

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

MARIANA BARUFALDI

Uso de entomopatógenos no controle biológico de pragas como alternativa aos inseticidas sintéticos

Lorena
2021

MARIANA BARUFALDI

Uso de entomopatógenos no controle biológico de pragas como alternativa aos inseticidas sintéticos

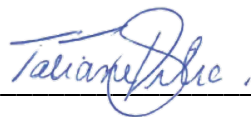
Versão Original

Monografia apresentada à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Engenheira Bioquímica.

Orientadora: Profa. Dra. Tatiane da Franca Silva

Lorena
2021

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A VERSÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DA ALUNA MARIANA BARUFALDI, ORIENTADA PELA PROF^a. DR^a TATIANE DA FRANCA SILVA.

A handwritten signature in blue ink, reading "Tatiane da Franca Silva", is positioned above a horizontal line.

ASSINATURA DA ORIENTADORA

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA
FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado da
Escola de Engenharia de Lorena, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Barufaldi, Mariana Uso de entomopatógenos no
controle biológico de pragas como alternativa aos
inseticidas sintéticos / Mariana Barufaldi;
orientadora Tatiane da Franca Silva. - Lorena, 2021.
38 p.

Monografia apresentada como requisito parcial para
a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia
Bioquímica - Escola de Engenharia de Lorena da
Universidade de São Paulo. 2021 1. Controle
biológico. 2. Entomopatógenos. 3.
Inseticidas. 4. Bioinseticidas. 5. Pragas. I. Título.
II. Silva, Tatiane da Franca , orient.

DEDICATÓRIA

À minha família por ser meu porto seguro: mãe, pai e irmão, por todo amor, compreensão e incansável apoio durante todos esses anos.

Aos meus avós, por todo carinho e preocupação com o meu bem-estar, sendo presença mesmo a 300km de distância.

À minha bisavó, por se orgulhar e contar os dias para me ver.

Ao Fernando, por todo amor, cuidado e companheirismo em terras desconhecidas.

AGRADECIMENTOS

À Escola de Engenharia de Lorena pela oportunidade de me graduar em Engenharia Bioquímica.

À cidade de Lorena por me acolher tão bem e ser meu segundo lar durante todos esses anos.

À orientadora, Tatiane da Franca Silva, por todo suporte e dedicação durante a escrita e revisão deste trabalho.

RESUMO

BARUFALDI, M. **Uso de entomopatógenos no controle biológico de pragas como alternativa aos inseticidas sintéticos.** 2021. Monografia (Graduação) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2021.

A agricultura convencional foi desenvolvida para produzir alimentos em larga escala e acompanhar a crescente demanda provocada pelo aumento populacional ao longo das décadas, para isso, foi necessário otimizar processos e reduzir as perdas agrícolas. Sendo os insetospraga os maiores competidores de recursos, há muito tempo recorre-se aos agrotóxicos químicos para controlar esses organismos e minimizar os danos causados no campo. No entanto, essas substâncias podem causar danos irreparáveis aos agricultores, ambiente e animais, contaminando solos e águas, deixando resíduos em produtos agrícolas que caminham por toda a cadeia alimentar decorrente da bioacumulação, além de promover o desequilíbrio ambiental favorecendo o surto de outras pragas ou seleção das mais resistentes. Como alternativa apresenta-se nesta revisão da literatura o uso de entomopatógenos como controle biológico, que utiliza microrganismos como bactérias, fungos e vírus no controle de pragas. Esses seres têm como finalidade infectar o inseto-alvo, prejudicando mecanismos biológicos vitais ou que impactam sua mobilidade e alimentação. Essa técnica acumula vantagens por ter alta especificidade, evitar a contaminação de águas, solos, alimentos e pessoas com resíduos sintéticos. A técnica mostra-se promissora como alternativa ao método convencional e conquista cada vez mais seu espaço no mercado nacional e internacional, com crescente interesse das multinacionais e expressivo investimento em pesquisas para desenvolvimento de novos produtos, que dependam cada vez menos de logísticas diferenciadas no armazenamento, transporte e aplicação. Com o mercado de produtos biológicos crescendo, prevê-se que em um futuro próximo o uso de biopesticidas será a regra, permitindo conciliar a segurança alimentar com a preservação ambiental.

Palavras-chaves: controle biológico, entomopatógenos, inseticidas.

ABSTRACT

BARUFALDI, M. Use of entomopathogens in biological pest control as an alternative to synthetic insecticides. 2021. Monograph (Graduate) - School of Engineering of Lorena, University of São Paulo, Lorena, 2021.

Conventional agriculture was developed to produce food on a large scale and keep up with the growing demand for food caused by the population increase, so it was necessary to optimize processes and reduce agricultural losses, such as those caused by pests. Being “pest-insects” the main competitors for resources, chemical pesticides have long been resorted to control these organisms and minimize damage caused to the field. However, these substances can cause irreparable harm to farmers, the environment and animals by contaminating soil and water, leaving residues in agricultural products that travel throughout the food chain, as a result of bioaccumulation, in addition to promoting environmental imbalance, favoring the outbreak of other pests or selection of the more resistant ones. As an alternative, this literature review presents the use of entomopathogens as biological control, which uses microorganisms such as bacteria, fungi and viruses for pest control. These beings are intended to infect the target insect, harming vital biological mechanisms or that impact its mobility and nutrition. This technique has advantages for having high specificity, avoiding contamination of water, soil, food and people with synthetic residues. The technique is promising as an alternative to the conventional method and is increasingly gaining space in the national and international markets, with growing interest from worldwide companies and significant investment in research for the development of new products, which depend less and less on differentiated logistics in storage, transport and application. With the market for biological products growing, it is expected that in the near future the use of biopesticides will be the rule, allowing to reconcile food safety with environmental preservation.

Keywords: biological control, entomopathogens, insecticides.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	11
3.1 PERDAS NO AMBIENTE AGRÍCOLA	12
3.2 USO DE INSETICIDAS QUÍMICOS	14
3.3 CONTROLE BIOLÓGICO: USO DE ENTOMOPATÓGENOS	20
4 CONCLUSÕES.....	29
5 REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional vivenciado nas últimas décadas gerou um aumento na demanda por recursos e alimentos, intensificando a importância de planejamento e investimento no setor agrícola, a fim de garantir segurança alimentar à população. Para isso foi necessário investir em tecnologias que aumentassem a produtividade do campo, otimizando processos e reduzindo perdas causadas pelo ataque de pragas.

São consideradas pragas, segundo Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa (2020a), as populações de plantas, animais ou fitopatógenos que aumentam em ambientes agrícolas em níveis economicamente inaceitáveis, que comprometem a produtividade de plantações, reduz a disponibilidade de certos alimentos e causa grandes prejuízos. Sendo os insetos-praga nossos maiores competidores de recursos agrícolas, os produtores precisam adotar alguma medida de controle desses organismos, a fim de preservar a integridade do cultivo, sua rentabilidade, investimentos e a própria renda de subsistência (EMBRAPA, 2020a).

O controle de organismos em determinado ambiente pode ocorrer por fatores abióticos, como temperatura, intensidade luminosa, chuva, e por fatores bióticos, como disponibilidade de alimentos ou presença de predadores. Mas, também podem ser influenciados pela ação do homem, quando o cultivo de uma ou poucas culturas é favorecido em ambientes agrícolas. O equilíbrio natural é fortemente perturbado, impactando todo um ecossistema, alterando a cadeia de organismos que vivem no local, causando uma pressão ambiental que pode favorecer o surto de pragas.

Atualmente o uso de agrotóxicos está bastante difundido no meio agrícola, sendo amplamente utilizado no controle de organismos indesejados que interferem nas atividades agrícolas e impactam negativamente a produção de alimentos. Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o termo agrotóxico abrange todos os agentes de controle físico, químico e biológico, que alteram a composição da fauna e flora a fim de protegê-los contra pragas no ambiente agrícola (Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA, 2019)).

Embora os pesticidas químicos tenham sido um advento importante na evolução e adaptação da agricultura para o meio de produção que conhecemos hoje, essas substâncias têm, reconhecidamente, promovido diversos danos irreparáveis ao meio ambiente e à saúde humana, como: a contaminação de solos, águas e fauna, intoxicação de agricultores, toxicidade a

organismos não alvo, redução da biodiversidade e desequilíbrio biológico, contaminação de alimentos, e seleção de insetos, patógenos e plantas invasoras resistentes a certos princípios ativos, gerando um ciclo prejudicial, pois induz o aumento da concentração ou intensidade do agrotóxico utilizado.

Entretanto, a preocupação da população com o impacto da agricultura no meio ambiente e com segurança alimentar está alterando o cenário agrícola, assim como as exigências e pressão regulatória na fabricação de novos produtos com menor impacto ambiental. Frente a isso, grandes indústrias tentam se adaptar para atender a demanda por produtos livres de resíduos, incluindo em suas rotinas agrárias práticas não prejudiciais ao ambiente e a saúde.

Nesse contexto, apresenta-se como alternativa o controle biológico, que consiste na utilização de organismos ou substâncias de ocorrência natural para controlar insetos-pragas e doenças nas plantações, sendo classificados em: macrorganismos, microrganismos, bioquímicos e semioquímicos. Essa técnica acumula vantagens por ser de alta especificidade, não deixar resíduos e ser inofensiva à saúde da população, animais e ambiente. O controle biológico é considerado promissor e conquista cada vez mais seu espaço, com crescente interesse das multinacionais e expressivo investimento em pesquisas para desenvolvimento de novos produtos, que dependam cada vez menos de logísticas diferenciadas no armazenamento, transporte e aplicação. Com o mercado de produtos biológicos crescendo, prevê-se que em um futuro próximo o uso de biopesticidas será a regra, permitindo conciliar a segurança alimentar com a preservação ambiental.

Desse modo, a presente revisão da literatura propõe o levantamento bibliográfico e a análise sobre o uso de entomopatógenos como vetores no controle biológico, com a finalidade de infectar insetos alvo e reduzir as perdas de produção causada pela praga, minimizando a resistência e contaminações geradas pelo inseticida químico, colaborando para a melhoria da qualidade dos produtos agrícolas, redução dos riscos à saúde humana e impacto ambiental.

2 OBJETIVOS

Por meio dessa revisão da literatura espera-se contribuir positivamente com a comunidade científica, apresentando o estado atual da arte sobre o uso de entomopatógenos no controle de insetos-praga como alternativa aos agrotóxicos convencionais.

São objetivos específicos desta monografia o levantamento de dados sobre:

- O impacto do crescimento populacional na agricultura;
- Perdas no ambiente agrícola causadas por insetos-praga;
- O impacto dos inseticidas convencionais no meio ambiente, no aumento da resistência de pragas, na saúde dos agricultores, da população e dos consumidores.
- O uso de microrganismos entomopatogênicos como método eficaz no controle biológico de insetos praga.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A população mundial experimenta um aumento significativo na expectativa de vida e taxa de natalidade – observada principalmente em países subdesenvolvidos que, segundo estimativa publicada pela Organização das Nações Unidas, ONU (2019a), corroboram para o aumento em 26% da população do planeta entre 2019 e 2050, totalizando 9,7 bilhões de pessoas. Com as contínuas projeções de crescimento populacional, intensifica-se a importância de debates e planejamentos que envolvam a qualidade de vida das pessoas, e garantam elementos básicos, como a disponibilidade de alimentos a todos.

Outro fator que intensifica a preocupação com a demanda de alimentos, é a forte expansão urbana para áreas cultiváveis, que pressiona cada vez mais a otimização da relação *produtividade x área cultivada*. Segundo projeções da ONU (2019b), a população urbana mundial aumentará em mais 2,5 bilhões até 2050, enquanto as projeções de demanda por alimento devem aumentar em 70% nesse mesmo período (*Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), 2017). Sendo a terra um fator intrínseco à agricultura, há muito tempo recorre-se à expansão da fronteira agrícola para aumentar a produtividade do campo (SAATH; FACHINELLO, 2018). No entanto, devido ao grande impacto ambiental, essa não deve ser a principal alternativa adotada.

Adicionalmente, a FAO (2013) ressalta que a disponibilidade de novas áreas agricultáveis está concentrada em poucos países da América Latina e África-Subsaariana, em

países como China e Estados Unidos da América já não possuem novas áreas para expansão da fronteira agrícola, dependendo exclusivamente do aumento de produtividade ou da substituição de um cultivo por outro para atender às novas demandas.

Por outro lado, o Brasil se destaca como grande produtor mundial de grãos e insumos, com potencial ampliação da oferta e da fronteira agrícola. Mas, devido à crescente preocupação com o impacto socioambiental da expansão dessas terras, várias restrições estão sendo implementadas para proteger florestas nativas, fauna, cursos d'água e minimizar as mudanças climáticas já vivenciadas (SAATH; FACHINELLO, 2018). Em confluência com estes dados, CEPEA (2019a) aponta a possibilidade de uma pressão de desmatamento no país, bem como impactos nos preços de outros produtos, decorrente do deslocamento da produção pela substituição do uso da terra. Nesse contexto, o aumento da produtividade do campo se mostra como a melhor alternativa para ampliação da oferta de alimentos.

3.1 PERDAS NO AMBIENTE AGRÍCOLA

Vários fatores influenciam o rendimento de uma safra, dentre eles podemos citar condições meteorológicas, disponibilidade de água, luz, nutrientes e presença de pragas (ABCBIO, 2019a). Para aumentar a produtividade das lavouras, os produtores investem em tecnologia e automação, uso de fertilizantes, irrigação, melhoramento genético de sementes, monitoramento remoto e uso de defensivos agrícolas. Esse último, em especial, é utilizado para reduzir as perdas causadas por pragas que podem acarretar prejuízos às plantações por fatores como redução de biomassa, decorrente da danificação de caules e folhas, alteração na produção de pigmentos foliares, murchamento das plantas, desenvolvimento de lesões que atrasam o desenvolvimento da planta (KARTHIKEYAN; CHAWLA; MISHRA, 2020).

O controle natural de organismos em determinado ambiente ocorre por fatores abióticos, como temperatura, intensidade luminosa, chuva, e por fatores bióticos, como disponibilidade de alimentos ou presença de predadores. No entanto, essas condições também podem ser influenciadas pela ação do homem, o que ocorre, por exemplo, em ambientes agrícolas quando o cultivo de uma ou poucas culturas é favorecido. Considera-se como pragas as populações de plantas, animais ou fitopatógenos que aumentam em ambientes agrícolas em níveis economicamente inaceitáveis, que comprometem a produtividade de plantações, reduzem a disponibilidade de certos alimentos e causam grandes prejuízos socioeconômicos (EMBRAPA, 2020b).

Para estimar com precisão as perdas e prejuízos causados por insetos-praga na agricultura, esbarra-se em certas dificuldades, como parametrizar as espécies cultivadas, a qualidade da tecnologia, tipo de controle, condições ambientais e automação utilizada nas lavouras. A maioria dos países não possuem um mecanismo de monitoramento que registre eventos de perdas agrícolas causadas por pragas (OLIVEIRA et al., 2014), por isso os dados sobre escala e causas desses eventos são dispersos, desatualizados e limitados (LOSS, 2020), causando uma grande carência de registros na literatura.

Para gerar informações confiáveis à comunidade fitossanitária global e promover melhores estratégias na redução de perdas, a iniciativa *Global Burden of Crop Loss* desenvolveu recentemente um programa de gerenciamento de dados, que visa coletar, validar e analisar dados sobre o impacto de pragas, doenças e estresses abióticos nas colheitas. Para isso será essencial uma rede de pesquisa e colaboradores que alimentem a base de dados; o desenvolvimento de métricas rigorosas; avaliação de métodos analíticos, que permitam a comunicação entre setores e regiões e promovam a adoção de políticas públicas; e a disseminação dos resultados (CABI, 2020a).

Mesmo com todas as dificuldades e escassez de dados, há mais de 50 anos, Cramer (1967) estimou que os insetos poderiam causar perda de 13,8% da colheita mundial todos os anos. Pimentel (1986) calculou perdas de 13,0%, e Oerke (2006) entre 7,9% e 15,1% para trigo, arroz, milho, batata, soja e algodão, mesmo com medidas de controle eficazes. Atualmente estima-se que as perdas globais para pragas e doenças estejam entre 20% e 40% da produção agrícola (LOSS, 2020) e sejam responsáveis pelo prejuízo de USD 1,4 trilhão, quase 5% do PIB mundial (CABI, 2020b).

Oliveira et al. (2014) estima que, mesmo com a aplicação de estratégias de controle de insetos-praga, as perdas anuais no Brasil para as oito principais safras – arroz, trigo, milho, cevada, batata, soja, algodão e beterraba – são de 7,7% e refletem no prejuízo de USD 14,7 bilhões com redução de aproximadamente 25 milhões de toneladas de alimentos, fibras e biocombustíveis.

Em 2019, o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Esalq/ USP, CEPEA (2019b), em parceria com a Andef (Associação Nacional de Defesa Vegetal), realizou uma série de estudos, divididos em três relatórios, que comprovam o impacto econômico do não controle de pragas no campo. Foram monitoradas as safras de 2014/15, 2015/16 e 2016/17 das principais regiões produtoras e as incidências das principais pragas e doenças da soja, milho e algodão. O estudo foi conduzido com base em dados de perdas potenciais, obtidos de ensaios

experimentais que estatisticamente correlacionaram o efeito de medidas de controle na redução da praga.

Para a soja, o referido estudo expõe que a ausência de medidas de combate ao fungo causador da ferrugem causaria uma queda em 30% no volume exportado, com prejuízo de R\$ 11,7 bilhões e aumento em 22,9% no preço da soja, decorrente da baixa oferta, impactando diretamente toda sua cadeia produtiva – biodiesel, óleos, proteína isolada, farinha, granulados e ingrediente de ração animal. Com o milho, se as lagartas do gênero *Spodoptera* não fossem controladas, o prejuízo seria de R\$ 20,5 bilhões, reduzindo as exportações em 32% e elevando seu preço em 13,6%, que consequentemente aumentaria o preço de rações, farelo, farinha, fubá, óleo de milho bruto e refinado e indústrias de bebidas. Já com o algodão, o besouro bicudo-doalgodoeiro (*Anthonomus grandis*) poderia causar um prejuízo de R\$ 1,48 bilhão, com perda de 30% da produção e queda de 26,2% nas exportações.

Desta forma, a adoção de medidas de controle eficazes, mapeamento de pragas e de insumos adequados para melhorar a produtividade, proporcionam a otimização das terras agricultáveis e benefícios socioeconômicos, pela distribuição de alimentos a preços justos.

3.2 USO DE INSETICIDAS QUÍMICOS

Sendo os insetos-praga nossos maiores competidores de recursos agrícolas, os produtores precisam adotar alguma medida de controle quando se deparam com esses organismos, a fim de preservar a integridade do cultivo, sua rentabilidade, investimentos e a própria renda de subsistência. Dentre várias opções, os métodos de controle mais utilizados são uso de agrotóxicos convencionais ou pesticidas químicos, e alternativas biológicas como manejo integrado de pragas e controle biológico (OLIVEIRA et al., 2014). Segundo PARA (2019), são considerados agrotóxicos todos os agentes de controle físico, químico ou biológico, destinados ao setor agrícola, ecossistemas urbanos, hídricos e industriais, que alteram a composição da flora ou fauna, a fim de protegê-los de pragas.

Atualmente o uso de agrotóxicos está bastante difundido no meio agrícola, sendo amplamente utilizado no controle de organismos indesejados que interferem nas atividades agrícolas e impactam negativamente a produção de alimentos. Eles podem ser desenvolvidos e classificados de acordo com a praga alvo, como por exemplo inseticidas – contra insetos; larvicidas – contra larvas; formicidas – contra formigas; acaricidas – contra ácaros de plantas; nematocidas – contra nematoides parasitas de plantas; fungicidas – contra fungos; e herbicidas – contra ervas daninhas e outros vegetais indesejáveis (ALMEIDA et al., 1985).

A formulação de um defensivo agrícola e seus componentes, sejam eles químicos ou biológicos, precisam ser registrados para a sua produção, uso e comercialização no Brasil. Os registros devem atender às normas estabelecidas pelos órgãos federais, sendo eles: Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Cada um desses órgãos realiza a avaliação da matéria de sua competência e de modo independente. O IBAMA avalia o potencial do produto em causar algum impacto negativo ao meio ambiente; o MAPA, a eficiência e o potencial de uso na agricultura; e a ANVISA o quão tóxico é o produto para a população e em quais condições o seu uso é seguro (CROPLIFE, 2020).

Os agrotóxicos químicos comercializados hoje em dia, são formulações complexas compostas pelo ingrediente ativo e aditivos químicos, conhecidos por compostos inertes, que normalmente correspondem a 90-95% do volume e englobam as classes de coformulantes, aditivos, estabilizantes e surfactantes. Esses aditivos apesar de promoverem ganho de eficácia, solubilidade e estabilidade, podem ser mais tóxicos ao ambiente que o próprio ingrediente ativo. A problemática em torno do assunto é que os coformulantes não são regulamentados da mesma maneira que o ingrediente ativo e alguns, por serem isentos da exigência do teste de toxicidade devido à sua característica “inerte”, tem suas propriedades tóxicas e efeitos despercebidos (HORAK; HORN; PIETERS, 2021).

Embora os pesticidas químicos tenham sido um advento importante na evolução e adaptação da agricultura para o modelo de produção que conhecemos hoje, sabe-se que seu uso pode gerar altos custos ecológicos, relacionados fauna, flora e riscos à saúde humana, como: a contaminação de solos, águas e animais; intoxicação de agricultores, toxicidade a organismos não alvo, redução da biodiversidade e desequilíbrio biológico; contaminação de alimentos; e seleção de insetos, patógenos e plantas invasoras resistentes a princípios ativos (MORANDI; BETTIOL, 2009), gerando um ciclo prejudicial, que induz ao aumento da concentração ou intensidade do agrotóxico utilizado.

Desde a década de 1980, centenas de milhares de inseticidas químicos foram formulados e atualmente 479 ingredientes ativos são utilizados em produtos na União Europeia. Mundialmente observa-se o aumento das áreas tratadas com pesticidas sintéticos: um crescimento de 80% no uso global (em toneladas de ingredientes ativos) nos últimos 30 anos revela a dependência por estas substâncias na produção agrícola (PELOSI et al., 2021). No Brasil, as porcentagens também são expressivas, revelando um aumento de 700% no consumo de agroquímicos frente ao crescimento em 78% das áreas agrícolas no mesmo período

(EMBRAPA, 2021). Esse contraste é preocupante e pode ser uma evidência da aplicação de agrotóxicos além dos limites recomendados e descumprimento dos prazos de carência da colheita.

Dentre as principais classes de inseticidas químicos estão os organoclorados, organofosforados, carbamatos e neonicotinóides (RANGEL, 2008). Os inseticidas pertencentes ao grupo dos compostos organoclorados, têm sido proibidos em vários países, por causa de sua alta persistência em solos, alimentos e seres vivos; além de serem eles cancerígenos para alguns mamíferos, causando tumores malignos no fígado de camundongos e ratos. Já os inseticidas organofosforados e carbamatos, por inibirem a enzima acetilcolinesterase (responsável por regular o sistema nervoso em insetos e mamíferos), são altamente tóxicos para o homem, podem lesionar nervos longos e evoluir para paralisias por ação neurotóxica (ALMEIDA et al., 1985).

Nos últimos anos os organofosforados e carbamatos perderam espaço para os inseticidas neonicotinóides ou neônicos, mais comumente usados em milho e soja; no entanto essa substância está relacionada a distúrbios e colapso das colônias de abelhas. O mecanismo envolvido na neurotoxicidade de neônicos é a ligação quase irreversível aos receptores da acetilcolina em insetos (HAY-ROE et al., 2014), podendo levar a um efeito cumulativo nessas populações.

Estudos recentes indicam que os neônicos têm alta meia-vida biológica no ambiente e podem ser onipresentes, aumentando a probabilidade de exposição humana e consequentemente levando a déficits neurocomportamentais. Também estão associados a lesões no fígado, rim, tireóide, testículo e sistema imunológico em mamíferos; é potencialmente carcinogênica em humanos, com tumores na tireóide, útero e ovários em ratos e camundongos (ZHANG et al., 2018).

A exposição aos agrotóxicos químicos pode desencadear várias doenças, dependendo do produto utilizado, tempo de exposição e quantidade da substância absorvida pelo organismo. Os mais prejudicados são os agricultores e trabalhadores das indústrias de agrotóxicos, que estão em contato direto com o agroquímico durante a manipulação e aplicação (Instituto Nacional Do Câncer (INCA, 2019)). Apesar disso, muitas vezes os agricultores não utilizam equipamentos de proteção individual recomendados, sendo expostos a substâncias perigosas (OLIVEIRA et al., 2014). Estudos comprovam danos nos mecanismos de defesa celular de agricultores expostos aos agrotóxicos químicos; maiores danos ao DNA, quando comparado ao grupo controle; transtornos mentais; distúrbios respiratórios; gastrite; depressão; ansiedade; e distúrbios hormonais. As alterações celulares, decorrente do contato com essas substâncias, pode estar associada a alguns tipos de câncer, no cérebro, pele, mama, sistema linfático,

urinário, digestivo e respiratório (LOPES; ALBUQUERQUE, 2018). Também são evidenciadas maiores tendências de internações e óbitos fetais (RIGOTTO et al., 2013) e perda auditiva decorrente da exposição dos trabalhadores rurais aos pesticidas químicos (KÓS et al., 2013). No entanto, toda a população está suscetível a contaminação por agrotóxicos químicos, por meio do consumo de alimentos e água contaminados (INCA, 2019).

Sabe-se que agroquímicos requerem cuidados na aplicação, mas apesar das precauções em limitar as perdas de pesticidas e esforços para reduzir a mobilidade dessas substâncias no ambiente, é comum que parte se perca por deriva de pulverização, volatilização, infiltração e escoamento (PELOSI et al., 2021), que podem causar efeitos danosos sobre a vida selvagem, solos, águas e ar. A falta de informação pode acarretar a negligência na aplicação – influenciada pela crença na falsa relação: quanto mais pesticida maior a proteção. Resíduos de pesticidas encontrados em ambientes e produtos agrícolas, comprovam esse apontamento e demonstram que os produtores nem sempre respeitam as orientações técnicas. Assim, ao mesmo tempo que esses produtores colocam em risco sua saúde e a de quem consome os alimentos, podem contaminar águas, solos e animais (OLIVEIRA et al., 2014).

No caso de contaminação do ambiente aquático, por precisarem de grande suprimento de água, é comum que a atividade agrícola seja desenvolvida próxima a rios e lagos, e que os agrotóxicos sejam transportados a ambientes aquáticos e reservatórios, devido às chuvas e infiltração. Por isso, a contaminação das águas carrega uma pressão adicional ao uso de agrotóxicos, pois além de prejudicar populações e impactar espécies selvagens que ali vivem, colocam em risco um recurso essencial e já limitado (RANGEL, 2008). Estudos comprovam o bloqueio de receptores de andrógeno em espécies selvagens de peixes contaminados, que promovem a feminilização da população; ovos inférteis de crocodilos; e lesões testiculares em mamíferos roedores (HORAK; HORN; PIETERS, 2021).

Por outro lado, em solos aráveis tratados com agrotóxicos a alta ocorrência de misturas de pesticidas é prejudicial para os seres que estão em contato próximo com essa terra. Pelosi et al. (2021) aponta dados recentes onde as concentrações de resíduos químicos excederam as referências toxicológicas para minhocas e outros invertebrados de solo em 35% nos campos agrícolas analisados (HORAK; HORN; PIETERS, 2021).

No cenário agrícola, os relatos de pragas resistentes aos mais diversos produtos químicos de controle são frequentes e a cada ano aumentam com maior velocidade (OLIVEIRA et al., 2014). Em cultivos de milho, há relatos de aumento no uso e intensidade de inseticidas no controle da lagarta *Spodoptera frugiperda* (Figura 1) em colheitas de milho para combater populações resistentes. Na soja, o uso excessivo de pesticidas é responsável pelo aumento de

populações resistentes de lagartas dos gêneros *Spodoptera* e *Chrysodeixis* (Figura 2). No centro-sul do Brasil observa-se o crescimento e importância de pragas de solo (*Coleoptera: Melolonthidae*) nas lavouras de grãos (Figura 3) (HORAK; HORN; PIETERS, 2021).

Figura 1 - Lagarta *Spodoptera frugiperda* em plantação de milho



Fonte: Tavares, M. (2019)

Figura 2 - Lagarta *Chrysodeixis includens*



Fonte: Portal agropecuário (2020)

Figura 3 – Besouro *Phyllophaga triticophaga* (*Coleoptera: Melolonthidae*)



Fonte: Agência de Informação Embrapa (2020)

Apesar das implicações e efeitos em não-alvo geralmente serem estudados em mamíferos, insetos e peixes, estudos recentes apontam interferências agroquímicas na estrutura e funcionamento de comunidades microbianas naturais. Ainda que as comunidades microbianas

em tecidos vegetais acima do solo geralmente demonstram alta resistência a insumos químicos, as comunidades presentes nos arredores das raízes respondem de maneira distinta, reduzindo significativamente a codificação de enzimas responsáveis pela fixação e ciclagem de nitrogênio, impactando os ciclos geoquímicos (WANG; CERNAVA, 2020).

Decorrente dessas contaminações, estamos potencialmente em contato com algum tipo de molécula agroquímica, seja pela alimentação, ar ou água, e como o ser humano está no topo da cadeia alimentar têm chances aumentadas de acumular pesticidas residuais por bioacumulação. As informações sobre a toxicidade dos inseticidas químicos e seus efeitos no organismo humano são obtidas através de experimentos com animais ou observações de adversidades na saúde humana, relacionando aos seus hábitos (ABRALE, 2019). Apesar das subnotificações, no período de 2000 a 2009 foram registrados quase 10 mil casos de intoxicação por agrotóxicos na região Nordeste do Brasil, que resultaram em aproximadamente 2.052 óbitos (SANTANA; MOURA; NOGUEIRA, 2013).

Em países em desenvolvimento, os produtores de *commodities* agrícolas usam pesticidas em grande extensão de seus territórios, causando grande impacto nas populações que consomem a água e os alimentos contaminados. Um estudo liderado na Nigéria revelou que 8 das principais marcas de alimentos à base de milho estavam contaminadas com resíduos de organoclorados acima dos limites máximos recomendados pela Comissão Europeia, FAO e OMS (Organização Mundial da Saúde), com amostras variando de 4,2% a 100% acima dos dois limites (SOSAN et al., 2020).

No Brasil, a ANVISA em parceria com alguns órgãos estaduais e municipais, atua no Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA) avaliando e quantificando os níveis de resíduos de agrotóxicos presentes nos alimentos de origem vegetal. Esses dados são importantes para monitorar e avaliar a aplicação do produto, a conformidade com as recomendações e instruções dos rótulos aprovados pelos órgãos responsáveis (JARDIM; CALDAS, 2012). Dados do PARA revelam que 48,3% das 13.556 amostras analisadas entre 2001 e 2010 foram positivas para pelo menos um resíduo de pesticida, sendo que 13,2% das amostras continham ingrediente ativo não autorizado, e 2,7% apresentaram resíduos acima do limite máximo permitido na legislação brasileira. Em 2011, as amostras insatisfatórias, com resíduos acima do limite recomendado, ingredientes ativos proibidos ou não aprovados, foram 36%; em 2012 somaram 29%; e durante o período 2017-2020 próximas dos 23% (JARDIM; CALDAS, 2012) (BRASÍLIA, 2013) (PARA, 2019). No mesmo ano, mais de 70% das amostras de frutas e vegetais importados da América do Sul para a Europa apresentaram resíduos agroquímicos, sendo que 8,4% estavam acima do limite máximo recomendado, 33% eram

provenientes do Brasil, e quase metade das amostras positivas apresentaram resíduos múltiplos (JARDIM; CALDAS, 2012).

Recentemente, o IDEC (Instituto Brasileiro de Defesa ao Consumidor) realizou um estudo com 27 alimentos ultraprocessados consumidos pelos brasileiros, em especial, produtos com maiores teores de açúcar, trigo, milho e soja na formulação, com apelo à saúde e ao público infantil. Mesmo após várias etapas de processamento industrial e longos períodos de estocagem, os agrotóxicos continuam presentes nos produtos industrializados. Foram identificados resíduos de 13 tipos de agrotóxicos, sendo que um biscoito água e sal, por exemplo, continha resíduos de até sete agrotóxicos (IDEC, 2021). Estes dados são preocupantes, pois além da exposição às moléculas, os consumidores não têm conhecimento dessa contaminação e não podem cobrar um posicionamento dos fabricantes, já que, atualmente não há legislação que estabeleça limites para resíduos agroquímicos presentes em itens ultraprocessados, somente para alimentos *in natura*. Vários problemas atualmente observados são reflexo de falta de uma legislação eficiente, descumprimentos de normas, prazos de colheita, doses e ingredientes inadequados. Além intensificar o monitoramento e fiscalização dessas práticas, é necessário difundir a utilização de métodos agrários efetivos e menos nocivos (IDEC, 2021).

Conforme a conscientização da sociedade com relação à forma de produção e qualidade dos alimentos aumenta, práticas sustentáveis são impulsionadas, a fim de reduzir resíduos, contaminações e pragas resistentes. Também se observa maior quantidade de estudos sobre controle biológico, disponibilidade de tecnologia e maior acesso à informação e formulações biológicas. Nesse contexto, o controle biológico se apresenta como uma alternativa viável e livre de resíduos tóxicos sintéticos, que consiste na utilização de organismos ou substâncias naturais para evitar, reduzir ou erradicar pragas ou doenças em plantações (ABCBIO, 2019c).

3.3 CONTROLE BIOLÓGICO: USO DE ENTOMOPATÓGENOS

A técnica de controle biológico abrange produtos orgânicos de várias naturezas que podem ser: bioquímicos e semioquímicos, macrorganismos e microrganismos. Podemos citar como bioquímicos, as enzimas e os hormônios; como semioquímicos os feromônios; macrorganismos, os seres vivos inimigos naturais da praga-alvo, como insetos, ácaros e nematóides; e microbiológicos, seres como fungos, vírus e bactérias (CROPLIFE, 2021), sendo que esse último grupo será abordado com maior profundidade neste trabalho.

Dentre essas possibilidades, o controle biológico a partir do uso de entomopatógenos, microrganismos como bactérias, fungos e vírus capazes de infectar insetos deixando-os doentes

e posteriormente levando-os a morte, é uma técnica sadia e racional, inofensiva à saúde da população, animais e ambiente (ABCBIO, 2019b). Uma vez que para selecionar um microrganismo viável para formulações de bioinseticida, é importante que além de alta eficácia, ele apresente baixa virulência contra organismos não-alvo (HERNÁNDEZ; MARTÍNEZ; PADILLA, 2019).

Durante o desenvolvimento de novas formulações biológicas, a biotecnologia é essencial na prospecção de agentes biológicos, no estudo do mecanismo de ação dos entomopatógenos, da estabilidade das fórmulas e da qualidade do agente biológico na aplicação, transporte e estocagem. Algumas tecnologias utilizadas na formulação desses produtos são essenciais para seu sucesso no campo e sobrevivência do agente biológico por maiores períodos de tempo após aplicação, como a adição de protetores contra raios ultravioletas e a estabilização do organismo por liofilização (PODEROSO, 2014).

Embora esse processo de desenvolvimento demande tempo, através de análises moleculares é possível identificar genes específicos em entomopatógenos, capazes de interferir negativamente no metabolismo de insetos, e selecionar com maior precisão e rapidez agentes biológicos promissores em bioinseticidas. Em escala comercial é comum encontrar produtos biológicos à base das bactérias *Bacillus thuringiensis*, *Lysinibacillus sphaericus*, *Paenibacillus spp.* e *Serratia entomophila*, pois acumulam as vantagens dos inseticidas biológicos e químicos: altamente específicos e de rápida ação, com longa vida útil, fácil de formular, aplicar e produzir (HERNÁNDEZ; MARTÍNEZ; PADILLA, 2019). O agente biológico mais conhecido e utilizado no meio agrícola é o *Bacillus thuringiensis*, aplicado em culturas de café para controlar *Hypothenemus hampei* e em culturas de repolho e tabaco para controle de espécies de *Lepidoptera* (HERNÁNDEZ; MARTÍNEZ; PADILLA, 2019).

Em condições de estresse, a bactéria *Bacillus thuringiensis* sintetiza um agregado de grandes proteínas, da ordem de aproximadamente 140 kDa, conhecidas por cristais *Cry*, que são insolúveis e inativas em condições de pH ácido a levemente alcalino. No entanto, quando insetos suscetíveis se alimentaram de folhas contaminadas e os cristais *Cry* encontram condições básicas, com pH > 9,5 no intestino dos insetos, são solubilizadas e degradadas por proteases em toxinas menores e ativas (GALITSKY, 2001), que se ligam à receptores intestinais e geram poros no tecido, contribuindo para o desequilíbrio osmótico e lise celular, causando a morte do organismo (SIQUEIRA, 2008).

Com a identificação do método de ação de entomopatógenos e os genes codificadores de toxinas/enzimas, também é possível a inserção desses genes em plantas, o que facilita o combate aos insetos-praga sugadores, que decorrente do seu hábito alimentar, podem não ser

atingidos pelos produtos biológicos de aplicação foliar (HERNÁNDEZ; MARTÍNEZ; PADILLA, 2019). É o caso, por exemplo, da introdução do gene responsável pela codificação da toxina ativa Cry de *Bacillus thuringiensis* em plantas geneticamente modificadas (GM) de tabaco, milho, tomate, algodão, batata, beterraba e repolho, que amplia a eficácia dos bioinseticidas (HERNÁNDEZ; MARTÍNEZ; PADILLA, 2019). A utilização de plantas-Bt (com genes codificadores de toxinas provenientes de *Bacillus thuringiensis*) permitiu redução efetiva nos danos causados por insetos-praga e consequentemente redução do uso de inseticidas químicos (BOBROWSKI et al., 2003). Segundo estudos, foi possível controlar 95% e 99% das pragas *Heliothis virescens* e *Pectinophora gossypiella* em plantações de algodão-Bt e de 70 a 90% de *Helicoverpa armigera* variando com o estágio de desenvolvimento das lagartas (HALCOMB et al., 1996); controle de 99% de *Ostrinia nubilalis* em milho-Bt (de MAAGD et al., 1999) e em campos de batatas-Bt não houve necessidade de aplicações suplementares de inseticidas químicos para o controle do besouro *Leptinotarsa decemlineata* durante todo ciclo da cultura PERLAK et al. (1993).

No entanto, a rápida adesão ao cultivo de plantas GM tem provocado intensos debates sobre biossegurança alimentar e ambiental, envolvendo o fluxo gênico entre plantas GM e outras espécies, o desenvolvimento de resistência em insetos alvo e o impacto sobre populações associadas à cultura, com efeitos diretos ou indiretos em espécies não-alvo (SIQUEIRA, 2008). Como vários tecidos da planta transgênica expressam a toxina, a possibilidade de contaminar organismos não alvo com proteínas inseticidas são altas, e, portanto, análises de risco devem envolver efeitos letais e subletais à organismos não-alvo (BOBROWSKI et al, 2003). Dentre alguns efeitos observados, podemos citar o estudo de Losey, Rayor e Carter (1999) que correlacionaram a ingestão de pólen de milho-Bt por lagartas da borboleta monarca (*Danaus plexippus*) com menores taxas de alimentação/crescimento e maior índice de mortalidade; no entanto, posteriormente Hellmich et al (2001) e Anderson et al (2004) demonstraram que o risco dessas lagartas serem expostas ao pólen do milho-Bt nas condições naturais de campo eram baixas (SIQUEIRA, 2008).

Outros estudos correlacionam efeitos prejudiciais de pólen de plantas-Bt à larvas de abelhas, que ingerem o pólen coletado pelas operárias, no entanto, Siqueira (2008) indica que os estudos à respeito de toxicidade de plantas GM em abelhas são contraditórios e escassos, além de não existirem protocolos para realização de testes de biossegurança de plantas-Bt sobre esses insetos; e ressalta que os protocolos devem permitir a elaboração de testes com diferentes espécies em vários estágios de desenvolvimento. Em seu estudo também não encontrou efeitos

da toxina Cry1Ac sobre mortalidade, tempo de desenvolvimento, massa corporal nas espécies de abelhas estudadas que foram alimentadas com essa toxina na fase larval (SIQUEIRA, 2008).

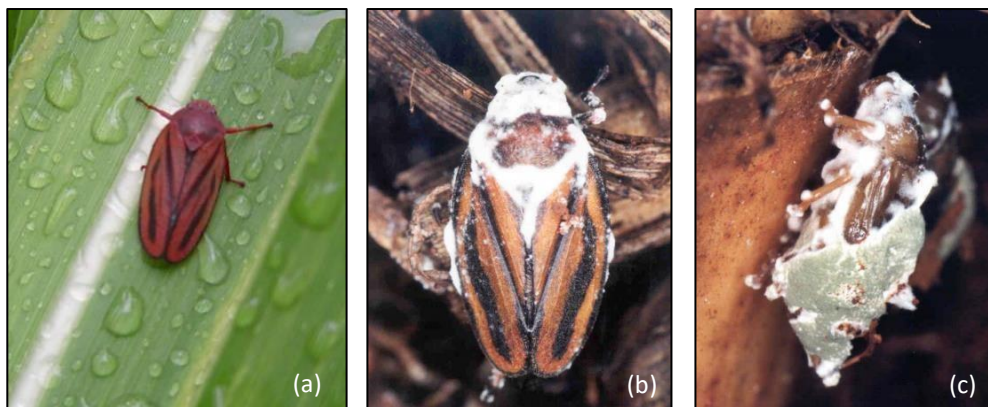
Atualmente sabe-se que diversas espécies têm apresentado resistência às proteínas Cry sendo necessário constante pesquisa e acompanhamento científico, para identificar e isolar novas moléculas igualmente eficazes, além da adoção de práticas de manejo de cultura que evitem ou contornem o surgimento de resistência (BOBROWSKI et al., 2003).

Para intensificar esse controle e garantir melhor proteção da lavoura, hoje se estuda o desenvolvimento de soluções biológicas com combinações de microrganismos que agem de diferentes meios, e promovem melhor eficácia no controle e/ou benefícios às plantas, como maior crescimento e disponibilidade de minerais. Croplife (2019), por exemplo, cita um inoculante desenvolvido pela EMBRAPA em parceria com uma empresa privada, onde combinam *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* para proteger a lavoura contra pragas enquanto intensificam a absorção de fósforo nas plantas.

Dentre os benefícios dos produtos biológicos de origem fúngica ou bacteriana está a capacidade de regenerar solos danificados decorrente de práticas como queimadas e uso intensivo de herbicidas ou fertilizantes, que reduzem o teor de matéria orgânica e diversidade de microrganismos do solo. Esses produtos restabelecem relações de associação e de simbiose nas raízes, permitindo um sistema radicular mais volumoso e sadio, capaz de acessar mais regiões e absorver mais nutrientes. Contribuem para a fixação de nitrogênio, disponibilização de nutrientes, competição com microrganismos potencialmente patogênicos e diversidade da microbiota (ZEM; AZEVEDO, 2020).

Os primeiros registros de produtos biológicos a partir de fungos entomopatógenos no Brasil remontam à década de 80, em culturas de cana-de-açúcar, quando para controlar a cigarrinha-das-folhas (*Mahanarva fimbriolata*) utilizou-se *Metarhizium anisopliae* (Figura 4), e para a praga gorgulho-da-cana-de-açúcar (*Sphenophorus levis*), os fungos *Beauveria bassiana* (Figura 5) e *Metarhizium anisopliae* (CROPLIFE, 2021). Em 1983, estudos comprovaram a susceptibilidade de ovos e larvas da mariposa-do-café (*Leucoptera coffeella*) à infecção por *Metarhizium anisopliae* (VILLACORTA, 1983) e da mariposa *Leucoptera malifoliella* ao fungo *Beauveria bassiana* (DRAGANOVA; TOMOV, 1998).

Figura 4 – Controle biológico de *Mahanarva fimbriolata* com *Metarhizium anisopliae*



(a) *Mahanarva fimbriolata* saudável; (b) e (c) *Mahanarva fimbriolata* infectada por *Metarhizium anisopliae*.

Fonte: Rafael Divino Alves da Silva (2018)

Figura 5 – Controle biológico *Sphenophorus levis* com *Beauveria bassiana*



Sphenophorus levis (a) saudável dentro da cana-de-açúcar; (b) infectados por *Beauveria bassiana*

Fontes: CTC (2019); EDUARDO, J. (2021)

Os fungos entomopatogênicos são citados como a classe de microrganismos mais promissora no controle de insetos-praga, pois praticamente todas as espécies são suscetíveis às doenças por eles causadas. Dentre os fungos de maior relevância, se destacam *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, pois apresentam capacidade de infectar uma ampla variedade de pragas-alvo; enquanto o primeiro é capaz de infectar mais de 200 espécies de insetos, o segundo possui um espectro de toxicidade mais amplo, entre 300 e 400 espécies (HERNÁNDEZ; MARTÍNEZ; PADILLA, 2019).

O processo de infecção fúngica pode se iniciar com a adesão dos esporos/conídios à superfície da praga-alvo, que então penetra por seu exoesqueleto. Ao encontrar os tecidos mais internos, a presença do patógeno desencadeia reações imunes que requerem alto gasto energético, e comprometem componentes importantes no metabolismo do hospedeiro, trazendo consequências em vários aspectos biológicos e vitais. Os esporos também podem germinar

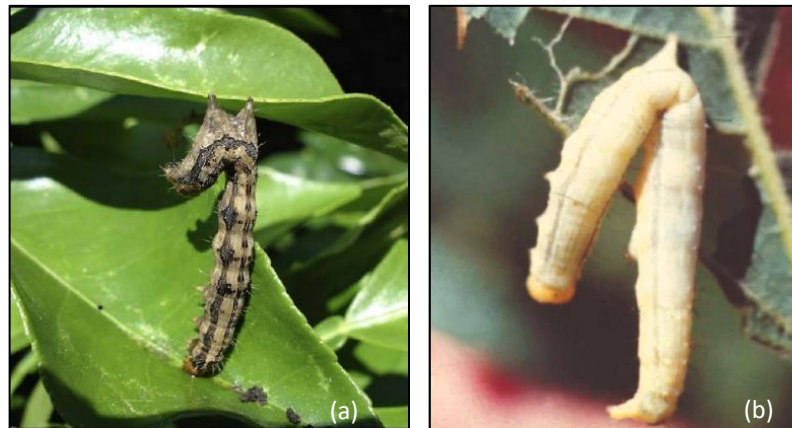
quando entram em contato com a cutícula dos insetos, se proliferam e espalham por todo o corpo do hospedeiro, onde liberam toxinas e consomem seus nutrientes. Durante a infecção o inseto perde mobilidade, apetite e após 7 a 10 dias morre por deficiência nutricional (PÉREZ, 2004).

O uso desses organismos se mostra promissor, por ser de fácil aplicação, sustentável, econômico e altamente eficaz. Destacam-se dados como a eficácia de 100% na patogenicidade de *Beauveria bassiana* aplicadas em 144 hectares para combater a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) (GERÓNIMO et al., 2016); ou *Metarhizium anisopliae* que, no cultivo de cítricos, controlou entre 93 e 100% das ninfas de *Diaphorina citri* (MELLÍN et al., 2016), e no cultivo de milho cerca de 80% de *Phyllophaga vetula* e *Spodoptera frugiperda* (NÁJERA, 2005).

Destaca-se o extenso uso de *Beauveria bassiana*, no controle de pragas agrícolas, como *Hypothenemus hampei* em culturas de café (GERÓNIMO et al., 2016); *Lygus lineolaris* em morango (GONZÁLEZ et al., 2010); *Epilachna varivestis*, *Brachystola magna* e *B. mexicana* em feijão (LOZANO E ESPANHA, 2006) (CASTREJÓN, 2017); *Cydia pomonella* em maçã (SOLÍS, 2006); *Diatrea magnifactella* em cana-de-açúcar (CASTRO et al., 2013); *Phyllophaga vetula*, *Phyllophaga crinita* e *Spodoptera frugiperda* em milho (HERNÁNDEZ et al., 2011); *Anastrepha obliqua* e *Aulacapsis tubercularis* em manga (PÉREZ-SALGADO, 2013), entre outros. Já o uso de *Metarhizium anisopliae* é comumente aplicado em plantações contra *D. magnifactella* e *Phyllophaga vetula*, pragas de cana-de-açúcar e milho (BUENOSAIRE, 2013), *Sphenarium purpurascens*, praga de feijão (TAMAYO, 2019) e *Schistocerca piceifrons* em culturas de milho, sorgo, feijão, cana-de-açúcar, soja, algodão, gergelim, banana e amendoim (BARRIENTOS, 2005).

Os vírus, apesar de menos explorados, são uma fonte importante de agentes de controle biológico, em cultivos de soja e maçã, por exemplo. Os baculovírus, os mais utilizados, são seguros, altamente patogênicos, específicos, de fácil aplicação e formulação. Capazes de infectar os estágios larvais dos insetos, este grupo de vírus geram sintomas no hospedeiro que variam de 3 a 10 dias após a aplicação. O método de ação ocorre pela desintegração de tecidos e órgãos, que se rompem e liberam milhões de partículas virais no ambiente (GÓMEZVALDERRAMA; VILLAMIZAR-RIVERO, 2017) (Figura 6).

Figura 6 – Lagartas infectadas por baculovírus



(a) e (b) Lagartas infectadas por baculovírus, utilizado no controle biológico

Fonte: Daniel R. Sosa-Gómez (2019)

A divulgação do controle biológico e difusão do seu uso e benefícios entre os agricultores é muito importante, pois além de todos os benefícios sócio-ambientais, é possível que essa seja a única alternativa no controle de algumas pragas emergentes. Hernández; Martínez; Padilla (2019) destacam o ataque da lagarta *Helicoverpa armigera* em culturas de soja em 2013, quando não se conhecia o efeito de agrotóxicos químicos no controle dessa praga, a solução foi o uso de entomopatógenos com ação específica à praga-alvo, que possibilitou o controle e evitou a perda de plantações inteiras (Figura 7). Outro exemplo é o controle de uma das principais pragas agrícolas do Brasil, a *Diatraea saccharalis*, popularmente conhecida como a broca-da-cana (Figura 8), realizado quase que exclusivamente por agentes de controle biológico, devido ao hábito das brocas viverem dentro dos colmos da cana e estarem protegidas das aplicações químicas (PODEROSO, 2014).

Figura 7 – Danos causados pela praga emergente *Helicoverpa armigera*



Danos em plantação de (a) algodão; (b) tomate; (c) milho.

Fonte: ALVES, E.B. (2019)

Figura 8 – *Diatraea saccharalis* em cultura de cana-de-açúcar



Fonte: KOPPERT (2021)

Um dos grandes destaques do controle biológico no mundo é o produto *Green Muscle*TM, desenvolvido por um programa de financiamento internacional, composto por um isolado do fungo *Metarhizium acridum*, extremamente específico contra várias espécies de gafanhotos em vários estágios de desenvolvimento e com melhor desempenho que os agroquímicos convencionais (CABI, 2020c). A alta especificidade do produto se deve à característica do fungo iniciar o processo de brotamento somente quando reconhece determinadas proteínas da superfície do gafanhoto, sendo inofensivo a qualquer outro organismo. Após o contato, haverá o reconhecimento e o fungo começará a brotar, tomando conta do organismo do hospedeiro, deixando-o mais lento, sem apetite e levando-o à morte. Neste estágio observa-se o efeito secundário do produto, pois o gafanhoto morto, tomado pelo entomopatógeno permanece no ambiente e pode reinfetar outro alvo (Figura 9). Ademais, como o canibalismo é uma característica comum na espécie quando um gafanhoto identifica outro doente, é possível que o fungo seja propagado pela população e contribua para o controle da praga (LUBILOSA, 2020).

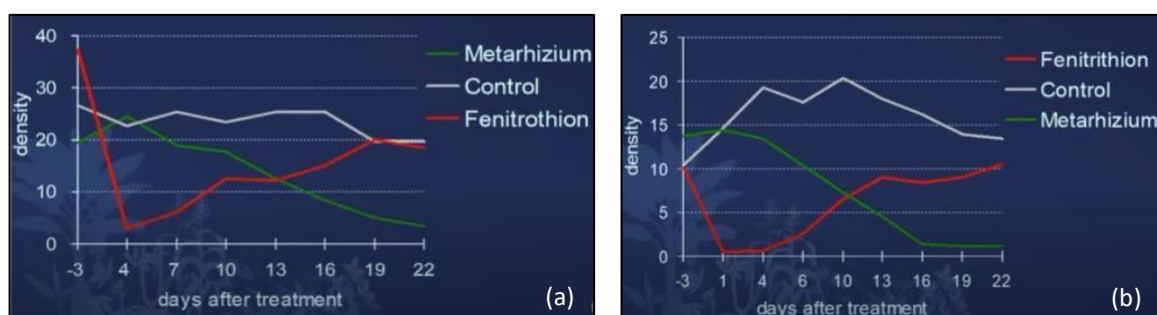
Figura 9 – Gafanhoto infectado por *Green Muscle*TM



Fonte: LUBILOSA (2020)

Pesquisadores realizaram um estudo em larga escala onde compararam três áreas diferentes infestadas por gafanhotos: uma com aplicação de agrotóxico químico, outra com *Green Muscle*TM e a terceira sem aplicação de qualquer substância. Observaram que, apesar do agroquímico produzir um efeito mais rápido e reduzir quase 90% da população de pragas em 4 dias, após aproximadamente 22 dias a população de gafanhotos na lavoura já era igual à do grupo controle, indicando que o químico não era mais eficiente; tal fato se deve parte ao tempo de meia-vida do produto e parte à migração de gafanhotos de áreas vizinhas, além de novas incubações da praga. Já o controle biológico, apesar de levar um pouco a mais de tempo para apresentar queda na população de gafanhotos, em torno de 19 dias mais de 90% da população da praga já estava controlada (Figura 10). Por isso, seu uso tem sido indicado pela FAO e atualmente contribui para controle em grandes áreas em Madagascar (60.000 hectares), Tanzânia (10.000 hectares) e Somália (80.000 hectares) (CABI, 2020c) (LUBILOSA, 2020).

Figura 10 – População de gafanhotos após aplicação de *Green Muscle*TM x pesticida químico



População de gafanhotos após aplicação de *Green Muscle*TM (100g/ha) e Fenitrothion (250g/ha) em regiões de (a) 50 hectares e (b) 800 hectares.

Fonte: LUBILOSA (2020).

Atualmente o mercado de produtos biológicos acumula vantagens sobre o agrotóxico químico, mas sua constante ascensão requer a otimização de processos biotecnológicos, que devem depender cada vez menos de logísticas diferenciadas para armazenamento e aplicação. Para contornar algumas limitações do processo, alternativas estão sendo elaboradas a fim de aumentar o tempo de prateleira, a estabilidade da fórmula no campo sob diversas condições de temperatura e umidade, e controlar problemas com patentes, advindos da dificuldade em controlar a replicação do produto sem autorização (ZEM; AZEVEDO, 2020). Um dos estudos que permeiam o tema, é técnica desenvolvida pela Embrapa e batizada de TEV (Tecnologia

Embrapa de Vida-de-prateleira), que promoveu um ganho significativo na viabilidade de esporos de fungos entomopatogênicos secando o produto a níveis extremamente baixos e a reduzindo os níveis de oxigênio no interior das embalagens (EMBRAPA, 2018).

Desse modo, o mercado de biodefensivos, que antigamente era visto como um setor pequeno e pouco consistente, hoje se mostra muito promissor, com crescente interesse das multinacionais e expressivo investimento em pesquisas para desenvolvimento de novos produtos (ZEM; AZEVEDO, 2020). Atualmente o Brasil já conta com mais de 80 biofábricas, sendo que entre 2017 e 2018, houve um aumento de 77% no comércio de produtos biológicos e até os dias de hoje a utilização de defensivos biológicos no Brasil já ultrapassou 23 milhões de hectares, com estimativa de crescimento de 20% para esse ano (CROPLIFE, 2020). Também se observa aumento nos volumes de investimento em empresas de inovação agrária, que saltaram de USD 4 milhões em 2013 para mais de USD 200 milhões em 2019 (GOVBR, 2021) e um crescimento cinco vezes maior do mercado de biopesticidas frente ao de agrotóxicos químicos (ZEM; AZEVEDO, 2020).

Esses dados são reflexo da pressão regulatória na fabricação de novos produtos com menor impacto ambiental, alta demanda por alimentos sem resíduos químicos e questões econômicas, já que o desenvolvimento de um defensivo agrícola químico é extremamente custoso, alcançando em média USD 286 milhões, enquanto o biológico custa apenas uma fração disso. É evidente, portanto, o interesse industrial e econômico na produção de bioinsumos que permitam conciliar a segurança alimentar com a preservação ambiental, garantindo retorno financeiro para o agricultor e toda a cadeia produtiva envolvida no processo (ZEM; AZEVEDO, 2020). Com o mercado de produtos biológicos crescendo, prevê-se que em um futuro próximo o uso de biopesticidas possa vir a ser a regra.

4 CONCLUSÕES

A evolução da produção agrícola em larga escala foi essencial para garantir a segurança alimentar à população mundial, mas se por um lado o uso de agrotóxicos auxiliou na redução de perdas por pragas e aumento da produtividade agrícola, por outro são verificados prejuízos ambientais e à saúde humana, devido à não especificidade da molécula ao organismo alvo, bioacumulação e toxicidade.

Como método de controle alternativo, se apresenta o uso de entomopatógenos no controle biológico de insetos, uma técnica eficaz na proteção da lavoura e mais segura para os

ecossistemas, mas apesar da sua alta especificidade existe a preocupação com: efeitos diretos e indiretos em organismos não-alvo; biossegurança alimentar e ambiental; e desenvolvimento de resistência em insetos. Sendo assim, a adoção dessa técnica de controle não dispensa uma análise cautelosa de impactos ambientais, testes toxicológicos e constante monitoramento da lavoura. Por isso, para garantir bons resultados, é essencial que se conheça muito bem as condições à qual a plantação está submetida, desde a localização, o clima e a extensão da plantação, até o tipo de cultura e a praga-alvo, para avaliar quais os seus inimigos naturais e então escolher o defensivo biológico ideal para o caso.

A técnica é promissora e conquista cada vez mais seu espaço, com crescente interesse das multinacionais e expressivo investimento em pesquisas para desenvolvimento de novos produtos, que dependam cada vez menos de logísticas diferenciadas no processo de armazenamento, transporte e aplicação. Observa-se contínuo crescimento no mercado de identificação e seleção de novos microrganismos, e pesquisas que proponham fórmulas cada vez mais estáveis e resistentes às mais variadas condições de temperatura e acondicionamento ainda são grandes oportunidades.

Além da pressão regulatória na fabricação de novos produtos biológicos, a preocupação da sociedade com o impacto da agricultura, no meio ambiente e qualidade dos alimentos está alterando o cenário agrícola e podem contribuir com a implementação de entomopatógenos no campo. Neste contexto, o controle biológico é uma alternativa importante nas tomadas de decisão fitossanitárias para redução de inseticidas químicos e, frente a isso, grandes indústrias tentam se adaptar incluindo em suas rotinas agrárias práticas não prejudiciais ao ecossistema e produtos biológicos aos seus portfólios.

É evidente, portanto, que estamos vivenciando uma grande transformação no campo, uma era de biológicos, que visa suprir às demandas por alimentos de forma sustentável e consciente, atraindo cada vez mais o interesse de grandes empresas e investimento em inovação. Sendo assim, prevê-se que num futuro próximo o comum será o uso de biopesticidas.

5 REFERÊNCIAS

ABCBIO. SÃO PAULO. **Agricultura orgânica**: conheça tudo e saiba como o controle biológico auxilia no ganho de produtividade. 2019a. Disponível em: <https://www.abcbio.org.br/blog/agricultura-organica/>. Acesso em: 05 jun. 2019.

ABCBIO. SÃO PAULO. **Controle biológico**: estratégia que agrega sustentabilidade à agricultura. estratégia que agrega sustentabilidade à agricultura. 2019b. Disponível em: <https://www.abcbio.org.br/blog/controle-biologico/>. Acesso em: 05 jun. 2019.

ABCBIO. SÃO PAULO. **Microrganismos e macro-organismos**: interações da natureza levadas para a agricultura. 2019c. Disponível em: <https://www.abcbio.org.br/blog/microrganismos-e-macro-organismos/>. Acesso em: 05 jun. 2019.

ABRALE. Associação brasileira de linfoma e leucemia - São Paulo: **Agrotóxicos, os vilões da saúde**, 25 jan. 2019. Disponível em: <https://www.abrale.org.br/revista-online/agrotoxicos-os-viloes-da-saude/>. Acesso em: 10 jun. 2020.

ALMEIDA, Waldemar de; FIÖZA, José; MAGALHÃES, Cláudio Marques; JUNGER, Celso Merola. Agrotóxicos. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 220-249, jun. 1985. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-311x1985000200008>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X1985000200008. Acesso em: 09 abr. 2021.

ANDERSON, Patricia L.; HELLMICH, Richard L.; SEARS, Mark K.; SUMERFORD, Douglas V.; LEWIS, Leslie C.. Effects of Cry1Ab-Expressing Corn Anthers on Monarch Butterfly Larvae. **Environmental Entomology**, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 1109-1115, 1 ago. 2004. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1603/0046-225x-33.4.1109>. Disponível em: <https://academic.oup.com/ee/article/33/4/1109/452131>. Acesso em: 20 maio 2021.

BARRIENTOS, L., J., DM Hunter, J. Ávila V., P. García S. e JV Horta V. 2005. **Controle biológico da lagosta centro-americana Schistocerca piceifrons piceifrons Walker (Orthoptera: Acrididae) no nordeste do México**. *Vedalia* 12 (2): 119-128.

BIOTROP. **Como é feito o controle de qualidade dos produtos biológicos?** 2020. Disponível em: <https://biotrop.com.br/faq-items/onde-posso-encontrar-os-produtos-dabiotrop/>. Acesso em: 16 mar. 2021.

BOBROWSKI, Vera Lucia; FIUZA, Lidia Mariana; PASQUALI, Giancarlo; BODANESEZANETTINI, Maria Helena. Genes de *Bacillus thuringiensis*: uma estratégia para conferir resistência a insetos em plantas. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 33, n. 5, p. 843-850, out. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782003000500008>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/YXP9JKBgYv6QyrYk5wFkkjn/?lang=pt>. Acesso em: 20 maio 2021.

BRASÍLIA. ANVISA. **Relatório PARA 2011 – 2012**. Brasília: Gerência Geral de Toxicologia, 2013. 20 p. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/ptbr/assuntos/agrotoxicos/programa-de-analise-de-residuos-em-alimentos/arquivos/3793jsonfile-1>. Acesso em: 09 abr. 2021.

BUENOSAIREZ Á., AI, G. Peña C. e LA Rodríguez del B. 2013. Determinação da virulência de *Bacillus thuringiensis* cepa 148 e *Metarhizium anisopliae* Ma-156 em *Diatraea magnifactella* DYAR. A. **Entomologia mexicana** 12 (1): 298-300.

CABI. **Invasive species**: prevention, early detection and management of invasive pests. Prevention, early detection and management of invasive pests. 2020b. Disponível em: <https://www.cabi.org/what-we-do/invasive-species/>. Acesso em: 05 mar. 2021.

CABI. **Global Burden of Crop Loss**. 2020a. Disponível em: <https://www.cabi.org/projects/global-burden-of-crop-loss/>. Acesso em: 05 mar. 2021.

CABI. **Green Muscle providing strength against devastating locusts in the horn of Africa**. 2020c. Disponível em: <https://www.cabi.org/news-article/green-muscle-providingstrength-against-devastating-locusts-in-the-horn-of-africa/>. Acesso em: 20 fev. 2021.

CASTREJÓN, A., JE, G. Núñez M., MM Iracheta, R. Gómez F., F. Tamayo M., JA Ocampo H. e P. Tamez G. 2017. Blastosporos de *Beauveria bassiana* produzidos em meio seletivo reduzem o tempo de sobrevivência de *Epilachna varivestis* Larvas de Mulsant. **Southwestern Entomologist** 42 (1): 203-220. Doi: 10.3958 / 059.042.0119.

CASTRO, O., IR, A. Fonseca G., AG Trejo L., VM Hernández V., LA Rodríguez del B. e LP Lina G. 2013. Avaliação de seis cepas de fungos entomopatogênicos em *Diatraea magnifactella* DYAR (Lepidoptera: Crambidae) . **Mexican Entomology** 12 (1): 430- 433.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Efeito do não tratamento de pragas e doenças sobre preços ao consumidor de produtos da cadeia produtiva de soja**. Piracicaba, SP. 2019b. Disponível em: https://croplife.storage.googleapis.com/1/2019/10/Relat%c3%b3rio-CEPEA_Soja.pdf. Acesso em: 20 fev. 2021.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Mensuração econômica da incidência de pragas e doenças no Brasil**: uma aplicação para as culturas de soja, milho e algodão. Piracicaba, SP. 2019a. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_EstudoPragaseDoencas_Parte%201.pdf. Acesso em: 20 fev. 2021.

CHAWLA, Prince; KAUSHIK, Ravinder; SWARAJ, V.J. Shiva; KUMAR, Naveen. Organophosphorus pesticides residues in food and their colorimetric detection. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, [S.L.], v. 10, p. 292-307, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enmm.2018.07.013>.

CROPLIFE (Brasil). **Controle biológico faz parte do futuro da agricultura**. 2020. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/conceitos/controle-biologico/>. Acesso em: 17 mar. 2021.

CROPLIFE (Brasil). **História dos defensivos agrícolas e a sua importância na produção de alimentos**. 2020. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/noticias/historia-dos-defensivosagricolas-e-a-sua-importancia-na-producao-de-alimentos/>. Acesso em: 16 mar. 2021.

CRAMER, H. **Proteção de plantas e produção agrícola mundial**. Pflanzenschutz Nachr. , 20 (1967) , pp. 1 – 524

De MAAGD, R.A.; BOSCH, D.; STIEKEMA, W. **Bacillus thuringiensis toxin-mediated insect resistance in plants**. Trends in Plant Sciences, London, v.4, p.9-13, 1999

DRAGANOVA, S. A.; TOMOV; R. I. Virulence of a strain Beauveria bassiana (Bals.) Vuill. (Hyphomycetes, Deuteromycotina) against larvae of Leucoptera malifoliella Costa (Lepidoptera, Lyonetiidae). **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 4, p. 435-439, 1998.

EMBRAPA. **Bicho-mineiro (Leucoptera coffeella): uma revisão sobre o inseto e perspectivas para o manejo da praga**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2020b. 39 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/221918/1/documentos-372-fin.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2021.

EMBRAPA. **Controle biológico de pragas na agricultura**. Brasília: Embrapa, 2020a. 514 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212490/1/CBdocument.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2021.

EMBRAPA. **Controle biológico: tendências do controle biológico no Brasil e no mundo**. Tendências do controle biológico no Brasil e no mundo. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/tema-controle-biologico/sobre-o-tema>. Acesso em: 25 abr. 2021.

EMBRAPA. **Processo que aumenta vida de prateleira de bioinseticida à base de fungo é a mais nova patente da Embrapa**: metodologia ajudará empresas a aumentar o valor agregado de produtos à base de fungos. Metodologia ajudará empresas a aumentar o valor agregado de produtos à base de fungos. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/buscade-noticias/-/noticia/36613557/processo-que-aumenta-vida-de-prateleira-de-bioinseticida-abase-de-fungo-e-a-mais-nova-patente-da-embrapa>. Acesso em: 25 abr. 2021.

FAO, Fao statistical yearbook 2013 world food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Romep. 307, 2013.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Representante da FAO Brasil apresenta cenário da demanda por alimentos**. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/901168/>. Acesso em: 25 mar. 2021.

GALITSKY, N., V. Cody, A. Wojtczak, D. Ghosh, JR Luft, W. Pangborn e L. English. 2001. **Structure of the insecticidal bacteriana delta-endotoxin Cry3Bb1 of *Bacillus thuringiensis***. Acta Crystallographica Section D. 57 (Pt 8): 1101-9. Doi: 10.1107 / S0907444901008186. PMID 11468393.

GERÓNIMO, T., JC, M. Torres de la C., M. Pérez de la C., A. de la CP, CF Ortiz G. e S. Cappello G. 2016. Caracterização de isolados nativos de *Beauveria bassiana* e sua patogenicidade para *Hypothenemus hampei*, em Tabasco, México. **Colombian Journal of Entomology** 42 (1): 28-35. Doi: 10.25100 / socolen.v42i1.6666.

GÓMEZ-VALDERRAMA, Julianan; VILLAMIZAR-RIVERO, Laura. Los entomopatógenos: una alternativa segura para el control biológico de plagas agrícolas. In: CONGRESO SOCOLEN, 44., 2017, Bogotá. **Entomología de impacto**. Bogotá: Simbiosis Ciencia y Publicidad Ltda, 2017. p. 206-211. Disponível em: http://www.socolen.org.co/images/stories/pdf/44_congreso.pdf#page=238. Acesso em: 25 abr. 2021.

GONZÁLEZ, S., MG, JC Salazar T., F. Jaimes A., S. Ramírez A. e R. González S. 2010. **Eficácia de *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin no controle de *Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois) em Morango**. Chapingo Magazine Horticulture Series 16 (3): 189193. Doi: 10.5154 / r.rchsh.2010.16.024.

GOVBR. Governo do Brasil. **Brasil avança na modernização da agricultura**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2021/01/brasilavanca-na-modernizacao-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 16 mar. 2021.

HALCOMB, J.L. et al. Survival and growth of bollworm and tobacco budworm nontransgenic and transgenic cotton expressing CryIAC insecticidal protein (Lepidoptera: Noctuidae). **Environmental Entomology**, Lanham, v.25, n.2, p.250-255, 1996.

HAY-ROE, Mirian M.; MEAGHER, Robert L.; NAGOSHI, Rodney N.; NEWMAN, Yoana. Distributional patterns of fall armyworm parasitoids in a corn field and a pasture field in Florida. **Biological Control**, [S.L.], v. 96, p. 48-56, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.02.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749114002802>. Acesso em: 04 fev. 2021.

HELLMICH, R. L.; SIEGFRIED, B. D.; SEARS, M. K.; STANLEY-HORN, D. E.; DANIELS, M. J.; MATTILA, H. R.; SPENCER, T.; BIDNE, K. G.; LEWIS, L. C.. Monarch larvae sensitivity to *Bacillus thuringiensis*- purified proteins and pollen. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 98, n. 21, p. 11925-11930, 14 set. 2001. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.211297698>. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/98/21/11925>. Acesso em: 20 maio 2021.

HERNÁNDEZ, Ma de Lourdes Pacheco; MARTÍNEZ, J. Francisco Reséndiz; PADILLA, Víctor J. Arriola. Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: una revisión. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**,

[S.L.], v. 10, n. 56, 29 nov. 2019. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. <http://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.496>. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322019000600004&script=sci_arttext. Acesso em: 25 fev. 2021.

HORAK, Ilzé; HORN, Suranie; PIETERS, Rialet. Agrochemicals in freshwater systems and their potential as endocrine disrupting chemicals: a south african context. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 268, p. 115718, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115718>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749120364071>. Acesso em: 07 fev. 2021.

IDEC. Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. **Tem veneno nesse pacote**. 2021. Disponível em: <https://idec.org.br/veneno-no-pacote>. Acesso em: 05 jun. 2021.

INCA - INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. Ministério da Saúde. **Agrotóxico**. 2019. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/agrotoxicos>. Acesso em: 09 abr. 2021.

JARDIM, Andreia N.O.; CALDAS, Eloisa D.. Brazilian monitoring programs for pesticide residues in food – Results from 2001 to 2010. **Food Control**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 607-616, jun. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.11.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713511004828>. Acesso em: 07 fev. 2021.

KARTHIKEYAN, L.; CHAWLA, Ila; MISHRA, Ashok K.. A review of remote sensing applications in agriculture for food security: crop growth and yield, irrigation, and crop losses. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 586, p. 124905, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124905>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169420303656>. Acesso em: 04 fev. 2021.

KÓS, M.I.; HOSHINO, A.C.; ASMUS C.I.F.; et al. **Efeitos da exposição a agrotóxicos sobre o sistema auditivo periférico e central**: uma revisão sistemática. Cad. Saúde Pública. 2013; 29(8):1491-1506. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/csp/v29n8/v29n8a03.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2021.

LUBILOSA to Green Muscle. Realização de Cabi. Roteiro: Belinda Luke,. [S.I.]: Lubilosa, 2020. (17 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LJQ50HjNXbM>. Acesso em: 25 abr. 2021.

LOPES, Carla Vanessa Alves; ALBUQUERQUE, Guilherme Souza Cavalcanti de. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, [S.L.], v. 42, n. 117, p. 518-534, jun. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-1104201811714>.

- LOSEY, John E.; RAYOR, Linda S.; CARTER, Maureen E.. Transgenic pollen harms monarch larvae. **Nature**, [S.L.], v. 399, n. 6733, p. 214-214, maio 1999. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/20338>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/20338>. Acesso em: 20 maio 2021.
- LOSS, Global Burden Of Crop. **Evidências para combater a perda de safra**. 2020. Disponível em: <https://croploss.org/>. Acesso em: 05 mar. 2021.
- LOZANO, G., J. e MP España L. 2006. **Inimigos naturais e controle biológico de *Brachystola magna* (Girard) e *B. mexicana* (Bruner) (Orthoptera: Acrididae) com *Beauveria bassiana* em Zacatecas, México**. *Vedalia* 13 (2): 91-96.
- MELLÍN, R., MA, JA Sánchez G., AM Cruz Á., R. Montesinos M. e HC Arredondo B. 2016. **Patogenicidade de cepas fúngicas entomopatogênicas em *Diaphorina citri* Kuwayama sob condições de laboratório**. *Southwestern Entomologist*, 41 (3): 791-800. Doi: 10.3958 / 059.041.0321.
- MORANDI, Marcelo Augusto Boechat; BETTIOL, Wagner. Controle biológico de doenças de plantas no Brasil. In: DESTRITO FEDERAL. EMBRAPA. . **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Uso e perspectivas. Jaguariúna: Embrapa, 2009. p. 8-14.
- NÁJERA, R., MB, M. García M., RL Crocker, V. Hernández V. e LA Rodríguez del B. 2005. **Virulência de *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, nativa do oeste do México, contra larvas de terceiro instar de *Phyllophaga crinita* (Coleoptera : Melolonthidae) em condições de laboratório**. *Plant Health* 9 (1): 33-36.
- OERKE, E. **Perdas de safra para pragas**. *J. Agric. Sci.* , 144 (2006) , pp. 31 - 43. Elsevier BV. doi:10.1017/S0021859605005708
- OLIVEIRA, C.M.; AUAD, A.M.; MENDES, S.M.; FRIZZAS, M.R.. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, [S.L.], v. 56, p. 50-54, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2013.10.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026121941300269X>. Acesso em: 25 fev. 2021.
- ONU. **ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050**. 2019b. *Perspectiva Global Reportagens Humanas*. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>. Acesso em: 16 mar. 2021.
- ONU. **2019 Revision of World Population Prospects**. 2019a. Department of Economic and Social Affairs Population Dynamics. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/>. Acesso em: 16 mar. 2021.
- PARA. **Relatório das amostras analisadas no período de 2017-2018: primeiro ciclo do plano plurianual 2017-2018**. Brasília: Gerencia Geral de Toxicologia, 2019. 136 p. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agrotoxicos/programa-de-analise-de-residuosem-alimentos/arquivos/3770json-file-1>. Acesso em: 09 abr. 2021.

PIMENTEL, D. **Agroecologia e economia**. M. Kogan (Ed.) , Teoria Ecológica e Prática Manejo Integrado de Pragas , Wiley , New York (1986) , pp. 299 - 319

PELOSI, C. et al. Residues of currently used pesticides in soils and earthworms: a silent threat?. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S.L.], v. 305, p. 107167, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2020.107167>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880920303534>. Acesso em: 07 fev. 2021.

PÉREZ C., N. 2004. **Manejo ecológico de plagas**. Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural- CEDAR. La Habana, Cuba. 292 p.

Pérez-Salgado, J., MD Ángel-Ríos, A. Arteaga-Deloya, E. Hernández-Castro e A. Damián-Nava. 2013. Fungos entomopatogênicos e extratos de plantas contra escama branca (*Aulacaspis tubercularis* Newstead) no cultivo de manga em San Luis La Loma, município de Tecpan de Galeana, Gro., México. **Mexican Entomology** 12 (1): 452- 455.

PERLAK, F.J. et al. Genetically improved potato protection from damage by Colorado potato beetle. *Plant Molecular Biology*, Dordrecht, v.22, p.313-321, 1993.

PODEROSO, Júlio César Melo. **PREDADOR VERSUS ENTOMOPATÓGENO: *Podisus distinctus* (Stal) (HETEROPTERA: PENTATOMIDAE) DESAFIADO POR *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae***. 2014. 83 f. Monografia (Especialização) - Curso de Programa de Pós Graduação em Entomologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/924/1/texto%20com%20pleto.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2021.

RANGEL, Cássia de Fátima. **Dissertação apresentada com vistas à obtenção do título de Mestre em Ciências na área de Saúde Pública e Meio Ambiente**. 2008. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/5038/2/ve_C%3%a1ssia_de_F%3%a1tima_ENSP_2008.pdf. Acesso em: 19 mar. 2021.

Rigotto RM, Silva AMC, Ferreira MJM, et al. **Trends of chronic health effects associated to pesticide use in fruit farming regions in the state of Ceará, Brazil**. *Rev. Bras. Epidemiol.* 2013; 16(3):763-773. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepid/a/hmYrvFwdY4WLb5ZNPR68cgv/?lang=en>. Acesso em: 19 mar. 2021.

SAATH, Kleverton Clovis de Oliveira; FACHINELLO, Arlei Luiz. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S.L.], v. 56, n. 2, p. 195-212, jun. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>.

SANTANA, Vilma Sousa; MOURA, Maria Claudia Peres; NOGUEIRA, Flávia Ferreira e. Mortalidade por intoxicação ocupacional relacionada a agrotóxicos, 2000-2009, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, [S.L.], v. 47, n. 3, p. 598-606, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-8910.2013047004306>.

SIQUEIRA, Maria Augusta Lima. **Biossegurança da proteína Cry1Ac, sintetizada pelo algodão geneticamente modificado, em abelhas indígenas sem ferrão e africanizadas.** 2008. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Entomologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/190741/1/tesemariaaugustalima.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2021

Solís S., A., C. García G., MB González M., H. Medrano R. e LJ Galán W. 2006. Toxicidade de blastosporos de *Beauveria bassiana* (Vuill) na mariposa *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) Mexican Entomological Folia 45 (2): 195-200.

SOSAN, Mosudi B.; ADELEYE, Adeoluwa O.; OYEKUNLE, John Adekunle O.; UDAH, Onehireba; OLORUNTUNBI, Philemon M.; DARAMOLA, Miracle O.; SAKA, Waidi T.. Dietary risk assessment of organochlorine pesticide residues in maize-based complementary breakfast food products in Nigeria. **Heliyon**, [S.L.], v. 6, n. 12, p. 1-2, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05803>.

TAMAYO, M., F. 2009. **Controle biológico de *Sphenarium purpurascens* (Charpentier) e *Melanoplus diferencialis* (Thomas) (Orthoptera: Acrididae) com *metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin**, em Guanajuato, México. *Vedalia* 13 (2): 85-90.

VILLACORTA, A. Ovicidal activity of *Metarhizium anisopliae* isolate, CM-14 on the coffee leaf miner. *Perileucoptera coffeella* (Lep.: Lyonetiidae). **Entomophaga**, v. 28, n. 2, p. 179-184, 1983.

WANG, Mengcen; CERNAVA, Tomislav. Overhauling the assessment of agrochemicaldriven interferences with microbial communities for improved global ecosystem integrity. **Environmental Science And Ecotechnology**, [S.L.], v. 4, p. 100061, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esa.2020.100061>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666498420300533#bib10>. Acesso em: 04 fev. 2021.

ZEM, A. C.; AZEVEDO, T. L. F. Biotrop Soluções em Tecnologias Biológicas. **Qual é o futuro da agricultura?** 2020. Disponível em: <https://biotrop.com.br/biologicos-manejointegrado-e-aumento-de-produtividade/>. Acesso em: 25 mar. 2021.

ZHANG, Q.; LI, Z.; CHANG, C.H.; LOU, J.L.; ZHAO, M.R.; LU, C.. Potential human exposures to neonicotinoid insecticides: a review. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 236, p. 71-81, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.101>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964416300147>. Acesso em: 04 fev. 2021.