

EDITORES:
MARCELO C. PICANÇO
MAYARA C. LOPES
GERSON A. SILVA

TÓPICOS DE MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS II

TÓPICOS DE MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS II

Editores:

Marcelo Coutinho Picanço

Mayara Cristina Lopes

Gerson Adriano Silva

Departamento de Entomologia

Universidade Federal de Viçosa

2023

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa – Campus Viçosa**

T674
2023

Tópicos de manejo integrado de pragas II [recurso eletrônico] /
editores Marcelo Coutinho Picanço, MayaraCristina Lopes [e]
Gerson Adriano Silva e vários autores
-- Viçosa, MG : UFV, Departamento de Entomologia, 2023.
1 livro eletrônico (201 p.) : il. color.

Disponível em: [http://www.protecaodeplantas.ufv.br/Inclui bibliografia](http://www.protecaodeplantas.ufv.br/Inclui_bibliografia).

ISBN 978-65-88874-04-2

1. Insetos predadores – Controle integrado. 2. Inseticidas.
3. Insetos como transmissores de doenças das plantas. 4. Resistência
aos inseticidas. 5. Inovações agrícolas. 6. Estufas para cultivo. 7.
Translocação vegetal. 8. Inteligência artificial.
I. Picanço, Marcelo Coutinho, 1958-. II. Lopes, Mayara
Cristina, 1989-. III. Silva, Gerson Adriano, 1979-. IV.
Universidade Federal de Viçosa. Centro de Ciências Biológicas
e da Saúde. Departamento de Entomologia.

CDD 22. ed. 632.7

Bibliotecária responsável: Alice Regina Pinto Pires CRB6 2523

Agradecimentos

As instituições a que pertencem os autores dos capítulos desse livro, pelo suporte e apoio a cada de nós.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio à pós-graduação e à pesquisa no Brasil, pelos recursos e bolsas concedidos aos pesquisadores que são autores dos capítulos desse livro. Recursos esses que foram essenciais para a geração do conhecimento contido nesse livro.

A Pós-graduação *Lato Sensu* em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Viçosa e ao Mestrado Profissional em Defesa Sanitária Vegetal da Universidade Federal de Viçosa, aos programas de Pós-graduação em Entomologia e Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa pelo apoio para a produção e publicação deste livro.

Prefácio

Este livro foi idealizado para que os assuntos de seus capítulos fossem apresentados no II Workshop de Manejo Integrado de Pragas. Esse evento foi realizado de forma gratuita e online de 24 a 26 de novembro de 2022 e ele teve cerca de 900 inscritos de todas as regiões do Brasil e de vários países do mundo. As transmissões das cinco mesas redondas desse Workshop tiveram mais de 2.000 acessos (mais de 670 por mesa redonda) no canal do YouTube do Grupo de Estudos em Entomologia da UFV – Insectum da Universidade Federal de Viçosa.

Este livro e o II Workshop de Manejo Integrado de Pragas fizeram parte das atividades da disciplina de pós-graduação ENT 670 (Manejo Integrado de Pragas) da Universidade Federal de Viçosa. Os capítulos desse livro têm como autores 29 pesquisadores pertencentes a doze instituições públicas e privadas.

Autores

Allana Grecco Guedes: Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-graduação em Entomologia, Viçosa, MG.

Andréa Aparecida Santos Oliveira: Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-graduação em Entomologia, Viçosa, MG.

Daiane das Graças do Carmo: Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-graduação em Entomologia, Viçosa, MG.

Damaris Rosa de Freitas: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, Viçosa, MG.

Daniela da Silva: Universidade de Passo Fundo, Programa de Pós-graduação em Agronomia Passo Fundo, RS.

Daniela Santos Martins Silva: Miami University, Department of Biology, Ohio, Oxford, Estados Unidos.

Danillo Coelho Gomes Leite: Southern Illinois University Carbondale, Carbondale, Illinois, Estados Unidos.

Douglas Sobral de Araújo: Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Sinop, MT.

Eliseu José Guedes Pereira: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, Viçosa, MG.

Eugênio Eduardo de Oliveira: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, Viçosa, MG.

Gerson Adriano Silva: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Campos dos Goytacazes, RJ.

Jeny Tatiana Bernal Zuluaga: Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-graduação em Entomologia, Viçosa, MG.

Jhersyka da Silva Paes: Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Viçosa, MG.

Júlia Borges Melo: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, Viçosa, MG.

Juliana Lopes dos Santos: Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Gurupi, TO.

Kayo Heberth de Brito Reis: Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Gurupi, TO.

Lara Teixeira Melo Costa: Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, TO.

Leandro Bacci: Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Engenharia Agrônômica, Aracaju, SE.

Letícia Caroline da Silva Sant'Ana: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, Viçosa, MG.

Lorrana Francisca Oliveira Almeida: Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-graduação em Entomologia, Viçosa, MG.

Marcelo Coutinho Picanço: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, Viçosa, MG.

Mayara Cristina Lopes: Universidade de Rio Verde, Rio Verde, GO.

Mayara Moledo Picanço: Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-graduação em Entomologia, Viçosa, MG.

Paulo Wesley Alvim: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Programa de Pós-graduação em Conservação e Manejo de Recursos Naturais, Cascavel, PR.

Poliana Silvestre Pereira: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, Viçosa, MG.

Raul Narciso Carvalho Guedes: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, Viçosa, MG.

Tamiris Alves de Araújo: Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências da Natureza, Buri, SP.

Tarcísio Visintin da Silva Galdino: Sumitomo Chemical do Brasil, Mogi Mirim, SP.

Vinícius Fonsêca dos Santos: Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-graduação em Entomologia, Viçosa, MG.

Sumário

Resumo	1
Abstract	2
Capítulo 1 Programas de manejo integrado de pragas em cultivos protegidos	3
Capítulo 2 Resistência das pragas aos métodos de controle.....	46
Capítulo 3 Uso de produtos naturais no controle de pragas.....	83
Capítulo 4 Uso de inteligência artificial em programas de manejo integrado de pragas	124
Capítulo 5 Translocação de inseticidas nas plantas e nos insetos	159

RESUMO

Este livro possui cinco capítulos. O primeiro capítulo é sobre o manejo de pragas em cultivos em ambientes protegidos. Nele é abordado as principais culturas, microclima, colonização por pragas e inimigos naturais, tomada de decisão e métodos de controle de pragas nesses ambientes. O segundo capítulo é sobre a resistência das pragas aos métodos de controle. Nele é abordado o que é, como surge e as consequências da dessa resistência. Além disso, no segundo capítulo é abordado sobre resistência das pragas aos inseticidas e acaricidas, biótipos de insetos tolerantes a plantas resistentes, resistência das pragas ao controle cultural e biológico. O terceiro capítulo é sobre o uso de produtos naturais no controle de pragas. Ele contém as vantagens e limitações, legislação brasileira, tipos de produtos, mercado brasileiro e mundial e produtos promissores. O quarto capítulo é sobre o uso de inteligência artificial em programas de manejo integrado de pragas e nele abordado sobre as formas e exemplos de uso dessas ferramentas nessa área do conhecimento. O quinto capítulo é sobre a translocação de inseticidas nas plantas e insetos. Nele é abordado sobre os métodos de aplicação, tipos de produtos de acordo com a capacidade de translocação na planta, etapas da aplicação ao controle, grupos de pragas controlados pelos inseticidas aplicados no solo e parte aérea das plantas e a translocação dos inseticidas no corpo dos insetos.

ABSTRACT

This book has five chapters. The first chapter is about pest management in crops in protected environments. It addresses the main crops, microclimate, colonization by pests and natural enemies, decision-making and pest control methods in these environments. The second chapter is on pest resistance to control methods. It discusses what it is, how it arises and the consequences of this resistance. In addition, the second chapter addresses pest resistance to insecticides and acaricides, insect biotypes tolerant to resistant plants, pest resistance to cultural and biological control. The third chapter is about the use of natural products in pest control. It contains the advantages and limitations, Brazilian legislation, types of products, Brazilian and world market and promising products. The fourth chapter is about the use of artificial intelligence in integrated pest management programs and it discusses the ways and examples of using these tools in this area of knowledge. The fifth chapter is on the translocation of insecticides in plants and insects. It discusses application methods, types of products according to the plant's ability to translocate, steps from application to control, groups of pests controlled by insecticides applied to the soil and aerial part of plants, and the translocation of insecticides in the body of the insects.

CAPÍTULO 1

Manejo de pragas nos cultivos em ambientes protegidos

Juliana L. Santos, Danillo Coelho, Lara T.M. Costa, Daniela Silva, Tamíris A. Araújo, Tarcísio V.S. Galdino, Marcelo C. Picanço.

1.Introdução

A expressão cultivo em ambiente protegido comumente é utilizada com um significado bastante amplo, englobando um conjunto de práticas e tecnologias, usadas pelos produtores para obter um cultivo seguro e protegido em suas lavouras (Vecchia & Koch, 1999).

O Brasil é o segundo maior produtor de culturas em ambientes protegidos da América Latina, com aproximadamente 30.000 hectares neste tipo de sistema (Reisser Júnior, 2021).

A tecnologia que envolve o cultivo em ambiente protegido permite cultivar em um ambiente controlado, fatores como temperatura, umidade, solo, água, luz, fertilizantes, entre outros, para assim,

permitir o máximo de produção e a produção o ano todo (Sabir & Singh, 2013).

Existem vários tipos de estruturas usadas em cultivos em ambiente protegido, dentre elas as mais utilizadas são os telados que podem ser de sombreamento ou proteção, as estufas, os túneis de cultivo, o *mulching* usado como cobertura do solo e os viveiros de produção de mudas (Martins et al., 1999).

O cultivo protegido pode ser utilizado tanto no ciclo todo das culturas quanto somente nas fases de desenvolvimento das culturas nas quais as plantas estão mais suscetíveis às condições climáticas ou ao ataque de pragas ou doenças, como por exemplo, a fase de mudas.

Neste contexto, este capítulo de livro tem o objetivo de reunir o que se tem de mais atual sobre o manejo de pragas em cultivos em ambientes protegidos.

2. Principais cultivos em ambiente protegido

Algumas culturas podem ter todo seu ciclo mantido/cultivado em ambiente protegido, incluindo

desde o plantio até colheita. Já outras culturas, geralmente o seu cultivo ocorre somente no seu momento mais crítico, na fase de mudas. A seguir, estão descritas as espécies cultivadas em cada um destes sistemas de produção.

2.1. Produção de mudas

A etapa mais crítica de espécies florestais, frutíferas, plantas ornamentais e algumas hortaliças (alface, tomate, melancia, entre outras) consiste na produção de mudas. Como esta fase exerce grande influência no desempenho final da cultura, visto que, há uma relação direta entre mudas saudáveis e produtividade a campo (Costa et al., 2017), os ambientes protegidos são utilizados para garantir o controle de qualidade para obtenção de mudas saudáveis.

2.2. Principais cultivos em ambiente protegido

Entre as principais plantas cultivadas em ambientes protegidos, do plantio à colheita, temos as hortaliças e as ornamentais.

Dentre as hortaliças folhosas produzidas em ambiente protegido, podemos destacar a alface como a mais importante, sendo a mais representativa desse grupo por possuir a maior área cultivada (Reddy, 2016). Várias são as opções de culturas dentre as hortaliças de frutos para cultivos em ambientes protegidos, entre as principais em área cultivada temos: o tomate, o melão, o morango, o pepino e o pimentão (Brandão Filho & Callegari, 1999).

Dentre as plantas ornamentais de maior importância econômica produzidas em ambiente protegido, temos as rosas (principalmente as rosas híbridas de chá), as gérberas, o crisântemo, as orquídeas entre outras (Reddy, 2016).

3. Microclima nos ambientes protegidos

O microclima é a síntese das condições físicas do ambiente devido a variáveis atmosféricas (Camuffo, 1998). Neste caso, o cultivo em ambiente protegido permite controlar estas variáveis, como temperatura, umidade e luminosidade, para obter o máximo de produção.

Para controlar a temperatura, a capacidade de ventilação natural deve ser aproveitada ao máximo, com janelas nas laterais e no telhado (Bliska Júnior & Honório, 1999). A ventilação também pode ser forçada, com o uso de ventiladores, nos casos em que seja necessário maior controle da temperatura. Em cultivos de alto valor agregado (por exemplo, plantas ornamentais) é comum a climatização das estufas (Bliska Júnior & Honório, 1999).

O manejo da irrigação é essencial no plantio protegido e a qualidade da água, capacidade de retenção de água no solo, métodos de irrigação e volume de água a ser aplicado devem ser considerados (Carrijo et al., 1999). Os métodos de irrigação mais utilizados em ambiente protegido são sulcos, aspersão e microaspersão (fitas e gotejamento) (Carrijo et al., 1999).

Dentro de uma estufa, a quantidade e a qualidade da luz incidente sobre as plantas também podem ser alteradas a partir da utilização apropriada dos materiais de cobertura de estufas (plásticos, telas de sombreamento e telas reflexivas) de modo que

atuem como filtros de radiação e de luz (Bliska Júnior & Honório, 1999).

A cobertura plástica sobre o solo (*mulching*) conserva a sua umidade pois proporciona economia de água e nutrientes ao diminuir a evaporação e a lixiviação, bem como, conserva a sua temperatura ao diminuir a amplitude térmica favorecendo, deste modo, o desenvolvimento ótimo do vegetal (Bliska Júnior & Honório, 1999).

4. Colonização dos cultivos em ambientes protegidos por pragas e inimigos naturais

A produção de culturas em ambientes protegidos, assim como, à campo, sofrem com ataque de pragas. Entretanto, no campo, tanto as pragas como os inimigos naturais, são encontrados naturalmente presentes no ambiente. Já nos cultivos em ambiente protegido, a proteção exercida pela estrutura deste ambiente impede ou dificulta a entrada desses organismos de forma natural.

No MIP, a adoção de medidas pode evitar ou restringir os insetos-praga nas culturas em ambiente protegido. Entre elas estão a seleção de locais para instalação de estufas (observar as plantas existentes

em sua circunvizinhança para evitar colonização de fontes externas), destruição de restos culturais e de cultivos abandonados, época de cultivo, redução do período de cultivo (menor tempo de exposição às pragas, evita colonização de fontes internas), manejo da nutrição e do fornecimento de água da cultura, rotação de culturas, desinfecção das instalações (ao fim dos cultivos, as estufas devem ser tratadas com inseticida e/ou acaricida, e devem permanecer sem cultivo pelo menos por duas semanas, evitando recolonização) (Picanço & Marquini, 1999).

No caso dos inimigos naturais, estes podem ser escassos ou totalmente ausentes nos ambientes protegidos, a menos que sejam introduzidos acidentalmente ou propositalmente. Por outro lado, o ambiente protegido possibilita que estes organismos sejam utilizados de forma efetiva como agentes de controle biológico (Reddy, 2016).

A seguir são apresentadas as principais pragas (Tabela 1.1) e os principais inimigos naturais das principais pragas de cultivos em ambientes protegidos (Tabela 1.2).

TÓPICOS DE MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS II

Tabela 1.1. Principais pragas de cultivos em ambientes protegidos

Grupo	Espécie	Cultura atacada
Lagarta	<i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera: Noctuidae)	Tomate, pimentão e cravo
Mosca branca	<i>Bemisia tabaci</i> (Homoptera: Aleyrodidae)	Alface, couve, couve-flor, tomate, melancia, melão, pepino, pimentão, repolho, gérbera, rosa e crisântemo
Pulgão	<i>Aphis gossypii</i> (Hemiptera: Aphididae)	Tomate, pimentão, pepino e alface
	<i>Myzus persicae</i> (Hemiptera: Aphididae)	Pimentão, tomate, alface e gérbera
Ácaro	<i>Tetranychus urticae</i> (Acari: Tetranychidae)	Tomate, pimentão e pepino
Mosca minadora	<i>Liriomyza trifolii</i> (Diptera: Agromyzidae)	batata, melão, alface e melancia
Tripos	<i>Thrips tabaci</i> (Thysanoptera: Thripidae)	Melancia, melão, pepino, pimentão, tomate

Fonte: Rathee et al., 2018; Reddy, 2016.

TÓPICOS DE MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS II

Tabela 1.2. Principais agentes de controle biológico nos cultivos em ambientes protegidos.

Pragas	Predador	Parasitoide
Ácaros	<i>Phytoseiulus persimilis</i> (Acari: Phytoseiidae), <i>Neoseiulus cucumeris</i> , <i>Orius laevigatus</i> (Hemiptera: Anthocoridae)	-
Mosca-branca	<i>Orius laevigatus</i> , <i>Chrysoperla externa</i> (Neuroptera: Chrysopidae)	<i>Eretmocerus mundus</i> (Hymenoptera: Aphelinidae), <i>Encarsia formosa</i> (Hymenoptera: Aphelinidae)
Tripes	<i>Orius laevigatus</i> , <i>Neoseiulus cucumeris</i>	-
Mosca minadora	-	<i>Diglyphus isaea</i> (Hymenoptera: Eulophidae), <i>Dacnusa sibirica</i> (Hymenoptera: Braconidae)
Pulgão	<i>Orius laevigatus</i> , <i>Chrysoperla externa</i> , <i>Aphidoletes aphidimyza</i> (Hemiptera: Aphididae)	<i>Aphidius</i> spp. (Hymenoptera: Braconidae)
Lagartas	<i>Chrysoperla carnea</i>	<i>Trichogramma</i> spp.

Fonte: Rathee et al., 2018.

5. Tomada de decisão de controle de pragas em cultivos em ambientes protegidos

O índice de tomada de decisão mais adotado é o nível de dano econômico, o qual corresponde à densidade da praga que causa prejuízos de igual valor ao custo de seu controle. Neste caso, a praga só deve ser controlada quando sua intensidade de ataque for igual ou superior ao chamado nível de controle (Picanço & Marquini, 1999).

No caso de ambientes protegidos, os índices de tomada de decisão são variados. Geralmente, para realizar a amostragem, é recomendado que o plantio seja dividido em blocos por cultura e sistema de cultivo. Neste caso, deve-se amostrar 1% das plantas em cada bloco de forma semanal, direcionando a amostragem para as estruturas do vegetal que são atacadas pelas pragas (Picanço & Marquini, 1999).

Em culturas ornamentais, que podem perder seu valor em densidades de pragas extremamente baixas, os níveis de tomada de decisão são baseados no padrão estético. Já as hortaliças em ambientes protegidos possuem níveis de controle menores do

que em cultivos a campo devido ao alto valor agregado (Tabela 1.3). No de espécies florestais, os índices de controle em mudas são também baixos. Na maioria dos casos é aceito até 5% das mudas atacadas, percentual este em que o controle deve ser efetuado (Martins & Boscardin, 2022).

Tabela 1.3. Níveis propostos para o controle das pragas em ambiente protegido.

Pragas	Nível de controle proposto
Desfolhadores	20% de desfolha
Insetos sugadores	1 (um) inseto/amostra
Acaros	10% das folhas atacadas
Pragas das flores	5% das flores atacadas
Pragas dos frutos (exceto mosca-das-frutas)	3% dos frutos atacados
Mosca-das-frutas	1 (um) adulto/armadilha

Fonte: Adaptado de Picanço & Marquini (1999).

6. Tomada de decisão de controle de pragas em cultivos em ambientes protegidos

6.1. Controle cultural

O controle cultural refere-se ao manejo do agroecossistema com vistas à manipulação cultural de forma a torná-lo desfavorável para a praga (Baker et al., 2020). O controle cultural deve ser considerado como a primeira defesa em torno do qual construir outras opções (Coaker, 1987).

Muitas infestações de insetos começam em pontos isolados dentro da estufa. A inspeção do cultivo protegido inclui a observação de folhagens e flores, bem como o uso de armadilhas para insetos (Bueno et al., 2015). Nesse sentido, o monitoramento oportuno permite evitar aplicações e gastos desnecessários de controle (Sood, 2010).

Destacamos que o uso de armadilhas no controle cultural é diferente do monitoramento, pela quantidade dessas armadilhas que são distribuídas no ambiente protegido. Para moscas-brancas, pulgões, tripses e lagartas adultas, cartões adesivos amarelos

são um excelente complemento para controle (Reddy, 2016). Além disso, para tripes, armadilhas adesivas de cor azul também podem ser usadas (Michereff Filho et al., 2013). Embora as armadilhas adesivas estejam disponíveis comercialmente, elas também podem ser fabricadas por produtores. A localização de cada cartão adesivo deve ser indicado em um mapa da estufa (Valério et al., 2019). Os cartões adesivos devem ser observados duas vezes por semana e registrado o número total de insetos identificados. A substituição deve ser realizada quando 60-70% da área estiver coberta por insetos presos (Sood, 2010).

Ainda são exemplos de práticas culturais o raleio, o desbaste e a catação manual ou *rouguing*, (Penteado, 2001). Tanto o raleio quanto o desbaste promovem maior aeração no dossel (Leão, 2006). Nesse sentido, arrancar partes de plantas danificadas, flores e folhas manchadas (e aquelas com larvas de insetos ou depósitos de ovos) ou com presença de fitopatógenos, pode ser uma maneira muito eficaz de reduzir a propagação de pragas em cultivos em ambientes protegidos (Hoffmann & Antunes, 2012).

Uma estratégia particularmente adequada para programas de MIP em ambientes protegidos é o uso de barreiras físicas para excluir insetos-pragas, como forma de manipulação do meio para evitar que as pragas tenham acesso aos cultivos (Zanuncio Junior, 2018). Aberturas de telas e portas podem limitar bastante o movimento de pragas de insetos na estufa (Vida et al., 2004). No entanto, a seleção da malha de tamanho de tela adequada e a garantia de fluxo de ar adequado são mais importantes (Bisbis et al., 2017).

O tamanho da malha depende do inseto alvo (Bisbis et al., 2017). A malha com orifícios menores que 200 micrômetros é necessária para a exclusão completa de tripes, *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) (Vida et al., 2004). Obviamente, a triagem que impede a entrada de tripes também impede a entrada de pragas maiores, como pulgões, *A. gossypii* e moscas-brancas, *B. tabaci* (Vida et al., 2004). No entanto, a seleção de tela com tamanho de malha específico é específica do local e depende das pragas prevalentes da cultura na localidade (Bisbis et al., 2017).

O acesso limitado a áreas protegidas é benéfico, pois os insetos podem entrar na estrutura protegida em roupas ou ser arrastados pelo vento (Zanuncio Junior, 2018). Construir um *hall* de entrada com tela para criar uma entrada de porta dupla resolve parcialmente o problema dos insetos transportados pelo vento (Bisbis et al., 2017). Esforços especiais devem ser feitos para reparar buracos ou rasgos imediatamente e limpar as telas para manter o fluxo de ar (Vida et al., 2004).

A alteração do comportamento visual dos insetos tem sido usada com sucesso como ferramenta em programas de MIP direcionados para proteger as culturas de insetos e doenças virais transmitidas por insetos (Thomazini, 2009). Um exemplo é o uso de filmes absorventes de radiação ultravioleta (UV) (Papaioannou et al., 2012). Os insetos percebem sinais de luz através de seus olhos compostos (Košťál, 2011). Folhas modificadas espectralmente são produzidas pela introdução de um aditivo absorvente de UV que bloqueia a transmissão da maioria dos comprimentos de onda na faixa de UV abaixo de 370-

380 nm sem interferir na transmissão de radiação fotossinteticamente ativa (400-700 nm) (Rathee et al., 2018).

Além disso, a manipulação da visão UV de insetos usando materiais de revestimento de estufas de bloqueio de UV mostrou ser eficaz na prevenção da imigração de uma ampla gama de insetos-praga (moscas brancas, pulgões e tripses) do ambiente externo para o cultivo em ambiente protegido (Rathee et al., 2018). Constatou-se que as populações de pulgão, mosca-branca, tripses e minadores foram menores em tomates cultivados em uma estufa de plástico feito de polietileno tratado para excluir comprimentos de onda UV do que em cultivos cultivados em uma estufa plástica comum (Košťál, 2011).

A velocidade e a direção do vento têm uma forte influência na entrada e disseminação de pragas e doenças (Collier et al., 2008). Dessa forma, a utilização de quebra-ventos, tanto para a proteção do ambiente quanto contra as pragas, pode ser útil (Penteado, 2001). O uso de cortina de vento e/ou

ventiladores também desfavorecem a movimentação e atividade das pragas (Collier et al., 2008).

Outras ações mais básicas, porém, que merecem serem mencionadas, são a drenagem eficiente em viveiros ou casa de vegetação evitando encharcamentos, além de fertilização equilibrada, especialmente nitrogenada, ambos atuam auxiliando a evitar danos decorrentes de infestações de insetos-praga (Gullino et al., 2020).

6.2. Resistência de plantas

As características das plantas que conferem resistência aos herbívoros normalmente previnem ou reduzem os danos causados pelas pragas através da expressão de características que impedem que esses organismos se instalem, fixem-se às superfícies, alimentem-se e se reproduzam, ou que reduzam a palatabilidade (Rosenthal & Kotanen, 1994).

Nesse sentido, a resistência das plantas às pragas pode assim ser categorizada como antibiose; antixenose (ou não preferência) e tolerância (Sulistyó & Inayati, 2016). As características de antibiose das

plantas impactam negativamente a biologia da praga (Smith et al., 2010). Enquanto que, a antixenose é uma característica expressa pelo hospedeiro que tem efeitos adversos no comportamento do inseto (Kogan & Ortman, 1978), tendo os insetos preferência por hospedeiros antixenóticos, isto é, hospedeiros suscetíveis (Ranger & Hower, 2002). Já as características de tolerância reduzem os efeitos negativos da herbivoria na aptidão das plantas, mantendo ao mesmo tempo populações de insetos semelhantes às observadas em plantas suscetíveis (Simms & Triplett, 1994; Smith et al., 2010).

Embora a resistência completa aos insetos tenha sido encontrada e usada, é ainda uma característica considerada excepcional, especialmente em ambiente protegido (Berlinger, 2008). Por outro lado, a resistência parcial que ocorre, com maior frequência, tende a ser mais durável (Parlevliet & Zadoks, 1977), requerendo métodos de testes mais sofisticados (Hilder & Boulter, 1999).

A resistência a vetores é um caso especial de resistência de plantas a pragas, sendo considerada

tendência das plantas, que são, por si só, suscetíveis ao vírus, de escapar da infecção, impedindo que o vetor transmita o vírus (Berlinger, 2008). Teoricamente, dois mecanismos de resistência das plantas são reconhecidos: resistência ou tolerância ao próprio vírus e resistência ao vetor que transmite o vírus (Bosque-Perez & Buddenhagen, 1992).

A vantagem da resistência ao inseto vetor é dupla: pode ser integrada à resistência da planta, ou tolerância, ao próprio vírus, e espera-se que a resistência da planta aos insetos seja maior do que a resistência das plantas aos vírus (Stinchcombe, 2022). Várias características da planta podem ser responsáveis por esse tipo de resistência: folhas pilosas, secreções pegajosas e venenosas e fatores intrínsecos nas plantas que influenciam a fixação, aceitação e comportamento alimentar do inseto vetor (Berlinger, 2008). Por outro lado, este tipo de resistência também pode ter algumas desvantagens porque é específico do vetor, mas não específico do vírus (Bosque-Perez & Buddenhagen, 1992).

A deposição silício em certos tecidos de plantas contribuem para a resistência a pragas de insetos por interferir na alimentação e perfuração das larvas e causar desfiguração de suas mandíbulas (Hakeem, 2015). A resistência a insetos relacionada à cor em plantas não existe, mas a manipulação genética da cor da planta geralmente tem um efeito em alguns processos físicos fundamentais da planta (Hakeem, 2015). Lagartas como *Pieris rapae* (Lepidoptera: Pieridae) e *Mamestra brassicae* (Lepidoptera: Noctuidae) e a mosca-branca, *B. tabaci*, foram mais encontradas em cultivares de folhagem verde em comparação com espécies de folhagem vermelha (Hakeem, 2015).

6.3. Controle biológico

O controle biológico trata-se da metodologia aplicada de forma natural, potencializada ou induzida, a partir da utilização de interações ecológicas básicas entre organismo benéficos (inimigos naturais) e organismos indesejáveis (pragas) em um mesmo

ambiente, através da predação, parasitismo ou entomopatogenicidade (El-Wakeil et al., 2017).

Em uma visão geral, os predadores são espécies de vida livre que consomem grandes quantidades de presas durante sua vida, como joaninhas e crisopídeos. Os parasitoides são geralmente vespas e moscas que ovipositam dentro ou fora de um único hospedeiro de inseto e nascem as larvas, que se alimentam do corpo da vítima matando a espécie hospedeira. Já os entomopatógenos são organismos causadores de doenças, incluindo bactérias, fungos e vírus, que matam ou enfraquecem o hospedeiro e são relativamente específicos para certos grupos de insetos (El-Wakeil et al., 2017).

Esses inimigos naturais são considerados eficientes ou bem-sucedidos quando apresentam características como: (i) altas taxas de reprodução, (ii) boa capacidade de busca de sua presa ou hospedeiro, (iii) especificidade do hospedeiro, (iv) adaptação a diferentes condições ambientais e (v) sincronização com o hospedeiro - praga (Fontes & Valadares-Inglis, 2020).

A caracterização de cada grupo de inimigo natural será discutida a seguir.

6.3.1. Predadores

Os inimigos naturais considerados predadores, alimentam-se de outros insetos (ou ácaros) por mastigação ou sucção da hemolinfa. Geralmente são considerados de vida livre e apresentam tamanhos superiores às suas presas, com exceção de algumas formigas e ácaros predadores.

A predação pode ocorrer em diferentes estágios de vida do predador. Muitos deles se alimentam de presas apenas quando larvas ou ninfas (fase jovem), e quando adultos se alimentam de substâncias açucaradas como néctar, pólen ou líquido liberado por outros insetos na planta, mas também há espécies de predadores que se alimentam dos estágios juvenil e adultos da presa.

Dentre as espécies de predadores, as principais famílias que apresentam maior contribuição de controle biológico em ambientes protegidos são (i) as Joaninhas (Coleoptera: Coccinellidae), larvas e

adultos se alimentam de moscas brancas, pulgões, ácaros, cochonilhas, larvas; (ii) Tesourinhas (Dermaptera: Forficulidae), ninfa e adultos, predam ovos, lagartas pequenas, pupas, pulgões, tripes e mosca branca, (iii) Crisopídeos (Neuroptera: Chrysopidae), as larvas predam pulgões, pequenos insetos, moscas brancas, tripes e ácaros; (iv) *Orius* sp. (Hemiptera: Anthocoridae) adultos predam pulgões, tripes, pequenas lagartas, ácaros e ovos de diferentes insetos; (v) *Geocoris* sp. (Hemiptera: Geocoridae), ninfas e adultos predam outros percevejos (fitófagos), pequenos besouros, ácaros, ovos e pequenas lagartas de lepidópteros; (vi) *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera:Cecidomyiidae), as ninfas se alimentam de outros pulgões; (vii) Sirfídeos (Diptera: Syrphidae), a larva preda pulgões, tripes, ácaros, larvas de outros insetos; (viii) *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) e *Phytoseiulus macropilis* (Acari: Phytoseiidae): fase ninfal preda ácaros-praga tetraniquídeos, ninfas de cochonilhas, fungos e grãos de pólen.

6.3.2 Parasitoides

Os parasitoides são insetos que em determinado estágio de vida retiram os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento de outro ser vivo (hospedeiro), nesse caso, insetos e ácaros praga, causando sua morte. Para ser considerado um parasita, o inimigo natural pode depositar seus ovos dentro ou fora do corpo do seu hospedeiro, e esses ovos eclodem e as larvas se alimentam do corpo da vítima. Além de fornecer alimento ao inimigo natural, o corpo do hospedeiro também pode fornecer proteção durante o desenvolvimento do parasita, até que ele atinja a idade adulta.

Quando adulto, o inimigo natural deixa o corpo do hospedeiro para acasalar, podendo se alimentar tanto de néctar de plantas, como de outros hospedeiros, para que novas fêmeas ponham ovos. As fêmeas geralmente colocam seus ovos em cada novo inseto que encontram, porém nem todo inseto que atua como hospedeiro, fornece alimento suficiente para os parasitos, assim a maioria das espécies de parasitoides prefere um tipo ou estágio de

desenvolvimento específico do hospedeiro. Esses indivíduos funcionam como parasitas unitários, então quanto mais desses inimigos naturais estão no campo, mais insetos são parasitados.

Os agricultores se beneficiam dessa relação quando os insetos parasitados morrem sem causar maiores danos maiores às lavouras, porém algumas espécies de parasitas que agem de forma interna na praga hospedeira, acaba induzindo o aumento de alimentação do hospedeiro, esses inimigos naturais costumam ser evitados no controle biológico aplicado no MIP. Alguns exemplos conhecidos de parasitoides em ambientes protegidos são (i) *Eretmocerus* sp. (Hymenoptera: Aphelinidae), parasitoide para controle de mosca-branca e (ii) *Encarsia formosa* (Hymenoptera, Aphelinidae), usado para o controle de mosca branca e cochonilha de carapaça.

6.3.3 Entomopatógenos

Os entomopatógenos são microrganismos que causam danos ou doenças aos insetos e ácaros, podendo levar à morte. Alguns desses patógenos já

são produzidos em massa e podem ser produzidos comercialmente para uso comum. Estudos recentes demonstram que os produtos microbianos, aparentemente, não afetam diretamente os insetos benéficos e não são tóxicos para a vida selvagem e para os seres humanos, apresentando ação seletiva para grupos específicos de insetos e estágios de vida. Alguns exemplos de entomopatógenos de pragas são: (i) *Beauveria bassiana*, entomopatógeno do ácaro rajado (*Tetranychus urticae*); mosca-branca (*Bemisia tabaci*); Tripes (*Thrips tabaci*); (ii) *Isaria fumosorosea* entomopatógeno do Psílídeo (*Diaphorina citri*); mosca branca (*Bemisia tabaci*); (iii) *Metarhizium anisopliae* entomopatógeno da cigarrinha verde (*Empoasca kraemeri*); ácaro rajado (*Tetranychus urticae*); tripes (*Thrips tabaci*); (iv) *Lecanicillium lecanii* entomopatógeno da cigarrinha verde (*Empoasca kraemeri*) e (v) *Bacillus thuringiensis* entomopatógeno da traças das crucíferas (*Plutella xylostella*); traça do tomateiro (*Tuta absoluta*).

6.3.4. Controle biológico conservativo

O controle biológico conservativo baseia-se na preservação e aumento das populações de inimigos naturais, resultando no controle das populações de pragas. Para isso, os inimigos naturais devem ser atraídos e se manterem no agroecossistema, sendo necessário o fornecimento de alimentos alternativos, como fontes de carboidratos (néctar) e de proteínas (pólen) para parasitoides e predadores.

A conservação dos inimigos naturais também necessita de algumas manipulações do ambiente visando favorecimento das condições do agroecossistema local, como: a) oferecer alimentos alternativos (como néctar, pólen e substâncias açucaradas); b) disponibilidade de abrigo e microclima adequado para refúgio; c) presas e hospedeiros alternativos; d) organização do espaço entre as plantas da cultura e refúgio para favorecer a movimentação; e) uso de inseticidas e controle biológico seletivo (Shields et al., 2019)

6.3.5. Controle biológico aumentativo

O controle biológico aumentativo ocorre quando os inimigos naturais de ocorrência natural não conseguem fornecer o nível de controle necessário de determinada praga, assim, torna-se necessário o aumento artificial da população de uma ou mais espécies de inimigos naturais, seja por táticas inoculativas e inundativas. Tanto os inimigos naturais como agentes de controle microbianos, passam por um processo de multiplicação e/ou produção em larga escala em biofábricas (produtos adquiridos por empresas) e liberados em maior quantidade para obter um controle imediato de pragas em cultivos de ciclo curto ou durante várias gerações em cultivos com longo ciclo. Para manutenção desses inimigos naturais, também pode ser necessário manipulações do ambiente visando favorecimento das condições do agroecossistema local (Sivinski, 2014).

6.4. Controle comportamental

A manipulação comportamental das pragas baseia-se em técnicas de interrupção da comunicação

que visam interferir nos hábitos comuns das principais pragas, a fim de minimizar seus impactos negativos na produção agrícola (Foster & Harris, 1997). Fundamentalmente, essa manipulação envolve o uso de sinais naturais e/ou artificiais, como feromônios, sons e vibrações (Agarwal & Sunil, 2020), para interferir em comportamentos básicos, como alimentação e acasalamento (Čokl & Millar, 2009).

Os métodos de interferência incluem o uso de semioquímicos para interromper a comunicação dos insetos, impedindo a colonização ou o acasalamento. Embora sejam encontradas milhares de publicações científicas e muitas reivindicações foram feitas sobre a contribuição de métodos de interferência, o manejo de pragas em programas de MIP, seu uso prático ainda é muito limitado em ambientes protegidos (Van Lenteren & Nicot, 2020).

De forma geral, armadilhas com isca de feromônio sexual já são usadas para detectar mariposas de lepidópteras, como da lagarta do tabaco, *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) e da

broca pequena do tomate, *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) (Cloyd, 2016).

Por outro lado, a semiofísica (ou seja, sinais vibracionais transmitidos) está surgindo como uma nova tecnologia, que está rapidamente ganhando interesse considerável tanto em produtores quanto em indústrias com negócios em proteção de cultivos (Nieri et al., 2021). Insetos como percevejos, que se comunicam a médio e curto alcance com sinais vibracionais, dependem da percepção de sinais co-específicos transmitidos para identificar e localizar um parceiro em potencial (Van Lenteren & Nicot, 2020). Ao introduzir sinais disruptivos, que imitam os sinais naturais de rivalidade feminina do percevejo, nas plantas hospedeiras, por exemplo, é possível afetar o processo de formação do par e, assim, impedir o acasalamento da praga (Dias et al., 2021).

6.5. Controle químico

O controle químico, emprega táticas e compostos usados no combate de pragas, onde seu papel é repelir, exterminar ou confundir a praga a fim

de deixar o número de indivíduos abaixo do nível de dano econômico (Flint et al., 1981).

Atualmente o controle químico se faz bastante presente na cadeia produtiva mundial, mesmo em pequenas propriedades onde em conjunto com outras técnicas de MIP vem ajudando o produtor no controle de pragas. Entretanto, o uso exclusivo do controle químico no ambiente protegido para realizar o manejo de pragas em geral pode ocasionar aumento na quantidade de pulverizações em relação ao campo, devido este ambiente favorecer a praga ao dificultar ou excluir a ação dos diferentes fatores abióticos e bióticos de regulação populacional das pragas como chuva, baixas temperaturas e a atuação de inimigos naturais (Vida et al., 2004; Picanço & Marquini, 1999).

6.5.1. Principais Formulações

Os inseticidas são encontrados em diversas formulações, pó seco; pó molhável; pó solúvel, granulado; concentrado emulsionável; suspensões concentradas; aerossóis; gasosas e pasta (Gallo et al., 2002). Excetuando-se as formulações à base de pó

seco; aerossóis e gasosas, as demais são mais facilmente encontradas para serem utilizadas e/ou recomendadas aos ambientes protegidos.

6.5.2. Doses dos produtos

As dosagens para ambiente protegido serão as mesmas para o cultivo em campo como especificado na bula do produto, respeitando a quantidade de ingrediente ativo por 100 L de água em produtos de suspensão concentrada.

6.5.3. Tecnologia de aplicação dos produtos

A tecnologia de aplicação de um produto permite adotar conhecimentos buscando a eficiência do controle da praga através da correta colocação de um ingrediente ativo no alvo, reduzindo custos e viabilizando a atividade do ponto de vista econômico e ambiental.

A partir do tipo de atividade empregada, o controle químico pode ser por diferentes vias de aplicação como: aplicação via irrigação ou quimigação;

submersão; pulverização; aerossóis e tratamento de sementes.

Entre as principais práticas agrícolas para a aplicação de produtos químicos vale destacar algumas recomendações. O uso de EPI pelo aplicador ao manipular e/ou realizar a aplicação de pesticidas deve ser adotado. O uso de água de boa qualidade a fim de que o pH ou certos sólidos da água não interfiram com o produto a ser aplicado deve ser avaliado. Também deve ser realizada a calibração adequada do equipamento a fim de se obter a dose correta e evitar a subdosagem ou superdosagem. O uso do bico correto para se obter a devida vazão de calda e tamanho de gotas adequado para a aplicação.

Respeitar os intervalos de aplicações e intervalos de reentrada. Considerar a quantidade da praga alvo e estágio adequado conforme a bula do produto indicado. Além disso, é importante sinalizar a área tratada ao final de cada operação com os horários de reentradas definidos.

6.5.4. Critérios de seleção dos produtos

Inicialmente, é importante identificar a praga antes de selecionar o inseticida, verificando sempre a existência do registro deste pesticida para a praga em questão, optando, se for possível, por produtos de conhecida seletividade fisiológica aos inimigos naturais. O produto, quando aplicado, deverá realizar a cobertura completa e uniforme da planta, especialmente quando o inseticida atuar via contato sobre o inseto. Adicionalmente, deve-se levar em consideração o período de carência, que pode variar de dias a horas dependendo do produto (Van Lenteren & Nicot, 2020). Por fim, a escolha do produto a ser aplicado na praga alvo também deve ser considerado a forma que o produto se distribui na planta e o tipo de ação sobre o inseto.

6.5.5. Controle químico alternativo

No controle químico alternativo em ambiente protegido, é possível fazer uso de diversas opções. Extratos botânicos e óleos essenciais, por exemplo, podem ser aplicados, sendo amplamente usados na

agricultura orgânica onde possuem alta eficiência na redução de populações de insetos, sempre associado a outros métodos de controle.

Outros produtos que podem ser utilizados, de fácil produção caseira, são as caldas e pastas como: a calda bordalesa; calda viçosa; calda sulfocálcica e a pasta bordalesa.

7. Considerações finais

As pragas constituem importante fator de perda nos cultivos, sobretudo quando este é realizado em ambiente protegido. Apesar do grande aumento do cultivo de espécies em ambiente protegido e do avanço da tecnologia empregada, são escassos os estudos no Brasil sobre sistemas de manejo de pragas nesses cultivos.

O manejo de pragas das culturas em ambientes protegidos é direcionado a prevenir seu estabelecimento e minimizar seu desenvolvimento e disseminação na cultura. Assim, o desafio futuro para os pesquisadores e os produtores é integrar e criar diferentes tecnologias sustentáveis de manejo de

pragas para que possam contribuir para o aumento da produtividade nos ambientes protegidos.

8. Referências

Agarwal, M. L., & Sunil, V. (2020). Basic behavioural patterns in insects and applications of behavioural manipulation in insect pest management. *J. Entomol. Zool. Stud*, 8, 991-996.

Baker, B. P., Green, T. A., & Loker, A. J. (2020). Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*, 140, 104095.

Berlinger, M. J. (2008). Plant resistance to insects. *Encyclopedia of Entomology*. Springer, Dordrecht, 2930-2935.

Bisbis, M., Gruda, N., & Blanke, M. (2017, August). Adapting to climate change with greenhouse technology. In *International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant 1227* (pp. 107-114).

Bliska Júnior, A., & Honório, S. L. (1999). Local de instalação e construção de estufas para cultivo de hortaliças. *Informe Agropecuário*, 20(200/201), 11-14.

Bosque-Perez, N. A., & Buddenhagen, I. W. (1992). The development of host-plant resistance to insect pests:

outlook for the tropics. In *Proceedings of the 8th International Symposium on Insect-Plant Relationships* (pp. 235-249). Springer Netherlands.

Brandão Filho, J. U. T., & Callegari, O. (1999). Cultivo de hortaliças de frutos em solo em ambiente protegido. *Informe Agropecuário*, 20(200/201), 64-68.

Bueno, V. H. P., Junior, J., Junior, A. M., & Silveira, L. D. (2015). Controle biológico e manejo de pragas na agricultura sustentável. *Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras. Retirado de: <http://www.den.ufla.br/attachments/article/75/ApostilaCB>*, 20.

Camuffo, D. (1998). *Microclimate for cultural heritage*. Elsevier.

Carrizo, O. A., Marouelli, W. A., & Silva, H. D. (1999). Manejo da água na produção de hortaliças em cultivo protegido. *Informe Agropecuário, Belo Horizonte*, 20(200/201), 45-51.

Cloyd, R. A. (2016). *Greenhouse pest management*. CRC press.

Coaker, T. H. (1987). Cultural methods: the crop. *Integrated pest management*, 69-88.

Čokl, A. A., & Millar, J. G. (2009). *Manipulation of insect signaling for monitoring and control of pest insects* (pp. 279-316). Springer Netherlands.

Collier, R., Fellows, J. R., Adams, S. R., Semenov, M., & Thomas, B. (2008). Vulnerability of horticultural crop production to extreme weather events. *Aspects of Applied Biology*, 88, 3-14.

Costa, E., Santo, T. L., Batista, T. B., & Curi, T. M. (2017). Diferentes tipos de ambiente protegido e substratos na produção de pimenteiras. *Horticultura Brasileira*, 35, 458-466.

Dias, A. M., Borges, M., Blassioli Moraes, M. C., Lorrain Figueira Coelho, M., Čokl, A., & Laumann, R. A. (2021). Inhibitory copulation effect of vibrational rival female signals of three stink bug species as a tool for mating disruption. *Insects*, 12(2), 177.

El-Wakeil, N., Saleh, M., Gaafar, N., & Elbeheiry, H. (2017). Conservation biological control practices. *Biological control of pest and vector insects*, 41-69.

Flint, M. L., & Van den Bosch, R. (2012). *Introduction to integrated pest management*. Springer Science & Business Media.

Fontes, E. M. G., Valadares-Inglis, M. C. (2020). Controle biológico de pragas da agricultura.

Foster and, S. P., & Harris, M. O. (1997). Behavioral manipulation methods for insect pest-management. *Annual review of entomology*, 42(1), 123-146.

Gallo, D., Nakano, O., Neto, S. S., Carvalho, R. P. L., Batista, G. C., Berti Filho, E., Parra, J. R. P. L., Zuchi, R. A., Bat, S. & Omoto, C. (2002). Entomologia agrícola.

Piracicaba, FEALQ, 920p. *Macedo, Macedo, Campos, Novaretti e Ferraz, 158.*

Gullino, M. L., Albajes, R., & Nicot, P. C. (Eds.). (2020). *Integrated pest and disease management in greenhouse crops* (Vol. 9). New York, NY, USA: Springer International Publishing.

Hakeem, K. R. (Ed.). (2015). *Crop production and global environmental issues*. Springer.

Hilder, V. A., & Boulter, D. (1999). Genetic engineering of crop plants for insect resistance—a critical review. *Crop protection, 18*(3), 177-191.

Hoffmann, A., Antunes, L. (2012). Pequenas frutas: o produtor pergunta, a Embrapa responde.

Kogan, M., & Ortman, E. F. (1978). Antixenosis—a new term proposed to define Painter's "nonpreference" modality of resistance. *Bulletin of the ESA, 24*(2), 175-176.

Košťál, V. (2011). Insect photoperiodic calendar and circadian clock: independence, cooperation, or unity?. *Journal of insect physiology, 57*(5), 538-556.

Leão, P. D. S. (2006, November). Tratos culturais. In *Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: FEIRA NACIONAL DA AGRICULTURA IRRIGADA-FENAGRI, 2004, Petrolina. Minicursos: apostilas. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2004.

Martins, S. M. C., & Boscardin, J. (2022). Levantamento do manejo de pragas aplicado em viveiros florestais no Brasil. *Entomology Beginners*, 3, e047-e047.

Martins, S. R., Fernandes, H. S., Assis, F. D., & Mendez, M. E. G. (1999). Caracterização climática e manejo de ambientes protegidos: a experiência brasileira. *Informe Agropecuário*, 20(200/201), 15-23.

Michereff Filho, M., Resende, F. V., Vidal, M. C., Guimaraes, J. A., de Moura, A. P., da Silva, P. S., & Reyes, C. P. (2013). Manejo de pragas em hortaliças durante a transição agroecológica.

Nieri, R., Anfora, G., Mazzoni, V., & Stacconi, R. (2021). Semiochemicals, semiophysicals and their integration for the development of innovative multi-modal systems for agricultural pests' monitoring and control. *JOURNAL OF MEDITERRANEAN ECOLOGY*, 19(special issue), 42.

Papaioannou, C., Katsoulas, N., Maletsika, P., Siomos, A., & Kittas, C. (2012). Effects of a UV-absorbing greenhouse covering film on tomato yield and quality. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(4), 959-966.

Parlevliet, J. E., & Zadoks, J. C. (1977). The integrated concept of disease resistance: a new view including horizontal and vertical resistance in plants. *Euphytica*, 26, 5-21.

Penteado, S. R. (2001). Agricultura orgânica. *Piracicaba: ESALQ-Divisão de Biblioteca e Documentação*, 41.

Picanço, M., & Marquini, F. (1999). Manejo integrado de pragas de hortaliças em ambiente protegido. *Informe agropecuário*, 20(200/201), 126-133.

Ranger, C. M., & Hower, A. A. (2002). Glandular trichomes on perennial alfalfa affect host-selection behavior of *Empoasca fabae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 105(2), 71-81.

Rathee, M., Singh, N. V., Dalal, P. K., & Mehra, S. (2018). Integrated pest management under protected cultivation: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(2), 1201-1208.

Reddy, P. P. (2016). *Sustainable crop protection under protected cultivation* (No. BOOK). Singapore: Springer.

Reisser Júnior, C. (2021). Cultivo protegido em estufas plásticas. *Revista Campo & Negócios*. Acesso em 20/10/2022. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/cultivo-protegido-em-estufas-plasticas/>.

Rosenthal, J. P., & Kotanen, P. M. (1994). Terrestrial plant tolerance to herbivory. *Trends in Ecology & Evolution*, 9(4), 145-148.

Sabir, N., & Singh, B. (2013). Protected cultivation of vegetables in global arena: A review. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 83(2), 123-135.

Shields, M. W., Johnson, A. C., Pandey, S., Cullen, R., González-Chang, M., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. (2019). History, current situation and challenges for

conservation biological control. *Biological control*, 131, 25-35.

Simms, E. L., & Triplett, J. (1994). Costs and benefits of plant responses to disease: resistance and tolerance. *Evolution*, 48(6), 1973-1985.

Sivinski, J. (2014). Augmentative biological control: research and methods to help make it work. *CABI Reviews*, (2013), 1-11.

Smith, C. M., Liu, X., Wang, L. J., Liu, X., Chen, M. S., Starkey, S., & Bai, J. (2010). Aphid feeding activates expression of a transcriptome of oxylipin-based defense signals in wheat involved in resistance to herbivory. *Journal of chemical ecology*, 36, 260-276.

Sood, A. K. (2010). Integrated pest management under protected environment: principles and practices. *Agropedia*, 29, 13-21.

Stinchcombe, J. R. (2002). Can tolerance traits impose selection on herbivores?. *Evolutionary Ecology*, 16, 595-602.

Sulistyo, A., & Inayati, A. (2016). Mechanisms of antixenosis, antibiosis, and tolerance of fourteen soybean genotypes in response to whiteflies (*Bemisia tabaci*). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 17(2).

Thomazini, M. J. (2009). A comunicação química entre os insetos: obtenção e utilização de feromônios no manejo de pragas.

Valério, E., Figueiredo, E., Godinho, M., Alexandre, P., & Santos, J. (2019). Guia prático: para (re) conhecer pragas e meios de protecção. *Guia prático: para (re) conhecer pragas e meios de protecção*.

Van Lenteren, J. C., & Nicot, P. C. (2020). Integrated pest management methods and considerations concerning implementation in greenhouses. *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops*, 177-193.

Vecchia, P. T. D., & Koch, P. S. (1999). História e perspectivas da produção de hortaliças em ambiente protegido no Brasil. *Informe Agropecuário*, 20(200/201), 5-10.

Vida, J. B., Zambolim, L., Tessmann, D. J., Brandão Filho, J. U. T., Verzignassi, J. R., & Caixeta, M. P. (2004). Manejo de doenças de plantas em cultivo protegido. *Fitopatologia brasileira*, 29, 355-372.

Zanuncio Junior, J.S., Lazzarini, A. L., Oliveira, A. A., Rodrigues, L. A., Souza, I.I.M., Andrikopoulos, F. B., Fornazier, M. J., & Costa, A. F. (2018). Manejo agroecológico de pragas: alternativas para uma agricultura sustentável. *Revista Científica Intelletto*, 3(3).

CAPÍTULO 2

Resistência das pragas aos métodos de controle

Allana G. Guedes, Damaris R. Freitas, Júlia B. Melo, Poliana S. Pereira, Eliseu J.G. Pereira, Raul N.C. Guedes, Marcelo C. Picanço

1. Introdução

Atualmente, os métodos de controle mais utilizados são: controle químico, controle cultural e controle biológico, bem como o uso de plantas resistentes. Dentre estes métodos, o uso de inseticidas e acaricidas (controle químico), em geral, são mais difundidos e eficazes na redução das populações de artrópodes-pragas a níveis aceitáveis, ou seja, a níveis que não causam prejuízos econômicos (Denholm & Rowland, 1992; Boyer et al., 2012; Barres et al., 2016).

Porém, a resistência de pragas aos métodos de controle está se tornando uma preocupação mundial, principalmente no âmbito do controle químico

(inseticidas e acaricidas) (Whalon et al., 2008; Sparks et al., 2020).

Nas últimas décadas, foram relatadas mais de 500 espécies de artrópodes resistentes aos métodos de controle, principalmente ao controle químico (Sparks et al., 2020). Geralmente, estes artrópodes se adaptam às moléculas, passando a apresentar mecanismos fisiológicos e comportamentais resistentes (Whalon et al., 2008).

Em virtude da imprecisão na utilização das alternativas de controle, normalmente, a resistência das pragas à inseticidas e acaricidas aparece devido ao uso excessivo desses compostos (Silva et al., 2011; Guedes & Picanço, 2012; Barres et al., 2016).

Apesar das várias pesquisas na área de resistência das pragas a inseticidas, é fundamental a junção do conhecimento existente sobre este assunto para os técnicos e produtores rurais. Neste contexto, visando difundir essas informações, este capítulo de livro tem o objeto de reunir o conhecimento atual sobre a resistência das pragas aos métodos de controle mais utilizados.

2. Resistência das pragas aos métodos de controle

Embora a atenção da resistência, na literatura, encontra-se difundida para a resistência ao controle químico, vários outros métodos de controle, como controle cultural e controle biológico, bem como uso de plantas resistentes apresentam adversidades com a evolução da resistência das pragas (Tabashnik et al., 2013; Gould et al., 2018).

2.1. O que é?

A resistência é uma mudança biológica que ocorre em uma população de praga em resposta a exposições repetitivas aos métodos de controle, seja químico, biológico ou cultural. Vários fatores bióticos e abióticos naturais encontrados no ambiente pode desencadear resistência às populações de pragas, tornando a resistência um dos principais gargalos para o controle de pragas (Gould et al., 2018).

2.2. Como surge?

O primeiro relato de resistência foi documentado em 1914. A resistência surge do uso intenso de um

método de controle, seja ele químico, biológico, cultural ou plantas resistentes. Isso ocorre devido à seleção de indivíduos que sobrevivem melhor a essas intervenções, que vão paulatinamente prevalecendo na população até torná-la resistente ao método de controle (Tabashnik et al., 2013; Gould et al., 2018). Neste sentido, com o uso de um determinado método de controle pode ocorrer a seleção de organismos pragas que sobrevivem (devido à sua característica genética) e ao se reproduzirem transferem esses genes que conferem resistência para a prole (Garrido & Botton, 2021).

Os organismos pragas podem desenvolver resistência através de mecanismos comportamentais e fisiológicos. No caso de mecanismos comportamentais de resistência, os artrópodes pragas podem fugir ou mudar seu comportamento para evitar o contato com o agente de controle, e geralmente este mecanismo está associado com a capacidade de aprendizagem desses organismos ou a de evitar a exposição ao agente de controle (Hoy et al., 1998; Guedes et al., 2009; Corrêa et al., 2010).

No caso dos mecanismos fisiológicos, estes são divididos em mecanismos bioquímicos e propriamente fisiológicos. Nos mecanismos bioquímicos a resistência está relacionada à ação de enzimas detoxificativas e à alteração na sensibilidade do sítio de ação do agente de controle (Whalon et al., 2008; Corrêa et al., 2010). Já nos mecanismos fisiológicos a resistência refere-se à capacidade dos organismos de aumentar a excreção dos compostos tóxicos, de armazenar substâncias tóxicas em tecidos pouco sensíveis ou quimicamente inertes, e de reduzir a penetração cuticular do pesticida (Whalon et al., 2008; Corrêa et al., 2010; Sparks et al., 2020).

No controle químico, por exemplo, a resistência pode ser desenvolvida devido ao uso repetido de pesticidas com o mesmo modo de ação, ou mesmo modo de ação distinto, resultando na falha de controle das pragas (Tabashnik et al., 2013; Guedes, 2017). Em relação ao controle cultural, há espécies de pragas que desenvolveram resistência à rotação de milho e soja (Gould, 1991; Gould et al., 2018).

2.3. Quais as consequências?

A resistência de organismos pragas é um grande problema na eficácia das medidas de controle dos cultivos, sendo uma grave ameaça à segurança alimentar e industrial, e pode acarretar em perdas econômicas, ambientais e riscos à saúde pública (Birch et al., 2011; Guedes et al., 2016; Jørgensen et al., 2020; Guedes et al., 2022).

As práticas de controle de pragas empregadas de forma inadequadas podem inviabilizar o uso de pesticidas, de plantas resistentes com tecnologia Bt, e de outros agentes e métodos de controle (Gould et al., 2018; Jørgensen et al., 2020). Além de causar desequilíbrio nas teias alimentares devido ao impacto nos organismos não-alvo, reduzindo o desempenho reprodutivo e a sobrevivência das espécies (Boatman et al., 2004).

Ainda que haja o desenvolvimento de novos pesticidas e métodos de controle, devido ao avanço da química e da biologia molecular, há uma enorme possibilidade de que a resistência dos organismos pragas supere a inovação humana (Gould et al.,

2018). Assim, é fundamental monitorar a emergência e a disseminação de espécies pragas resistentes.

3. Resistência das pragas aos inseticidas e acaricidas

Devido aos grandes problemas com pragas apresentados ao longo dos anos, criou-se uma dependência excessiva do uso de pesticidas. Para que estratégias de manejo corretas sejam empregadas, é necessário o conhecimento sobre a origem, disseminação e manutenção da resistência, bem como os mecanismos envolvidos, de modo a integrar conhecimentos que previnam, retardem e/ou superem a resistência (Bass & Jones, 2018).

3.1. Mecanismos de resistência aos inseticidas e acaricidas

As moléculas com função inseticida ou acaricida penetram no corpo do indivíduo através do tegumento. Esta se dirige até o seu local de ação, se ligando ao sítio de ação, para assim exercer a sua ação tóxica e matar a praga. O sítio de ação pode ser o

tecido nervoso, uma enzima vital ou uma proteína receptora (Georghiou, 2005).

A resistência metabólica é um dos principais mecanismos de resistência estudado por ser o mais comum (Perry et al., 2007). São nas enzimas de destoxificação glutationa S-transferases (GSTs), citocromos P450 (P450s) e esterases (ESTs) as mais importantes aumentando a capacidade de metabolização de inseticidas pelo organismo, seja pela maior produção de enzimas destoxificativas, ou pela produção de formas mais eficientes da enzima (Abdollahi et al., 2004). De um modo geral, os insetos e ácaros que apresentam esse tipo de resistência possuem a capacidade de degradar a molécula tóxica de forma mais rápida e eficiente.

A modificação no sítio de ação é o segundo mecanismo de ação mais comum, e o mais desafiador em termos de manejo por levar a altos níveis de resistência, com base de herança simples, de evolução rápida. Esse tipo de alteração diminui a sensibilidade à molécula tóxica, onde podem ocorrer alterações nos aminoácidos que ligam a molécula do pesticida ao seu

sítio de ação, tornando sua ação menos eficaz ou até mesmo, ineficaz (IRAC, 2022).

A resistência em que ocorre a penetração reduzida através da cutícula da praga é conhecida como resistência cuticular. Esta ocorre a partir de dois mecanismos primários: a partir de mudanças físicas na espessura cuticular e alterações na composição química da cutícula (Balabanidou et al., 2016). Essas alterações estão relacionadas a superexpressão de dois citocromos P450s (CYP4G16 e CYP4G17), aumentando a espessura da epicutícula (camada externa de proteção presente na cutícula do inseto) e gerando alterações em sua composição química, como o aumento de hidrocarbonetos cuticulares (Djogbénu et al., 2008).

A resistência comportamental consiste na modificação do comportamento do inseto ou do ácaro para evitar o efeito letal da molécula tóxica. Algumas das mudanças de comportamento estão ligadas a alteração da alimentação e escape da área aplicada, onde estes se locomovem para a parte abaxial da folha, para outras partes da planta que não estejam

aplicadas e até mesmo para outras áreas sem aplicação (Nogueira & Melville, 2020).

3.2. Problemas da resistência aos inseticidas e acaricidas

A resistência a inseticidas e acaricidas leva a uma série de problemas. Ao encontrar uma população com indivíduos resistentes em seu cultivo comercial, o agricultor tende a aumentar as doses dos produtos químicos utilizados e diminuir o intervalo entre as aplicações realizadas. Esse tipo de prática leva a um ciclo, fomentando a pressão de seleção e levando a uma conseqüente redução da eficiência de produtos registrados. Somado a isso, ocorrem diversos impactos ao meio ambiente, a sociedade e a saúde humana (Stark & Banks, 2003).

A excessiva aplicação de produtos químicos causa diversos eventos a organismos não-alvo. A toxicidade, de forma direta e indireta, reduz o tempo de vida, a fertilidade, as taxas de desenvolvimento, a fecundidade, razão sexual e o comportamento, como

fORAGEAMENTO e reprodução, dos indivíduos expostos (Stark & Banks, 2003).

As avaliações de risco ecológico buscam determinar o impacto potencial de utilização de pesticidas, e como minimizá-los. Os dados avaliados incluem sequelas agudas, subletais, crônicas, subcrônicas, em mamíferos e aves, a partir de todas as vias de exposição oral, dérmica e inalatória. Somado a isso, também são avaliadas as camadas testes de ambientes aquáticos e espécies indicadoras terrestres, sendo incluído informações sobre os efeitos químicos e físicos desses produtos no solo, nas plantas e na água (Devine & Furlong, 2007).

Estudos indicam que baixas doses de produtos químicos presentes no ambiente, em curto e longo prazo, podem causar efeitos na sobrevivência, desenvolvimento, razão sexual, acasalamento e produção de ninhada em diversas espécies (Jiang et. al., 2016).

3.3. Manejo da resistência das pragas aos inseticidas e acaricidas

O fenômeno de resistência a inseticidas e acaricidas causa sérios problemas aos agricultores. Ao ocorrer a pressão de seleção, diversos produtos presentes no mercado tornam-se ineficientes, levando a um aumento nas doses aplicadas, diminuição dos intervalos de aplicação e, conseqüente, aumento na mão-de-obra e custo produtivo. Dessa forma, é de extrema importância manejar a resistência aos pesticidas e assim, reduzir os danos ambientais e os custos de aplicação.

O manejo de resistência de insetos (MRI) adota três grandes estratégias para manejar a resistência a insetos, sendo elas: (i) a moderação, que consiste na busca pela redução da pressão de seleção, de modo a preservar os insetos suscetíveis na área; (ii) a saturação, que consiste na redução de insetos resistentes na área; e (iii) o ataque múltiplo, que consiste no uso de duas ou mais técnicas de manejo, minimizando a seleção de resistência para o inseticida (Tabashnik, 1989).

A moderação consiste no uso de técnicas que resultem na baixa pressão de seleção, conservando os indivíduos suscetíveis. Esse tipo de manejo visa a redução do uso de pesticidas e considera-se que os genes de susceptibilidade precisam ser mantidos e são valiosos. Em situações que o uso de pesticidas se faz necessário, recomenda-se o uso de produtos seletivos a inimigos naturais, que persistam menos no ambiente e que a sua aplicação seja realizada de forma localizada, nos focos da praga e nas fases de maior susceptibilidade (Georghiou, 2005).

A saturação busca uma abordagem enérgica, eliminando a resistência na área. Essa técnica consiste na aplicação de altas doses. Ao aplicar as altas doses, os genes de resistência podem passar a se tornar funcionalmente recessivos com poucos sobreviventes que, ao se acasalarem com migrantes suscetíveis, reestabelecem a susceptibilidade na área (Denholm & Rowland, 1992).

O ataque múltiplo engloba o principal método de manejo da resistência a inseticidas, que é a rotação de inseticidas registrados que apresentem princípios

ativos ou modos de ação diferentes. Como ilustrado na Figura 2.1, é necessário realizar aplicações de produtos de modo a atingir todos os insetos da área que apresentem diferentes tipos de resistência (representados pelos insetos resistentes aos produtos 1, 2 e 3). Esse tipo de técnica visa reduzir a pressão de seleção, uma que vez controla populações de insetos que possuem indivíduos com diferentes mecanismos de resistência e em diferentes momentos no espaço e no tempo (Bernardi et al., 2016). O uso de outros métodos de controle também ajuda a compor o manejo de resistência a inseticidas por ataque múltiplo.

O manejo da resistência é um dos maiores desafios presentes na Entomologia Aplicada. Dessa forma, seu entendimento tornou-se obrigatório e deve ser realizado de modo a reduzir as populações de pragas resistentes e conseqüentemente, reduzir as aplicações de produtos químicos, trazendo benefícios econômicos, ambientais e sociais (Picanço et al., 2014).

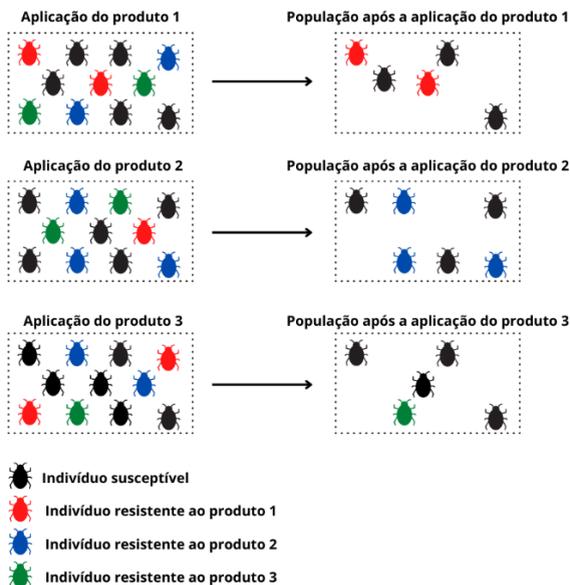


Figura 2.1. Exemplo de rotação de inseticidas registrados com princípios ativos ou modos de ação diferentes. Fonte: os autores.

4. Biótipos de insetos tolerantes a plantas resistentes

As plantas podem se defender dos danos provocados pelos organismos pragas por meio de uma série de defesas químicas e ou estruturais. Desde o século XIX, com o avanço da hibridização de plantas, foi impulsionado

a geração de cultivares resistentes a pragas. E essas cultivares resistentes foram incorporadas como táticas de controle no manejo integrado de pragas (MIP). Porém, as defesas das plantas resistentes são capazes de exercer pressão de seleção sobre os organismos pragas, levando a adaptação desses organismos num processo de contra defesa, como se tornasse um novo indivíduo, apresentando um novo biótipo (Taggar & Arora, 2017).

Neste caso, ao ocorrer falha no manejo dos insetos, esta população pode ser renovada, passando a ser considerada uma população diferente da anterior, devido a variação fenotípica (combinação entre o genótipo e o ambiente) (Downie, 2010; Taggar & Arora, 2017). Portanto, é notória a capacidade que os insetos tem em se adaptar aos métodos de controle existentes, incluindo às culturas resistentes (Tabashnik et al., 2013; Taggar & Arora, 2017).

4.1. Biótipos de pragas

A definição mais atual é que biótipos são populações de uma espécie de artrópodes que apresentam variações genéticas, podendo resistir e se

reproduzirem em cultivares produzidas para serem resistentes ao ataque desses artrópodes. Neste caso, a variação genética é resultado da interação entre as cultivares com os genes de resistência e a capacidade dos artrópodes em utilizar essa característica implantada (Taggar & Arora, 2017).

Os biótipos de artrópodes podem diferir da espécie original por manifestar preferência a uma planta hospedeira para se alimentar ou ovipositar. Além disso, também podem apresentar tamanho, cor, potencial de transmissão de patógeno, capacidade de afetar as plantas, dispersão e níveis de atividade diurna ou sazonal diferentes (Diehl & Bush, 1984; Taggar & Arora, 2017).

O desenvolvimento de biótipos de pragas torna-se uma ameaça aos programas de melhoramento de culturas resistentes. O surgimento de biótipos de pragas, que quebram a resistência, foi registrado em diversas culturas como fruteiras, hortaliças, trigo, arroz, milho e soja, em todo o mundo. Atualmente, aproximadamente 50 espécies de pragas foram confirmadas em várias ordens: Hemiptera (com

destaque para espécies de pulgão) > Diptera > Coleoptera > Lepidoptera > Thysanoptera > Acari (Smith, 2005; Taggar & Arora, 2017).

4.2. Mecanismos de seleção de biótipos

Vários pesquisadores estão revisando as prováveis causas para o desenvolvimento de biótipos de insetos (Taggar & Arora, 2017). Segundo os autores Puterka et al. (1992) e Xiangdong et al. (2004), a pressão de seleção exercida pelos genes de resistência, as diferenças preexistentes na virulência, a mutação ou alteração na sequência de enzimas e cromossomos, recombinações gênicas, diferenciação genética da população podem causar a evolução do biótipo.

O desenvolvimento do biótipo também pode ser influenciado pela dimensão geográfica das áreas de plantio das cultivares resistentes, bem como o manejo inadequado da área de plantio (falta de rotação de culturas, presença de hospedeiros alternativos) e uso incorreto de agroquímicos (Smith, 2005; Taggar & Arora, 2017).

Além disso, também há relatos de que bactérias endossimbiontes podem estar relacionadas no desenvolvimento de biótipos de alguns artrópodes. Pois já foi comprovado algumas mudanças no comportamento do hospedeiro, estimuladas por estas bactérias, como capacidade de suportar variações ambientais (Taggar & Arora, 2017).

4.3. Manejo dos biótipos

A evolução de biótipos de artrópodes pragas torna difícil o seu manejo em diferentes culturas agrícolas, sendo uma grande ameaça à durabilidade da resistência dessas culturas. Os biótipos de artrópodes pragas podem ocasionar danos nas cultivares, antes resistentes, provocando perdas econômicas (Taggar & Arora, 2017).

Desta forma, para tornar mais lento a seleção de biótipos, é necessário adotar um programa de melhoramento que apresenta resistência poligênica, com amplas bases genéticas, aumentando a durabilidade de cultivares agrícolas resistentes (Jena & Kim, 2010; Taggar & Arora, 2017).

Além disso, para o manejo do biótipo, é essencial um amplo conhecimento sobre a biologia de artrópodes pragas para implantar programas de monitoramento para identificar e mapear a ocorrência desses biótipos em conjunto com pesquisadores de todos os países, visando estabelecer medidas adequadas de controle (Navia et al., 2013; Taggar & Arora, 2017).

5. Resistência das pragas ao controle cultural

Entre os métodos alternativos para o controle de pragas, um dos mais utilizados na agricultura é o controle cultural. Esse método auxilia na redução do uso de agroquímicos na agricultura, contribuindo em menores custos e sustentabilidade no setor agrícola (Picanço et al., 2014).

O controle cultural engloba a adoção de práticas agrícolas que envolvem manipular as condições da área de cultivo: como eliminação dos restos culturais, preparação do solo, a rotação de culturas entre outros. Essas práticas são utilizadas visando desfavorecer o ataque de insetos-pragas, favorecendo assim o

crescimento e desenvolvimento da cultura de interesse econômico (Picanço et al., 2014; Oliveira & Brighenti, 2018; Marvulli et al., 2019).

5.1. Mecanismos de resistência ao controle cultural

Os insetos pragas possuem hábito alimentar polífago, que são definidos como organismos que têm mais de um hospedeiro como alvo (Gassen, 1989; Picanço et al., 2014). Diante dessa situação, o uso de táticas culturais como a rotação de culturas e culturas-isca, por exemplo, se tornam mais restritas. Pois, a capacidade desses insetos de sobreviver ou refugiar em outros hospedeiros dificulta o manejo da resistência (Picanço et al., 2014).

Gould (1991), relatou que algumas espécies de vaquinhas do milho, *Diabrotica* spp. (Coleoptera: Chrysomelidae) desenvolveram resistência comportamental à rotação de culturas. Estes insetos, que se alimentam restritamente de raízes de milho, quando larvas, apresentam resistência à rotação de milho e soja. Populações de algumas espécies ampliam a hibernação, como ovo, para dois anos.

Assim, as larvas emergem dos ovos a tempo para o próximo plantio de milho. Outras evoluem para depositar os ovos no solo sob plantio de soja (Gould et al., 2018).

Também há relatos da ocorrência de quebra de resistência de plantas transgênicas. Clark et al. (2006) divulgou que o hábito alimentar das larvas de *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (Coleoptera: Chrysomelidae) não se diferenciam significativamente dos tratamentos resistentes a tal praga e os suscetíveis.

5.2. Manejo da resistência das pragas ao controle cultural

O manejo de resistência em relação aos métodos de controle cultural envolve táticas que não favoreçam a adaptação dos insetos a fome e condições fisiológicas de interrupção do crescimento ou reprodução (Gould, 1991; Krafur, 1995; Leather et al., 1995; Guedes & Ribeiro, 2000). Como os insetos não são estáticos, é preciso observar cuidadosamente os seus hábitos frente às táticas culturais como

rotação de cultura, por exemplo (Gould, 1991; Krafur, 1995; Guedes & Ribeiro, 2000).

6. Resistência das pragas ao controle biológico

A proteção de plantas com a aplicação de pesticidas possui características atrativas, pois é uma técnica simples, previsível, e que requer o entendimento do agroecossistema para a sua aplicação (Morandi & Bettiol, 2009).

Entretanto, a sociedade se encontra cada vez mais preocupada com o impacto da agricultura no meio ambiente, com isso surge a vertente da agricultura que se baseia na redução ou não aplicação de pesticidas. Como alternativa a esse problema, há a inserção do controle biológico de pragas na agricultura, que surge como promissor dentro dos programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP) (Morandi & Bettiol, 2009; Zambolim & Picango, 2009).

Porém, como observado com as aplicações de inseticidas, e para os demais métodos de controle existentes, as pragas podem adquirir resistência ao agente de controle biológico. Isso precisa ser

reconhecido para que seja implementada a melhor forma de controle das pragas, a fim de obter-se um bom manejo do agroecossistema (Zambolim & Picanço, 2009).

6.1. Mecanismos de resistência ao controle biológico

6.1.1. Seleção e variação genética

A seleção é definida como a mudança temporal da proporção de indivíduos com diferenças genéticas e uma ou mais características, não requerendo mutação ou recombinação. Ela é orientada pela heterogeneidade espacial e temporal levando a criação de áreas de biodiversidade, passando a possuir regiões de seleção forte fazendo com que haja rápida evolução adaptativa (Thompson et al., 2002). A variação genética tem-se revelado a forma mais comum de resistência a inimigos naturais, onde foi encontrada em sistemas inseto-parasitoide e inseto-patógeno. Origina-se variações nos alelos dos indivíduos, fazendo com eles apresentem genética diferente, e com isso tornam-se indiferentes em

diferentes níveis ao processo desencadeado pelo agente de controle biológico (Thompson et al., 2002).

6.1.2. Organismos endossimbiontes

Organismos endossimbiontes defensivos podem contribuir para o aumento da resistência do organismo praga (Oliver et al., 2010). É bem elucidado que os insetos comumente abrigam bactérias que são transmitidos de forma materna, sendo que esses simbiontes podem evoluir meios para promover a sua própria transmissão, sendo o mais abundante o *Wolbachia* (Baumann, 2000; Stouthamer et al., 1999; Werren et al., 2008). A partir do momento que o simbionte desenvolve a transmissão vertical, a sua persistência e disseminação passam a se relacionar com a reprodução do hospedeiro. O simbionte passa a sofrer o processo de seleção para proteger o seu hospedeiro garantindo pelo menos a sua reprodução. Diante disso, provavelmente muitos simbiontes defensivos hereditários evoluíram de patógenos transmitidos verticalmente (Oliver et al., 2010). Vale ressaltar que as populações de parasitoides podem

possuir variações genéticas capaz de superar a resistência conferida por simbioses. Exemplo desta interação pode ser observado entre parasitoides (*Lysiphlebus fabarum*) e hospedeiros de pulgões (*Aphis fabae*) que são protegidos pelo endossimbionte γ -proteobacterium *Hamiltonella defensis* (Rouchet & Vorburger, 2012; Schmid et al., 2012).

6.1.3. Defesas comportamentais dos insetos

Os insetos passaram a desenvolver um conjunto de mecanismos visando a proteção contra entomopatógenos. Dentre essas defesas pode-se citar a cutícula, que constitui uma barreira estrutural para manter os patógenos afastados. Os insetos ainda podem sofrer melanização, reações para evitar infecção por patógenos não próprios, inibidores de protease e defesas comportamentais contra microrganismos (Figura 2.2) (Sinha et al., 2016).

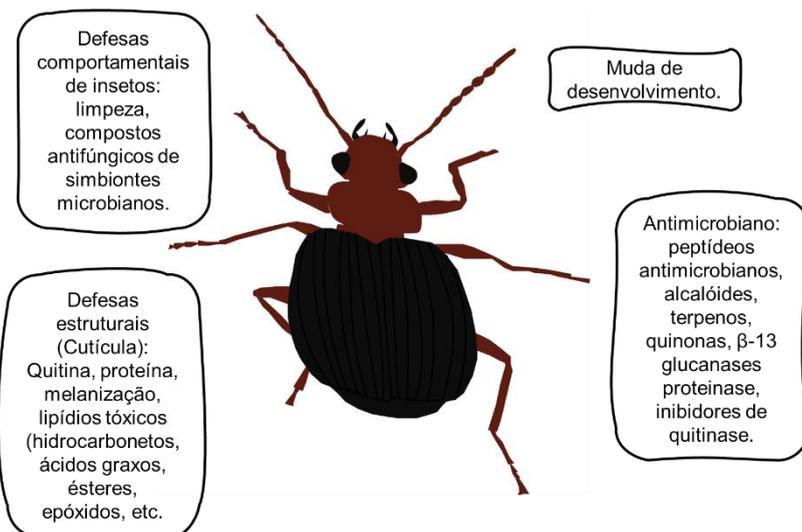


Figura 2.2. Possíveis mecanismos de defesa em insetos contra entomopatógenos.

6.2. Manejo da resistência das pragas ao controle biológico

A resistência ao controle biológico não é um processo rápido como aquele observado no mecanismo de resistência aos pesticidas, porém pode ocorrer e comprometer a eficácia do controle biológico (Hufbauer & Roderick, 2005). A resistência entre os agentes do controle biológico apresenta a seguinte

relação: entomopatógenos > parasitóides > predadores (Holt & Hochberg, 1997).

Diante disso, torna-se de suma importância a inserção de programas de manejo a fim de minimizar a resistência ao controle biológico (Holt & Hochberg, 1997). Rotacionar as formas de aplicação de agentes biológicos é uma estratégia fundamental dentro do controle de pragas, alternando a utilização de diferentes microrganismos patogênicos, bem como inimigos naturais com diferentes formas de causar a mortalidade da praga alvo (Hufbauer & Roderick, 2005).

7. Considerações finais

A maioria dos agricultores utilizam o controle químico como método de controle predominante. Com o avanço do processo de resistência de pragas é importante conhecer e entender a resistência a inseticidas e acaricidas para uma implementação correta do programa de manejo de resistência de insetos. A partir desse conhecimento é possível diminuir as espécies que apresentam mecanismos de

resistência, reduzindo a aplicação de produtos químicos.

Também é necessário utilizar o manejo integrado de pragas (MIP), que preconiza a utilização de outros métodos de controle, como controle biológico, controle cultural e plantas resistentes, como alternativa ou para complementar ao controle químico, visando reduzir a seleção de populações de pragas resistentes.

Porém, a aplicação de outros métodos de controle deve ser manejada de forma adequada para que seja eficaz a curto e longo prazo, pois também podem sofrer com o processo de resistência de pragas.

8. Referências

Abdollahi, M., Ranjbar, A., Shadnia, S., Nikfar, S., & Rezaie, A. (2004). Pesticides and oxidative stress: a review. *Med Sci Monit*, 10(6), 141-147.

Balabanidou, V., Kampouraki, A., MacLean, M., Blomquist, G. J., Tittiger, C., Juárez, M. P., Juárez, M. P., Mijailovsky, S. J., Chaçepakis, G., Anthousi, A., Lynd, A., Antoine, S., Hemingway, J., Ranson, H., Lycett, G., & Vontas, J. (2016). Cytochrome P450 associated with insecticide resistance catalyzes cuticular hydrocarbon production in *Anopheles gambiae*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(33), 9268-9273.

Barres, B., Corio-Costet, M. F., Debieu, D. D., Délye, C., Fillinger-David, S., Grosman, J., Micoud, A., Siegwart, M., & Walker, A. S. (2016). Trends and challenges in pesticide resistance detection. *Trends in Plant Science*, 21(10), 834-853.

Bass, C., & Jones, C. (2018). Editorial overview: Pests and resistance: Resistance to pesticides in arthropod crop pests and disease vectors: mechanisms, models and tools. *Current opinion in insect science*, 27, iv-vii.

Baumann, P., Moran, N. A., & Baumann, L. (2000). Bacteriocyte-associated endosymbionts of insect. *The prokaryotes*. Springer-Verlag. New York, 1-67.

Bernardi, O., Bernardi, D., Horikoshi, R. J., & Omoto, C. (2016). Manejo da resistência de insetos a plantas Bt. Edição. *PROMIP–Manejo Integrado de Pragas*, Engenheiro Coelho, SP, Brasil.

Birch, A. N. E., Begg, G. S., & Squire, G. R. (2011). How agro-ecological research helps to address food security issues under new IPM and pesticide reduction policies for global crop production systems. *Journal of experimental botany*, 62(10), 3251-3261.

Boatman, N. D., Brickle, N. W., Hart, J. D., Milsom, T. P., Morris, A. J., Murray, A. W., Murray, K. A., & Robertson, P. A. (2004). Evidence for the indirect effects of pesticides on farmland birds. *Ibis*, 146, 131-143.

Boyer, S., Zhang, H., & Lempérière, G. (2012). A review of control methods and resistance mechanisms in stored-product insects. *Bulletin of entomological research*, 102(2), 213-229.

Clark, P. L., Vaughn, T. T., Meinke, L. J., Molina-Ochoa, J., & Foster, J. E. (2006). *Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae) larval feeding behavior on transgenic maize (MON 863) and its isoline. *Journal of Economic Entomology*, 99(3), 722-727.

Corrêa, A. S., Cordeiro, E. M. G., Braga, L. S., Peireira, E. J. G., & Guedes, R. N. C. (2010). Physiological and behavioral resistance to esfenvalerate+ fenitrothion in populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Julius-Kühn-Archiv*, (425), 851.

Denholm, I., & Rowland, M. W. (1992). Tactics for managing pesticide resistance in arthropods: theory and practice. *Annual review of entomology*, 37(1), 91-112.

Devine, G. J., & Furlong, M. J. (2007). Insecticide use: Contexts and ecological consequences. *Agriculture and Human values*, 24, 281-306.

Diehl, S. R., & Bush, G. L. (1984). An evolutionary and applied perspective of insect biotypes. *Annual review of entomology*, 29(1), 471-504.

Downie, D. A. (2010). Baubles, bangles, and biotypes: a critical review of the use and abuse of the biotype concept. *Journal of Insect Science*, 10(1).

Garrido, L. D. R., & Botton, M. (2021). Recomendações técnicas para evitar resistência de patógenos, insetos e ácaros-pragas a fungicidas e inseticidas na cultura da videira: conceitos, fatores envolvidos e práticas gerais para o manejo.

Gassen, D. N. (1989). Insetos subterrâneos prejudiciais às culturas no sul do Brasil.

Georghiou, G. P. (2005, April). Principles of insecticide resistance management. In *Phytoprotection* (Vol. 75, No. 4, pp. 51-59). Érudit.

Gould, F. (1991). The evolutionary potential of crop pests. *American Scientist*, 79(6), 496-507.

Gould, F., Brown, Z. S., & Kuzma, J. (2018). Wicked evolution: Can we address the sociobiological dilemma of pesticide resistance?. *Science*, 360(6390), 728-732.

Guedes, N. M. P., Guedes, R. N. C., Ferreira, G. H., & Silva, L. B. (2009). Flight take-off and walking behavior of insecticide-susceptible and-resistant strains of *Sitophilus zeamais* exposed to deltamethrin. *Bulletin of entomological research*, 99(4), 393-400.

Guedes, R. N. C., Benelli, G., & Agathokleous, E. (2022). Arthropod outbreaks, stressors and sublethal stress. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 100371.

Guedes, R. N. C. (2017). Insecticide resistance, control failure likelihood and the First Law of Geography. *Pest Management Science*, 73(3), 479-484.

Guedes, R. N. C., & Picango, M. C. (2012). The tomato borer *Tuta absoluta* in South America: pest status, management and insecticide resistance. *EPPO bulletin*, 42(2), 211-216.

Guedes, R. N. C., & Ribeiro, B. M. (2000). Limitações de métodos de controle para o manejo de pragas. *Manejo*

integrado: doenças, pragas e plantas daninhas. Viçosa: UFV, 325-348.

Guedes, R. N. C., Smagghe, G., Stark, J. D., & Desneux, N. (2016). Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. *Annual review of entomology, 61*, 43-62.

Holt, R. D., & Hochberg, M. E. (1997). When is biological control evolutionarily stable (or is it)?. *Ecology, 78*(6), 1673-1683.

Hoy, C. W., Head, G. P., & Hall, F. R. (1998). Spatial heterogeneity and insect adaptation to toxins. *Annual Review of Entomology, 43*(1), 571-594.

Hufbauer, R. A., & Roderick, G. K. (2005). Microevolution in biological control: mechanisms, patterns, and processes. *Biological control, 35*(3), 227-239.

IRAC - Comitê de Ação à Resistência a Inseticidas - Brasil. (2022). Modo de ação de inseticidas e acaricidas. Disponível em <https://www.irac-br.org>. Acesso em 22 de outubro de 2022.

Jena, K. K., & Kim, S. M. (2010). Current status of brown planthopper (BPH) resistance and genetics. *Rice, 3*(2), 161-171.

Jiang, W., Luo, Y., Conkle, J. L., Li, J., & Gan, J. (2016). Pesticides on residential outdoor surfaces: environmental impacts and aquatic toxicity. *Pest Management Science, 72*(7), 1411-1420.

Jørgensen, P. S., Folke, C., Henriksson, P. J., Malmros, K., Troell, M., & Zorzet, A. (2020). Coevolutionary governance of antibiotic and pesticide resistance. *Trends in ecology & evolution*, 35(6), 484-494.

Krafsur, E. S. (1995). Gene flow between univoltine and semivoltine northern corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) populations. *Annals of the Entomological Society of America*, 88(5), 699-704.

Leather, S. R., Walters, K. F., & Bale, J. S. (1995). *The ecology of insect overwintering*. Cambridge University Press.

Marvulli, M. V. N., da Costa, G. S., & Garcia, É. A. (2019). Métodos de controle alternativos para defesa fitossanitária em propriedades rurais orgânicas. *Anais Sintagro*, 11(1).

Morandi, M. A. B., & Bettiol, W. (2009). Controle biológico de doenças de plantas no Brasil.

Navia, D., Mendonça, R. S., Skoracka, A., Szydło, W., Knihinicki, D., Hein, G. L., Pereira, P. R. V. S., Truol, G., & Lau, D. (2013). Wheat curl mite, *Aceria tosichella*, and transmitted viruses: an expanding pest complex affecting cereal crops. *Experimental and Applied Acarology*, 59, 95-143.

Nogueira, L., & Melville, C. C. (2020). Insetos e ácaros: resistência a pesticidas e estratégias de manejo insects and mites: pesticides resistance and management strategies.

Oliveira, M. F., Brighenti, A. M., & Santos, A. M. B. (2018). Controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia.

Oliver, K. M., Degnan, P. H., Burke, G. R., & Moran, N. A. (2010). Facultative symbionts in aphids and the horizontal transfer of ecologically important traits. *Annual review of entomology*, 55, 247-266.

Perry, T., McKenzie, J. A., & Batterham, P. (2007). A Dd6 knockout strain of *Drosophila melanogaster* confers a high level of resistance to spinosad. *Insect biochemistry and molecular biology*, 37(2), 184-188.

Picanço, M. C., Galdino, T. V. S., Silva, R. S., Benevenuto, J. S., Bacci, L., Pereira, R. R., Dionizio, M. D. (2014). Manejo integrado de pragas. In: Zambolim, Z., Silva, A. A., Picanço M. C. (Eds.). O que Engenheiros Agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários. Viçosa: UFV. p.389-436.

Puterka, G. J., Burd, J. D., & Burton, R. L. (1992). Biotypic variation in a worldwide collection of Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 85(4), 1497-1506.

Rouchet, R., & Vorburger, C. (2012). Strong specificity in the interaction between parasitoids and symbiont-protected hosts. *Journal of evolutionary biology*, 25(11), 2369-2375.

Schmid, M., Sieber, R., Zimmermann, Y. S., & Vorburger, C. (2012). Development, specificity and sublethal effects of symbiont-conferred resistance to

parasitoids in aphids. *Functional Ecology*, 26(1), 207-215.

Silva, G. A., Picanço, M. C., Bacci, L., Crespo, A. L. B., Rosado, J. F., & Guedes, R. N. C. (2011). Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. *Pest management science*, 67(8), 913-920.

Sinha, K. K., Choudhary A. K., Kumari P. (2016). Entomopathogenic fungi. In: Omkar. (Ed.). Ecofriendly pest management for food security. Amsterdam: Elsevier. p.475-505.

Smith, C. M. (Ed.). (2005). *Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches*. Dordrecht: Springer Netherlands.

Sparks, T. C., Crossthwaite, A. J., Nauen, R., Banba, S., Cordova, D., Earley, F., Ebbinghaus-Kintscher, U., Fujioka, S., Hirao, A., Karmon, D., Kennedy, R., Nakao, T., Popham, H. J. R., Salgado, V., Watson, G. B., Wedel, B. J., & Wessels, F. J. (2020). Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC's mode of action classification-a tool for resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 167, 104587.

Stark, J. D., & Banks, J. E. (2003). Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annual review of entomology*, 48(1), 505-519.

Stouthamer, R., Breeuwer, J. A., & Hurst, G. D. (1999). *Wolbachia pipientis*: microbial manipulator of arthropod reproduction. *Annual Reviews in Microbiology*, 53(1), 71-102.

Tabashnik, B. E. (1989). Managing resistance with multiple pesticide tactics: theory, evidence, and recommendations. *Journal of Economic Entomology*, 82(5), 1263-1269.

Tabashnik, B. E., Brévault, T., & Carrière, Y. (2013). Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres. *Nature biotechnology*, 31(6), 510-521.

Taggar, G. K., & Arora, R. (2017). Insect biotypes and host plant resistance. *Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture*, 387-421.

Thompson, J. N., Nuismer, S. L., & Gomulkiewicz, R. (2002). Coevolution and maladaptation. *Integrative and Comparative Biology*, 42(2), 381-387.

Werren, J. H., Baldo, L., & Clark, M. E. (2008). Wolbachia: master manipulators of invertebrate biology. *Nature Reviews Microbiology*, 6(10), 741-751.

Whalon, M. E., Mota-Sanchez, D., & Hollingworth, R. M. (2008). Analysis of global pesticide resistance in arthropods. In *Global pesticide resistance in arthropods* (pp. 5-31). Wallingford UK: CABI.

Xiangdong, L., Xiaoxi, Z., & Baoping, Z. (2004). Host biotypes and their formation causes in aphids. *Kun Chong xue bao. Acta Entomologica Sinica*, 47(4), 499-506.

Zambolim, L., Picanço, M. C. (2009). *Controle biológico: pragas e doenças: exemplos práticos*. UFV.

CAPÍTULO 3

Uso de produtos naturais no controle de pragas

Andréa A.S. Oliveira, Mayara M. Picanço, Jeny T.B. Zuluaga, Paulo W. Alvim, Leandro Bacci, Letícia C.S. Sant'Ana, Marcelo C. Picanço

1. Introdução

Os produtos naturais utilizados no controle de pragas são extratos vegetais, ou obtidos por fermentação ou inimigos naturais. Esses produtos podem ser usados diretamente no controle de pragas ou servirem como modelos para síntese de outros produtos (Machado, 2007; Ruiu, 2018; Van Lenteren et al., 2018).

Os produtos naturais e seus subprodutos dominavam a indústria farmacêutica, entretanto isso não tem acontecido na indústria de pesticidas (David et al., 2015). Nos últimos anos nos cultivos tem-se buscado o uso de produtos que possibilitem o controle das pragas de forma sustentável. Isso ocorre devido a demanda dos consumidores por consumir alimentos

produzidos de forma sustentável (Lopes & Lopes, 2011).

Atualmente, esses produtos representam uma pequena parcela do mercado global total de defensivos agrícolas. Nesse contexto, os produtos naturais representam cerca de 5% do mercado de defensivos agrícolas (Van Lenteren et al., 2020).

Assim, nesse capítulo, será abordado sobre as vantagens e limitações do uso desses produtos naturais, a legislação brasileira sobre esse assunto, tipos de produtos usados no controle de pragas, formas de uso desses produtos, mercado brasileiro e mundial e produtos promissores a serem usados no controle de pragas.

2. Vantagens e limitações

Quando falamos de produtos naturais no controle de pragas existem vantagens e limitações associadas ao seu uso. Aqui nesse tópico iremos abordar esse assunto.

2.1. Vantagens:

Os produtos naturais usados no controle de pragas, de forma geral, têm grande compatibilidade com os inimigos naturais e outros organismos e geralmente são seguros para polinizadores e organismos não-alvos. Além disso, os ingredientes ativos de produtos naturais não contaminam o solo e os ecossistemas (Moreira et al., 2007ab; Côrrea, et al., 2011; Xavier et al., 2015; Isman, 2020).

Os inseticidas botânicos, um tipo de produto natural, apresentam baixa toxicidade ambiental e para a saúde humana. Por isso, são principalmente usados contra pragas estruturais (cupins e formigas), pragas urbanas, parasitos de animais domésticos e pragas em lugares públicos (como hospitais, supermercados e restaurantes) (Moreira et al., 2007ab; Isman, 2020).

Outro exemplo de produto natural são os produtos microbianos que são obtidos a partir de microrganismos como vírus, bactérias e fungos ou seus agentes bioativos que atuam no controle de insetos pragas (Deshayes et al., 2017; Picanço et al., 2022).

Os agentes microbianos para o controle de pragas apresentam diversas vantagens, sendo considerado uma alternativa para controle de pragas com objetivo de reduzir a utilização de pesticidas químicos, garantindo a boa produtividade e reduzindo os potenciais riscos de contaminação do meio ambiente (Renzi et al., 2019).

Ademais, possuem alta especificidade para determinada praga e atuam somente sobre o alvo, apresentando uma menor toxicidade para organismos não-alvo, além de possibilitar a preservação dos inimigos naturais e polinizadores. Essa especificidade não só limita a sua eficácia contra determinadas espécies de pragas, mas também pode reduzir os casos de resistência cruzada. Esses produtos geralmente possuem ação multissítio, dificultando o surgimento de pragas resistentes, podendo ser implementados em programas para manejo de resistência (Xavier et al., 2015; Gabardo et al., 2021; Ruiu, 2018; Singh et al., 2015).

Além de todas essas vantagens já citadas, o custo de desenvolvimento de um produto biológico é

considerado menor quando comparado ao custo para desenvolvimento de um produto químico. O custo para o desenvolvimento de um produto químico está na faixa de 250 mil dólares, enquanto os biológicos apresentam um custo de 2 a 10 mil dólares, equivalente a aproximadamente 25 vezes menos (Starnes et al., 1993; Gabardo et al., 2021; Monnerat et al., 2020).

2.2. Limitações:

Existem algumas limitações quanto ao uso dos produtos naturais no controle de pragas.

Os inseticidas botânicos são altamente susceptíveis à fotodegradação (piretrinas), oxidação abiótica (azadiractinas) ou perdas através de volatilização (óleos essenciais) (Isman, 2008; Pavela & Benelli 2016; Isman, 2020). Dependendo de como aplicados, podem causar fitotoxicidade em plantas nas quais eles são utilizados, o que levaria a uma redução da produtividade. Além disso, existe a necessidade de aplicações frequentes (Isman, 2008; Côrrea, et al., 2011; Tomé et al., 2013; Isman, 2020).

Já para os inseticidas microbianos, a principal limitação no processo de produção dos microrganismos é a contaminação. Os principais contaminantes no meio de fermentação sólido são os fungos oportunistas, *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Fusarium* spp., *Rhizopus* spp., *Trichoderma* spp., e as bactérias de diversos gêneros. Por outra perspectiva, os principais contaminantes em fermentação líquida são bactérias e leveduras. A contaminação é maior na produção nos meios de fermentação sólida comparado com a fermentação líquida, por haver menor manipulação do material e maiores assepsia (Meyer et al., 2022; Picanço et al., 2022).

Por outro lado, esses produtos em sua maioria apresentam menor eficácia quando comparado aos pesticidas químicos, uma vez que a velocidade de ação dos produtos microbianos, por exemplo, é considerada lenta, e apresentam baixa ação tóxica por contato, não causando toxicidade aguda sobre o alvo e apresentando mínimo ou nenhum efeito residual (Gelernter & Trumble, 1999; Singh et al., 2015). Outrossim, as altas temperaturas e a exposição à

radiação podem causar dessecação (secagem), reduzindo sua eficiência (Weinzierl et al., 1989).

3. Legislação brasileira para o registro de produtos

O registro de pesticidas no Brasil é realizado por três órgãos governamentais, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). A Anvisa é responsável por avaliar os impactos que esses produtos podem causar a saúde, determinando os parâmetros toxicológicos e a exposição a esses produtos. O Ibama avalia as questões relacionadas ao meio ambiente, determinando a periculosidade ambiental. E o Mapa avalia a eficácia agrônômica, além de ser responsável pelo registro que só é concedido após aprovação pelos 3 órgãos (Brasil, 2002; Costa, 2016).

Existe uma dificuldade na regulamentação dos produtos naturais usados no controle de pragas e é devido ao seu conceito na legislação brasileira, segundo a lei nº 7.802/1989 (Brasil, 2016). Os

conceitos e normativas sobre o procedimento de registro de produtos biológicos são considerados na Instrução Normativa Conjunta (INC) nº 1 de 23 de janeiro de 2006, na qual abrange: inimigos naturais, técnica do inseto estéril e exclui os microbiológicos. Isso dificulta a regulamentação deles que só podem ser produzidos, importados, exportados e utilizados no território nacional se previamente registrados no órgão federal competente, observando as mesmas normas para obtenção de registros de pesticidas (Brasil, 2002; 2006).

Com avanço desses mercados, novas normativas foram aprovadas em 2006 e houve mudanças no regulamento. Algumas categorias de produtos de origem biológica foram alteradas (semioquímicos, agentes biológicos de controle e agentes microbiológicos) de controle. Normas que estabeleceram protocolos diferenciados para cada uma das categorias e como isso deixa evidente o avanço na simplificação dos produtos (Brasil, 2002).

No entanto, segundo a agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA), ainda não existe uma

INC que normatize diferenciadamente o registro de pesticidas derivados de vegetais. Sendo assim, somente com uma análise caso a caso pode-se identificar qual o enquadramento do produto formulado, se como registro convencional, semioquímicos ou bioquímico. Ainda é importante a descrição do modo de aplicação e modo de ação do produto sobre o alvo biológico (ANVISA, 2020).

Para o registro convencional, devem ser seguidos os procedimentos previstos no decreto 4074 (ANVISA, 2020). Contudo, caso o registro seja para uso na agricultura orgânica, devem ser seguidos os passos descritos pelo decreto 6913 de 23 de julho de 2009 e a Instrução Normativa Conjunta nº 1 de 24 de maio de 2011 (ANVISA, 2020). Da mesma forma, se o produto é tratado como bioquímico, ele pode ser enquadrado na Instrução Normativa Conjunta nº 32, de 26 de outubro de 2005 (ANVISA, 2020).

Portanto, para melhor eficiência dos mercados de produtos biológicos, apesar dos avanços nas normativas, há necessidade em reduzir custo e tempo de registro desses produtos (Meyer et al., 2022).

4. Tipos de produtos naturais

4.1. Produtos botânicos

Muitos produtos naturais têm sido avaliados pela sua ação biocida contra diferentes organismos praga, entre estes, os compostos botânicos, principalmente os compostos majoritários do crisântemo (o piretro) e da planta de neem (a azadiractina) têm sido utilizados contra diferentes tipos de pragas em diferentes culturas. Esses compostos também têm sido fonte de inspiração para o desenvolvimento de pesticidas tanto naturais quanto sintéticos e até hoje eles dominam o mercado de inseticidas botânicos. Porém tem muitos outros compostos extraídos de diferentes plantas, animais e microrganismos que são usados contra pragas daninhas das culturas (Tomé et al., 2013; Gouvêa et al., 2019, Isman, 2020). Na Tabela 3.1 encontram-se alguns deles.

Tabela 3.1. Produtos naturais com atividade pesticida.

Produto	Fonte natural	Classe
Piretrina	Planta	Inseticida
Azadaractina	Planta	Inseticida
Glufosinato	Bactéria	Herbicida
Espinosade	bactéria	Inseticida
Strobilurin	Basidiomicetos	Fungicida
Limoneno	Casca da laranja	Inseticida
Fosfontricina	Microrganismos	Herbicida
Leptospermona	Planta	Herbicida
Rotenona	Planta	Inseticida
Sabadilla	Planta	Inseticida
Nicotina	Planta	Inseticida
Capsaicina	Planta	Inseticida
Óleo de tomilho	Planta	Inseticida
Óleo de alecrim	Planta	Inseticida
Eugenol	Planta	Inseticida
Vulgarona b	Planta	Inseticida
Apiol	Planta	Inseticida
Cnicin	Planta	Inseticida

Piperidina	Planta	Inseticida
Saponina	Planta	Moluscicida
Antraquinona	Planta	Algicida
Estrobilurinas	Basidiomicetos	Fungicida
Cinamaldeído	Planta	Fungicida
Sampangine	Planta	Fungicida
Coruscanone a y b	Planta	Fungicida

4.2. Produtos microbianos

Os produtos naturais usados no controle de pragas obtidos a partir de microbianos incluem diversos microrganismos como bactérias, fungos, vírus e nematóides que atuam contra pragas nos agroecossistemas (Ruiu, 2018; Van Lenteren et al., 2018). As bactérias e os fungos são considerados os grupos com maiores porcentagens de produtos biológicos utilizados na agricultura (Santos et al., 2020).

Os produtos obtidos por fermentação estão diretamente ligados a produtos biológicos já selecionados para produção em larga escala (Lima et

al., 2001). Segundo Gusmão (2013) para sua produção em escala comercial deve-se utilizar processos fermentativos, pois estes facilitam a produção e estocagem, no qual, são utilizados atualmente para a produção de fungos e bactérias.

Os patógenos bacterianos, utilizados no controle de pragas são pertencentes ao gênero *Bacillus*. Essas bactérias geralmente estão presentes nos solos, e a maioria das cepas de inseticidas foram isoladas a partir de amostras de solos. (Weinzierl et al., 1989; Villarreal-Delgado et al., 2018). Elas são responsáveis sintetizar proteínas em forma de cristais que apresentam características inseticidas, atuando por ingestão, sendo amplamente utilizada no controle biológico de insetos pertencentes às ordens Lepidoptera, Coleoptera e Diptera (Fira et al., 2018; Valtierra-de-Luis et al., 2020; Villarreal-Delgado et al., 2018).

Os fungos entomopatogênicos atuam por contato e podem agir contra diferentes alvos apresentando diferentes níveis de especificidade. Inicialmente, ocorre a germinação dos conídios/espores, os quais entram em contato com o tegumento do inseto. Posteriormente, o fungo penetra no corpo do

hospedeiro onde o micélio irá se desenvolver internamente, produzindo diferentes tipos de conídios ou esporos colonizando o hospedeiro (Ruiu, 2018). Esses fungos compreendem diversas cepas das espécies *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*, *Hirsutella*, *Isaria*, *Lecanicillium*, *Paecilomyces* e *Verticillium*, porém *Beauveria* e *Metarhizium anisopliae* são considerados os principais gêneros de fungos utilizados como biopesticidas. *Beauveria bassiana* foi o primeiro exemplo de controle microbiano de insetos (Zimmermann, 2007; McKinnon et al., 2017; Ruiu, 2018).

Os vírus são considerados outro grupo de agentes microbianos que atuam contra insetos. Eles pertencem à família *Baculoviridae* e causam infecção após a sua ingestão por meio de alimentos contaminados (Clem & Passarelli, 2013; Williams et al., 2017). Os baculovírus são ativos contra artrópodes mastigadores e principalmente contra lagartas (Ruiu, 2018).

Os nematóides, considerados outro grupo de agentes microbianos, penetram no hospedeiro por meio das suas aberturas (ânus, espiráculos e cavidade oral). *Steinernematidae* e *Heterorhabditidae* são consideradas as principais famílias que apresentam

alto potencial para controlar populações de insetos. Esses patógenos estão associados as bactérias endossimbióticas (*Xenorhabdus* e *Photorhabdus*), e ao penetrar no hospedeiro liberam essas bactérias, causando septicemia e posteriormente a mortalidade do inseto (Poinar Jr, 1990; Ruiu, 2018; Sandhi et al., 2020).

4.3. Caldas

As caldas com ação no controle de pragas são preparadas a partir de substâncias naturais sejam orgânicas ou inorgânicas. São ótimas alternativas para o controle de ácaros e insetos praga e de alguns patógenos associados às culturas (Schwengber, et al., 2007; Farias et al., 2021). Como descrito na Tabela 3.1, existem vários tipos diferentes de caldas, sua composição e indicação de uso estão listadas.

Essas caldas apresentam baixa toxicidade e baixo custo, podem ser feitas para uso doméstico e em aplicações em grande escala para os cultivos. Algumas dessas caldas, como por exemplo a calda sulfocálcica, além de auxiliar no controle de pragas, nutrem as plantas por possuírem uma variedade de

micronutrientes. Dessa forma, por serem benéficas ao metabolismo das plantas elas são conhecidas como caldas fitoprotetoras (Schwengber, et al., 2007; Farias et al., 2021).

5. Formas de uso de produtos naturais

5.1. Produção própria

Nos países em desenvolvimento, muitos agricultores não têm acesso aos produtos comerciais como inseticidas sintéticos ou biológicos porque são muito caros ou de difícil acesso (Dougoud, et al., 2019).

TÓPICOS DE MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS II

Tabela 3.2. Caldas com ação no controle de pragas.

Nome	Composição	Indicação
Calda Viçosa	Sulfato de cobre, óxido de cálcio, sulfato de magnésio, sulfato de zinco, ácido bórico e água	Controle preventivo de doenças causadas por fungos em pomares e hortas e de lesmas e caramujos
Calda Bordalesa	Sulfato de cobre, óxido de cálcio e água	Controle de insetos minadores, cascudinho, cigarrinha verde
Calda sulfocálcica	Enxofre, óxido de cálcio e água	Controle de ácaros, insetos minadores, sugadores e algumas doenças fúngicas
Extrato de cravo-de-defunto	Cravo-de-defunto e álcool.	Controle de ácaros, pulgões, cascudinho lagartas e nematoides
Enxofre em pó	Enxofre líquido e água	ácaro vermelho do café
Calda de fumo (<i>Nicotiana tabacum</i>)	Fumo, álcool, sabão e água.	Controle de pulgões, ácaros, percevejos, tripes vaquinhas, cochonilhas e grilos em plantas frutíferas e hortícolas
Calda de pimenta-do-reino, alho e sabão	Pimenta-do-reino, alho, álcool, água e sabão	Controle de pulgões, ácaros e cochonilhas em hortaliças (inclusive solanáceas), frutíferas, cereais, flores e ornamentais

Para enfrentar as pragas, muitos pequenos agricultores têm usado preparações caseiras de inseticidas a base de extratos vegetais, “o conhecimento empírico sobre o uso de plantas com potencial inseticida tem passado entre as gerações de forma verbal nas comunidades rurais” (EMBRAPA, 2015). Preparações de inseticidas botânicos têm sido recomendados por entidades governamentais e internacionais em países em desenvolvimento na África, nas Américas e na Ásia, principalmente aqueles baseados em Neem (Dougoud et al., 2019).

Porém, alguns inseticidas botânicos usados empiricamente pelas comunidades rurais são baseados em plantas indígenas do lugar onde são usados. Entre as plantas mais usadas para preparações caseiras estão: Alho (*Allium sativum*), neem (*Azadiractina indica*), pimenta (*Capsicum spp.*), erva siam (*Chromolaena odorata*), mãe do cacau (*Gliricidia sepium*), cinamomo (*Melia azedarach*), moringa (*Moringa oleifera*), tabaco (*Nicotiana tabacum*), manjeriço (*Ocimum gratissimum*), tefrósia (*Tephrosia vogelii*), calêndula de árvore

(*Tithonia diversifolia*), folha amarga (*Vernonia amygdalina*), jambu (*Acmella oleracea*), Mentrasto (*Ageratum conyzoides*), eucaliptos (*Corymbia* spp. e *Eucalyptus* spp.), Artemísia (*Artemisia* spp.), patchouli (*Pogostemon cablin*). As preparações caseiras de inseticidas botânicos carecem de base científica, mas têm sido usadas por muitos séculos e isto suporta a ideia de baixa toxicidade aos seres humanos (Moreno et al., 2012; Silva et al., 2016; Dougoud et al, 2019; Gouvêa et al., 2019; Santos et al., 2022).

Os produtos naturais podem ser produzidos a partir da multiplicação “on farm” que possibilita ao produtor produzir o seu próprio insumo biológico, cuja principal finalidade é diminuir os custos de produção. Essas reduções dos custos podem chegar a 80% e 90% (Santos et al., 2020). Mas, mesmo com a produção “on farm” gerando redução de custos, podem existir diferenças significativas entre esses e os produtos comerciais, uma vez que é necessário ter um controle de qualidade a fim de garantir maior vida útil do produto, menor contaminação, controle de

multiplicação e entre outros (Emerson & Mikunthan, 2015; Gabardo et al., 2021).

5.2. Produtos comerciais

De acordo com o AGROFIT/MAPA, existem aproximadamente 346 produtos naturais registrados no Brasil. Na Tabela 3.2, estão listados algumas dessas marcas comerciais utilizadas no controle de pragas e doenças (Brasil, 2022). Já na Tabela 3.3, estão listados alguns dos produtos naturais utilizados para controle de pragas em outros países (Isman, 2020).

5.3. Modelos para a síntese de novos produtos

Os Produtos naturais têm sido utilizados como inseticidas e são a principal fonte de inspiração para o desenvolvimento de novos produtos inseticidas sintéticos ou semissintéticos (Gerwicks & Sparks, 2014). O exemplo mais conhecido é o piretro extraído da planta de crisântemo (*Tanacetum cinerariifolium*). Os principais produtos desenvolvidos a partir de compostos naturais são citados na Tabela 3.5.

TÓPICOS DE MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS II

Tabela 3.3. Produtos naturais comerciais registrados no Brasil.

Ingrediente ativo	Produtos comerciais	Classe de uso
Azadiractina	Azamax, Azact CE, Bioexos, BTP 300-21, BTP 400-21, DalNeem EC, Ecolkiller, Fitoneem,	Inseticida e/ou Fungicida
Bacillus	Dipel, Fx Protection, Aveo EZ, Boneville, Duravel, Amitrix SC, Bactel, BioBac-t, Onix OG, Rizos OG.	Inseticidas e/ou fungicidas e/ou Nematicidas
Metarhizium	Arcar, Arizium, Aradya, Biometa, Detroit, Excellence Ruggger, Metaip, Metatec, Optimun.	Inseticida
Beauveria	Auin, Atrevido, Bio Conductor, Bometil, Bovemip, Boveril Plus, Corvair, Ecobass, Granada, Vestix.	Inseticida e/ou Acaricida
Baculovirus	Baculovirus AEE, Chrysogen, Diplomata K, Grap Baculovirus, Helicovex, Verpavex, VirControl H.A, Virumix WP, Owner.	Inseticida
Trichoderma	Biagro Solo, Bioatria, Gladiador, GNC 006-3, Habitat, Trianium DS, Trianium WG, Tricovab, Trichodermaiz WP, Tritter.	Fungicida

TÓPICOS DE MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS II

Tabela 3.4. Produtos botânicos comerciais registrados em outros países

Ingrediente ativo	Marca comercial	Países
Alho	EcoA-Z, AjoNey, Garlic Barrier	Estados Unidos, Colômbia e México
Annona squamosa e Annona reticulata	Anosom ^R	Índia
Azadiractina	AZA-Direct R, Azera TM, Molt-X, Neemix 4.5, Azatin XL, Fortune Aza 3%EC, Margosan-O, Shubhdeep NeemOil, NeemAzal TS	Estados Unidos, Índia, Alemanha e Austrália
Capsaicina	Hot Pepper Wax	Estados Unidos
Chenopodium ambrosoides	Requiem ^R	América do Norte
Limoneno	PreVam, Demize RC	África do Sul, Estados Unidos e na União Europeia
Nicotina	10% Nicotine AS, Nicotine smoke generator	Estados Unidos e China
Óleo de alecrim, óleo de hortelã-pimenta e Geraniol	Ecotrol TM	Estados Unidos e América
Óleo de Citronela	Buzz Away Insect Repellent	Estados Unidos
Oleoresina de Capsicum e óleo de alho	CaptivaR	Colômbia
Óleo de Nim	Neem oil tga,i, Neem Oil Insecticidal Soap Concentrate, Dyna-Gro Neem Oil	Estados Unidos, Índia e Austrália
Óleo de Thymus vulgaris	EcoVia WD	Estados Unidos
Óleo essencial de orégano	By-O-reg	Estados Unidos
Piretrina	Ecozone Pyrethrum Insect Powder, PyGanic EC - Liquid Pyrethrum, Beskill pyrene oil concentrate	Estados Unidos
Rotenona	5% Rotenone Dust, 5% Rotenone ME, Agway Rotenona dust	Estados Unidos, China
Sabadilla	Veratran D ^R	Estados Unidos

6. Mercado brasileiro e mundial

O Brasil está entre os cinco maiores países produtores agrícolas, e o uso da terra para a realização de práticas agrícolas aumentou significativamente nos últimos anos. Com isso, houve uma crescente demanda na utilização de pesticidas, o que se tornou uma complicação (Dias et al., 2016; Pignati et al., 2017).

Os produtos naturais podem exercer um papel de grande relevância na proteção de cultivos e na economia baseada na agricultura. Além disso, o Ministério da Agricultura promove o uso de produtos naturais para o controle de pragas, principalmente aqueles à base de crisântemo e neem (Isman, 2020).

TÓPICOS DE MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS II

Tabela 3.5. Produtos desenvolvidos a partir de produtos naturais modelo

Produto natural	Fonte	Produto	Classe	Mecanismo de ação
Fisostigmina	Planta	Propoxur	Carbamatos	Acetilcolinesterase
Acetilcolina	Animal	Aldicarb	Carbamatos	Acetilcolinesterase
Picrotroxinina	Planta	Chlordane e Fipronil	Ciclodieno e Fiproles	Canal de cloreto fechado com GABA
Piretro	Planta	Pyrethrum Cypermethrin	e Piretrinas piretroides	e Canais de sódio
Nicotina	Planta	Imidacloprid Nicotina	e Neonicotinoides nicotina	e Receptor nicotínico de acetilcolina
Stemofoline	Planta	Flupiradifurona	Butenólídeos	Receptor nicotínico de acetilcolina
Spinosad	Microorganismo	Spinosad Spinetoram	e Espinosinas	Receptor nicotínico de acetilcolina
Abamectina	Microorganismo	Abamectin Emamectin benz	e Avermectinas	Canal de cloreto fechado com GABA
Milbemctina	Microorganismo	Milbemctin Ipermectin	- Milbemcinas	Canal de cloreto fechado com GABA
Hormonio juvenil	Hormonio do inseto	Pyriproxyfen	Imita hormônio juvenil	Sistema hormonal do inseto
<i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt)	Microorganismo	Bt-based	Bt	Sistema digestivo do inseto
Dioxipirrolomicina	Microorganismo	Chlorfenapyr	Desacopladores	Interrompe a fosforilação oxidativa
Nereistoxina	Animal marinho	Cartap	Análogos da nereistoxina	Receptor nicotínico de acetilcolina
Beta-metoxiacrilatos	Planta	Fluacrypyrim	Acaricidas	Complexo III de transporte de elétrons mitocondrial
Piripiropeno a	Microorganismo	Afidopyropen	Piripenos	
Ryana	Planta	Ryana	Ryana	Canais de cálcio
Azadiractina	Planta	Azadirachtin	Azadiractinas	Interrompe a síntese de quitina
Sabadilla	Planta	Sabadilla	Sabadilla	Canais de sodio

Assim, a demanda na utilização de produtos biológicos para o controle de pragas e doenças vem aumentando cada vez mais, devido a preocupações ambientais e o consumo de alimentos sem resíduos deixados por pesticidas sintéticos. Com a necessidade de produção de alimentos mais saudáveis, o mercado Europeu estabeleceu protocolos que procuram melhorar a segurança alimentar do consumidor. O Brasil já busca meios para um sistema de produção mais sustentável com a utilização do controle biológico, sendo esse uma ferramenta indispensável (Canhos, 2001).

Nesse sentido, no Brasil dispõe de 252 produtos registrados na classe de inseticidas microbianos (Agrofit, 2022). Dentre esses produtos registrados, para a produção em massa é utilizada a fermentação, sendo os principais princípios ativos as bactérias e fungos, dentre as bactérias estão *Bacillus thuringiensis* e *B. amyloliquefaciens*. Já entre os fungos estão *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Isaria fomesorosea* (Agrofit, 2022). Já em relação aos produtos botânicos registrados, esse

número não é tão expressivo quanto aos produtos microbianos, sendo 8 produtos que possuem como ingrediente ativo a Azadiractina (Agrofit, 2022).

O mercado mundial de inseticidas botânicos tem enfrentado muitas restrições regulatórias tanto em países industrializados quanto em países em desenvolvimento (Dougoud et al., 2019). A piretrina e a azadiractina são os dois compostos naturais mais produzidos no nível mundial para elaboração de inseticidas botânicos (Isman, 2020). No século XX o 90% da produção mundial de piretro foi dominada pela África do Sul, mas devido a condições de instabilidade política e econômica, o mercado foi aberto e aproveitado por outros países como Austrália e a Tasmânia, este último se converteu no maior produtor de piretro do mundo por volta do ano 2009 (Isman, 2020).

A descoberta do papel da azadiractina no processo de muda dos insetos, gerou uma grande onda de conferências, livros e trabalhos de pesquisa que ajudaram a desenvolver vários produtos à base de este composto (Campos et al., 2019; Isman, 2020;

Samada & Tambunan, 2020). Só nos Estados Unidos foi utilizado em grande escala o óleo clarificado de neem que alcançou os 90.000 kg de produção nos últimos anos (Isman, 2020). Logo depois, este mercado foi deslocado por um crescente interesse na investigação dos óleos essenciais com potencial inseticida. Como resultado destas investigações, tem desenvolvido vários inseticidas botânicos baseados em óleos essenciais à base de plantas como alecrim, alho, pimenta, laranja, orégano entre outras (Tabela 3.4).

O mercado mundial de bioinseticidas é baixo, apresenta apenas 5% do volume de defensivos agrícolas, comparado com inseticidas e acaricidas químicos que correspondem a 30% dos defensivos comercializados (Van Lenteren et al., 2019). Já produtos de natureza fúngica correspondem aproximadamente 15% do mercado mundial de bioinseticidas (Batista filho & Almeida, 2001). Portanto, nos últimos anos o mercado mundial tem elevação nos registros de produtos biológicos, crescendo cinco vezes mais que as indústrias de pesticidas organossintéticos (Canhos, 2001).

O primeiro inseticida microbiano foi registrado há mais de 70 anos nos Estados Unidos, e teve como ingrediente ativo o *Bacillus thuringiensis* (Ramos, 2008). Atualmente, esses produtos vêm se tornando melhores e as restrições na utilização de pesticidas químicos faz com que haja uma alta demanda por esses produtos (Marrone, 2019).

Nesse sentido, os inseticidas microbianos podem exercer uma função muito importante na proteção de cultivos na economia baseada na agricultura do mundo. Na China, por exemplo, há mais de 300 inseticidas microbianos registrados e esses exercem um papel de grande relevância no manejo de pragas. Uma vez que os biopesticidas e área de aplicação, equivalem a 12% e 9,5% respectivamente, da produção total (Huang et al., 2007). Já nos Estados Unidos, há 356 ingredientes ativos de biopesticidas registrados, dentre esses 57 são espécies de microrganismos ou seus derivados. A região norte-americana é responsável pela maior parte do mercado de inseticidas microbianos com 539 milhões de dólares. E na Índia, há aproximadamente 15 espécies

microbianas e 970 formulações microbianas registradas através do Conselho Central de Inseticidas e Comitê de Registro (CIBRC).

No Brasil o valor comercializado no mercado de produtos químicos agrícolas é de 9,6 bilhões de reais, sendo que os produtos biológicos correspondem entre 1 e 2%. No entanto, a produção de produtos biológicos vem aumentando e as expectativas são promissoras. Recentemente, em 2021, o crescimento do mercado de produtos biológicos no Brasil foi de 42% no ano, comparado com o crescimento global de 16% (IHS Markit, 2021). A expectativa é que em 2030 a venda de produtos biológicos alcance 16,9 bilhões de reais, considerando uma taxa de crescimento cumulativo em 2025 de 35 % e em 2030 de 25% (IHS Markit, 2021).

7. Produtos naturais promissores

Os produtos naturais usados no controle de pragas vêm avançando na sua introdução no mercado e na competição com os inseticidas químicos, porém ainda enfrentam grandes desafios, entre os quais estão o aprimoramento da produção em larga escala

e a manutenção de seu espectro de atuação (Gerwick & Sparks, 2014). Além dessas questões, existe também uma necessidade de educar os agricultores quanto aos métodos alternativos de controle que estão disponíveis. (Isman, 2020).

O aumento na produção e consumo mundial de alimentos é inevitável considerando que o cenário futuro exigirá melhores tecnologias para aumento de produção, levando em consideração, ao mesmo tempo, a redução de impactos sobre os recursos naturais e a produção de produtos agrícolas sem resíduos químicos.

Atualmente, há aproximadamente 3000 microrganismos que são responsáveis por causarem infecções em insetos. Entretanto, faz-se necessário conduzir mais pesquisas para descobertas de outros microrganismos que podem ser utilizados no manejo de insetos pragas. Mais de 100 bactérias já foram identificadas como patógenos de insetos, entre os quais o *Bacillus thuringiensis* Berliner (*Bt*) foi considerada a mais relevante como agente de controle. Foram também isolados aproximadamente

1000 vírus, mais de 800 espécies de fungos entomopatogênicos e 1000 espécies de protozoários patogênicos já foram descritas e identificadas (Canhos, 2001).

Com essas perspectivas, muitas empresas produtoras de produtos biológicos terão que ampliar suas produções, assim estão desenvolvendo e melhorando os equipamentos para sistemas autônomos e biorreatores e fertilizantes maiores de 2 mil litros. A prioridade para obtenção de novos produtos está na pesquisa e desenvolvimento para identificação e triagem de fungos, bactérias e vírus (Canhos, 2001).

9. Considerações finais

A tendência do mercado consumidor está voltada para alimentos livres de produtos químicos que prejudicam a saúde do homem e o meio ambiente, com isso, os estudos mostram um futuro brilhante do controle biológico no Brasil.

Os produtos naturais trazem vantagens por diminuir o uso de pesticidas organossintéticos e

consequentemente causar menor impacto às populações de organismos não-alvo como os inimigos naturais e polinizadores, além destes produtos terem menor toxicidade ao homem.

Portanto, com a crescente demanda por produtos para controle de pragas gera a necessidade de melhorias na normalização legislativa com menor burocratização para o registro desses produtos e a realização de estudos relacionados a produtos naturais para suprirem o tempo de prateleira e a suscetibilidade a degradação ambiental dos produtos de origem biológica.

10. Referências

Almeida, J. D., & Batista Filho, A. (2001). Banco de microrganismos entomopatogênicos. *Biotecnologia ciência & desenvolvimento*, 21, 30-33.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2020). Registro de produtos biológicos.

Batista Filho, A., Almeida, J. E., & Lamas, C. (2001). Effect of thiamethoxam on entomopathogenic microorganisms. *Neotropical Entomology*, 30, 437-447.

Brasil. Instrução Normativa Conjunta nº 2, de 23 de janeiro de 2006. Diário Oficial da União, 26 jan. 2006.

Brasil. Instrução Normativa Conjunta nº 25, de 14 de setembro de 2005. Diário Oficial da União, 15 set. 2002.

Brasil, L. N. (2016). 7.802, de 11 de julho de 1989. Diário Oficial da União.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agrotóxicos registrados no AGROFIT.

Campos, E. V., Proença, P. L., Oliveira, J. L., Bakshi, M., Abhilash, P. C., & Fraceto, L. F. (2019). Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives. *Ecological Indicators*, 105, 483-495.

Canhos, V. P., & Manfio, G. P. (2001). Recursos microbiológicos para biotecnologia.

Clem, R. J., & Passarelli, A. L. (2013). Baculoviruses: sophisticated pathogens of insects. *PLoS pathogens*, 9(11), e1003729.

Corrêa, J. C. R., & Salgado, H. D. N. (2011). Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 13, 500-506.

Costa, L. F. (2016). Os procedimentos de registro e de reavaliação de registros de agrotóxicos no Brasil. *Intertem@ s* ISSN 1677-1281, 32(32).

David, B., Wolfender, J. L., & Dias, D. A. (2015). The pharmaceutical industry and natural products: historical status and new trends. *Phytochemistry Reviews*, 14, 299-315.

Deshayes, C., Siegwart, M., Pauron, D., Froger, J. A., Lapied, B., & Apaire-Marchais, V. (2017). Microbial pest control agents: are they a specific and safe tool for insect pest management?. *Current medicinal chemistry*, 24(27), 2959-2973.

Dias, L. C., Pimenta, F. M., Santos, A. B., Costa, M. H., & Ladle, R. J. (2016). Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture. *Global change biology*, 22(8), 2887-2903.

Dougoud, J., Toepfer, S., Bateman, M., & Jenner, W. H. (2019). Efficacy of homemade botanical insecticides based on traditional knowledge. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 1-22.

Emerson, F. L., & Mikunthan, G. (2015). Small scale production of *Trichoderma viride* on locally available liquid waste and other substrates. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 15, 1666-1671.

Farias, E. S., Santos, A. A., Carmo, D. G., Melo, J. B., & Picanço, M. C. (2021). Lethal and antifeedant effects of Bordeaux mixture on the marsh slug (*Deroceras laeve*). *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 56(2), 117-121.

Fira, D., Dimkić, I., Berić, T., Lozo, J., & Stanković, S. (2018). Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species. *Journal of biotechnology*, 285, 44-55.

Gabardo, G., da Silva, H. L., & Clock, D. C. (2021). "On Farm" Production of microorganisms in Brazil. *Scientia Agraria Paranaensis*, 312-318.

Gelernter, W. D., & Trumble, J. T. (1999). Factors in the success and failure of microbial insecticides in vegetable crops. *Integrated Pest Management Reviews*, 4, 301-306.

Gerwick, B. C., & Sparks, T. C. (2014). Natural products for pest control: an analysis of their role, value and future. *Pest Management Science*, 70(8), 1169-1185.

Gouvêa, S. M., Carvalho, G. A., Fidelis, E. G., Ribeiro, A. V., Farias, E. S., & Picanço, M. C. (2019). Effects of paracress (*Acmella oleracea*) extracts on the aphids *Myzus persicae* and *Lipaphis erysimi* and two natural enemies. *Industrial Crops and Products*, 128, 399-404.

Gusmão, F.P. (2013). Bioinseticida à base de *Bacillus thuringiensis*. Monografia em Engenharia Bioquímica, 42p.

Huang, D. F., Zhang, J., Song, F. P., & Lang, Z. H. (2007). Microbial control and biotechnology research on *Bacillus thuringiensis* in China. *Journal of invertebrate pathology*, 95(3), 175-180.

IHS Markit. (2021). Annual New Product Introductions: Biological vs Conventional.

Isman, M. B. (2008). Botanical insecticides: for richer, for poorer. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 64(1), 8-11.

Isman, M. B. (2020). Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise?. *Annual Review of Entomology*, 65, 233-249.

Lima, U. D. A., Aquarone, E., Borzani, W., & Schmidell Netto, W. (2001). *Biotecnologia industrial: processos fermentativos e enzimáticos*.

Lopes, P. R., & Lopes, K. C. S. A. (2011). Sistemas de produção de base ecológica—a busca por um desenvolvimento rural sustentável. *REDD—Revista Espaço de Diálogo e Desconexão*, 4(1).

Machado, L. A., Silva, V. B., & Oliveira, M. D. (2007). Uso de extratos vegetais no controle de pragas em horticultura. *Biológico, São Paulo*, 69(2), 103-106.

Marrone, P. G. (2019). Pesticidal natural products—status and future potential. *Pest Management Science*, 75(9), 2325-2340.

McKinnon, A. C., Saari, S., Moran-Diez, M. E., Meyling, N. V., Raad, M., & Glare, T. R. (2017). *Beauveria bassiana* as an endophyte: a critical review on associated methodology and biocontrol potential. *BioControl*, 62, 1-17.

Meyer, M. C., de Freitas Bueno, A., Mazaro, S. M., & da Silva, J. C. (2022). Bioinsumos na cultura da soja.

Monnerat, R., Montalvão, S. C. L, Martins, E. S., Queiroz, P. R. M., Silva, E. Y. Y., Garcia, A. R. M., Castro, M. T., Rocha, G. T., Ferreira, A. D. C. L, & Gomes, A. C. M. M. (2020). Manual de produção e controle de qualidade de produtos biológicos à base de bactérias do gênero *Bacillus* para uso na agricultura.

Moreira, M. D., Picanço, M. C., Barbosa, L. C. D. A., Guedes, R. N. C., Campos, M. R. D., Silva, G. A., & Martins, J. C. (2007). Plant compounds insecticide activity against Coleoptera pests of stored products. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42, 909-915.

Moreira, M. D., Picanço, M. C., Martins, J. C. Campos, M. R., Chediak, M. (2007). Uso de inseticidas botânicos no controle de pragas. In: Zambolim, L., Lopes, C. A., Picanço, M. C., Costa, H. (Eds.). *Manejo integrado de doenças e pragas - Hortaliças*. Viçosa: UFV. 577-606.

Moreno, S. C., Carvalho, G. A., Picanço, M. C., Morais, E. G., & Pereira, R. M. (2012). Bioactivity of compounds from *Acmella oleracea* against *Tuta absoluta* (Meyrick)(Lepidoptera: Gelechiidae) and selectivity to two non-target species. *Pest Management Science*, 68(3), 386-393.

Pavela, R., & Benelli, G. (2016). Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. *Trends in plant science*, 21(12), 1000-1007.

Picanço, M.C, Lopes, M.C., Silva, G.A. (2022). Tópicos de manejo integrado de pragas I. Viçosa: UFV. 338p.

Pignati, W. A., Lima, F. A. N. D. S., Lara, S. S. D., Correa, M. L. M., Barbosa, J. R., Leão, L. H. D. C., & Pignatti, M. G. (2017). Spatial distribution of pesticide use in Brazil: a strategy for Health Surveillance. *Ciência & Saúde Coletiva*, 22, 3281-3293.

Poinar Jr, G. O. (1990). Taxonomy and biology of Steinernematidae and Heterorhabditidae. In: Gaugler R., Kaya H.K. (Eds.). *Entomopathogenic nematodes in biological control*. Boca Raton: CRC Press.

Ramos, F. R. (2008). Avaliação a campo de uma estirpe de *Bacillus thuringiensis* tóxica à lepidoptera e seu possível efeito adverso sobre espécies não-alvo.

Renzi, A., Henz, A. P., Zidora, C. B. M., & Shikida, P. F. A. (2019). Evolução do controle biológico de insetos e pragas no setor canavieiro: uma análise na perspectiva econômica. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 12(2), 459-485.

Ruiu, L. (2018). Microbial biopesticides in agroecosystems. *Agronomy*, 8(11), 235.

Samada, L. H., & Tambunan, U. S. F. (2020). Biopesticides as promising alternatives to chemical pesticides: A review of their current and future status. *Online J. Biol. Sci*, 20, 66-76.

Sandhi, R. K., Pothula, R., Pothula, S. K., Adams, B. J., & Reddy, G. V. (2020). First record of native

entomopathogenic nematodes from Montana agroecosystems. *Journal of Nematology*, 52(1), 1-11.

Santos, A., Dinnas, S., & Feitoza, A. (2020). Qualidade microbiológica de bioprodutos comerciais multiplicados on farm no Vale do São Francisco: dados preliminares. *Enciclopédia Biosfera*, 17(34).

Santos, A. A., Farder-Gomes, C. F., Ribeiro, A. V., Costa, T. L., França, J. C. O., Bacci, L., Demuner, A. J., Serrão, J. E., & Picanço, M. C. (2022). Lethal and sublethal effects of an emulsion based on *Pogostemon cablin* (Lamiaceae) essential oil on the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(30), 45763-45773.

Schwengber, J. E., & Schiedeck, G. (2007). Preparo e utilização de caldas nutricionais e protetoras de plantas.

Silva, R. S., Tomaz, A. C., Lopes, M. C., Martins, J. C., Xavier, V. M., & Picanço, M. C. (2016). Toxicity of botanical insecticides on *Diaphania hyalinata*, their selectivity for the predatory ant *Paratrechina sp.*, and their potential phytotoxicity on pumpkin. *International Journal of Pest Management*, 62(2), 95-104.

Singh, K. I., Debbarma, A., & Singh, H. R. (2015). Field efficacy of certain microbial insecticides against *Plutella xylostella* Linnaeus and *Pieris brassicae* Linnaeus under cabbage-crop-ecosystem of Manipur. *Journal of Biological Control*, 194-202.

Starnes, R. L., Liu, C. L., & Marrone, P. G. (1993). History, use, and future of microbial insecticides. *American Entomologist*, 39(2), 83-91.

Tomé, H. V. V., Martins, J. C., Corrêa, A. S., Galdino, T. V. S., Picanço, M. C., & Guedes, R. N. C. (2013). Azadirachtin avoidance by larvae and adult females of the tomato leafminer *Tuta absoluta*. *Crop Protection*, 46, 63-69.

Valtierra-de-Luis, D., Villanueva, M., Berry, C., & Caballero, P. (2020). Potential for *Bacillus thuringiensis* and other bacterial toxins as biological control agents to combat dipteran pests of medical and agronomic importance. *Toxins*, 12(12), 773.

Van Lenteren, J. C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W. J., & Urbaneja, A. (2018). Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. *BioControl*, 63, 39-59.

Van Lenteren, J. C., Bueno V. H., Luna M. G., & Colmenarez, Y. C. (Eds). (2020). *Biological control in Latin America and the Caribbean: its rich history and bright future*. CABI.

Villarreal-Delgado, M. F., Villa-Rodríguez, E. D., Cira-Chávez, L. A., Estrada-Alvarado, M. I., Parra-Cota, F. I., & Santos-Villalobos, S. D. L. (2018). The genus *Bacillus* as a biological control agent and its implications in the agricultural biosecurity. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(1), 95-130.

Weinzierl, R., Henn, T., Koehler, P. G., & Tucker, C. L. (1989). Microbial insecticides (Vol. 1295). Cooperative Extension Service, University of Illinois at Urbana-Champaign.

Williams, T., Virto, C., Murillo, R., & Caballero, P. (2017). Covert infection of insects by baculoviruses. *Frontiers in microbiology*, 8, 1337.

Xavier, V. M., Message, D., Picanço, M. C., Chediak, M., Júnior, P. A. S., Ramos, R. S., & Martins, J. C. (2015). Acute toxicity and sublethal effects of botanical insecticides to honey bees. *Journal of Insect Science*, 15(1), 137.

Zimmermann, G. (2007). Review on safety of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Biocontrol Science and technology*, 17(9), 879-920.

CAPÍTULO 4

Uso de inteligência artificial em programas de manejo integrado de pragas

Jhersyka S. Paes, Daniela S. M. Silva, Lorrana F. O. Almeida, Letícia C. S. Sant'Ana, Marcelo C. Picanço

1. Introdução

A inteligência artificial (IA) é uma ciência recente e abrange uma grande variedade de subáreas, desde aquelas utilizadas na realização de tarefas gerais até as que realizam tarefas mais específicas. Sua atuação se dá principalmente na sistematização e automatização de tarefas intelectuais, sendo, portanto, potencialmente relevante para qualquer esfera de atividade intelectual humana (Russell, 2010).

A agricultura é um exemplo de campo do conhecimento onde se começou a implementar tarefas realizadas por IA. Neste capítulo, enfatiza-se o uso dessa ciência no controle de pragas associado ao manejo integrado. O manejo integrado de pragas (MIP) visa a sustentabilidade econômica, ambiental e

social no controle de pragas. Detectar, manejar e gerir a propagação e a disseminação de pragas é, também, um dos aspectos cruciais de uma produção agrícola eficiente, considerando que as pragas representam grandes ameaças e causam perdas de mil milhões de dólares por ano na agricultura mundial (LI & Du, 2017; Charania & Li, 2020).

Por estar incorporada em diferentes dimensões da sustentabilidade (p. ex: social, econômica, individual, técnica e ambiental), o uso de tecnologias emergentes de IA podem melhorar o uso, implementação e a eficiência dos componentes de MIP (Goedde et al., 2020), sobretudo no diagnóstico e avaliação de agroecossistemas, auxiliando na tomada de decisões e na definição das melhores estratégias de controle (Lin et al., 2017).

Os diagnósticos gerados por IA que auxiliam nas decisões em campo são baseados em conjuntos de dados memorizados de experiências passadas e dados estatísticos, a partir da lógica digital e binária de computadores, que são computados principalmente por meio de sistemas especialistas, robótica, sistemas visuais, aprendizagem de máquinas, planejamento e logística (Alreshidi, 2019).

Os avanços tecnológicos no campo da IA proporcionam diversas possibilidades e benefícios diretos aos programas de MIP e à agricultura. No entanto, essas inovações evoluem de forma gradativa e são desconhecidas pela maioria do público de interesse, necessitando maior visibilidade para efetiva implementação.

Este capítulo traz informações atualizadas e confiáveis sobre o uso de IA em programas de MIP, abordando desde princípios básicos, aplicações, avanços e os desafios a serem superados, buscando atender estudantes, profissionais e produtores.

2. Programas de manejo integrado de pragas

São programas com a filosofia de controle de pragas agrícolas, que procura preservar e incrementar os fatores de mortalidade natural, através do uso integrado dos métodos de controle selecionados com base em parâmetros econômicos, ecológicos e sociológicos.

2.1. Componentes dos programas de MIP

Os programas de MIP são desenvolvidos especificamente para o organismo praga e a espécie

vegetal hospedeira, e são compostos por três componentes: i) avaliação do agroecossistema (ou diagnose); ii) sistemas de tomada de decisão e; iii) métodos (táticas e estratégias) de controle (Pedigo et al., 2021; Picanço et al., 2014).

O componente i, ou diagnose, visa identificar os organismos pragas, fatores favoráveis ao seu ataque, bem como determinar os pontos críticos de seu controle. Por meio dele, é possível conhecer aspectos da bioecologia, comportamento e características do organismo praga, sendo a base para o início de um programa de MIP eficiente.

O componente ii compreende os sistemas de tomada de decisão, os quais são compostos por planos de amostragem e índice de tomada de decisão. Planos de amostragem referem-se ao planejamento detalhado das avaliações nas plantas em campo (como e quando), de forma representativa, precisa e eficiente. Por meio desses planos, são determinadas as densidades de pragas e inimigos naturais, em seguida essas densidades são comparadas a um índice limiar que auxilia na tomada de decisão. Esse índice

de tomada de decisão nos programas de MIP determina se a densidade da praga é baixa ou alta e se há necessidade de controle, evitando possíveis danos econômicos.

O componente iii, ou métodos de controle, pode ser preventivo ou curativo. Os métodos preventivos visam otimizar a mortalidade natural da praga, utilizando táticas como o controle cultural, uso de resistência de plantas e o controle biológico conservador. Por outro lado, os métodos curativos são dependentes da densidade da praga, e caracterizam-se pelo uso do controle artificial, aplicado quando a população da praga é considerada alta, ou seja, igual ou maior que o índice de tomada de decisão. Essas estratégias de controle são selecionadas com base em critérios técnicos, ecotoxicológicos, econômicos e sociais.

3. Uso de inteligência artificial em programas de MIP

A Inteligência Artificial (IA) é um campo da ciência da computação que visa habilitar sistemas para realizarem tarefas emulando a mente humana e viabilizando aprendizado, raciocínio e tomada de

decisões. Essa habilitação se dá por meio de diferentes sistemas de inteligência, com diferentes finalidades.

3.1. Sistemas de inteligência artificial

Como mencionado anteriormente, a IA facilita a automatização de tarefas por meio de diferentes sistemas de inteligência. Nessa gama estão inseridos os sistemas especialistas, sistemas visuais, robótica, *machine learning* e *data Science* (Figura 4.1). Cada um desses sistemas apresenta características e funções distintas. O sistema especialista, por exemplo, é uma área da IA capaz de apresentar conclusões e resultados, desde que previamente orientado por lógica e alimentado com informações. São sistemas projetados com base em conhecimentos específicos e regras (Barone, 2003).

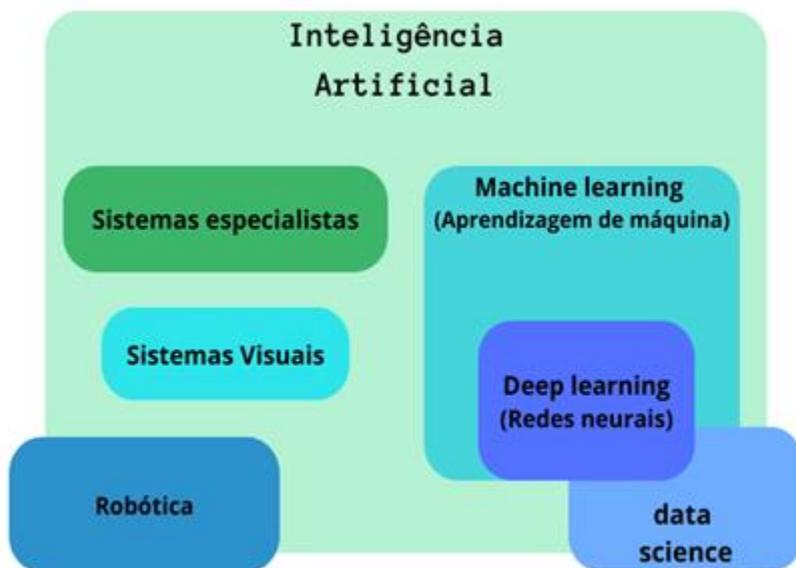


Figura 4.1. Esquema dos principais sistemas de inteligência artificial.

Já os sistemas visuais envolvem captação, armazenagem e manipulação de imagens visuais. São compostos por *softwares* e *hardwares*, como câmeras, sensores e dispositivos de armazenagem. Suas principais utilizações focam na identificação de padrões visuais, classificação desses padrões e conclusões (Stairs & Reynolds, 2006).

No campo da robótica, as atividades são exercidas por agentes físicos (robôs), atuando diretamente na execução de tarefas de manipulação. Para realização dessas tarefas, os robôs são equipados com estruturas de articulações, garras, braços, estruturas de locomoção, rodas, pernas, asas e sensores (Russell & Norvig, 2004). As aeronaves remotamente pilotadas (RPA's) são um exemplo clássico do sistema robótico, principalmente por realizarem navegação autônoma (sem tripulação), sendo classificadas como robôs móveis.

Em todos esses sistemas, um dos fatores preponderantes para a tomada de decisões é a quantidade e qualidade de dados coletados pela IA. Esses dados são obtidos por meio de avaliações ou sensores (e.g. sensores no solo, drones e satélites), e são convertidos em informações úteis e valiosas para o agricultor e a gestão de produção. Nesse sentido, a IA vai se aperfeiçoando à medida que há melhorias no *big data* ao longo do tempo, isto é, na quantidade de dados recolhida. Essas melhorias ocorrem comumente por meio dos *feedbacks* dos usuários. Vale ressaltar

que o aperfeiçoamento na capacidade de analisar grandes volumes de informação, permite a IA prever padrões e inferir.

Essa previsão é possível graças à capacidade dos computadores de tomarem as melhores decisões baseadas em dados memorizados de experiências passadas e dados estatísticos (Russell & Norvig, 2010). Essa capacidade de aprendizado das máquinas configura um subdomínio da IA, conhecido por *machine learning* (ML), ou simplesmente “aprendizado de máquinas”. Esse aprendizado pode ocorrer por três vias distintas: i) aprendizado supervisionado; ii) aprendizado não supervisionado e; iii) aprendizado por reforço.

A primeira via de aprendizado, ou aprendizado supervisionado, ocorre quando o modelo recebe um conjunto de dados de entradas com as respectivas saídas. Ou seja, o modelo recebe as respostas reais para ser treinado e testado por meio de modelos de regressão e de classificação utilizando ferramentas de algoritmos (Figura 4.2).



Figura 4.2. Algoritmos para modelos de regressão e classificação utilizando aprendizado supervisionado.

Na segunda via de aprendizado, ou aprendizado não-supervisionado, o modelo não recebe as saídas dos dados; os dados não têm os rótulos ou categorização prévia. Assim, neste tipo de modelo o conjunto de dados é dividido em grupos (clusters) com o uso de algoritmos (Figura 4.3).

Na terceira via de aprendizado, ou aprendizado por reforço, os modelos são treinados para tomarem uma sequência de decisões em um ambiente incerto, desconhecido e complexo. Os agentes do modelo possuem estado inicial e tomam as decisões e

executam as ações (Goodfellow et al., 2016). No entanto, a partir da ação realizada, é recompensado ou penalizado de acordo com o acerto ou erro. Esse retorno modifica o estado do agente, gerando um novo estado para o agente (Figura 4.4), alterando a tomada de decisão para a próxima ação.

Aprendizado não-supervisionado



Figura 4.3. Algoritmos para agrupamento utilizando aprendizado não-supervisionado.

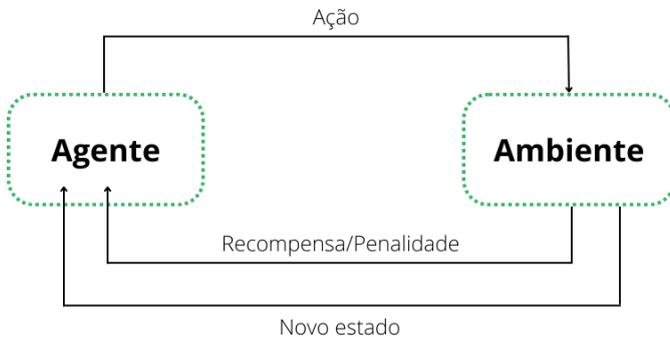


Figura 4.4. Esquema do aprendizado por reforço.

3.2. Principais usos

3.2.1. Uso em estudos de bioecologia de insetos

No âmbito da Entomologia, a bioecologia é uma área que abrange aspectos das inter-relações entre as plantas, os insetos e seus ambientes naturais. Neste sentido, é natural que tais relações tão importantes no campo do Manejo Integrado de Pragas tenham conexão com tecnologias como o uso de IA. Nesse sentido, a aplicabilidade da IA se dá em diversos campos aplicados da Entomologia.

A busca por tecnologias que procuram registrar a atividade alimentar dos insetos (Brown, 1976) por determinadas plantas e possíveis inoculações de patógenos está a muito tempo sendo alvo de diversas pesquisas. Nesse sentido, McLean et al. (1964) em seus estudos pioneiros, buscou obter técnicas para registrar eletronicamente algumas fases da alimentação e salivação de pulgões dentro de uma planta ou outros substratos eletricamente condutores.

Tecnologias que buscam usar algoritmos que permitam a máquinas aprenderem já fazem parte do contexto científico atual com aplicabilidade direta no campo. Por exemplo, em casos onde o hábito alimentar de insetos está associado a transmissão de patógenos às plantas hospedeiras, é possível com o uso de algoritmos que a máquina aprenda os padrões de alimentação de insetos e descubra mecanismos que levam à interrupção da transmissão de patógenos (Willett et al., 2016).

Neste contexto, as interações das espécies são críticas para o funcionamento dos ecossistemas e mensurar essas interações é um desafio. Atualmente, o monitoramento baseado em imagens de alta resolução temporal da interação entre os organismos e seus recursos pode permitir uma quantificação das interações entre espécies (Høye et al., 2021).

3.2.2. Uso em programas de MIP

A geração de informações e a integração dos dispositivos de comunicação aumentaram progressivamente nas últimas décadas de forma que

ferramentas como a Inteligência Artificial se conectam ao dia-a-dia da população. Questões como atividades primárias de produção, processamento de produtos ou varejo direcionam as escolhas dos consumidores, que buscam estilo de vida saudável e que se correlacione com avanços tecnológicos aplicados na produção dos alimentos (Misra et al., 2020). Neste sentido, o uso de ferramentas da Inteligência artificial tem se destacado no campo da agricultura, uma vez que este setor enfrenta grandes desafios relacionados à maximização da produção de forma sustentável e a redução de custos. Essa ferramenta e sua implementação no campo trazem benefícios como flexibilidade, alto desempenho, precisão e custo-benefício (Eli-Chukwu, 2019).

Os insetos são o maior e mais diversificado grupo de animais conhecidos com milhares de espécies descritas, onde estimativas indicam que esses organismos possuem mais que o dobro do número de todos os outros organismos vivos combinados (Altincicek et al., 2008). No entanto, o monitoramento desses organismos é complexo, pois os métodos

atuais são trabalhosos e em muitos casos ineficientes. Neste contexto, devemos considerar a presença e papel dos insetos nas culturas, uma vez que esses organismos são os animais mais abundantes do planeta e são de extrema importância como pragas ou como inimigos naturais. No entanto, populações de insetos são difíceis de estudar, e a maioria dos métodos de monitoramento são trabalhosos e quando aplicados de forma errônea, são ineficientes. Os avanços em Inteligência Artificial fornecem novas soluções potenciais para esse desafio global. Câmeras e outros sensores podem realizar observações entomológicas de forma eficaz, contínua e não invasiva ao longo dos ciclos diurnos e sazonais (Høye et al., 2021) e muitas informações podem ser obtidas a partir do uso dessa ferramenta.

Atualmente os avanços na IA permitem aos pesquisadores utilizarem diversas ferramentas como as redes neurais, aprendizado profundo, uso de sensores, radares na detecção e classificação automática de insetos a partir de vídeos e imagens em

tempo real (Raibagi et al., 2021) no estudo de diversos temas no campo da entomologia.

3.2.2.1. Uso na identificação insetos

Insetos considerados pragas agrícolas são responsáveis por perdas na ordem de 20 a 40% da produção mundial anualmente. Neste sentido, opções de técnicas como a Inteligência Artificial na determinação de pragas automaticamente auxiliam os produtores a reduzir suas perdas e conseqüentemente, a aumentar a produtividade de suas culturas (Karar et al., 2021). A detecção de organismos pragas em culturas é realizado por meio de coletas de informações diretas e indiretas, sendo esta última com o uso de armadilhas no campo. Após a coleta, especialistas realizaram a classificação e contagem para estimar os níveis de infestação, sendo esses dados trabalhosos e propensos a erros. Hoje, a agricultura de precisão é utilizada na detecção de pragas nas lavouras para que ações em tempo real possam ser tomadas ou decisões otimizadas com base nas informações precisas de momento e localização da

praga em tempo real (Liu et al., 2021). Neste sentido, nos últimos anos, muitas pesquisas têm sido realizadas no âmbito da detecção de pragas agrícolas a partir do reconhecimento baseado em tecnologia de processamento de imagem com precisão superior a 80% (Deng et al., 2018).

A partir das imagens dos espécimes e o desenvolvimento de algoritmos, é possível usar esses dados para o treinamento e criação de modelos que possam fornecer informações referentes a estimativas de abundância, biomassa e diversidade de insetos. Esses modelos também podem quantificar a variação nas características fenotípicas dos espécimes, seus comportamentos e interações (Høye et al., 2021). O reconhecimento e a detecção de pragas de insetos são vitais para a segurança alimentar, economia agrícola estável e qualidade de vida (Deng et al., 2018).

3.2.2.2. Uso na tomada de decisão de controle

As pragas agrícolas exercem grande importância, por causarem danos diretos e indiretos às culturas de interesse econômico, podendo chegar a

uma redução de 7,7% da produtividade nas principais culturas, mesmo fazendo o controle da praga (Oliveira et al., 2014). Diversos são os tipos de controle, porém, o mais utilizado, é o controle químico, que são utilizados de forma demasiada, aumentando os custos de produção, prejudicando o meio ambiente, gerando riscos à fauna e à flora, além da saúde humana. Além desses riscos, as pragas acabam criando resistência aos produtos químicos, dificultando ainda mais o seu controle. Dessa forma, o manejo integrado de pragas se torna indispensável, buscando reduzir os impactos ambientais, além de tornar o controle mais eficiente. O MIP é composto por diagnose, tomada de decisão e controle. A inteligência artificial tem se mostrado bastante promissora no auxílio da tomada de decisão, utilizando-se das técnicas de sensoriamento remoto na amostragem das pragas nos campos de cultivo.

3.2.2.3. Uso nos planos de amostragem

A inteligência artificial tem se mostrado bem promissora no auxílio da amostragem, ou seja, na contabilização da praga no campo, para que seja

tomada a decisão de controle ou não controle, utilizando os índices de tomada de decisão.

Dentro da inteligência artificial, podemos utilizá-la de diferentes formas, para a amostragem das pragas nos campos de cultivos, como o uso de armadilhas contendo sensores, para contabilizar os insetos pragas presentes na área, e comparar com o nível de dano econômico. Essa tecnologia funciona a partir de feromônios espalhados por todo cultivo, que atrai a praga para as armadilhas, que apresentam sensores, conectados a equipamentos eletrônicos, como tablets e smartphones, que captam os dados e enviam por meio da internet, para uma central, onde os dados analisados, e imagens são processadas, possibilitando a contagem dos insetos (Tunes et al., 2018). A partir da contabilização dos insetos, nos talhões homogêneos, pode-se fazer a recomendação de controle e qual o melhor método, ou de não controle da área demarcada.

Nesse mesmo sentido de utilização de mapas, para a identificação das pragas, o uso de segmentação de imagens, também são utilizados na inteligência artificial, usando mapas de saliência, para a identificação de características essenciais para a

identificação de *Helicoverpa armigera* em campos de cultivo. Esse sistema é baseado em energia das imagens capturadas, consideradas como vetores de características (Kandalkar et al., 2014). Para a transformação das características das imagens, como por exemplo, cor, forma e textura em vetores para a identificação da praga, é utilizado transformada wavelet discreta (DWT), usada para essa análise de sinais digitais.

Outro método utilizando a inteligência artificial na amostragem de insetos pragas, está relacionado com a geração de imagens para a amostragem do percevejo marrom na cultura da soja. Os percevejos são responsáveis por causar danos irreversíveis em cultivos de soja. A metodologia para a identificação desse inseto em campo, é o pano de batida (Corrêa-Ferreira, 2012), porém, necessita da entrada de profissionais nas áreas, para a realização da amostragem, e dependendo do tamanho da área, necessita de uma quantidade ideal de pontos, para que a amostragem seja feita em área total, de maneira representativa. Para facilitar o cotidiano dos produtores rurais, nessa etapa, imagens dos pontos de amostragem são coletadas utilizando drones com

câmera digital. Essas imagens são encaminhadas para uma rede computacional para que os insetos sejam reconhecidos e contabilizados, utilizando-se da saturação e contraste, obtendo um resultado de forma rápida e eficiente (Souza et al., 2020).

O uso de sistemas baseados em regras pré estabelecidas, são utilizados para a amostragem de mosca branca, dentre outros insetos pragas, baseados em regras alimentadas por sensores de umidade, de temperatura, e umidade das folhas, para o diagnóstico das pragas, partindo do princípio de domínio do estudo da praga, pesquisas e observações em campo (Shahzadi et al., 2016).

Os índices de regressão linear, também são vias da inteligência artificial, para a amostragem de pragas. Esse sistema foi utilizado para a identificação do ataque de cochonilha na cultura do algodão, de forma a mapear os locais com danos da praga nas folhas, usando os índices de sensoriamento remoto, por meio de satélites. Foram utilizadas imagens de satélite Landsat TM5, apresentando bandas espectrais no infravermelho, NIR e RGB. Para isso, a regressão linear múltipla foi necessária, para a análise dos dados, comparando o índice de vegetação espectral,

com o índice de severidade, ou seja, o quanto a praga causou danos da cultura, apresentando boa correlação (Singh et al., 2016).

3.2.2.4. Uso no controle de pragas

A população mundial está crescendo em um ritmo acelerado e estima-se que até 2050 possa chegar a 10 bilhões (Krishna et al., 2017; Campos et al., 2019). Esse crescimento gera grande pressão nos recursos naturais, principalmente na agricultura, onde haverá maior demanda na produção de alimentos (Tomar & Kaur, 2021). De acordo com essas estimativas, espera-se que haja um incremento na produção global de alimentos entre 60% e 110% (Rockstrom et al., 2017).

Para atingir esses números, é preciso mitigar um dos principais problemas enfrentados pelo ambiente agrícola: os insetos pragas que, segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), geram perdas na ordem de 20 a 40% na produção agrícola global a cada ano, gerando um custo anual de US\$ 220 bilhões (FAO, 2020). Portanto, o aprimoramento de técnicas de controle desses organismos é essencial para garantir melhores

índices produtivos da agricultura, e perpassa desde o monitoramento da praga em campo, determinando seu estágio mais sensível, até a aplicação de táticas de controle mais adequadas, considerando o melhor momento (Flint & Van, 1981). Esse controle tem sido feito de forma manual ou utilizando métodos automatizados; no entanto, esses modelos tradicionais utilizados pelos agricultores serão insuficientes para atender a esses propósitos (Dharmaraj & Vijayanand, 2018; Zhang et al., 2021).

Atualmente, na era da agricultura inteligente, a Inteligência Artificial (IA) integrada às tecnologias modernas de informação e comunicação apresenta-se como uma das melhores ferramentas para ajudar os agricultores na proteção das culturas, incluindo o controle de pragas e, por consequência, gerando aumento na produtividade (Young, 2017; Karar et al., 2021).

Essa implementação tecnológica nos cultivos pode ser vista principalmente na aplicação de agrotóxicos por pulverização e uso de drones, que passaram de dispositivos manuais semi controlados para sistemas totalmente automatizados baseado em IA. Essas mudanças resultam, por exemplo, na diminuição do

esforço humano na pulverização química, tornando-se uma ótima opção para um sistema mais seguro e econômico (Tellaeche et al., 2008; Ferentinos, 2018), já que os métodos convencionais possuem várias deficiências, como por exemplo: utilização excessiva de produtos químicos; poluição ambiental; maior custo de aplicação; menor uniformidade de pulverização e, conseqüentemente, menor eficiência de aplicação e controle das pragas, além da escassez de mão de obra agrícola (Hafeez et al., 2022). Uma das principais vantagens da IA na agricultura é que, por meio de seus algoritmos, o produtor consegue obter insights significativos dos dados que podem auxiliar em tomadas de decisão mais assertivas (Subeesh & Mehta, 2021), permitindo que as práticas agrícolas sejam planejadas sistematicamente com o mínimo de trabalho manual. Com isso, a agricultura inteligente apresenta-se como a melhor opção para os agricultores aplicarem técnicas de inteligência artificial integradas às modernas tecnologias de informação e comunicação para eliminar esses insetos nocivos aos cultivos.

4. Exemplos do uso de inteligência artificial

4.1. Remotamente pilotadas

Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) têm ganhado cada vez mais espaço no controle de pragas, atuando principalmente na liberação precisa de inimigos naturais, compostos ativos de insetos e aplicação de pesticidas (Iost et al., 2020; Moses-Gonzales & Brewer, 2021). Estas são comumente referidas como “drones de atuação” (Filho et al., 2019) e sua atividade pode ser potencializada quando o sistema é totalmente automatizado baseado em IA (Haffez et al., 2022).

No que diz respeito à aplicação de pesticidas, comparando com outros aplicadores de agrotóxicos, os RPAs com integração de IA podem alcançar um manejo preciso e específico com baixo custo, alta eficiência e mobilidade (Huang et al., 2009; Xiongku et al., 2017) durante a pulverização conjuntamente com análise local dos dados em tempo real, não requerendo nenhum esforço humano na pulverização química (Tellaèche et al., 2008; Ferentinos, 2018). Atualmente, a RPA transporta tanque de defensivos de até 40 litros em rotas pré-mapeadas para pulverizar

as lavouras de acordo com as necessidades do produtor (Hafeez et al., 2022). Todavia, ainda há limitações no desenvolvimento das RPAs totalmente autônomas, embora o campo do sensoriamento remoto, robótica e inteligência artificial estejam progredindo rapidamente, oferecendo ao público consumidor maior velocidade de resposta e agilidade na condução das atividades programadas. A expectativa é que ao longo dos próximos anos, melhorias significativas sejam realizadas na autonomia dessas RPAs, garantindo máquinas mais leves e mais eficientes em termos de potência (Elbanhawi et al., 2017).

4.2. Robôs

Uma das estratégias emergente no controle de pragas na agricultura consiste no uso de máquinas robótica associadas à inteligência artificial para localizar, destruir fisicamente pragas, registrar posições de ocorrência de insetos, pulverizar produtos químicos e avaliar a eficiência de controle de pragas (Chung et al., 2014; Young, 2017).

A automação total dos robôs, baseada nos melhores algoritmos e maquinários possui entre 85 e 90% de efetividade (Berenstein et al., 2010), podendo ser comprovada inclusive por meio da redução em até 80% da poluição ambiental causada pelo uso de pesticidas em fazendas (Mohamed et al., 2021). Contudo, é observado que os robôs podem ter dificuldade em lidar com paisagens acidentadas, pequenos insetos, ovos enterrados ou pragas voadoras (Courtier et al., 2017).

5. Considerações finais

A inteligência artificial para o uso em programas de Manejo Integrado de Pragas, tem duas grandes subáreas. A da equipamentos e sistemas de execução de tarefas utilizando a IA, e a subárea de análise de dados utilizando algoritmos para prever e inferir dados.

Para o uso de diagnose, tomada de decisão, escolha de métodos e táticas de controle. O uso da IA no MIP tem uma evolução crescente, no entanto gradativa. A execução dos avanços alcançados ao

nível campo, tem uma evolução ainda mais lenta. Ou seja, apesar de diversos trabalhos já realizados, as informações nem sempre chega ao produtor ou ao usuário de interesse.

6. Referências

Alreshidi, E. (2019). Smart sustainable agriculture (SSA) solution underpinned by internet of things (IoT) and artificial intelligence (AI). arXiv preprint arXiv:1906.03106.

Altincicek, B., Knorr, E., & Vilcinskas, A. (2008). Beetle immunity: Identification of immune-inducible genes from the model insect *Tribolium castaneum*. *Developmental & Comparative Immunology*, 32(5), 585-595.

Barone, D. (2003). Sociedades artificiais: a nova fronteira da inteligência nas máquinas. Flores, Cecília Dias. *Fundamentos dos Sistemas Especialistas*. Porto Alegre: Bookman, 127-154.

Berenstein, R., Shahar, O. B., Shapiro, A., & Edan, Y. (2010). Grape clusters and foliage detection algorithms for autonomous selective vineyard sprayer. *Intelligent Service Robotics*, 3, 233-243.

Brown, C. M., & Holbrook, F. R. (1976). An improved electronic system for monitoring feeding of aphids. *American Potato Journal*, 53, 457-462.

Cambráia Filho, D. J. (2019). Utilização de índices de vegetação baseados na porção visível do espectro eletromagnético para monitoramento de fitofisionomias do Cerrado.

Campos, C. M. (2019). Os rumos da cidade: urbanismo e modernização em São Paulo. Editora Senac São Paulo.

Charania, I., & Li, X. (2020). Smart farming: Agriculture's shift from a labor intensive to technology native industry. *Internet of Things*, 9, 100142.

Chung, B. K., Xia, C., Song, Y. H., Lee, J. M., Li, Y., Kim, H., & Chon, T. S. (2014). Sampling of *Bemisia tabaci* adults using a pre-programmed autonomous pest control robot. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(4), 737-743.

Corrêa-Ferreira, B. S. (2012). Amostragem de pragas da soja. Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. Brasília-DF: Embrapa Soja, 631-672.

Courtier-Orgogozo, V., Morizot, B., & Boëte, C. (2017). Agricultural pest control with CRISPR-based gene drive: time for public debate: should we use gene drive for pest control?. *EMBO reports*, 18(6), 878-880.

Data, F. F. A. (2020). Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. QC (accessed on 26 March 2021).

Deng, L., Wang, Y., Han, Z., & Yu, R. (2018). Research on insect pest image detection and recognition based on bio-inspired methods. *Biosystems Engineering*, 169, 139-148.

Dharmaraj, V., & Vijayanand, C. (2018). Artificial intelligence (AI) in agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(12), 2122-2128.

Elbanhawi, M., Mohamed, A., Clothier, R., Palmer, J. L., Simic, M., & Watkins, S. (2017). Enabling technologies for autonomous MAV operations. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 27-52.

Eli-Chukwu, N. C. (2019). Applications of artificial intelligence in agriculture: A review. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9(4), 4377-4383.

Ferentinos, K. P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and electronics in agriculture*, 145, 311-318.

Flint, M. L., & Van den Bosch, R. (2012). *Introduction to integrated pest management*. Springer Science & Business Media.

Goedde, L., Katz, J., Ménard, A., & Revellat, J. (2020). *Agriculture's connected future: How technology can yield new growth*. McKinsey and Company.

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT press.

Hafeez, M., Rehman, S. U., Faisal, C. N., Yang, J., Ullah, S., Kaium, M. A., & Malik, M. Y. (2022). Financial efficiency and its impact on renewable energy demand and CO2 emissions: do eco-innovations matter for highly polluted Asian economies?. *Sustainability*, 14(17), 10950.

Høye, T. T., Ärje, J., Bjerger, K., Hansen, O. L., Iosifidis, A., Leese, F., Mann, H. M. R, Meissner, K., Melvad C., Raitoharju, J. (2021). Deep learning and computer vision will transform entomology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2), e2002545117.

Huang, J., Zhang, T., & Metaxas, D. (2009, June). Learning with structured sparsity. In *Proceedings of the 26th Annual International Conference on Machine Learning* 417-424.

Iost Filho, F. H., Heldens, W. B., Kong, Z., & de Lange, E. S. (2020). Drones: innovative technology for use in precision pest management. *Journal of economic entomology*, 113(1), 1-25.

Kandalkar, G., Deorankar, A. V., & Chatur, P. N. (2014). Classification of agricultural pests using DWT and back propagation neural networks. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(3), 4034-4037.

Karar, M. E., Alsunaydi, F., Albusaymi, S., & Alotaibi, S. (2021). A new mobile application of agricultural pests recognition using deep learning in cloud computing system. *Alexandria Engineering Journal*, 60(5), 4423-4432.

Krishna, R., Zhu, Y., Groth, O., Johnson, J., Hata, K., Kravitz, J., Chen, S., Kalantidis, Y., Li, L., Shamma, D. A., Bernstein M. S, Fei-Fei, L. (2017). Visual genome: Connecting language and vision using crowdsourced

dense image annotations. *International journal of computer vision*, 123, 32-73.

Li, D., & Du, Y. (2007). *Artificial intelligence with uncertainty*. CRC press.

Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., & Zhao, W. (2017). A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE internet of things journal*, 4(5), 1125-1142.

Liu, H., & Chahl, J. S. (2021). Proximal detecting invertebrate pests on crops using a deep residual convolutional neural network trained by virtual images. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 5, 13-23.

McLean, D. L., & Kinsey, M. G. (1964). A technique for electronically recording aphid feeding and salivation. *Nature*, 202(4939), 1358-1359.

Misra, N. N., Dixit, Y., Al-Mallah, A., Bhullar, M. S., Upadhyay, R., & Martynenko, A. (2020). IoT, big data, and artificial intelligence in agriculture and food industry. *IEEE Internet of things Journal*, 9(9), 6305-6324.

Moses-Gonzales, N., & Brewer, M. J. (2021). A special collection: drones to improve insect pest management. *Journal of Economic Entomology*, 114(5), 1853-1856.

Mohamed, A. H., Noorhisham, N. A., Yahaya, N., Mohamad, S., Kamaruzzaman, S., Osman, H., & Aboul-Enein, H. Y. (2021). Sampling and sample preparation techniques for the analysis of organophosphorus

pesticides in soil matrices. *Critical reviews in analytical chemistry*, 1-22.

Oliveira, R. M., Leitão, I. M. T. D. A., Silva, L. M. S. D., Figueiredo, S. V., Sampaio, R. L., & Gondim, M. M. (2014). Estratégias para promover segurança do paciente: da identificação dos riscos às práticas baseadas em evidências. *Escola Anna Nery*, 18, 122-129.

Pedigo, L. P., Rice, M. E., & Krell, R. K. (2021). *Entomology and pest management*. Waveland Press.

Picanço, M. C., Galdino, T. V. S., Silva, R. S., Benevenuto, J. S., Bacci, L., Pereira, R. R., Dionizio, M. D. (2014). Manejo integrado de pragas. In: Zambolim, Z., Silva, A. A., Picanço, M. C. (Eds.). *O que Engenheiros Agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários*. 1ed. Viçosa: UFV. 389-436.

Raibagi, T., Vishwakarma, A., Naik, J., Chaudhari, R., & Kalme, G. (2021, March). Orderista-AI-based Food Ordering Application. In *2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS)* (pp. 34-37). IEEE.

Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., Wetterstrand, H., DeClerck, F., Shah, M., Steduto, P., Fraiture, C., Hatibu, N., Unver, O., Bird, J., Sibanda, L., & Smith, J. (2017). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46, 4-17.

Russell, S. J., & Norvig, P. (2004). *Inteligencia Artificial: un enfoque moderno* (No. 04; Q335, R8y 2004.).

Russell, S. J. (2010). Artificial intelligence a modern approach. Pearson Education, Inc..

Russell, S. J. (2010). Artificial intelligence a modern approach. Pearson Education, Inc..

Shahzadi, R., Ferzund, J., Tausif, M., & Suryani, M. A. (2016). Internet of things based expert system for smart agriculture. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 7(9).

Singh, A., Ganapathysubramanian, B., Singh, A. K., & Sarkar, S. (2016). Machine learning for high-throughput stress phenotyping in plants. Trends in plant science, 21(2), 110-124.

Souza Toledo, M. V., de Souza Toledo, B., de Carvalho Lemos, K. D., & Maia, L. C. G. (2020). Software educacional para estudo de Entomologia Básica, utilizando inteligência artificial. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, (E28), 668-680.

Stair Ralph, M., & George Reynolds, W. (2006). Fundamentals of Information Systems.

Subeesh, A., & Mehta, C. R. (2021). Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things. Artificial Intelligence in Agriculture, 5, 278-291.

Tellaeché, A., BurgosArtizzu, X. P., Pajares, G., Ribeiro, A., & Fernández-Quintanilla, C. (2008). A new vision-based approach to differential spraying in precision agriculture. computers and electronics in agriculture, 60(2), 144-155.

Tomar, P., & Kaur, G. (Eds.). (2021). Artificial Intelligence and IoT-based Technologies for Sustainable Farming and Smart Agriculture. IGI Global.

Tunes, S. (2021). Inteligência artificial no manejo integrado de pragas.

Willett, D. S., George, J., Willett, N. S., Stelinski, L. L., & Lapointe, S. L. (2016). Machine learning for characterization of insect vector feeding. *PLoS computational biology*, 12(11), e1005158.

Xiongkui, H., Bonds, J., Herbst, A., & Langenakens, J. (2017). Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(3), 18-30.

Young, S. L. (2017). A systematic review of the literature reveals trends and gaps in integrated pest management studies conducted in the United States. *Pest management science*, 73(8), 1553-1558.

Zhang, D., Mishra, S., Brynjolfsson, E., Etchemendy, J., Ganguli, D., Grosz, B., Lyons, T., Manyika, J., Niebles, J. C., Sellitto, M., Shoham, Y., Clark, J., & Perrault, R. (2021). The AI index 2021 annual report. arXiv preprint arXiv:2103.06312.

CAPÍTULO 5

Translocação de inseticidas nas plantas e insetos

Daiane G. Carmo, Douglas S. Araújo, Kayo H.B. Reis, Vinícius F. Santos, Eugênio E. Oliveira, Marcelo C. Picanço

1. Introdução

O controle químico é o principal método utilizado para controlar insetos-praga em cultivos agrícolas. Para que o controle de pragas seja realizado no momento correto e de forma eficiente é necessário que as etapas da aplicação ao controle das pragas pelos inseticidas sejam realizadas adequadamente (Tudi et al., 2021).

Os métodos de aplicação de inseticidas podem ser agrupados de acordo com o estado físico do produto em via sólida, líquida ou gasosa, predominando a água como principal fluido diluente (Freitas et al., 2022). A escolha do método vai depender da situação local, em que é verificado a

disponibilidade de água e equipamentos e características da planta e da praga-alvo (Azevedo & Freire, 2006).

Na aplicação dos inseticidas é necessário que o produto atinja a planta e após isso que ele seja translocado. A translocação dos inseticidas na planta é essencial para o controle de insetos-praga, pois permite que o produto seja distribuído para os órgãos da planta (Boer et al., 2014).

O modo como inseticidas penetram no corpo dos insetos é um fator chave na mortalidade desses organismos. Os inseticidas podem penetrar o corpo dos insetos através de três vias: tegumento, oral ou espiráculos (Yu, 2008). Em alguns casos, os inseticidas podem penetrar por mais de uma via simultaneamente (Rego, 2016).

2. Etapas da aplicação ao controle das pragas pelos inseticidas

Na Figura 1, são mostradas as três etapas para a realização do controle das pragas pelos inseticidas. A primeira etapa engloba as atividades antes da

aplicação do produto. A segunda etapa engloba a aplicação do produto até atingir o inseto-praga. Já a terceira etapa compreende desde a penetração do inseticida no corpo do inseto até a sua morte.

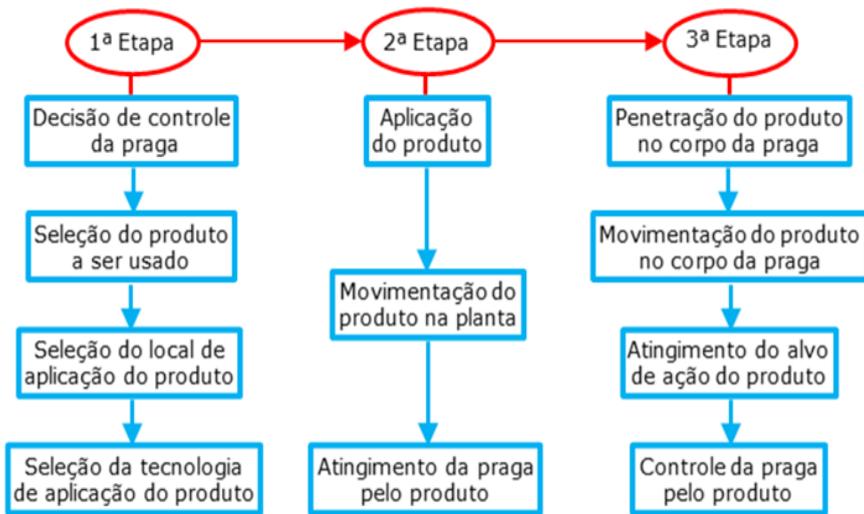


Figura 1. Etapas para a realização de controle das pragas pelos inseticidas.

A primeira atividade da primeira etapa é a decisão de controle. Essa decisão é baseada em amostragem da praga e deve-se realizar controle

quando a densidade da praga for igual ou maior que o nível de controle. Já na seleção do produto, local e tecnologia a serem usados devem ser empregados critérios técnicos, econômicos, ecotoxicológicos e o produto deve ser adequado ao sistema de cultivo e usuários (Picanço et al., 2014).

A segunda etapa está ligada ao processo operacional de disponibilizar a molécula no alvo, pelos diversos métodos de aplicação. Após a aplicação do inseticida, ele pode matar o inseto por contato direto ou pode ser absorvido e translocado para outras partes da planta e causar a mortalidade da praga. A terceira etapa integra a penetração do produto no corpo do inseto e sua movimentação até atingir seu sítio de ação e causar a mortalidade da praga.

3. Grupos de pragas controlados pelos inseticidas aplicados via solo e na parte aérea das plantas

Na Figura 2 estão indicados os grupos de pragas controladas pelos inseticidas aplicados via solo e na parte aérea das plantas. Os inseticidas aplicados via solo podem ter ação de contato ou serem sistêmicos.

Esses inseticidas têm efeito residual de controle de cerca de duas semanas. Os inseticidas de contato não são absorvidos pelas raízes das plantas, e assim atuam somente sobre as pragas subterrâneas. Já os inseticidas sistêmicos inicialmente têm ação sobre pragas subterrâneas (com menor eficiência), e posteriormente são absorvidos pelas raízes e translocam pelo sistema vascular para a parte aérea das plantas onde exercem sua toxicidade sobre as pragas (Figura 2A), sobretudo sobre os insetos sugadores de seiva e minadores de folhas (Picanço et al., 2014).

Por outro lado, os inseticidas aplicados na parte aérea das plantas podem ter ação de contato, profundidade ou serem sistêmicos. Esses três grupos de inseticidas só controlam as pragas que estão atacando os órgãos da parte aérea das plantas. Isso ocorre devido os inseticidas aplicados na parte aérea das plantas não serem translocados para as raízes das plantas. Esses três grupos de inseticidas atuarão sobre as pragas que estão sobre os órgãos na parte aérea das plantas (Figura 2B). Os inseticidas com efeito de

profundidade também atuarão sobre pragas no interior dos tecidos foliares e no interior dos tecidos das camadas superficiais do caule e frutos (Picanço et al., 2014).

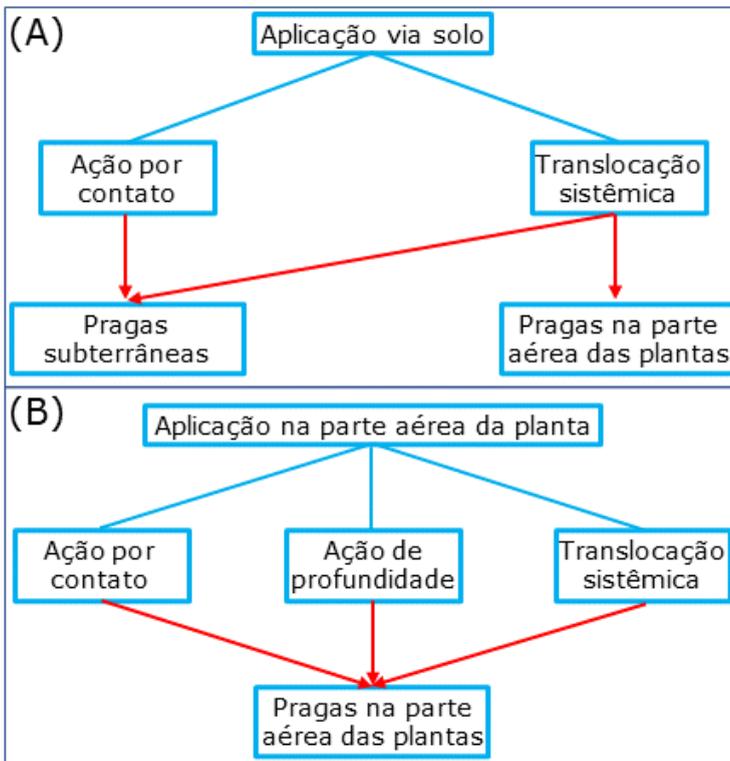


Figura 2. Grupos de pragas controlados pelos inseticidas aplicados (A) via solo e (B) na parte aérea das plantas em função da sua capacidade de translocação nas plantas.

4. Principais métodos de aplicação de inseticidas

Os métodos de aplicação de inseticidas disponíveis podem ser agrupados em diferentes vias de aplicação de acordo com seu estado físico (via sólida, líquida ou gasosa) (Freitas et al., 2022).

4.1 Aplicação via sólida

A aplicação via sólida tem como vantagem dispensar a necessidade da diluição do composto em meio líquido estando prontamente disponível para uso. Por outro lado, o elevado custo de movimentação de materiais inertes contribui para a elevação de custos com o uso desta via (Azevedo & Freire, 2006).

Os principais métodos de aplicação empregados pela via sólida são:

- **Pó seco (PD):** o polvilhamento consiste de formulados em pó seco simples para aplicação direta por povilhadeiras manuais, costais ou motorizados, muito utilizada no passado está em desuso desde 1990 (Matuo, 1990; Azevedo & Freire, 2006; Ramos & Pio, 2008).

- Grânulos (GR): A aplicação na forma de grânulos é mais usual, eficiente e segura das aplicações de sólidos, pois a não formação de pó permite o uso de produtos com maior toxicidade, além de algumas formulações usadas como veículo permitirem a lenta liberação do ingrediente ativo (i.a) (Ramos & Pio, 2008).

- Iscas (RB): ferramenta importante de controle de formigas cortadeiras e moscas-das-frutas. São eficientes e de baixo custo. As iscas constituem um sólido uniforme formulado para aplicação direta, podendo atrair ou ser ingerida pelo alvo desejado devido a presença de substâncias alimentares e um agente tóxico ao inseto.

Os pós secos e grânulos são empregados no controle de pragas que se alimentam de seiva (insetos e ácaros), larvas de brocas e lepidópteros (pragas do cartucho ou bainha foliar), e nematoides (Otoboni, 2003). Geralmente são destinados ao controle de pragas do solo e em menor proporção ao controle de

pragas em gramíneas, tendo ação por contato (Matuo, 1990).

A aplicação é feita com equipamentos motorizados, manuais ou granuladeiras (matraca, garrafa ou costal). A calibração rápida e fácil reduz operações e erros de dosagem, que é dada em função da área (kg/ha), comprimento (g/m de sulco) ou por planta (g/planta) (Azevedo & Freire, 2006; Cotiero, Biffe & Catapan, 2018).

As iscas apresentam como vantagem o uso de doses reduzidas de inseticidas devido a aplicação localizada em troncos ou folhas de árvores ou bordas de pomares. Entretanto, podem atrair animais ou outros insetos não-alvo. Além disso, as iscas são sensíveis à umidade e devem ficar protegidas (Nunes, et al., 2019).

A tecnologia de aplicação de iscas dificulta sua adoção. No campo podem ser encontradas adaptações como o uso de sopradores de folhas acoplados em motocicletas ou tratores (Botton, et al., 2016).

4.2 Aplicação via líquida

A aplicação via líquida é o principal método utilizado de aplicação de inseticidas. Podem ser encontradas diversas formulações, como: pó molhável (WP), suspensão concentrada (SC), pó solúvel (SP), concentrado emulsionável (EC) e solução concentrada (SL) (Matuo, 1990).

A aplicação líquida pode seguir a forma terrestre via aplicação no sulco de plantio, tratamento de semente (TS), insetigação e principalmente por equipamentos hidráulicos (pulverizador), pneumáticos (atomizador), centrífugos (ULVA), térmicos (nebulizador), filete líquido (rega) ou gotas diminutas (nebulização), ou dispersos via aérea com uso de aeronaves próprias para aplicação de produtos fitossanitários e atualmente com uso drones.

- Pulverização: o diâmetro, qualidade e população das gotas que serão formadas é um fator decisivo para o sucesso do tratamento, pois não havendo contato do produto em quantidade e local adequado no alvo, a aplicação será inútil (Minguela & Cunha, 2010).

A água apresenta limitações físicas, como a tensão superficial, tendendo-se a permanecer na

forma esférica, reduzindo a área de contato com o tecido da folha ou inseto. Nessa perspectiva, agentes tensoativos (como molhantes e emulsificantes) podem reduzir a tensão superficial da água a níveis desejados. Deve-se observar as recomendações do fabricante quanto à adição de agentes surfactantes à calda.

Em condições de baixa umidade e temperaturas desfavoráveis, quanto menor for o diâmetro das gotas mais sujeito a existir perdas por volatilização. Dificilmente o uso de produtos solucionam essa limitação, porém, não é tão perceptível quando se trabalha com vazões superiores a 50 L/ha.

- Tratamento de Semente (TS): tem como objetivo proteger sementes, raízes e plântulas de injúrias das principais pragas de solo e da fase inicial das plantas, como corós, vaquinhas, grilos e alguns lepidópteros. É importante ressaltar outros benefícios proporcionados pelo uso de inseticidas via tratamento de sementes, especialmente os efeitos fisiológicos que contribuem na germinação, formação dos estandes, florescimento e biomassa. Aqui destacam-se os inseticidas

Thiamethoxan, Imidaclopride e Fipronil (Fagan et al., 2020).

Segundo Kwak et al. (2001), e Klein et al, (2004), citados por Fagan et al. (2020), os inseticidas que atuam em canais de íons como o Fipronil (canais de cloro), agem na regulação estomática proporcionando a planta aumento de tolerância ao estresse hídrico e sensibilidade das vias de sinalização a ataques de insetos. Quanto ao Thiamethoxan, os efeitos são indiretos devido sua atuação na expressão gênica estar relacionada à síntese e ativação de enzimas metabólicas e de aminoácidos precursores de hormônios que auxiliam no crescimento vegetativo, além de contribuir na produção de protoxilema elevando a capacidade da planta de absorver água e nutrientes (Balagué et al., 2003; Tavares, 2007; Fagan et al., 2020).

Existem basicamente duas modalidades de tratamento disponíveis, os tratamentos "on farm" ou tratamento industrial (TSI), podendo ser encontrado nas formulações de base líquida ou forma sólida (pó), que pode ser menos fitotóxicos quando usado um

mesmo ingrediente ativo, porém tende a fixar com menor eficiência nas sementes quando comparado a formulação líquida, principalmente quando composta por solventes orgânicos (Maziero & Guedes, 2011).

5. Tipos de inseticidas de acordo com sua capacidade de translocação na planta

De acordo com a sua capacidade de translocação na planta, os inseticidas são classificados em: ação por contato, sistêmicos e ação por profundidade.

5.1. Inseticidas de ação por contato

É o tipo de inseticida cuja ação se dá pelo contato da molécula diretamente com o corpo do inseto, transpassando através de sua epiderme e atuando nas terminações nervosas da praga (Minguela & Cunha, 2010). A vantagem em sua utilização está no fato de que o simples contato do inseto com uma superfície atingida pela molécula já é capaz de controlá-lo, ao contrário de inseticidas por ingestão por exemplo, em que se faz necessário o inseto ingerir a molécula (Yamamoto, 2018).

A aplicação de inseticidas de contato deve ser feita utilizando a tecnologia de aplicação adequada, uma vez que o jato deve ser direcionado à área de atuação do inseto na planta, considerando a sua mobilidade, usando gotas preferencialmente de tamanho médio, com um recobrimento adequado, buscando assim garantir contato (Minguela & Cunha, 2010). O que se pode mencionar de desvantagens em relação ao seu uso, está no fato de que sua eficácia pode ser reduzida quando a praga alvo situa-se em uma região de difícil alcance do jato pulverizado, e quando a aplicação se direciona à indivíduos que possuem pouca ou quase nenhuma mobilidade (Minguela & Cunha, 2010).

5.2. Inseticidas de ação por profundidade

Inseticidas de ação por profundidade são importantes para o controle de pragas de difícil acesso, como as pragas minadoras e aquelas que se situam na região de baixeiro da planta. Este tipo de tecnologia é capaz de atingir insetos-praga situados na face abaxial da folha, ou dentro de minas, através

de uma pulverização feita na face adaxial, de forma que a molécula percorrerá a folha através do tecido vegetal (Figura 3). Esse modo de ação é denominado de translaminar (Yamamoto, 2018).

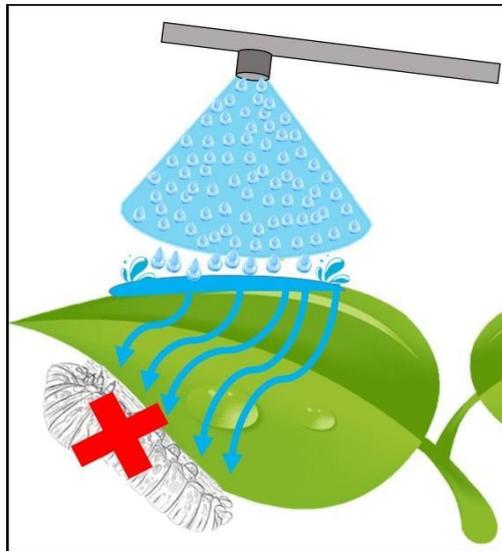


Figura 3. Mecanismo de translocação translaminar.

Esse mecanismo confere uma maior persistência do produto aplicado, pelo fato de se garantir uma maior proteção contra fatores ambientais, como

radiação ultravioleta e temperaturas elevadas, por exemplo (Souza & Vendramim, 2005). Segundo Paes et al. (2021), o uso de adjuvantes, a exemplo do óleo mineral, exerce uma influência positiva no mecanismo de translocação translaminar, por proporcionar absorção mais rápida pela folha, o que potencializa esse mecanismo de ação.

5.3. Inseticidas sistêmicos

São defensivos que funcionam da seguinte forma: o jato é pulverizado sobre a superfície da planta, e após o contato do conteúdo com a parte vegetal, ele é absorvido pelos tecidos da planta e distribuído ao longo das demais partes, o que promove o controle dos insetos que venham a consumir essas estruturas, mesmo aqueles que não estejam próximos do local alvo da pulverização (Fehn, 1970).

Apesar da eficiência e seletividade de alvo, essa classe de agroquímicos não é a mais utilizada, isso porque o seu uso pode gerar uma acumulação residual nos frutos ou nas partes comestíveis das plantas, o

que pode tornar sua comercialização inviável por não respeitar os padrões sanitários previstos em legislação (Torres, 2009). Além disso, outro importante fator é a dificuldade dos pesquisadores em desenvolver novas moléculas com ação sistêmica (Zhang et al., 2018).

6. Mecanismos de translocação dos inseticidas na planta

A translocação dos inseticidas na planta é essencial para o controle de insetos-praga, pois permite que o produto seja distribuído de forma homogênea, atingindo os órgãos da planta (de Boer et al., 2014). Além disso, conhecer como um inseticida se movimenta na planta é importante para utilização da tecnologia de aplicação adequada, visando aumentar a eficiência de controle das pragas e racionalizar o uso de inseticidas.

Em relação à sua capacidade de translocação no interior da planta, os inseticidas são divididos em três classes: apoplásticos, simplásticos e os ambimóveis.

Os simplásticos são aqueles em que ao serem absorvidos pela planta, percorrem curtas distâncias de forma intercelular pelos plasmodesmas, e longas distâncias por meio do floema (Oliveira, 1991; Pes et al., 2019). Os apoplásticos por sua vez, são os que ao serem absorvidos pela planta, são transportados a curtas distâncias por meio dos espaços intercelulares, e a longas distâncias através de traqueídeos que compõem o xilema (Edgington 1981; Oliveira 1991). Por fim, os ambimóveis, também conhecidos como inseticidas de fluxo bidirecional, que são translocados via xilema e via floema. Os inseticidas sistêmicos de fluxo bidirecional são raros (Edgington, 1981; Oliveira, 1991; Peterson, 1977).

6.1. Inseticidas aplicados via solo

Os inseticidas aplicados via solo são absorvidos pelas raízes e translocados até as folhas. A penetração e translocação do inseticida está relacionada com a concentração do produto na solução do solo e com a taxa de transpiração da planta (Briggs et al., 1977). A

absorção do pesticida depende da relação entre a concentração do produto nas raízes e da sua concentração na solução do solo (Shone et al., 1974). A concentração do inseticida na solução do solo está relacionada com o coeficiente de partição entre octano e água (K_{ow}) que expressa sua polaridade. Quanto menor o valor de K_{ow} do pesticida maior é a sua solubilidade em água. Produtos que apresentam K_{ow} menor que 1 são considerados hidrofílicos (Briggs et al., 1977).

Os inseticidas sistêmicos, geralmente são transportados apenas via xilema, no sentido ascendente. Uma importante propriedade dos inseticidas para sua translocação nas plantas é o K_{ow} , o qual expressa a sua polaridade. As raízes têm natureza lipofílica e concentram compostos que são mais lipofílicos ($\log K_{ow} > 4$). As raízes possuem uma camada chamada endoderme, que é uma barreira a qual os inseticidas precisam penetrar para serem translocados. Entretanto, a endoderme possui baixa permeabilidade a compostos muito lipofílicos ($K_{ow} >$

4) ou muito hidrofílicos ($Kow < 0$). Desta forma, os pesticidas que possuem um Kow próximo a 2 são mais eficientemente translocados (Briggs et al., 1982; Antunes-kenyon & Kennedy, 2001).

O tratamento de sementes é um dos principais métodos utilizados na agricultura para a disponibilização de inseticidas que serão translocados via xilema. As vias de exposição das plantas aos inseticidas no tratamento de sementes incluem a permeabilidade do tegumento da semente em toda a sua superfície e absorção através do coleóptilo. Após isso ocorre a translocação via xilema para os tecidos mais jovens da planta (Alsayeda et al., 2008). Os neonicotinóides são muito utilizados para o tratamento de sementes. O comportamento sistêmico em tecidos vegetais é baseado na alta solubilidade em água deste grupo de inseticidas. A mobilidade do xilema é essencial para a translocação contínua dos ingredientes ativos para o tecido vegetal mais jovem (Maienfisch et al., 2001).

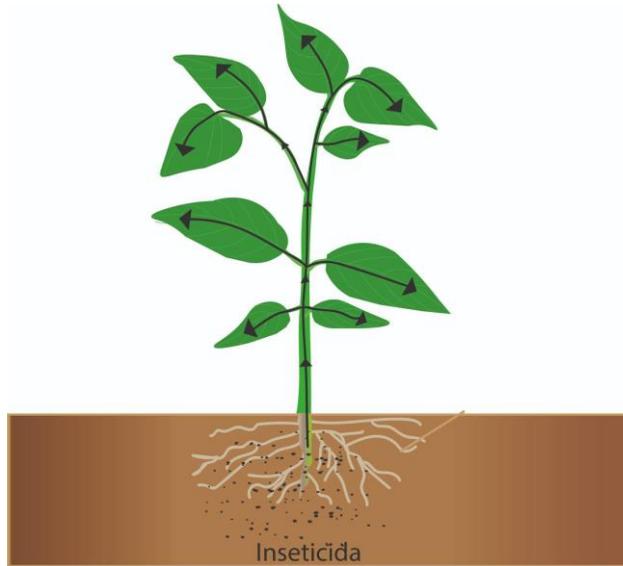


Figura 4: Translocação de inseticidas aplicados via solo.

6.2. Inseticidas aplicados em pulverização

Os inseticidas aplicados via pulverização podem permanecer depositados na superfície da planta ou serem absorvidos, podendo ou não ser translocados. Os produtos que são translocados pela planta, atingem partes não pulverizadas e tendem a permanecer ativos na planta por mais tempo em relação a produtos depositados na superfície.

Inseticidas sistêmicos quando aplicados nas folhas, ramos e raízes das plantas, podem ser absorvidos e translocados para outros órgãos da planta em quantidades letais para os insetos que se alimentam nesses locais onde não houve a aplicação direta (Mariconi 1977).

A translocação de inseticidas em plantas vai depender inicialmente da capacidade dos compostos penetrarem nas folhas. As taxas de penetração foliar são limitadas pela baixa permeabilidade da cutícula das plantas. A penetração é menor quando os ingredientes ativos são de alta massa molecular (Baur et al., 1997). Os inseticidas podem passar pela cutícula através de microporos (filamentos protoplasmáticos projetados das células epidérmicas) e pelos estômatos. A entrada desses produtos pelos estômatos ocorre quando o pesticida sobre a folha permanece no estado líquido, o que ocorre por um curto período após aplicação. Além disso, a passagem de inseticidas pelos estômatos depende das condições ambientais que influenciam a abertura e fechamento estomático. Entretanto, o estômato possibilita

penetração de maior quantidade do inseticida e através desta entrada o pesticida fica mais próximo dos tecidos vasculares, o que pode implicar em maior translocação pela planta (Stevens et al., 1991).

Os inseticidas aplicados via pulverização são absorvidos e transportados para partes não atingidas principalmente no sentido acropetal e em alguns casos via floema, no sentido basipetal (Girolami et al., 2009). A mobilidade do floema aumenta a redistribuição de pesticidas dentro das plantas porque o produto pode ser translocado tanto para os tecidos mais jovens quanto para as raízes. No entanto, os inseticidas com essa propriedade são raros. Atualmente, apenas o espirotetramato pode ser transportado nas plantas através do floema e xilema (Brück et al., 2009).

A movimentação translaminar, ou seja, a capacidade de translocar-se da face adaxial para a face abaxial da folha também pode ocorrer para inseticidas aplicados via pulverização (Barry et al., 2015). A atividade translaminar requer etapas, incluindo dissolução, entrada na superfície da folha

através da camada de cera na cutícula e depois no apoplasto da folha, difusão através do mesofilo e acúmulo no lado oposto da folha. O movimento translaminar é influenciado pelas propriedades físicas do inseticida, da formulação, ambiente local e da anatomia e fisiologia da planta (Buchholz et al., 2002; Trapp 2004).

Os inseticidas quando depositados sobre as folhas e translocados para outras partes da planta possuem vantagem como: perdas reduzidas por lavagem, volatilização e fotodegradação, proporcionando melhor cobertura e melhor atividade residual das pragas alvo (Norris 1974).

7. Translocação dos inseticidas no corpo dos insetos

O modo de entrada dos inseticidas no corpo dos insetos é um fator chave na mortalidade desses organismos, especialmente quando se trata do manejo integrado de pragas. Dependendo de sua estrutura química, os inseticidas podem penetrar o corpo dos insetos através de três vias: tegumentar, oral ou

espiracular (Yu 2008). Em alguns casos, os inseticidas podem penetrar por mais de uma via simultaneamente (Rego 2016).

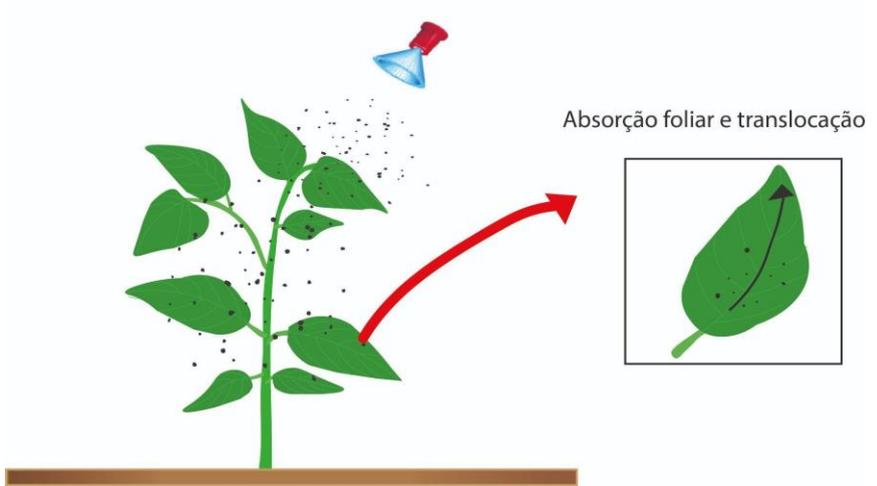


Figura 5: Translocação de inseticidas aplicados via pulverização.

7.1. Penetração pelo tegumento

É a principal via de penetração dos inseticidas no corpo dos insetos devido à larga proporção de superfície cuticular (Yu 2015). Nesse tipo de

penetração, os inseticidas são pulverizados e podem atingir o corpo dos insetos ou a superfície foliar, e posteriormente penetrar o corpo do inseto à medida que este caminha sobre as moléculas inseticidas (Silva et al., 2020).

A cutícula dos insetos é uma estrutura fina, complexa e variável entre os diferentes grupos taxonômicos. De forma geral, essa estrutura possui uma camada de cera ou lipídica que evita a desidratação do inseto devido à sua característica de repelir a água (Gullan & Cranston 2014). Grande parte dos inseticidas são moléculas apolares, dessa forma, podem facilmente penetrar essa cutícula e atingir o interior do corpo (Matsumura 1985). A partir disso, o inseticida dissolvido é transportado pela hemolinfa até atingir seu (s) órgão (s) alvo (s), onde é metabolizado, acumulado ou secretado (Yu 2015).

É importante ressaltar que a penetração de inseticidas no corpo dos insetos através do tegumento não é um simples processo de transporte, mas um processo dependente das características dos solventes utilizados na aplicação (Welling et al., 1979). Entre

essas características podemos citar o próprio efeito dos solventes utilizados, a polaridade dos inseticidas, a composição cuticular do inseto, e o próprio metabolismo dos inseticidas na cutícula (Yu 2015).

7.2. Penetração oral

É a via de penetração dos inseticidas sistêmicos e de iscas tóxicas (Yu 2015). Também chamados de venenos estomacais, esses inseticidas são tóxicos se forem ingeridos pelos insetos, dessa forma, são úteis tanto para os grupos de insetos que apresentam o aparelho bucal do tipo mastigador, como lagartas e besouros, quanto para insetos que se alimentam de seiva, como os percevejos. Entre os principais inseticidas dessa classe estão os arsênicos, como o arsenato de cálcio e o arsenato de chumbo; e os compostos fluorados, como o fluoreto de sódio e a criolita (Yu 2008). Além disso, esta é a via de penetração de inseticidas bacterianos (como *Bacillus* sp.) e inseticidas de origem viral (como os produtos à base de Baculovírus).

7.3. Penetração pelos espiráculos

A penetração de inseticidas através da via espiracular ocorre através de substâncias na forma de vapor, chamadas de fumigantes. Essas substâncias penetram o corpo do inseto durante as trocas gasosas através de estruturas chamadas de espiráculos, e são usualmente utilizadas no controle de pragas de grãos armazenados (Sadeghi et al., 2016) ou na fumigação de viveiros.

7.4. Aprisionamento, metabolismo e excreção de inseticidas

Chamamos de toxicocinética o estudo da modelagem e distribuição de xenobióticos em um organismo, incluindo aspectos como penetração, distribuição, biotransformação e excreção (Medinsky & Valentine 2003). Ao penetrar o corpo dos insetos, as moléculas inseticidas precisam ultrapassar barreiras fisico-químicas até que cheguem ao seu sítio de ação (Figura 6). Uma dessas barreiras é a estocagem dos inseticidas em tecidos indiferenciados, como o tecido adiposo (ou corpo gorduroso) (Moo-Young 2019).

Além disso, essas moléculas devem ser capazes de superar os mecanismos metabólicos de quebra desses compostos em moléculas não ativas (Khan et al., 2020). O inseticida deve também ser capaz de persistir no organismo não sendo excretado (Matthews 1979), de forma que uma pequena porção desse material chegue ao seu sítio de ação. Vários mecanismos podem atuar juntos, dificultando com que a molécula inseticida atinja seu alvo. Um desses exemplos é a hipótese de que a resistência à penetração de inseticidas pode, por exemplo, permitir que as enzimas desintoxicantes metabolizem o inseticida e este seja excretado (Zhu et al., 2013).

As reações bioquímicas são muito importantes na dinâmica dos inseticidas nos insetos. As moléculas absorvidas não são distribuídas uniformemente por todo o corpo, logo, as capacidades de degradação e ativação em diferentes órgãos devem ser avaliadas (Welling 1979). Em particular, enzimas de desintoxicação podem ser encontradas próximas aos sítios-alvos de ação dos inseticidas, e estão associadas à proteção contra essas moléculas (Nardini et al.,

2012). Os produtos dessa biotransformação ocasionada por enzimas de desintoxicação são, geralmente, compostos hidrofílicos que são facilmente excretados em comparação à molécula inicial (Vermeulen 1996). Uma forma de contornar o problema da excreção de inseticidas é a utilização dos chamados pró-inseticidas, compostos que são bioativados por processos enzimáticos nos quais os insetos metabolizam a molécula e a partir disso essas se tornam compostos ativos (David 2021).

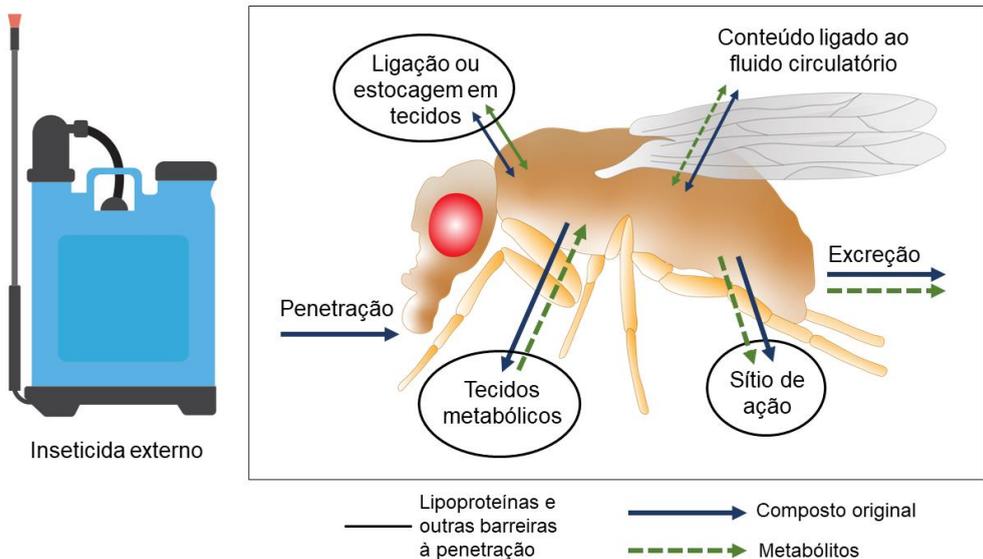


Figura 6: Toxicocinética dos inseticidas no corpo dos insetos.

Como dito anteriormente, os inseticidas possuem diferentes estruturas químicas, e em geral, isso define seu sítio de ação. Após vencer as barreiras físico-químicas supracitadas, as moléculas inseticidas podem afetar os seguintes processos fisiológicos: atividade do sistema nervoso (eventos axônicos e sinápticos), metabolismo energético (como inibidores da cadeia de transporte de elétrons, da síntese de ATP ou como desacopladores da fosforilação oxidativa), trato digestivo (atuando como disruptores de membranas) ou regulação de crescimento (como inibidores da formação de cutícula ou interferentes hormonais) (Yu 2015). É importante entender os modos e sítios de ação dos inseticidas de forma a prevenir o desenvolvimento de resistência nos organismos alvo, e esse problema pode ser evitado ou retardado através da rotação de produtos químicos que possuam diferentes modos de ação (Brown & Ingianni 2013).

8. Considerações finais

Os insetos-praga estão presentes nos cultivos e causam perdas de produtividade. A decisão de controlar ou não a praga é o primeiro passo. Essa decisão é baseada em amostragem da praga e seu nível de controle. Ao tomar a decisão de controle, deve-se realizar a seleção do produto empregando critérios técnicos, econômicos e toxicológicos. Após isso, é realizada a aplicação do inseticida de maneira adequada para que este penetre no corpo da praga, atinja seu alvo de ação e cause sua mortalidade.

Os inseticidas podem ser encontrados no estado líquido, sólido e gasoso. A aplicação de formulações líquidas pode ser feita via aplicação no sulco de plantio, tratamento de semente e principalmente por equipamentos hidráulicos (pulverizador), pneumáticos (atomizador), centrífugos ou dispersos via aérea com uso de aeronaves ou drones. A aplicação via sólida tem como vantagem dispensar a necessidade da diluição do composto em meio líquido estando prontamente disponível para uso. Aplicação via gasosa (fumigação) é feita utilizando produto preparado na forma sólida

ou líquida, que ao entrar em contato com o ar volatiliza, liberando um gás.

O processo de translocação de inseticidas em plantas é complexo em decorrência do grande número de variáveis relacionadas. A variabilidade da morfologia e fisiologia de plantas e das propriedades físico-químicas das moléculas inseticidas são fatores que dificultam o entendimento (TRAPP, 2004). Portanto, é importante conhecer como o produto se transloca na planta para orientar a escolha da tecnologia de aplicação mais adequada para cada produto e inseto-praga.

Após a aplicação e alcance do alvo, os inseticidas precisam adentrar o corpo dos insetos para causar mortalidade. A penetração pelo tegumento é a principal via de entrada dos inseticidas no corpo dos insetos. A penetração via oral ocorre através da ingestão dos insetos. A penetração de inseticidas através dos espiráculos ocorre através de substâncias na forma de gás, chamadas de fumigantes. Ao penetrar o corpo dos insetos, as moléculas inseticidas precisam mitigar/desvencilhar de barreiras fisiológicas

até chegar ao seu sítio de ação e causar a mortalidade do inseto-praga. Essas moléculas devem ser capazes de superar os mecanismos metabólicos de quebra, de não serem aprisionadas em tecidos inertes, e persistir no organismo em suas formas ativas sem serem excretadas.

9. Referências

Alsayeda, H., Pascal-Lorber, S., Nallanthigal, C., Debrauwer, L., & Laurent, F. (2008). Transfer of the insecticide [14C] imidacloprid from soil to tomato plants. *Environmental Chemistry Letters*, 6(4), 229-234.

Antunes-Kenyon, S. E., & Kennedy, G. (2001). Thiamethoxam—A new active ingredient review. Massachusetts, Pesticide Bureau.

Azevedo, F.R.; Freire, F.C.O. (2006). Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. Fortaleza, Embrapa Agroindústria Tropical. 47p.

Barry, J. D., Portillo, H. E., Annan, I. B., Cameron, R. A., Clagg, D. G., Dietrich, R. F., Watson, L. J., Leighty R. M., Ryan, D. L., McMillan J. A., Swain, R. S., & Kaczmarczyk, R. A. (2015). Movement of cyantraniliprole in plants after foliar applications and

its impact on the control of sucking and chewing insects. *Pest Management Science*, 71(3), 395-403.

Baur, P., Buchholz, A., & Schönherr, J. (1997). Diffusion in plant cuticles as affected by temperature and size of organic solutes: similarity and diversity among species. *Plant, Cell & Environment*, 20(8), 982-994.

Botton, M., Nava, D. E., Arioli, C. J., Grutzmacher, A., Rosa, J. M., Junior, R. M., Borges, R. (2016). Supressão necessária. *Revista cultivar hortaliças e frutas*. 87. Acesso: 28 de outubro de 2022. <https://revistacultivar.com.br/artigos/supressao-necessaria>.

Briggs, G. G., Bromilow, R. H., Edmondson, R., & Johnston, M. (1977). Distribution coefficients and systemic activity. *Herbicides and Fungicides*.

Briggs, G.G.; Bromilow, R.H.; Evans, A. A. Relationships between lipophilicity and root uptake and translocation of non-ionised chemicals by barley. *Pesticide Science*, Oxford, v.13, n.5, p. 495-504, 1982.

Brown, A. E., & Ingianni, E. (2013). *Pesticide Information Leaflet No. 43: Mode of Action of Insecticides and Related Pest Control Chemicals for Production Agriculture, Ornamentals, and Turf*. University of Maryland, (43), 1-13.

Brück, E., Elbert, A., Fischer, R., Krueger, S., Kühnhold, J., Klueken, A. M., Nauen, R., Niebes, J.,

Reckmann, U., Schnorbach H., Steffens, R., & Waetermeulen, X. V. (2009). Movento®, an innovative ambimobile insecticide for sucking insect pest control in agriculture: biological profile and field performance. *Crop Protection*, 28(10), 838-844.

Buchholz, A., & Nauen, R. (2002). Translocation and translaminar bioavailability of two neonicotinoid insecticides after foliar application to cabbage and cotton. *Pest Management Science: Formerly Pesticide Science*, 58(1), 10-16.

Cotiero, R.L.; Biffe, D.F.; Catapan, V. (2018). Tecnologia de Aplicação. Cap. 13. In: Brandão Filho, J.U.T.; Freitas, P.S.L.; Berian, L.O.S.; Goto, R. Comps. Hortaliças-fruto. Maringá: EDUEM, p.401-449. Acesso: 16 de outubro de 2022. <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0015>.

David, M. D. (2021). The potential of pro-insecticides for resistance management. *Pest Management Science*, 77(8), 3631-3636.

DeBoer, G. J., & Satchivi, N. (2014). Comparison of translocation properties of insecticides versus herbicides that leads to efficacious control of pests as specifically illustrated by isoclast™ active, a new insecticide, and arylex™ active, a new herbicide. In *Retention, Uptake, and Translocation of Agrochemicals in Plants* (pp. 75-93). American Chemical Society.

Edgington, L. V. Structural Requirements of systemic fungicides. *Annual Review Phytopathology*, v. 19, p. 107-124, 1981.

Edgington, L. V.; Peterson, C. A. Systemic fungicides: theory, uptake, and translocation. In: SIEGE, M. P.; SISLER, L. H. D. *Antifungal Compounds*. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1977, p. 51-58.

Fagan, E. B., Rodrigues, J. D., Ono, E. O., Teixeira, W. F., Neto, D. D. (2020). *Fisiologia da produção de soja*. São Paulo: Andrei, p. 64-66.

Fehn, Licelma MartinS. Estudo da ação de inseticidas granulados, sistêmicos e de profundidade, no controle de pulgões, em trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 5, p. 259-264, 1970.

Freitas, F. C. L., Ferreira, L. R., Souza, W. M., Moraes, H. M. F., & Paiva, M. C. G. (2022). Desafios e avanços na tecnologia de aplicação de herbicidas. In: Mendes, K.F.; Silva, A.A. (Eds.). *Plantas Daninhas, Herbicidas*. São Paulo, v. 2. n. 1, p. 129-170.

Girolami, V. A., Mazzon, L., Squartini, A., Mori, N., Marzaro, M., Bernardo, A. D., Greatti, M., Giorio, C., & Tapparo, A. Translocation of neonicotinoid insecticides from coated seeds to seedling guttations: a novel way of intoxication for bees. *Journal Economic Entomology*, v. 102, p. 1808-1815, 2009.

Gullan, P. J., Craston, P. S. (2014) *The insects: an outline of entomology*. 5. ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 912p.

Khan, S., Uddin, M. N., Rizwan, M., Khan, W., Farooq, M., Shah, A. S., Subhan F., Aziz, F., Rahman, K. U., Khan, A., Ali, S., & Muhammad, M. (2020). Mechanism of Insecticide Resistance in Insects/Pests. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(3).

Maienfisch, P., Angst, M., Brandl, F., Fischer, W., Hofer, D., Kayser, H., Kobel, W., Rindlisbacher, A., Senn, R., Steinemann, A., & Widmer, H. (2001). Chemistry and biology of thiamethoxam: a second generation neonicotinoid. *Pest management science*, 57(10), 906-913.

Mariconi, F.A.M. Inseticidas e seu emprego no combate às pragas (Com uma introdução sobre o estudo dos insetos), Tomo I: Defensivos. 5 ed. São Paulo: Nobel, 1981. 305p.

Matsumura, F. (1985). Dynamics of insecticide movement in the animal body, p 347-381. In *Toxicology of Insecticides*. Boston: Springer. 2.ed. 612p.

Matthews, H. B. (1979). Excretion of insecticides. *Pharmacology & Therapeutics*, 4(3): 657-675.

Matuo, T. (1990). Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas. v. 2. Jaboticabal: FUNEP, 139p.

Maziero, H. Guedes, J.V.C. (2011). Tecnologia de aplicação de inseticidas. In: Antuniassi, U.R.; Boller, W. (Eds.). *Tecnologia de aplicação para culturas anuais*. Passo Fundo: Aldeia norte; Botucatu: FEPAF. p. 241-250.

Meddinsky, M. A., Valentine J. L. (2003). Toxicokinetics, p. 98-107. In Klaasen, C. D., Watkins, J. B. Casarett & Doull's essentials of toxicology. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 533p.

Minguela, J.V.; Cunha, J.P.A.R. (2010). Manual de aplicação de produtos fitossanitários. Viçosa, v. 1, p 82-83.

Moo-Young, M. (2019). Comprehensive biotechnology. 3.ed. Amsterdam: Elsevier. 655p.

Nardini, L., Christian, R. N., Coetzer, N., Ranson, H., Coetzee, M., & Koekemoer, L. L. (2012). Detoxification enzymes associated with insecticide resistance in laboratory strains of *Anopheles arabiensis* of different geographic origin. *Parasites & Vectors*, 5(1), 1-12.

Norris, L.A. Behavior of pesticides in plants. Portland: USDA, 1974. 6p. (Technical Report PNW, 19).

Norris, L. A. Behavior of pesticides in plants. Pacific Northwest Research Station, US Department of Agriculture, Forest Service, 1974.

Nunes, M. Z., Baronio, C. A., Junior, R. M., Bortoli, L. C., Pasinato, J., Baldin, M., Schutze, I. X., Botton, M. (2019). Recomendações para avaliação de iscas tóxicas sobre as moscas-das-frutas *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) em laboratório. Bento Gonçalves: Embrapa, Uva e Vinho.

Oliveira, P. C. Translocação e metabolismo do inseticida Vamidothion em plantas de trigo (*Triticum*

aestivum L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). 1991. Tese de Doutorado. Lavras, MG (Brazil).

Oliveira, P. C.; Rigitano, R. L. O. Translocação e degradação do inseticida vamidotiom em plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Ciênc. Prát, v. 15, p. 364-374, 1995.

Otoboni, C.E.M. (2003). Eficiência do controle de nematoides, ferrugem e bicho mineiro em cafeeiros. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Paes, J. S., Soares, C. O., Vieira, C.L., Freitas F. C. L., & Silva, G. A. Tecnologia de aplicação de inseticidas e acaricidas. In: Picanço, M. C.; Lopes, M. C.; Silva, G. A. (Org). Tópicos de Manejo Integrado de Pragas I. Viçosa, v. 1. n. 1, p. 54-84. 2021.

Pes, M. P., Melo, A. A., Stacke, R. S., Zanella, R., Perini, C. R., Silva, F. M., & Carús Guedes, J. V. (2020). Translocation of chlorantraniliprole and cyantraniliprole applied to corn as seed treatment and foliar spraying to control *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *PLoS One*, 15(4), e0229151.

Pes, M. P. Translocação de diamidas em soja e milho e efeito sobre *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) e *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797). 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

Picanço M.C., Morais E.G.F., Silva G.A., Barros R., Sousa Jr R.C., Chediak M., Moreira M.D. (2014).

Controle químico de pragas. In: Zambolim L., Silva A.A., Picanço M.C. (Eds.). O que Engenheiros Agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários. 2ed. Viçosa: DFP-UFV, p.355-370.

Ramos, H.H.; Pio, L.C. (2008). Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. Cap. V. In: Zambolim, L.; Conceição, M.Z.; Santiago, T. (Eds.). O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários. v. 3. rev. amp. Viçosa: DFP. p. 155-222.

Rego, T. C. E. D. (2015). Otimização e validação de metodologia para determinação multirresíduos de agrotóxicos em alface e solo empregando QuEChERS e LC-MS/MS. Tese (Doutorado em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Sadeghi, A., Pourya, M., & Smagghe, G. (2016). Insecticidal activity and composition of essential oils from *Pistacia atlantica* subsp. *kurdica* against the model and stored product pest beetle *Tribolium castaneum*. *Phytoparasitica*, 44(5), 601-607.

Shone, M. G. T.; Bartlett, B. O.; Wood, V. A comparison of the Uptake and translocation of some organic herbicides and a systemic fungicide by barley. *Journal of Experimental Botany*, v. 23, p. 401-409, 1974.

Silva, K., Smaniotto, M. A., Acunha, J. G., D'Agostini, M., Rizzardo, A., Curioletti, L. E., Pasqualotto, L., Froehlich, R, & Perini, C. R. (2020). Assessment of

insecticide mortality on fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) between locations and modes of insecticide entry. Australian Journal of Crop Science, 14(6), 991-996.

Souza, A. P., Vendramim, J. Efeito translaminar, sistêmico e de contato de extrato aquoso de sementes de nim sobre *Bemisia tabaci* (Genn.) biótipo B em tomateiro. Neotropical Entomology, v. 34, p. 83-87, 2005.

Stevens, P.J.G., Gaskin, R.E., Hong, S., & Zabkiewicz, J.A. Contributions of stomatal infiltration and cuticular penetration to enhancements of foliar uptake by surfactants. Pesticide Science, Oxford, v.33, n.3, p.371-382, 1991.

Torres, F. Z. V. Translocação do inseticida tiametoxam no floema de mamoneira e cafeeiro. 2009.

Trapp, S. Plant uptake and transport models for neutral and ionic chemicals. Environmental Science and Pollution Research, v. 11, p. 33-39, 2004.

Tudi, M., Ruan, H. D., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(3), 1112.

Vermeulen, N. P. E. (1996). Role of metabolism in chemical toxicity. In C. Ioannides (Ed.), Cytochromes P450. Metabolic and toxicological aspects. (pp. 29-53). Boca Raton: CRC Press.

Welling, W. (1979). Toxicodynamics of insecticidal action: An introduction. *Pesticide Science*, 10(6), 540-546.

Yamamoto, P.T. Controle químico de pragas. Departamento de entomologia e acarologia, Esalq/USP. Edisciplinas/USP. 2018. <https://bit.ly/3yKyNJ4>. Acesso: 16 de outubro de 2022.

Yu, S. J. (2008) *The toxicology and biochemistry of insecticides*. 1.ed. Boca Raton: CRC press. 283p.

Yu, S. J. (2015). *The toxicology and biochemistry of insecticides*. 2.ed. Boca Raton: CRC press. 374p.

Zhu, F., Gujar, H., Gordon, J. R., Haynes, K. F., Potter, M. F., & Palli, S. R. (2013). Bed bugs evolved unique adaptive strategy to resist pyrethroid insecticides. *Scientific reports*, 3(1), 1-8.

Este livro possui cinco capítulos:

- **Manejo de pragas nos cultivos em ambientes protegidos.**
- **Resistência das pragas aos métodos de controle.**
- **Uso de produtos naturais no controle de pragas.**
- **Uso de inteligência artificial em programas de MIP.**
- **Translocação de inseticidas nas plantas e insetos.**