perdas médias de aproximadamente 10 t ha⁻¹ por colheita (Novaretti et al., 1985).

As formigas-cortadeiras figuram entre as pragas mais antigas e recorrentes da cana-de-açúcar. As espécies de maior importância pertencem aos gêneros *Atta* Fabricius e *Acromyrmex* Mayr, conhecidas popularmente como saúvas e quenquéns, respectivamente. Esses insetos caracterizam-se pelo hábito de cortar folhas para o cultivo de um fungo simbiote, do qual se alimentam. As saúvas, em geral, causam os maiores prejuízos à cultura, em função do elevado número de indivíduos por colônia e da ampla área de forrageamento explorada. Dados taxonômicos recentes indicam que o Brasil abriga nove espécies de *Atta* e 25 espécies de *Acromyrmex*, totalizando 34 espécies reconhecidas de formigas-cortadeiras no país (Reis et al., 2024), das quais quatro são consideradas economicamente importantes, inclusive para a canavicultura (Gallo et al., 2002).

Entre as principais espécies do gênero *Atta*, destacam-se: *Atta sexdens* (Linnaeus), conhecida como saúva-limão devido ao odor cítrico liberado quando esmagada; *Atta capiguara* (Gonçalves), denominada saúva-parda, cuja terra retirada das panelas de fungo é depositada fora de sua projeção; *Atta laevigata* (F. Smith), cujos soldados apresentam a cabeça brilhante, motivo pelo qual é conhecida como saúva-cabeça-de-vidro; e *Atta bisphaerica* (Forel), popularmente chamada de saúva-mata-pasto (Della Lucia & Moreira, 1993; Gallo et al., 2002). No estado de São Paulo, as espécies de maior importância para a cultura da cana-de-açúcar são *A. bisphaerica* e *A. capiguara* (Stingel, 2007).

Os danos provocados por saúvas e quenquéns decorrem do corte contínuo de folhas, que compromete a capacidade fotossintética das plantas. Estudos conduzidos em canaviais infestados por *A. bisphaerica* demonstraram que cada formigueiro pode explorar uma área de aproximadamente 0,18 ha, reduzindo a produtividade agrícola em cerca de 3,2 t ha⁻¹ por ano. O desfolhamento resulta em redução do peso, da altura e da densidade dos

colmos, bem como no comprimento e no número de entrenós por colmo (Precetti et al., 1989). Adicionalmente, na área de forrageamento, observaram-se reduções de aproximadamente 30% nos valores de pol da cana e de 5% na pureza do caldo, além de incrementos próximos a 30% nos teores de fibra, comprometendo significativamente a qualidade industrial da matéria-prima (Precetti et al., 1989).

4. AGENTES DE CONTROLE MACROBIOLÓGICOS NA CANA-DE-AÇÚCAR

A entomofauna associada aos canaviais é notoriamente complexa e, em razão das extensas áreas contínuas cultivadas em diferentes regiões do país, com destaque para o estado de São Paulo, o agroecossistema canavieiro favorece a instalação e a multiplicação de diversas espécies-praga (Guagliumi, 1972). Dentre essas, destaca-se a broca-da-cana, *D. saccharalis*, recorrentemente caracterizada como praga-chave da cultura, em função de seu elevado impacto técnico e econômico (Dinardo-Miranda, 2008a; Pinto et al., 2009). Em grande parte das áreas canavieiras brasileiras, o manejo dessa espécie tem como principal alicerce o CB, inserido nos programas de MIP (Pinto & Trujillo, 2019).

As primeiras tentativas de implantação de um programa de CB na cultura da cana-de-açúcar no Brasil tiveram como objetivo o controle de *D. saccharalis* e envolveram a importação do parasitoide *Lixophaga diatraeae* (Townsend) (Diptera: Tachinidae), procedente de Cuba. Entretanto, após sua introdução no ecossistema brasileiro, a espécie não apresentou sucesso no estabelecimento e na adaptação às condições locais, especialmente em função de limitações relacionadas à dispersão, ao comportamento de voo e à eficiência de parasitismo em campo (Parra et al., 2002; Parra et al., 2014). Esses resultados evidenciaram entraves adicionais, como incompatibilidade climática, dificuldades logísticas para criação massal e baixa taxa de parasitismo sob condições reais de cultivo.

Posteriormente, sob a coordenação do professor Domingos Gallo, foram conduzidas buscas por tachinídeos nativos do Brasil com potencial para o controle da broca-da-cana. Nesse contexto, foram identificadas as espécies *Lydella minense* (Townsend) e *Billaea claripalpis* (Wulp), ambas parasitoides de larvas. Apesar do potencial teórico, essas espécies não apresentaram resultados satisfatórios quanto à eficiência de parasitismo e ao estabelecimento em campo,

sendo, portanto, descartadas para uso em programas de CB aplicado (Parra, 2018; Cingolani, 2025).

Em perspectiva histórica, o CB da broca-da-cana por meio do uso do parasitoide larval *C. flavipes* e do parasitoide de ovos *T. galloi* consolidou-se como um dos casos mais duradouros, abrangentes e bem-sucedidos de CB no Brasil (Cabral et al., 2025). Trata-se de uma tecnologia empregada de forma contínua há mais de quatro décadas em uma ampla fração da área cultivada com cana-de-açúcar, sustentada por uma cadeia produtiva complexa que envolve milhares de profissionais atuando em laboratórios de criação massal, atividades de monitoramento populacional e liberações em campo (Garcia et al., 2024).

Apesar do sucesso consolidado, persistem desafios relevantes, como os elevados custos de produção, a necessidade de mão de obra numerosa e altamente qualificada, a demanda por maior automação dos processos de criação, a padronização da qualidade dos insetos produzidos e os riscos sanitários associados à ocorrência de patógenos, como *Nosema* spp. Ainda assim, as estratégias de liberação evoluíram de forma expressiva nos últimos anos, incorporando tecnologias como o uso de drones, cápsulas para liberação de adultos e tratamentos aplicados às massas de parasitoides com compostos repelentes, visando reduzir a predação e aumentar a eficiência do controle em campo (Alves et al., 2024; Silva et al., 2025).

4.1. *Cotesia flavipes*

Após sucessivos insucessos nos primeiros ensaios de CB da broca-da-cana, a introdução do parasitoide larval *C. flavipes* marcou o início de uma das experiências mais bem-sucedidas de CB aplicado à agricultura tropical.

Na década de 1970, *C. flavipes*, de provável origem asiática, foi introduzido inicialmente na região Nordeste do Brasil, a partir de material proveniente de Trinidad e Tobago, sendo posteriormente disseminado para o estado de São Paulo com linhagens oriundas da Índia e do Paquistão (Parra et al., 2010). Essa etapa foi decisiva para a consolidação do programa, uma vez que o parasitoide apresentou notável adaptação às condições tropicais e subtropicais, elevada capacidade de dispersão e bom desempenho reprodutivo, viabilizando a implantação de um dos maiores programas de CB do mundo.

A consolidação do programa brasileiro ocorreu por meio de ações integradas entre instituições de pesquisa e o setor produtivo. Entidades como a Copersucar, a ESALQ/USP e o IAA/Planalsucar desempenharam papel central na padronização das metodologias de criação massal, liberação e monitoramento do impacto do parasitoide sobre as populações de *Diatraea saccharalis*. Ensaios experimentais conduzidos em 1971 já evidenciavam o elevado potencial de *C. flavipes* no manejo da praga, e, a partir de 1974, o parasitoide passou a integrar oficialmente os programas regionais de controle.

Uma década depois, os resultados eram expressivos: 17 laboratórios vinculados a usinas produziam o parasitoide em larga escala, com aproximadamente 943 milhões de adultos liberados anualmente, enquanto os índices médios de infestação da broca reduziram-se de cerca de 9% em 1980 para 3,2% em 1991 (Copersucar, 1992; Macedo, Araújo & Botelho, 1993). Em 2018, o sistema produtivo brasileiro alcançava mais de 3,5 milhões de hectares tratados e mais de 21 bilhões de indivíduos liberados, com a participação de 37 biofábricas públicas e privadas (Santos, 2018). Esses números evidenciam não apenas a escala do programa, mas também o elevado grau de integração técnico-operacional entre a pesquisa científica e a indústria sucroenergética, consolidando o CB como ferramenta efetiva do MIP na canavicultura.

Do ponto de vista biológico, *C. flavipes* é um parasitoide endolarval gregário que completa seu ciclo de vida no interior das lagartas de *D. saccharalis*, preferencialmente em estágios larvais intermediários. Após localizar o hospedeiro, a fêmea oviposita diretamente na cavidade corporal; as larvas do parasitoide eclodem após três a quatro dias e passam a se alimentar dos tecidos internos da lagarta, levando-a à morte. Em seguida, as larvas emergem e formam massas de casulos de seda externamente ao corpo do hospedeiro (Parra et al., 2002). O ciclo biológico completo varia entre 18 e 33,5 dias, em função da temperatura e da idade do hospedeiro, apresentando temperatura base de desenvolvimento estimada em 8,3 °C. Essa plasticidade térmica contribui para o sucesso do parasitoide em diferentes regiões produtoras de cana-de-açúcar. Embora estudos laboratoriais indiquem ampla tolerância térmica, variações extremas de temperatura e, sobretudo, baixos níveis de umidade relativa do ar reduzem significativamente a longevidade dos adultos e a taxa de emergência (Mutamiswa et al., 2018).

Estudos morfofisiológicos demonstram que o parasitismo por *C. flavipes* promove profundas alterações metabólicas e imunológicas em *D. saccharalis*, incluindo reduções significativas nos níveis de proteínas, lipídios e carboidratos circulantes, depleção acentuada do corpo gorduroso e supressão das respostas imunes celulares e humorais (Rossi et al., 2014). Essa imunossupressão, associada à modulação hormonal do hospedeiro, favorece o desenvolvimento do parasitoide e pode aumentar a suscetibilidade das lagartas a agentes entomopatogênicos, como *Bacillus thuringiensis* e fungos entomopatogênicos, indicando potencial sinergia em programas de controle integrado (Santos et al., 2022). O parasitoide é atraído a distância por voláteis emitidos por plantas atacadas e, em curta distância, por compostos presentes nas fezes e secreções orais das lagartas, os quais modulam sua resposta de busca e aceitação do hospedeiro (Peñaflor et al., 2017). Entre os indicadores de qualidade utilizados na avaliação da criação massal de *C. flavipes*, destaca-se a razão sexual, geralmente favorável entre 0,6 e 0,8, além do comportamento reprodutivo, caracterizado por baixa poliandria em condições de campo, o que contribui para a estabilidade populacional após as liberações.

A produção massal de *C. flavipes* depende da criação contínua de *D. saccharalis* em dietas artificiais otimizadas, geralmente formuladas à base de germe de trigo, farelo de soja e sacarose, sob rigoroso controle de temperatura e umidade. Lagartas com comprimento entre 15 e 23 mm são preferencialmente parasitadas por fêmeas jovens, assegurando elevadas taxas de parasitismo e maior vigor dos descendentes (Pinto et al., 2009). A qualidade dos insetos produzidos pode ser avaliada por parâmetros adicionais, como comportamento de voo e capacidade de busca, os quais podem variar entre biofábricas em função das condições de criação (Parra, 2002). A manutenção de ambientes assépticos é fundamental para evitar contaminações fúngicas e microsporidianas, especialmente por *Nosema* spp., patógeno que reduz a longevidade e a eficiência de forrageamento do parasitoide em campo (Simões, 2012).

Quanto à tecnologia de liberação, o padrão inicial de aproximadamente 6.000 adultos por hectare, distribuídos em quatro pontos, evoluiu para esquemas com maior densidade espacial, frequentemente com oito ou mais pontos por hectare, em razão da dispersão efetiva relativamente limitada do parasitoide,

estimada em até 25 m (Volpe et al., 2009). As liberações são preferencialmente realizadas nas primeiras horas da manhã ou no final da tarde, evitando-se insolação direta, que compromete a sobrevivência dos adultos. O uso de drones e sistemas mecanizados tem se destacado como alternativa eficiente, permitindo a liberação de adultos recém-emergidos acondicionados em cápsulas ou de massas de casulos prestes a eclodir, reduzindo o tempo operacional e melhorando a uniformidade da distribuição (Vinha et al., 2013; Rôdas et al., 2019). Modelagens indicam que o uso sistemático de *C. flavipes* pode reduzir a infestação da broca em até três pontos percentuais por ano, estabilizando os níveis populacionais em torno de 2–3% (Silva, 2018).

Entretanto, a eficiência do parasitoide pode ser afetada por fatores bióticos do agroecossistema. Em liberações na forma de massas de casulos depositadas no solo, a predação por formigas pode reduzir significativamente o número de indivíduos viáveis. Dessa forma, recomenda-se que as massas sejam preferencialmente posicionadas sobre folhas ou no cartucho da planta, minimizando perdas por predação e aumentando a eficácia do controle (Arroyo et al., 2012).

Resultados recentes obtidos por Pinto (2024) demonstram que o desempenho de *C. flavipes* no controle de *D. saccharalis* está diretamente relacionado à densidade de fêmeas liberadas e à distância de dispersão no campo. Em canaviais comerciais do Mato Grosso do Sul, observou-se aumento proporcional das taxas de parasitismo com o incremento da razão parasitoide:lagarta, alcançando valores entre 50 e 55% nas densidades de 9:1 e 12:1, respectivamente. A distância média de dispersão foi estimada em 12,6 m, com declínio progressivo do parasitismo à medida que a distância do ponto de liberação aumentava, de cerca de 56% a 5 m para aproximadamente 20% a 25 m. Esses resultados reforçam a necessidade de ajustes nos planos operacionais de liberação, especialmente em estratégias mecanizadas por drones, que frequentemente utilizam faixas de distribuição superiores a 40 m.

A compatibilidade de *C. flavipes* com outros métodos de controle é amplamente documentada. No contexto do MIP, a integração do CB com o uso de fungos entomopatogênicos, como *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, apresenta compatibilidade parcial, sendo recomendado um intervalo de 7 a 14 dias entre as aplicações para minimizar efeitos adversos sobre os

adultos do parasitoide (Rossoni et al., 2014). Em contrapartida, a aplicação de inseticidas não seletivos pode comprometer significativamente a eficiência do CB, ao afetar indiscriminadamente inimigos naturais e a praga-alvo (Matioli, 2018).

Assim, o uso de inseticidas deve ser cuidadosamente planejado no âmbito do MIP, uma vez que a conservação de inimigos naturais é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Lisi et al., 2024). Herbicidas também podem exercer efeitos indiretos sobre *C. flavipes*, conforme demonstrado por Corrêa, Campos e Monquero (2014), que observaram aumento da mortalidade de casulos e redução da longevidade dos adultos após contato indireto com folhas tratadas com ametrina + clomazona e sulfentrazone, especialmente em doses superiores às recomendadas.

Ainda que a redução da infestação da broca nem sempre seja expressiva no curto prazo, *C. flavipes* atua como regulador populacional consistente e ocupa, atualmente, nichos operacionais distintos daqueles observados nas fases iniciais do programa, incluindo a proteção de bordaduras e o manejo pós-monitoramento de talhões em pré-colheita (Parra et al., 2014). Em cenários de crescente restrição ao uso de inseticidas químicos e da aviação agrícola, a tendência é de ampliação da importância de *C. flavipes* como componente estável, eficiente e ambientalmente aceitável no mosaico tático do manejo integrado, especialmente em áreas sensíveis, como interfaces com fragmentos florestais, pastagens e cultivos vizinhos, consolidando-o como elemento central de uma estratégia de supressão sustentável e de longo prazo (Dinardo-Miranda, 2018).

4.2. *Trichogramma galloi*

O parasitoide de ovos *T. galloi* ocupa papel complementar e estratégico no manejo integrado da broca-da-cana, ao atuar em uma fase crítica do ciclo biológico de *D. saccharalis* (Parra et al., 2021). Trata-se de uma espécie nativa, amplamente distribuída no território brasileiro, com elevada adaptação às condições tropicais. Estudos recentes demonstram sua eficiência tanto em sistemas convencionais quanto em ambientes de cultivo orgânico, evidenciando alta compatibilidade com os princípios da agricultura tropical sustentável (Taguti, 2025).

Além disso, *T. galloi* apresenta comportamento de busca altamente refinado, sendo capaz de localizar ovos da praga por meio de estímulos químicos e físicos provenientes do substrato foliar e dos próprios ovos (Parra, 2004). Ao parasitar os ovos, o parasitoide impede a eclosão das lagartas e interrompe o ciclo da praga antes que ocorram danos significativos aos colmos da cana-de-açúcar, o que torna sua ação particularmente eficiente quando sincronizada com o período de oviposição da broca (Garcia et al., 2024).

Do ponto de vista biológico, *T. galloi* apresenta ciclo de desenvolvimento curto, elevada taxa reprodutiva e comportamento gregário facultativo, características que favorecem sua adaptação às condições laboratoriais e de campo (Sales Junior, 1992). O desenvolvimento do parasitoide é fortemente influenciado pela temperatura e pela qualidade do hospedeiro, com ciclo médio de 10 a 12 dias a 25 °C e razão sexual frequentemente superior a 0,7 (fêmeas/machos), o que possibilita rápido incremento populacional em programas de liberações sucessivas (Parra, 2019).

A espécie apresenta sensibilidade à baixa umidade relativa e à insolação direta, reforçando a necessidade de estratégias adequadas de liberação, preferencialmente nas primeiras horas da manhã, quando as condições microclimáticas são mais favoráveis à sobrevivência e à dispersão dos adultos (Taguti et al., 2023). Esse conjunto de atributos fisiológicos e comportamentais consolidou *T. galloi* como o parasitoide de ovos mais amplamente utilizado na canavicultura brasileira, superando outras espécies do gênero *Trichogramma* avaliadas em diferentes culturas agrícolas (Parra, 2015; Molter et al., 2023).

A produção massal de *T. galloi* encontra-se entre as mais bem estruturadas do país. Utiliza-se como hospedeiro alternativo a traça-da-farinha, *Ephestia (Anagasta) kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae), cujos ovos são coletados, desinfetados e ofertados às fêmeas do parasitoide sob condições controladas de temperatura, umidade e fotoperíodo (Parra, 2019). Essa metodologia permite a produção contínua, padronizada e previsível de milhões de indivíduos por semana, viabilizando o uso operacional em grandes áreas agrícolas. A qualidade dos parasitoides produzidos é monitorada por meio de indicadores como taxa de emergência, razão sexual, longevidade e capacidade de voo, assegurando sua eficiência após a liberação em campo (Valente et al., 2016; Barros, 2023). Atualmente, o Brasil conta com dezenas de biofábricas

especializadas no fornecimento de *T. galloi* para usinas e produtores independentes, consolidando uma cadeia produtiva análoga à estabelecida para *Cotesia flavipes* (Parra, 2019).

As liberações de *T. galloi* são realizadas de forma estratégica, priorizando o sincronismo com o pico de oviposição da broca-da-cana, geralmente identificado por meio do monitoramento das populações adultas com armadilhas luminosas. As taxas recomendadas de liberação variam entre 100 e 150 mil adultos por hectare, com repetições em intervalos de sete a dez dias durante os períodos críticos da cultura (Taguti et al., 2023; Molter et al., 2023).

As liberações podem ser efetuadas manualmente, por meio de cartelas contendo ovos parasitados, ou com o uso de drones e sistemas automatizados, que proporcionam maior uniformidade espacial, redução do tempo operacional e diminuição dos custos de aplicação (Garcia et al., 2024). Modelagens recentes indicam que o posicionamento dos pontos de liberação e a frequência das solturas são determinantes para o sucesso do controle, sendo que ajustes finos no momento da liberação podem maximizar as taxas de parasitismo e reduzir a ocorrência de reinfestações subsequentes (Garcia et al., 2024).

A eficiência de *T. galloi* é potencializada quando integrado ao uso de *C. flavipes*, configurando uma das estratégias mais eficazes de CB na canavicultura brasileira. Essa integração baseia-se na atuação complementar dos dois parasitoides em diferentes estágios de desenvolvimento da praga: enquanto *T. galloi* impede o surgimento de novas lagartas por meio do parasitismo de ovos, *C. flavipes* atua sobre as lagartas remanescentes, eliminando-as antes que atinjam o interior dos colmos (Pinto et al., 2019). Essa complementaridade tem resultado em reduções de infestação superiores a 60%, associadas à maior estabilidade populacional ao longo do ciclo produtivo. Ademais, o uso combinado desses inimigos naturais promove um controle mais equilibrado, reduzindo a pressão seletiva sobre as populações de *D. saccharalis* e minimizando o risco de desenvolvimento de resistência comportamental da praga (Parra, 2015).

4.3. OUTRAS ESPÉCIES

Diante do êxito alcançado pelos programas de CB da broca-comum na canavicultura, outras pragas e agentes de CB vêm sendo investigados, com resultados promissores. Entre esses, destaca-se *Euborellia annulipes* (H. Lucas)

(Dermaptera: Anisolabididae), popularmente conhecida como “tesourinha” (Parra et al., 2021).

Na literatura, são amplamente descritos registros de predação de insetos-praga em diferentes culturas por *E. annulipes*, incluindo a lagarta-do-cartucho-do-milho, *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) (Nunes et al., 2018). Na canavicultura, sua ocorrência e atividade predatória estão associadas a sistemas de produção com colheita de cana crua, nos quais a ausência da queima do palhiço favorece a conservação de inimigos naturais (Nunes et al., 2019).

Estudos conduzidos por Souza et al. (2024) demonstraram que *E. annulipes* apresenta elevado potencial ecológico como inimigo natural da broca-da-cana, exibindo seletividade e comportamento compatível com o uso de bioinseticidas fúngicos, especialmente aqueles à base de *M. anisopliae* e *B. bassiana*. De forma complementar, Fernandes (2022) avaliou a capacidade de busca e predação de *E. annulipes* sobre lagartas de *D. saccharalis* em colmos de cana tratados e não tratados com clorantraniliprole, concluindo que o inseticida é seletivo ao predador, não reduzindo a taxa de predação, embora promova alterações sutis no comportamento de busca. Esses resultados reforçam o papel de *E. annulipes* como agente de CB complementar, viabilizando sua integração aos programas de MIP em canaviais.

No gênero *Trichogramma*, embora *T. galloi* seja a espécie de maior relevância para a canavicultura, outras espécies têm sido avaliadas, ainda que com menor sucesso. *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) apresenta ampla distribuição geográfica e elevada plasticidade ecológica, parasitando ovos de diversos hospedeiros e adaptando-se a diferentes sistemas de cultivo (Dalbianco et al., 2025). Contudo, para o controle da broca-comum, estudos laboratoriais indicaram taxa de parasitismo relativamente baixa, em torno de 18,2% sobre ovos de *D. saccharalis*, quando comparado ao hospedeiro alternativo *Ephestia (Anagasta) kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) ao longo de gerações sucessivas (Siqueira, 2012). Esses resultados sugerem eficiência limitada quando utilizado isoladamente; entretanto, no contexto do MIP, a utilização conjunta de diferentes agentes de CB pode ampliar a estabilidade fitossanitária do canavial, reforçando a importância da diversificação de estratégias de controle (Parra et al., 2021).

Outra relação de parasitismo investigada refere-se ao controle de *D. flavipennella*, praga de elevada importância econômica no Nordeste brasileiro e de manejo particularmente complexo. Nessa região, foram avaliados os parasitoides *Telenomus alecto* Crawford (Hymenoptera: Scelionidae) e *T. galloi*. Os resultados obtidos por Fernandes et al. (2024) indicaram maior eficiência de *T. galloi*, com taxas médias de parasitismo variando entre 62 e 68% dos ovos expostos, enquanto *T. alecto* apresentou índices entre 18 e 22%. Além disso, *T. galloi* demonstrou menor tempo de resposta e maior taxa de emergência, evidenciando melhor adaptação às condições tropicais avaliadas. Considerando que o uso isolado de um único agente raramente é suficiente para manter a praga abaixo do nível de dano econômico, a utilização conjunta desses parasitoides configura uma alternativa mais equilibrada e sustentável para o manejo da broca-do-nordeste em sistemas tropicais (Fernandes, 2024).

Outro predador relevante citado na literatura é a mosca *Salpingogaster nigra* Schiner (Diptera: Syrphidae), reconhecida pelo hábito de predação sobre cigarrinhas-das-pastagens e frequentemente associada a áreas canavieiras. Koller (1988) demonstrou que o sombreamento excessivo reduz a ocorrência e a atividade predatória de *S. nigra*, enquanto ambientes com maior luminosidade favorecem o equilíbrio populacional entre o predador e suas presas, evidenciando a influência do microclima sobre o sucesso do CB natural. Complementarmente, Liburd et al. (2018) aprofundaram o conhecimento sobre a biologia e o comportamento olfativo da espécie, demonstrando elevada capacidade de localização química das presas, com resposta seletiva a voláteis emitidos por colônias de cigarrinhas. O ciclo de vida curto e a elevada taxa de predação sobre ninfas e adultos reforçam o potencial de *S. nigra* como agente de CB conservativo em sistemas tropicais e em cultivos de gramíneas, como a cana-de-açúcar.

Entre os inimigos naturais associados às formigas-cortadeiras do gênero *Atta*, pragas relevantes em áreas canavieiras recém-implantadas, destaca-se o coleóptero *Canthon virens* (Mannerheim, 1829) (Coleoptera: Scarabaeidae), descrito como predador de fêmeas reprodutivas (tanajuras) durante os voos nupciais (Araújo et al., 2015). Estudos anteriores indicavam baixa viabilidade prática de seu uso em larga escala, em razão da distribuição natural restrita, da dificuldade de monitoramento das revoadas e da curta duração desses eventos

reprodutivos (Araújo et al., 2003; Della Lucia, 2011). Entretanto, pesquisas mais recentes reconhecem que, apesar dessas limitações, *C. virens* pode atuar como importante agente de controle natural, reduzindo o estabelecimento de novas colônias em áreas onde ocorre naturalmente (Araújo et al., 2015).

Diante das restrições ao uso programado de *C. virens*, estudos têm direcionado maior atenção aos parasitoides da família Phoridae, especialmente espécies dos gêneros *Neodohniphora*, *Myrmosicarius* e *Apocephalus*, que parasitam operárias e rainhas jovens de *A. sexdens*, *A. laevigata* e *A. bisphaerica*, apresentando potencial mais consistente para estratégias de manejo biológico. Pereira et al. (2018) registraram taxas de parasitismo em torno de 3,7% em colônias naturais de *A. sexdens*, enquanto Nascimento et al. (2025) relataram, pela primeira vez, o parasitismo de *Atta opaciceps* Borgmeier por forídeos no Nordeste brasileiro, com índices próximos de 8%. Embora esses valores ainda sejam modestos, representam avanços importantes no entendimento ecológico do grupo e indicam que o CB de formigas-cortadeiras requer abordagens integradas, aliadas à conservação de habitats favoráveis aos inimigos naturais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise integrada da literatura permite identificar padrões consistentes quanto à eficiência, viabilidade e papel estratégico dos agentes macrobiológicos na canavicultura brasileira. Os estudos revisados convergem ao demonstrar que o CB, quando inserido em programas estruturados de MIP, apresenta desempenho técnico estável e previsível, especialmente no controle da broca-da-cana e de outras pragas-chave do sistema. A recorrência de resultados positivos ao longo de diferentes regiões, ciclos produtivos e condições edafoclimáticas indica que a eficiência dos macrobiológicos não é pontual, mas estrutural dentro do agroecossistema da cana-de-açúcar.

Do ponto de vista operacional, observa-se avanço significativo na capacidade de produção, liberação e monitoramento dos inimigos naturais. A padronização de protocolos de criação massal, o aprimoramento das dietas artificiais e o desenvolvimento de tecnologias de liberação mecanizada contribuíram para reduzir a variabilidade de desempenho em campo. Entretanto, a literatura também evidencia limitações relevantes, como a variação na

qualidade de produção entre biofábricas, a necessidade de mão de obra qualificada, os riscos sanitários em criações massais, a dificuldade de automação completa dos processos, além de entraves relacionados ao transporte e ao armazenamento dos agentes biológicos.

Nesse contexto, destaca-se o sucesso do programa brasileiro com *C. flavipes*, iniciado na década de 1970, que consolidou um dos maiores casos de CB aplicado em larga escala no mundo, com mais de quatro décadas de uso contínuo. Esse resultado evidencia a importância da pesquisa científica associada à estruturação de biofábricas, ao treinamento de profissionais e à interação entre universidades, instituições públicas e o setor produtivo. A incorporação posterior de *T. galloi* e de predadores complementares, como *E. annulipes*, ampliou a complexidade ecológica do sistema e permitiu ganhos expressivos em sustentabilidade e eficiência, demonstrando o potencial do CB como pilar estratégico do manejo de pragas em cana-de-açúcar.

Paralelamente, ao longo dos anos 2000 e 2010, a consolidação de programas de criação massal, a mecanização das liberações e o uso de ferramentas digitais de monitoramento impulsionaram o avanço do CB no campo. Atualmente, o emprego de drones, sensores e softwares de georreferenciamento permite um planejamento mais preciso das liberações, aumentando a eficiência operacional e reduzindo custos. Essa integração tecnológica, associada ao crescente interesse dos produtores por alternativas sustentáveis, reforça a posição do setor sucroenergético brasileiro como referência mundial em inovação e responsabilidade ambiental.

A eficiência do CB está diretamente associada ao sincronismo entre o estágio da praga e o momento de aplicação, à qualidade do material biológico e, principalmente, à sua integração com outras táticas de manejo presentes no MIP. A compatibilidade dos macrobiológicos com fungos entomopatogênicos, feromônios e inseticidas seletivos amplia o espectro de ação do manejo e reduz riscos de resistência, reforçando o caráter sistêmico do MIP e evidenciando que o CB não atua de forma isolada, mas como componente de um sistema de decisão mais amplo. Os agentes de CB exercem papel fundamental na regulação das populações de insetos-praga; contudo, fatores como condições ambientais adversas, manejo inadequado da palhada, uso de inseticidas não seletivos e simplificação excessiva da paisagem agrícola podem comprometer

seu desempenho, evidenciando que práticas de conservação e seletividade são determinantes para o sucesso do método.

Do ponto de vista estratégico, os resultados da revisão indicam que o CB na canavicultura brasileira opera atualmente em um nível de complexidade elevado, integrando aspectos técnicos, ecológicos, econômicos e organizacionais. A eficiência observada não decorre apenas da ação dos agentes, mas da articulação entre produção de qualidade, logística de liberação, monitoramento, tomada de decisão e conservação ambiental. Essa interdependência explica por que sistemas bem estruturados apresentam resultados consistentes, enquanto programas desorganizados tendem a falhar, mesmo utilizando os mesmos agentes.

6. CONCLUSÃO

A presente revisão bibliográfica evidenciou que o uso de agentes macrobiológicos na canavicultura brasileira evoluiu de maneira expressiva ao longo das últimas cinco décadas, acompanhando as transformações tecnológicas, ambientais e produtivas do setor sucroenergético. Desde as primeiras iniciativas de CB envolvendo espécies exóticas até a consolidação do uso de parasitoides e predadores, sobretudo espécies nativas como *C. flavipes* e *T. galloi*, observa-se um claro amadurecimento técnico-científico que consolidou o CB como componente essencial dos programas de MIP.

Apesar dos avanços alcançados, persistem desafios relacionados à padronização dos processos de criação massal, à variabilidade no desempenho dos agentes produzidos por diferentes biofábricas e à necessidade de capacitação técnica contínua dos profissionais envolvidos. Ademais, as transformações recentes no sistema produtivo e no agroecossistema canavieiro têm alterado a dinâmica populacional das pragas, demandando atualização permanente das estratégias de manejo. Nesse contexto, a expansão e a consolidação do CB dependem não apenas da disponibilidade de agentes macrobiológicos, mas também do aprimoramento dos processos produtivos, da adequação regional das estratégias e da articulação entre pesquisa científica, setor produtivo e políticas públicas.

Diante desse cenário, conclui-se que CB baseado no uso de agentes macrobiológicos configura-se como uma tecnologia consolidada,

economicamente viável e ambientalmente indispensável para o manejo sustentável da canavicultura. O avanço contínuo da pesquisa aplicada, associado à automação das biofábricas, à compatibilidade dos agentes biológicos com inseticidas seletivos e ao fortalecimento de políticas públicas voltadas à inovação agrícola, tende a ampliar o uso dessa estratégia para novas regiões produtoras e para o enfrentamento de pragas emergentes.

Assim, o CB não deve ser compreendido apenas como uma alternativa aos inseticidas convencionais, mas como um eixo estruturante de sistemas agrícolas tropicais sustentáveis, integrados à conservação ambiental e à eficiência produtiva. A continuidade dos investimentos em pesquisa, inovação tecnológica e capacitação técnica é fundamental para que o Brasil mantenha sua posição de destaque mundial no desenvolvimento e na aplicação de inimigos naturais, consolidando a canavicultura como referência global no equilíbrio entre produtividade e sustentabilidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, L.C.; DIAS, M.M.; DALRI, I.B.; ARRIGONI, E.B. Primeira ocorrência de *Telchin licus* (Drury, 1773), a broca gigante da cana-de-açúcar, no Estado de São Paulo. **Revista de Agricultura**, v.82, n.2, p.223-226, 2007.
- ALMEIDA FILHO, A. J. de. **Impacto ambiental da queima da cana-de-açúcar sobre a entomofauna**. 1995. Tese (Doutorado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.11.1996.tde-20210104-165434> . Acesso em: 29 nov. 2025.
- ALVES, R. T.; CARVALHO, G. S. Primeiro registro das espécies de cigarrinhas-da-raiz da cana-de-açúcar *Mahanarva spectabilis* (Distant) e *Mahanarva liturata* (Le Peletier & Serville) atacando canaviais na região de Goianésia (GO), Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 81, n. 1, p. 83–85, 2014.
- ALVES, S. B., LOPES, R. B. **Controle microbiano de pragas na América Latina: Avanços e Desafios**. Piracicaba: FEALQ, 2008. 414 p.
- ALVES, R. B. d. O.; TOMASIELLO, D. B.; ALMEIDA, C. M. d.; ROSALEN, D. L.; PEREIRA, L. H.; SILVA, H. P. d.; RODRIGUES, C. L. Agent-Based Spatial Dynamic Modeling of *Diatraea saccharalis* and the natural parasites *Cotesia*

- flavipes* and *Trichogramma galloi* in sugarcane crops. **Remote Sensing**, v. 16, n. 15, art. 2693, 2024.
- APLA – Arranjo Produtivo Local do Álcool. DATAGRO. **Inovações no setor sucroenergético**. Ribeirão Preto: APLA; DATAGRO, 2022. 52 p. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/acom/docs/Publicacao_v10.pdf
- ARAÚJO, M.S.; DELLA LUCIA, T.M.C.; RIBEIRO, G.A.; KASUYA, C.M. Impacto da queima controlada da cana-de-açúcar na nidificação e estabelecimento de colônias de *Atta bisphaerica* Forel (Hymenoptera: Formicidae). **Neotropical Entomology**, v. 32, p. 685-691, 2003.
- ARAÚJO, M. da S.; RODRIGUES, C. A.; OLIVEIRA, M. A.; JESUS, F. G. de. Controle biológico de formigas-cortadeiras: o caso da predação de fêmeas de *Atta* spp. por *Canthon virens*. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 3, p. 8–12, 2015.
- ARRIGONI, E. B. Estudos sobre resistência da cana à broca em telado – V. **Boletim Técnico Copersucar**, v. 48, p. 25 – 31, 1989.
- ARRIGONI, E. B.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; ROSSETO, R. **Pragas da cana-de-açúcar: importância econômica e enfoques atuais**. Piracicaba: STAB/IAC/CTC, 2002. 1 CD-ROM.
- ARROYO, B. M. et al. Predação de “massas” de *Cotesia flavipes* na técnica de liberação por espalhamento de pupas no canavial. In: VI Workshop Agroenergia. 2012.
- ASKEN, R. R.; SHAW, M. . Parasitoid communities: their size, structure and development. In: WAAGE, J. K.; GREATHEAD, D. (Eds.). **Insect parasitoids**. Cambridge: Academic Press, 1986. p. 225-264.
- BARROS, T. N. **Ação de inseticidas químicos em *Cotesia flavipes* e *Trichogramma galloi* (Hymenoptera) utilizados no controle da broca-da-cana-de-açúcar**. 2023. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstreams/761b128b-e53e-42c7-8e06-af174e43fb40/download>. Acesso em: 10 nov. 2025.
- BENTO, J. M. S.; DELLA LUCIA, T. M. C.; VILELA, E. F.; ARRIGONI, E. B.; LEAL, W. S. Migdolus. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. (Eds.). **Pragas de solo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. p. 233–257.

- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 15. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- CABRAL, E. O.; SANTOS, J. A. d.; BRAGHINI, A.; LIMA, V. d. O.; BARBOSA, E. P.; VACARI, A. M. Evaluating field-collected populations of *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae): Enhancing biological traits and flight activity for improved laboratory mass rearing. **Insects**, v. 16, n. 6, art. 571, 2025.
- CAI, W.; YAN, Y.; LI, L. The earliest records of insect parasitoids in China. **Biological Control**, v. 32, n. 1, p. 8–11, 2005.
- CARSON, R. **Silent Spring**. Boston: Houghton Mifflin, 1962. 468 p.
- CASTRO, L. T.; NEVES, M. F.; SCARÉ, R. F. Eficiência de representação das associações de produtores de cana-de-açúcar no Brasil. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 17, n. 3, p. 383–397, 2015.
- CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC). **Caderneta de pragas e doenças da cana-de-açúcar**. Piracicaba: CTC, 2018. Disponível em: <https://ctc.com.br/produtos/storage/2018/07/Caderneta-de-Pragas-e-Doen%C3%A7as-da-Cana-de-a%C3%A7%C3%BAcar-CTC.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2025.
- CINGOLANI, M. F. Dipteran parasitoids as biocontrol agents. **BioControl**, Dordrecht, v. 70, p. 55–73, 2025.
- COCK, M. J. W.; VAN LENTEREN, J. C.; BRODEUR, J.; BARRATT, B. I. P.; BIGLER, F.; BOLCKMANS, K.; CÔNSOLI, F. L.; HAAS, F.; MASON, P. G.; PARRA, J. R. P. Do new access and benefit sharing procedures under the Convention on Biological Diversity threaten the future of biological control? **BioControl**, v. 55, n. 2, p. 199–218, 2010.
- COELHO, L. F. et al. Fatores determinantes da eficiência técnica da cana-de-açúcar nos polos de produção do Sudeste e Centro-Oeste brasileiros. **Estudos Econômicos**, v. 54, n. 2, 2024.
- CÔRREA, M. D.; CAMPOS, M. B. S. de; MONQUERO, P. A. Impacto de herbicidas utilizados em cana-de-açúcar sobre *Cotesia flavipes*. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 24, 2014.
- DALBIANCO, A. B.; DANIEL, D. F.; PRATISSOLI, D.; ALVAREZ, D. d. L.; SILVA, N. N. P. d.; SANTOS, D. M.; SEABRA JÚNIOR, S.; OLIVEIRA, R. C. d. Performance of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) strains on eggs from different populations of *Tuta*

- absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Agronomy**, v. 15, n. 7, p. 1692, 2025.
- DEBACH, P. **Biological control by natural enemies**. Cambridge: Cambridge University Press, 1974. 456 p.
- DEJEAN, A.; CÉRDÁ, X.; ORIVEL, J.; AZÉMAR, F.; WILD, A. L.; CORBARA, B.; TOUCHARD, A. The predatory behavior of ants: an impressive panoply of morphological adaptations. **Insect Science**, 2025a.
- DEJEAN, A.; CÉRDÁ, X.; ORIVEL, J. et al. Ecological and management drivers of pest regulation via natural enemies. **Agricultural and Forest Entomology**, 2025b.
- DELLA LÚCIA, T. M. C. **As formigas cortadeiras**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1993. 262 p.
- DELLA LUCIA, T.M.C.; SOUZA, D.J. Importância e história de vida das formigas-cortadeiras. In: DELLA LUCIA, T.M.C. **Formigas-cortadeiras: da biologia ao manejo**. Viçosa-MG: UFV, 2011. p. 13-26.
- DINARDO-MIRANDA, L. L. Cigarrinhas em cana crua. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; ROSSETTO, R.; STUPIELLO, J. P. (Eds.). IV Semana da Cana-de-açúcar de Piracicaba, 4., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: [s.n.], 1999. p. 36-37. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/a8af/521d27b7a78ceca9be744d27800f6f1f1894.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2025.
- DINARDO-MIRANDA, L. L. **Nematoides e pragas da cana-de-açúcar**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas (IAC), 2018. 440 p.
- DINARDO-MIRANDA, L. L. Pragas. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas (IAC), 2008a. p. 349–404.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; ALVES, S. B.; BOTELHO, P. S. M. Manejo biológico da cigarrinha-das-raízes (*Mahanarva fimbriolata*) com *Metarhizium anisopliae* em canaviais. **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 3, p. 145–152, 2001.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; ANJOS, I. A. dos; COSTA, V. P. da; FRACASSO, J. V. Resistance of sugarcane cultivars to *Diatraea saccharalis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 1, p. 1-7, jan. 2012.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Danos causados por *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae) e seu efeito sobre a

- produtividade da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 3, p. 188–195, 2008b.
- DINIZ, A. J. F.; GARCIA, A. G.; ALVES, G. R.; REIGADA, C.; VIEIRA, J. M.; PARRA, J. R. P. The enemy is outside: releasing the parasitoid *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in external sources of HLB inocula to control the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). **Neotropical Entomology**, v. 49, n. 2, p. 250–257, 2020.
- EILENBERG, J., HAJEK, A.; LOMER, C. Suggestions for unifying the terminology in biological control. **BioControl**, v. 46, n. 4, p. 387-400, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA MEIO AMBIENTE; AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Sugarcane agricultural profiles – RenovaBio 2024**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente; Brasília: ANP, 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/arq/arquivos-estudos-relatorio-e-seminarios/sugarcane-agricultural-profiles-renovabio-2024.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2025.
- EMBRAPA. **Inovação e desenvolvimento em cana-de-açúcar: manejo, nutrição, bioinsumos, recomendação de corretivos e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa, 2024b. 471 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1166988/1/LV-Inovacao-desenvolvimento-2024.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- FARIA-DOS-SANTOS, H.; SAMPAIO, M.; MESQUITA, F.; PEREIRA, M. Crise do setor sucroenergético no Brasil e a vulnerabilidade territorial dos municípios canavieiros. **EURE (Santiago)**, v. 48, n. 145, 2022.
- FERREIRA, P. H. U.; FERREIRA, M. d. C. *Sphenophorus levis* behavior studies: evaluating insect attractiveness or repellency to one insecticide treatment and assessing nocturnal insect activity and location pattern. **Insects**, v. 14, n. 2, p. 205, 2023.
- FERNANDES, R. M. **Capacidade de busca de *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae) por *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae), em função da aplicação de clorantraniliprole e localização da presa**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) — Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita

- Filho" (UNESP), Jaboticabal, SP, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/26de1550-d6b3-405a-a87d-27b686457c7c>. Acesso em: 2 nov. 2025.
- FERNANDES, R. M.; ALVES, T. S.; LIMA, P. C.; MENEZES, C. S. Parasitoides associados à broca-do-nordeste (*Diatraea flavipennella* Box, 1931) e seus mecanismos de localização de ovos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 68, n. 2, p. e20240052, 2024.
- FERNANDES, T. A. S.; OLIVEIRA, L. L. P.; MEDEIROS, R. J. S.; ALMEIDA, M. D. Uso de *Beauveria bassiana* no controle biológico de *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae) em cana-de-açúcar: uma revisão de literatura. **Revista Científica da Editora Científica**, v. 5, n. 9, p. 1–12, 2023.
- FERNANDEZ TRIANA, M. **Ecologia química da broca-peluda da cana-de-açúcar, *Hyponeuma taltula* Schaus, 1904 (Lepidoptera, Erebidae, Herminiinae)**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/2721>. Acesso em: 2 nov. 2025.
- GALLO, D. et al. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002.
- GARCIA, A. G.; DINIZ, A. J. F.; PARRA, J. R. P. A fuzzy-based index to identify suitable areas for host-parasitoid interactions: case study of the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* and its natural enemy *Tamarixia radiata*. **Biological Control**, v. 135, p. 135–140, 2019.
- GARCIA, A. G.; WAJNBERG, E.; PARRA, J. R. P. Optimizing the releasing strategy used for the biological control of the sugarcane borer *Diatraea saccharalis* (Fabricius) by *Trichogramma galloi* (Zucchi) with computer modelling and simulation. **Scientific Reports**, v. 14, n. 3, p. 1724, 2024.
- GODFRAY, H. C. J. **Parasitoids: behavioral and evolutionary ecology**. Princeton: Princeton University Press, 1994.
- GREATHEAD, D. T.; GREATHEAD, A. H. Biological control of insect pests by insect parasitoids and predators: the BIOCOT database. **BioControl News and Information**, v. 13, n. 4, p. 61–68, 1992.
- GUAGLIUMI, P. **Pragas da Cana-de-Açúcar no Brasil**. Recife: IAA, 1972.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agropecuária: cana-de-açúcar**. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/br>.

Acesso em: 4 nov. 2025

- GUIMARÃES, E. R. **Cigarrinha-das-raízes em cana-de-açúcar: resistência genotípica e interação planta-praga**. 2007. 53 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) — Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/105265> . Acesso em: 29 nov. 2025.
- IZEPPI, T. S. **Distribuição espacial e dinâmica populacional de *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae) em cana-de-açúcar**. 2015.
- IZEPPI, T. S.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; BARBOSA, J. C. Flutuação populacional de *Sphenophorus levis* em cana-de-açúcar. In: VIII Workshop Agroenergia Matérias Primas; IAC: Ribeirão Preto, Brasil. 2014.
- KOGAN, M. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. **Annual Review of Entomology**, v. 43, p. 243-270, 1998.
- LANDELL, M. G. A. et al. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas**. Campinas: IAC, 2012.
- LISI, F.; et al. (2024). Compatibility of Bioinsecticides with Parasitoids for Insect Pest Management. **Insects**, v. 15, n. 7, 467, 2024.
- MADALENO, L. L. **Cigarrinha-das-raízes na cana-de-açúcar e qualidade do açúcar produzido**. 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/319270f8-5761-445c-9a14-b1e21f54535c> . Acesso em: 2 nov. 2025.
- MARQUES, E. J.; VILLAS BOAS, A. M. Avaliação de danos de *Mahanarva posticata* (Stal, 1855) (Hom., Cercopidae) em cana-de-açúcar. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 99–104, 1978.
- MATIOLI, T. F. **Seletividade de inseticidas ao parasitoide *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae): implicações no manejo de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera)**. 2018. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. DOI: 10.11606/D.11.2018.tde-17072018-135004. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.2018.tde-17072018-135004>. Acesso em: 28 nov. 2025

- MEDEIROS, J. K. Cana-de-açúcar no Brasil. **Revista de Educação a Distância do IFSC**, v. 1, n. 5, p. 40-54, 2024.
- MOINO JÚNIOR, A.; ALVES, S. B.; LOPES, R. B. Infecção de *Metarhizium anisopliae* em ninfas e adultos de *Mahanarva fimbriolata* (Hemiptera: Cercopidae) em cana-de-açúcar. **Anais do Instituto de Biologia**, v. 65, n. 1, p. 75–83, 1998.
- MOLTER, A.; GARCIA, A. G.; WAJNBERG, E.; PARRA, J. R. P. Dynamics and biological control of the sugarcane borer (*Diatraea saccharalis*) with two parasitoids (*Trichogramma galloi* and *Cotesia flavipes*). **Ecological Modelling**, v. 483, p. 110383, 2023.
- MUNHOS, L.; NEVES, M. F.; CARVALHO, C. A. **Mapeamento da experiência do produtor de cana**. Ribeirão Preto: Canaoeste / Copercana, 2021. Disponível em: https://copercana.com.br/uploads/indications/20220822/1661195504_44a0ae74080d3121e8d2.pdf. Acesso em: 4 nov. 2025.
- MUTAMISWA, R.; CHIDAWANYIKA, F.; NYAMUKOND IWA, C. Thermal resilience may shape population abundance of two sympatric congeneric *Cotesia* species (Hymenoptera: Braconidae). **PLoS ONE**, v. 13, n. 2, e0191840, 2018.
- NEGRISOLI JÚNIOR, A. S. et al. **Manejo da broca-gigante da cana-de-açúcar (Telchin licus) no Nordeste do Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 50 p. (Documentos, 198).
- NEVES, M. F. **Novos caminhos da cana**. Barretos: Canaoeste, 2019a. Disponível em: <https://doutoragro.com/download/novos-caminhos-da-cana-marcos-fava-neves/?wpdmdl=2085&masterkey=5d08c724624a9>. Acesso em: 4 nov. 2025.
- NEVES, M. F.; CASTRO, L. T. **Contrato de cana-de-açúcar**. São Paulo: Atlas, 2014. Disponível em: <https://doutoragro.com/download/contrato-de-cana-de-acucar-editora-atlas-2014/>. Acesso em: 4 nov. 2025.
- NEVES, M. F.; CONEJERO, M. A. **Estratégias para a cana no Brasil: um negócio classe mundial**. São Paulo: Atlas, 2010. Disponível em: <https://doutoragro.com/download/estrategias-para-a-cana-no-brasil-fava-neves-conejero-editora-atlas-2010/?wpdmdl=1183&masterkey=5caf82dc84167>. Acesso em: 4 nov. 2025.

- NEVES, M. F.; et al. **A cana em 2030**. Brasília: CNI, 2017. Disponível em: <https://doutoragro.com/download/a-cana-em-2030-marcos-fava-neves-et-al-cni-2017/?wpdmdl=1143&masterkey=5caf4cf7cd44e>. Acesso em: 4 nov. 2025.
- NEVES, M. F.; KALAKI, R. B. **Bioenergy from sugarcane**. Amsterdam: Elsevier, 2021. Disponível em: <https://unica.com.br/wp-content/uploads/2021/03/Bioenergy-from-Sugar-Cane-by-Fava-Neves-Kalaki-2021.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2025
- NEVES, M. F.; MARQUES, V. N. **Em 2020 tem início a nova década na relação entre usinas e produtores integrados de cana**. São Paulo: Markestrat, 2019b.
- NORDLUND, D. A. Semiochemicals: A review of terminology. In: NORDLUND, D. A.; JONES, R. A.; LEWIS, W. J. (Eds.). **Semiochemicals, their role in pest control**. Hoboken: John Wiley & Sons, 1981, p. 13-28.
- NOVARETTI, W. R. T. Controle de cupins em cana-de-açúcar através do emprego de inseticidas de solo. **Boletim Técnico Copersucar**, n. 38, p. 40-44, 1985.
- NUNES, G S. et al. O estágio de vida e a densidade populacional de *Plutella xylostella* afetam o comportamento de predação de *Euborellia annulipes*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 6, p. 544–552, 2019.
- NUNES, G. S. et al. Predação de larvas e pupas da traça-das-crucíferas por *Euborellia annulipes*. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, p. 1–8, 2018.
- OLIVEIRA, R. C.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; GARCIA, R. A. **Eficiência de nematoides entomopatogênicos no controle de *Sphenophorus levis* em cana-de-açúcar**. UNESP, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/0f9fcbf4-e67f-4503-a363-13779af6e24e>. Acesso em: 2 nov. 2025.
- PALADINI A, Carvalho G.S, CABRAL-DE-MELLO D.C, MARIGUELA T.C, DOMAHOVSKI AC, BARÃO K.R. Shades of red: several lines of evidence reveal a pest of sugarcane as new species of *Mahanarva* (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cercopidae). **Bulletin of Entomological Research**, 2025 Oct 6:1-17.

- PANNUTI, L. E. R.; BALDIN, E. L. L.; GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; CRUZ, J. C. S. Danos do complexo broca-podridão à produtividade e à qualidade da cana-de-açúcar fertirrigada com doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 4, p. 381-387, 2013.
- PANNUTI, L. E. R.; BALDIN, E. L. L.; GAVA, G. J. C.; SILVA, J. P. G. F.; SOUZA, E. S.; KÖLLN, O. T. Interaction between N-fertilizer and water availability on borer-rot complex in sugarcane. **Bragantia**, v. 74, n. 1, p. 75-83, 2015.
- PARRA, J. R. P. Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of Insect Science**, v. 19, n. 2, p. 1–5, 2019.
- PARRA, J. R. P. Biological control in Brazil: an overview. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 420–429, 2014.
- PARRA, J. R. P. Controle biológico aplicado no Brasil: avanços e perspectivas. **Entomologia Aplicada e Experimental**, v. 57, p. 115–130, 2018.
- PARRA, J. R. P. **Controle biológico com parasitoides e predadores na agricultura brasileira**. Piracicaba: FEALQ, 2021. 600 p.
- PARRA, J. R. P.; COELHO, A., Jr. Insect rearing techniques for biological control programs, a component of sustainable agriculture in Brazil. **Insects**, v. 13, n. 1, 2022.
- PARRA, J. R. P. *et al.* *Trichogramma* as a tool for IPM in Brazil. In: VINSON, B.; GREENBERG, S. M.; LIU, T.; RAO, A.; VOLOSCIUK, L. F. (Eds.). **Augmentative biological control using *Trichogramma* spp.: current status and perspectives**. Shaanxi: Northwest A&F University Press, 2015. p. 472–496.
- PARRA, J. R. P. **Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico**. 6. ed. Piracicaba: FEALQ, 2001. 137 p.
- PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. Controle biológico: terminologia. In: PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. (Eds.). **Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores**. São Paulo: Manole, 2002. p. 1–16.
- PARRA, J. R. P.; COSTA, V. A.; PINTO, A. S. Insetos parasitoides. **Ciência e Ambiente**, n. 77, p. 19–36, 2011.
- PEÑAFLORES, M. F. G. V.; BENTO, J. M. S. Red-rot infection in sugarcane attenuates the attractiveness of sugarcane borer-induced plant volatiles to parasitoid. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 13, p. 117-125, 2019.

- PICANÇO, M. C. **Apostila de entomologia econômica: Manejo Integrado de Pragas.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2010.
- PINTO, A. de S.; SILVA, S. D. dos A. **Controle biológico da broca-da-cana-de-açúcar.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado – Documentos (Infoteca-E), 2009.
- PINTO, A. de S.; TRUJILLO, S. E. L. Sugarcane. In: SOUZA, B.; VÁZQUEZ, L.; MARUCCI, R. (eds.). **Natural enemies of insect pests in neotropical agroecosystems.** Cham: Springer, 2019. p. 413–425.
- PINTO, Neyton Lopes. **Aprimoramento da liberação de *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) para o controle de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) em cana-de-açúcar.** 2024. 34 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos) – Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/5054>. Acesso em: 7 nov. 2025.
- PRECETTI, A. A. C. M.; BOTELHO, P. S. M.; PARRA, J. R. P.; MACEDO, N. Desenvolvimento e utilização de *Cotesia flavipes* (Cameron) no controle biológico da broca-da-cana-de-açúcar *Diatraea saccharalis* (Fabricius). **Boletim Técnico Copersucar**, v. 47, p. 3-8, 1989.
- PRUDENCIO, M. F. et al. Atualizações no manejo integrado das principais pragas da cana-de-açúcar no Brasil: uma revisão. **Aracê**, v. 7, n. 7, p. 35354–35374, 2025.
- REIS FILHO, W.; NICKELE, M. A.; PENTEADO, S. do R. C.; QUEIROZ, E. C. de. Manejo de formigas cortadeiras. **Boletim Didático**, [S. l.], n. 177, p. 35, 2024.
- RÔDAS, P. L.; OLIVEIRA, H. N. de; GLAESER, D. F. Liberação do parasitoide *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) em *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) na cana-de-açúcar. **Interciência**, v. 44, n. 5, p. 287-290, 2019.
- RODRIGUES, A.D.; PINTO, A.S.; SEGATO, S.V. Controle químico e biológico da broca-peluda, *Hyponeuma* sp. (Lepidoptera: Noctuidae), na cana-de-açúcar. **Nucleus**, v.9, n.1, p.283-290, 2012.
- ROMA, G. C.; CAMARGO-MATHIAS, M. I.; ARRIGONI, M. de M.; MARIN-MORALES, M. A. Little cicada of sugarcane *Mahanarva posticata*

- (Homoptera: Cercopidae), a Brazilian agricultural pest: morpho-histological study of salivary glands. **Cytologia**, v. 68, n. 2, p. 101–114, 2003.
- ROSA, J. O. **Infestação de *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae) em relação aos pontos de transferência de cana-de-açúcar**. 2021. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2021. Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/handle/11449/216978>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- ROSSI, M. M. et al. Efeitos do parasitismo de *Cotesia flavipes* sobre *Diatraea saccharalis*. **Neotropical Entomology**, v. 43, n. 5, p. 453–461, 2014.
- ROSSONI, C.; LOUREIRO, E. D. S.; PEREIRA, F. F.; KASSAB, S. O.; COSTA, D. P.; BARBOSA, R. H. Selectivity of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Clavicipitaceae) on adults of *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae). **Folia Biologica (Kraków)**, v. 62, n. 3, p. 269-275, 2014.
- SABADIN, A. C.; MARTINS, R. C. O oscilar das chamuscas nos canaviais: empresariado e poder público na agenda do Protocolo Agroambiental Paulista. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 62, p. 252-266, 2023.
- SALES JUNIOR, O. **Bioecologia de *Trichogramma galloi* Zucchi, 1988 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) no hospedeiro natural *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794)**. 1992. Dissertação (Mestrado em Entomologia) — Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, 1992. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000734851>. Acesso em: 10 nov. 2025.
- SANTOS, I. G. et al. Interações de *Cotesia flavipes* com patógenos entomófagos. **EntomoBrasilis**, v. 15, n. 3, p. 191–199, 2022.
- SANTOS, R. L. Histórico da implantação de biofábricas de *Cotesia flavipes* no Brasil. **Boletim Técnico Copersucar**, 67, 18–25, 2018.
- SELEGHIM, A. R. **Estratégias para o controle da broca-peluda, *Hyponeuma taltula* (Schaus, 1904) (Lepidoptera, Erebidae), em cana-de-açúcar**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Entomologia Agrícola) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Jaboticabal, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/202671>. Acesso em: 2 nov. 2025.

- SILVA, F. A.; ARAÚJO, M. C.; LIMA, E. S. Pragas associadas à cultura da cana-de-açúcar no Nordeste brasileiro. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 4, p. 1025-1036, 2021.
- SILVA, J. M. Avaliação de programas de controle biológico com *Cotesia flavipes*. **Revista de Entomologia Aplicada**, v. 15, p. 44–57, 2018.
- SILVA, L. R.; ALMEIDA, T. M.; OLIVEIRA, P. S. Atualizações no manejo integrado das principais pragas da cana-de-açúcar no Brasil: uma revisão dos últimos 10 anos. **Arquivos de Agronomia e Ciência Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 112-128, 2025.
- SILVA, S. Y. F.; DANTAS, J. S.; NOGUEIRA, V. F. B.; SOUTO, P. C. Desafios tecnológicos na agricultura: uso de drones agrícolas no controle biológico de insetos e pragas. **Revista Brasileira de Filosofia e História**, v. 14, n. 3, p. 1332–1343, 2025.
- SILVA, J. D. C.; FRANÇA, S. M. Sugarcane froghoppers in northeast Brazil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87, 1-4: e1192018, 2020.
- SIMÕES, R. A.; REIS, L. G.; BENTO, J. M. S.; SOLTER, L. F.; DELALIBERA JR., I. Biological and behavioral parameters of the parasitoid *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) are altered by the pathogen *Nosema* sp. (Microsporidia: Nosematidae). **Biological Control**, v. 63, n. 2, p. 164-171, 2012.
- SIQUEIRA, J. R.; BUENO, R. C. O. de F.; BUENO, A. de F.; VIEIRA, S. S. Preferência hospedeira do parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 1, p. 1-5, 2012.
- SMITH, R. F.; VAN DEN BOSCH, R. Integrated control. In: KILGORE, W. W.; DOUTT, R. L. (Eds.). **Pest control: biological, physical and selected chemical methods**. New York: Academic Press, 1967. p. 295–340.
- SNYDER, W. E. Give predators a complement: Diverse diets increase biocontrol performance. **Biological Control**, v. 136, p. 104–115, 2019.
- SOUZA, J. M. de et al. Preferência alimentar de *Euborellia annulipes* com ovos de *Diatraea saccharalis*. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024.
- STERN, V.M.; SMITH, R.F.; BOSCH, V.D.R.; HAGEN, K.S. The integrated control concept. **Hilgardia**, v. 29, n.1, p.81-101, 1959.
- STUPIELLO, J. P. O complexo broca-podridão vermelha. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 24, n. 2, p. 14, 2005.

- STUPIELLO, J. P. O cuidado com a broca da cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 16, n. 4, p. 13, 1998.
- TAGUTI, P. S. M. **Levantamento de parasitoides associados à cana-de-açúcar em sistemas de cultivo convencional e orgânico**. 2025. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2025. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/222b8a06-61ba-493b-8172-7702278f4e4c>. Acesso em: 10 nov. 2025.
- TAGUTI, P. S.; RAMALHO, D. G.; NASCIMENTO, V. F.; DOS SANTOS, L. C.; TAGUTI, E. A.; MIHSFELDT, L. H.; DE BORTOLI, S. A. Chemical and biological products used in sugarcane and their effect on *Trichogramma galloi*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 171, n. 10, p. 732-738, 2023.
- TINÔCO, T. J.; SILVA, P. L.; ROCHA, A. P. S. Manejo integrado de pragas e doenças em sistemas agrícolas. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 11, p. 22675–22697, 2023.
- TRIANA, M. F. **Ecologia química da broca-peluda da cana-de-açúcar, *Hyponeuma taltula* Schaus, 1904 (Lepidoptera: Erebidae)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Entomologia Agrícola) — Universidade Federal de Alagoas (UFAL), 2015. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/2721>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- TORRES, J. B.; SILVA-TORRES, C. S. A. O papel dos insetos predadores no controle de pragas. **Ciência e Ambiente**, n. 43, p. 55–72, 2011.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Brazil: sugar annual – 2024**. Brasília: USDA Foreign Agricultural Service (FAS), 2024.
- VALENTE, A. M. et al. Avaliação da qualidade de parasitoides *Trichogramma galloi* em biofábricas. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 60, n. 4, p. 245–253, 2016.
- VAN DEN BOSCH, R.; MESSENGER, P. S.; GUTIERREZ, A. P. **An Introduction to Biological Control**. Boston: Springer, 1982.
- VAN DRIESCHE, R. G.; BELLOWES, T. S. **Biological control**. Boca Raton: Chapman & Hall, 1996. 539 p.
- VAN LENTEREN, J. C. A greenhouse without pesticides: fact or fantasy? **Crop Protection**, v. 19, n. 6, p. 375–384, 2000.

- VAN LENTEREN, J. C. Early entomology and the discovery of insect parasitoids. **Biological Control**, v. 32, n. 1, p. 2–7, 2005.
- VAN LENTEREN, J. C. et al. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl**, v. 63, n. 1, p. 39–59, 2018.
- VAN LENTEREN, J. C. et al. Will the Convention on Biological Diversity put an end to biological control? **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, n. 1, p. 1–5, 2011.
- VAURIE, P. A revision of the Neotropical genus *Metamasius* (Coleoptera, Curculionidae). **Bulletin of the American Museum of Natural History**, v. 131, n. 3, p. 1–132, 1966.
- VILELA, E. F. Controle biológico de formigas cortadeiras por meio de insetos parasitas naturais. In: GONÇALVES, C. R.; ARRUDA, W.; NICKEL, D. (Eds.). **Formigas Cortadeiras: biologia, ecologia e controle**. Piracicaba: FEALQ, 1986. p. 197–215.
- VINHA, R. F. et al. Aspectos biológicos e de produção de *Cotesia flavipes* em laboratório. **Revista Agrária**, v. 8, p. 78–84, 2013.
- VOLPE, H. X. L. **Distribuição espacial do parasitismo de *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891) (Hymenoptera: Braconidae) em cana-de-açúcar**. 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Entomologia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/b9e593d9-cf25-4469-9791-34808c41d81f>. Acesso em: 10 nov. 2025.
- WAHA, K. et al. Multiple cropping systems of the world and the potential for increasing cropping intensity. **Global Environmental Change**, v. 64, p. 102131, 2020.
- ZHENG, Y. et al. High-resolution mapping of global sugarcane cultivation and harvested area using remote sensing. **Earth System Science Data**, v. 14, n. 5, p. 2065–2088, 2022.