

TOXICIDADE DE INSETICIDAS FORMULADOS EM MISTURA COM λ -CIALOTRINA
PARA A POPULAÇÃO DE *Eriopis connexa* (GERMAR) (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE)
RESISTENTE A PIRETROIDES

por

MARIA RAQUEL DE SOUSA SOARES

(Sob Orientação do Professor Jorge Braz Torres - UFRPE)

RESUMO

A mistura comercial de inseticidas oferece diferentes modos de ação para o controle de pragas, auxilia na mitigação da resistência a inseticidas e pode reduzir custos, com menor número de aplicações. Contudo, a mistura de inseticidas pode acarretar impacto negativo sobre as populações de inimigos naturais, a depender dos inseticidas empregados na mistura. Neste trabalho foi avaliado a resposta da joaninha, *Eriopis connexa* (Germar) (EcViR), que apresenta seletividade fisiológica a piretroides por exibir resistência a esses inseticidas, quando expostas a formulações simples [Karate Zeon[®] (λ -cialotrina), Prêmio[®] (Clorantraniliprole), Closer[®] (Sulfoxaflor), Actara[®] (Tiametoxam) e Dinno[®] (Dinotefuram)] e a misturas de inseticidas [Expedition[®](λ -cialotrina+sulfoxaflor), Ampligo[®] (λ -cialotrina+clorantraniliprole), Zeus[®] (λ -cialotrina+dinotefuram), Engeo[®] (λ -cialotrina+tiametoxam) e Voliam Flex[®](clorantraniliprole+tiametoxam)]. Larvas e adultos da joaninha com cinco e três dias de idade, respectivamente, foram confinados em placas de petri com resíduo seco dos inseticidas e

determinados a sobrevivência e a reprodução. Curvas concentração-mortalidade foram determinadas para larvas e adultos da joaninha empregando os inseticidas em formulação simples e em misturas que ocasionaram mortalidade acima de 40%. A sobrevivência e reprodução de adultos após exposição na fase de larva, e na fase adulta, foram determinados. A mistura de λ -cialotrina ou clorantraniliprole com os neonicotinoides tiametoxam e dinotefuram resultou em perda da seletividade fisiológica de EcViR. O índice de combinação estimado mostrou efeito antagônico dos neonicotinoides usados em mistura com λ -cialotrina e clorantraniliprole. Por outro lado, as misturas de λ -cialotrina+clorantraniliprole e λ -cialotrina+sulfoxaflor permitiram sobrevivência de larvas e adultos de EcViR acima de 80%. Portanto, destaca-se que a seletividade fisiológica mediada pela resistência à λ -cialotrina em *E. connexa* é perdida quando λ -cialotrina está em mistura com neonicotinoides.

PALAVRAS-CHAVE: Seletividade de inseticidas, controle biológico conservativo, manejo integrado de pagas, neonicotinoide, diamida.

TOXICITY OF MIXED INSECTICIDE FORMULATIONS TO THE POPULATION OF *Eriopis connexa* (GERMAR) (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) RESISTANT TO PYRETHROIDS

By

MARIA RAQUEL DE SOUSA SOARES

(Under the Direction of Professor Jorge Braz Torres - UFRPE)

ABSTRACT

Insecticide mixtures ready-to-use offer different modes of action to control pest species, may delay the evolution of resistance, and may reduce costs by reducing the number of applications. However, these formulations can have a negative impact on natural enemies' populations, depending on the insecticides used in the mixture. In this work, the population of the lady beetle, *Eriopis connexa* (Germar) was exposed to insecticides in single and mixed formulations with λ -cyhalothrin or chlorantraniliprole. The studied lady beetle population is resistant to pyrethroids (EcViR), hence, exhibiting physiological selectivity when exposed to the broad-spectrum pyrethroid insecticide λ -cyhalothrin. The toxicity of the insecticides λ -cyhalothrin (Karate Zeon[®]), chlorantraniliprole (Premio[®]), sulfoxaflor (Closer[®]), thiamethoxam (Actara[®]) and dinotefuran (Dinno[®]), and the mixtures of λ -cyhalothrin+sulfoxaflor (Expedition[®]), λ -cyhalothrin+chlorantraniliprole (Ampligo[®]), λ -cyhalothrin+dinotefuran (Zeus[®]), λ -cyhalothrin+thiamethoxam (Engeo[®]), and chlorantraniliprole+thiamethoxam (Voliam Flex[®]) were assessed to larvae and adults of the lady beetle. Survival and reproduction were recorded after confining larvae and adults of *E. connexa* at five and three days old, respectively, with dry

insecticide residues. Concentration-mortality curves were also determined for larvae and adults using insecticides in single or mixed formulations that caused mortality greater than 40%. Survival and reproduction of adults surviving the exposure at larva and adult stages were monitored for 30 days. The mixture of λ -cyhalothrin and chlorantraniliprole with thiamethoxam and dinotefuran resulted in the loss of physiological selectivity gained by *E. connexa* EcViR to λ -cyhalothrin. The combination index of the insecticide mixtures showed a highly antagonistic effect of the neonicotinoids mixed with λ -cyhalothrin and chlorantraniliprole. On the other hand, the mixtures of λ -cyhalothrin+chlorantraniliprole and λ -cyhalothrin+sulfoxaflor allowed the survival of *E. connexa* EcViR larvae and adults above 80%. Therefore, it was clear that the physiological selectivity gained by the resistance to λ -cyhalothrin in *E. connexa* is lost when neonicotinoids are present in the insecticide mixture.

KEY WORDS: Selectivity of insecticides, conservation biological control, integrated pest management, neonicotinoids, diamide.

TOXICIDADE DE INSETICIDAS FORMULADOS EM MISTURA COM λ -CIALOTRINA
PARA A POPULAÇÃO DE *Eriopis connexa* (GERMAR) (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE)
RESISTENTE A PIRETROIDES

por

MARIA RAQUEL DE SOUSA SOARES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Entomologia.

RECIFE - PE

Julho – 2023

TOXICIDADE DE INSETICIDAS FORMULADOS EM MISTURA COM λ -CIALOTRINA
PARA A POPULAÇÃO DE *Eriopis connexa* (GERMAR) (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE)
RESISTENTE A PIRETROIDES

por

MARIA RAQUEL DE SOUSA SOARES

Comitê de Orientação:

Jorge Braz Torres

Rogério Lira

TOXICIDADE DE INSETICIDAS FORMULADOS EM MISTURA COM λ -CIALOTRINA
PARA A POPULAÇÃO DE *Eriopis connexa* (GERMAR) (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE)
RESISTENTE A PIRETROIDES

por

MARIA RAQUEL DE SOUSA SOARES

Banca Examinadora:

Jorge Braz Torres – UFRPE

Gemerson Machado de Oliveira – PD/CNPq

João Paulo Ramos de Melo – DCR/CNPq

Maria Raquel de Sousa Soares
Mestre em Entomologia

Prof. Jorge Braz Torres – UFRPE
Orientador

DEDICATÓRIA

*Dedico aos meus pais **Francisco das Chagas Soares e Maria de Sousa Bento Soares** e ao meu tio **Sebastião Marques Soares** (in memoriam).*

“Você tem poder sobre a sua mente, mesmo quando não tem sobre os fatos externos. Compreenda essa lição, e você encontrará toda força de que precisa”.

Marco Aurélio (Imperador Romano)

AGRADECIMENTOS

A todos que tornaram possível meu percurso acadêmico, que me apoiaram e me ajudaram, eu quero agradecer. Pois as conquistas raramente são frutos de esforços isolados, mas antes o resultado de um trabalho em conjunto.

Gostaria, também, de agradecer a Deus por sempre me sustentar sobre sua mão.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, e ao programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola, pela oportunidade de realização deste curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de estudo, contribuindo desta forma para o desempenho do trabalho desenvolvido.

Ao meu orientador, professor Jorge Braz Torres, pela orientação, pelos ensinamentos repassados, pela confiança e por ser um exemplo de dedicação.

Ao Dr. Rogério Lira pela parceria, apoio e dedicação durante a execução deste trabalho.

Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Entomologia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pelo conhecimento adquirido durante o Mestrado.

A toda a equipe do Laboratório de Controle Biológico, pelos momentos de amizade, carinho e descontração, e em especial a Natália Bermudez, Renilson Pessoa, Leandra Costa e Deividny Nascimento.

A toda minha família, em especial aos meus pais, Francisco das Chagas Soares e Maria de Sousa Bento Soares, por todo esforço e dedicação. Aos meus irmãos, Ricardo, Ana Ruth e Raniellyson pelo apoio.

Aos meus amigos, em especial a Victor Emanuel, Mayara Fernandes, Carla Helena, Ianne Nobre, Felipe Coutinho, Jéssika Lima, Bruna Gomes Couto, Elton Galdino, Victor Linhares e Vitor Quintela por serem pessoas inestimáveis para mim.

A Banca Examinadora por suas contribuições e profissionalismo e pelos conhecimentos que me foram transmitidos.

Agradeço também aos funcionários da Universidade Federal Rural de Pernambuco, que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

Enfim, a todos que contribuíram para a realização dessa pesquisa, muito obrigado.

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS	viii
CAPÍTULOS	
1 INTRODUÇÃO	1
Mistura de inseticidas.....	2
Resistência de joaninhas a piretroides	4
Joaninha predadora <i>Eriopis connexa</i> (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae).....	6
Relevância do estudo.....	8
LITERATURA CITADA.....	9
2 MISTURAS DE INSETICIDAS RESULTA EM PERDA DA SELETIVIDADE FISIOLÓGICA À λ -CIALOTRINA EM POPULAÇÃO DE JOANINHA RESISTENTE A PIRETROIDE	15
RESUMO	16
ABSTRACT	17
INTRODUÇÃO	18
MATERIAL E MÉTODOS	20
RESULTADOS.....	24
DISCUSSÃO.....	27
AGRADECIMENTOS.....	32
LITERATURA CITADA.....	32
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O inseticida ideal para o Manejo Integrado de Pragas (MIP), é aquele que apresenta seletividade, ou seja, que causa mortalidade apenas da praga alvo e não dos inimigos naturais, evitando assim um desequilíbrio ecológico (Soares 2008). Essa seletividade pode ocorrer de duas formas: fisiológica e ecológica. A seletividade fisiológica é aquela inerente ao produto, agindo sobre as diferenças fisiológicas entre as pragas e os inimigos naturais, causando a morte das pragas sob uma concentração do produto ou por modo de ação que não causa a mortalidade aos inimigos naturais. Por outro lado, a seletividade ecológica baseia-se nas diferenças ecológicas existente entre as pragas e os inimigos naturais e na logística de aplicação (Ripper *et al.* 1951, Newsom *et al.* 1976).

Diferentes estratégias de aplicação de inseticidas podem ser adotadas para à obtenção da seletividade ecológica, tais como baseado no tempo, dosagem, aplicação localizada e formulação dos inseticidas (Collier *et al.* 2016). No entanto, esse tipo de seletividade requer conhecimento da biologia, ecologia e da flutuação populacional, tanto das pragas como dos inimigos naturais. Apesar de depender de alterações na logística de aplicação (Torres & Bueno 2018), a seletividade ecológica pode ser trabalhada de maneira a compensar a falta de seletividade fisiológica, que a maioria dos inseticidas sintéticos não possuem e, assim, dependem de práticas que favorecem a seletividade ecológica para se adequarem ao MIP (Soares 2008).

Em 1974 foi criado o grupo de trabalho “Pesticides and Beneficial Arthropods” da “International Organization for Biological Control of Noxious Animals and Plants (IOBC)”, com o objetivo de padronizar metodologias para estudos de identificação de inseticidas seletivos

voltados a conservação dos inimigos naturais (IOBC 2023). Assim, pesquisas têm sido conduzidas para aperfeiçoar e obter resultados sobre a seletividade de inseticidas aos insetos benéficos (Hassan 1994), que além dos inimigos naturais das pragas, incluem também os polinizadores e outros que promovem serviços ecológicos. O protocolo recomendado pela IOBC inclui uma sequência de testes iniciando em laboratório, seguido de testes de persistência em campo e semi-campo (Hassan 1994). Isto por que se entende que um único teste não é capaz de prover informações suficientes para atestar sobre os possíveis efeitos deletérios dos inseticidas sobre os inimigos naturais (Potin *et al.* 2022). Entre as recomendações está aquela que preconiza que inseticidas sem efeito tóxico em testes de laboratório, não justifica a realização de testes semi-campo e campo (Hassan 1989 1994).

Por outro lado, estudos realizados por Vogt (1994) e Viñuela *et al.* (1996) mostraram que inseticidas tóxicos em bioensaios realizados, em laboratório, foram inofensivos quando aplicados em campo, confirmando a premissa dos testes propostos pela IOBC. De acordo com as normas da IOBC, a metodologia se baseia em expor os inimigos naturais as formulações comerciais nas dosagens máximas recomendadas para cada cultura, tendo uma classificação de 1 (inofensivo), 2 (levemente nocivo), 3 (moderadamente nocivo) e 4 (nocivo) (Hassan 1994).

Misturas de inseticidas

O uso de formulações prontas para uso contendo misturas de inseticidas vem sendo amplamente difundido, pois podem ser mais eficientes no controle de diferentes espécies de insetos-pragas (Warnock & Cloyd 2005, Khajehali *et al.* 2009). A combinação de diferentes modos de ação pode se tornar mais eficaz em certos estágios da praga-alvo como ovos, larvas, ninfas e adultos em relação a aplicações de inseticidas em formulação com apenas um modo de ação (Blümel & Gross 2001). Além disso, o uso de inseticidas com diferentes modos de ação é

considerado umas das ferramentas para o manejo da resistência a inseticida, denominado “ataque múltiplo”, pois reduzem as chances de pragas desenvolverem resistência simultaneamente aos diferentes modos de ação (Attique *et al.* 2006, Ahmad *et al.* 2009, Nasir *et al.* 2013).

A utilização de misturas de inseticidas com diferentes modos de ação, assim como ocorre na rotação de inseticidas, tem como objetivo principal diminuir a frequência de alelos de resistência. No entanto, não se deve desviar da aplicação de outras táticas de manejo, visando reduzir o número de pulverizações de inseticidas (Das 2014). Os efeitos de misturas de inseticidas podem ser descritos como: antagônicos, quando o efeito tóxico da mistura é menor que a soma dos efeitos obtidos com os inseticidas isolados; sinérgicos, quando o efeito tóxico da mistura é maior que o somatório da toxicidade dos inseticidas isolados; e aditivo, quando o efeito tóxico da mistura é igual à soma da toxicidade dos inseticidas usados isoladamente (Taillebois & Thany 2022).

Existem duas hipóteses para explicar o efeito de sinergismo em misturas com diferentes inseticidas. A primeira hipótese é que um dos inseticidas interfere no mecanismo de desintoxicação metabólica, e a segunda é que os inseticidas com seus diferentes modos de ação levam o sistema fisiológico do inseto ao colapso, devido as suas diferentes rotas de ação (Corbel *et al.* 2006). Já os efeitos antagônicos podem ser explicados devido a diferentes ligações a sítio-alvos com efeitos divergentes (Hernández *et al.* 2017), as interações toxicodinâmicas ocorrem quando um componente da mistura altera a resposta do outro, se essas interações ocorrem no mesmo local do sítio-alvo, isso geralmente resulta em antagonismo (Reffstrup *et al.* 2010).

Os efeitos das misturas de inseticidas sobre os organismos não-alvo podem variar de acordo com o mecanismo de ação de cada inseticida na mistura podendo afetar a mortalidade (efeito direto) ou a longevidade, fecundidade, fertilidade, razão sexual e o comportamento (efeitos indiretos ou subletais), inteferindo na sua taxa de predação ou parasitismo (Cloyd 2012). Portanto,

o efeito conhecido de um ou mais inseticidas quando utilizados na sua formulação simples sobre um inimigo natural pode variar como é observado em uma espécie praga, e por isso, a importância de realizarmos estudos sobre a seletividade de formulações comerciais contendo misturas entre inseticidas (Cloyd 2012).

Dentre os inseticidas registrados para recomendação no Brasil, cerca de 70% deles apresentam algum piretroide como ingrediente ativo, como o λ -cinalotrina, a qual apresenta ampla recomendação no controle de lagartas e besouros desfolhadores. A λ -cinalotrina se destaca com 36 formulações comerciais (AGROFIT 2022), sendo o segundo inseticida piretroide mais usado, perdendo apenas para a bifentrina (IBAMA 2021), além de estar presente em muitas aplicações inseticidas e é considerada não seletivo (Fritz *et al.* 2013). Contudo, a resistência à piretroides apresentada por populações de *Eriopis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae) (Rodrigues *et al.* 2013, Costa *et al.* 2018), confere sobrevivência as dosagens recomendadas para insetos-pragas de λ -cinalotrina, bem como a outros piretroides (Spindola *et al.* 2013, Torres *et al.* 2015, Lira *et al.* 2019). Desta forma, promovendo a seletividade fisiológica para inseticidas não seletivos.

Resistência de joaninhas a piretroides

A resistência de artrópodes a inseticidas é considerada um atributo pré-adaptativo, genético e hereditário (Dobzhansky 1951), definida como “uma característica herdada em que um indivíduo é capaz de tolerar doses de uma formulação química considerada tóxica para os demais indivíduos da mesma população” (WHO 1957, 1960). Esta característica é conferida através de mecanismos como redução da penetração do inseticida no tegumento do inseto; alteração do metabolismo resultando em desintoxicação enzimática; alteração do sítio alvo como mutações; e, ainda, mudanças comportamentais na presença do inseticida evitando o contato (Oppenoorth

1984, Hemingway 2000). Esses mecanismos podem conferir um amplo espectro de resistência de modo combinado ou não, ou seja, indivíduos de uma população antes considerados suscetíveis passam a tolerar o inseticida aplicado (Hemingway *et al.* 2004). Para o inimigo natural, esta nova característica de resistência é considerada benéfica, pois irá conferir uma diferença fisiológica entre o inimigo natural e a praga, permitindo o inimigo natural tolerar uma dosagem do inseticida aplicado tóxica para a praga alvo.

Um exemplo é a resistência de *E. connexa* ao inseticida piretroide λ -cialotrina, que confere a esta joaninha sobrevivência a dosagem capaz de matar as pragas alvo (Spindola *et al.* 2013, Torres *et al.* 2015). A resistência de *E. connexa* à λ -cialotrina foi inicialmente detectada por Rodrigues *et al.* (2013) e, posteriormente, demonstrado ser de grande frequência em várias populações de campo desta joaninha (Costa *et al.* 2018). Esta resistência é caracterizada como metabólica, sendo mediada por aumento na atividade de esterases (Rodrigues *et al.* 2014, Rodrigues *et al.* 2020). Esta característica é herdada de forma autossômica e incompletamente dominante, sendo passada aos descendentes pelos parentais de ambos os sexos (Rodrigues *et al.* 2013). A resistência observada à λ -cialotrina, também, confere alta tolerância a vários outros piretroides (Torres *et al.* 2015), como sendo compatível a dosagem de deltametrina recomendada para o controle de pragas das brássicas (Lira *et al.* 2019).

Resistência de insetos predadores a piretroides tem sido objeto de estudo devido a importância que esses inseticidas têm para o MIP, em especial, para o manejo de insetos desfolhadores como lepidópteros e coleópteros. Resistência em populações de *Stethorus gilvifrons* (Muls.) a bifentrina, em macieira, foi constatada por Kumral *et al.* (2011), *Hippodamia convergens* Guérin-Meneville a λ -cialotrina em algodoeiro (Ruberson *et al.* 2007, Rodrigues *et al.* 2013), e a λ -cialotrina e ao dicrotofos simultaneamente (Barbosa *et al.* 2016). Também, entre quatro populações de *Propylaea japonica* (Thunberg), coletada em campos de brássicas no Sul da

China, uma população oriunda da província de Guangzhou apresentou resistência de 6,2 vezes a beta-cipermetrina (Tang *et al.* 2015). Outro importante predador resistente a piretroide é *Orius laevigatus* (Fieber) (Hemiptera: Anthocoridae) (Balanza *et al.* 2021). Esses autores selecionaram a população desse predador tornando-a resistente (CL= 1059,9 mg L⁻¹) a λ -cialotrina. Também, ácaros predadores como *Typhlodromus pyri* Scheuten (Acari: Phytoseiidae) resistente a piretroides e organofosforados (Hardman *et al.* 2000).

Joaninha predadora, *Eriopis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae)

Os insetos predadores são inimigos naturais importantes para o MIP, pois são reconhecidamente capazes de regular populações de insetos-pragas nos agroecossistemas (Whitcomb 1981, Rosenheim 1998, Rivers *et al.* 2018). Dentre os insetos predadores comum nos agroecossistemas, destacam-se as espécies de joaninhas predadoras (Coccinellidae), que possuem ocorrência associada as infestações de espécies pragas, em especial de pulgões, ácaros, moscas-brancas e psíldeos, além de outras pragas de menor tamanho e corpo macio (Obrycki & Kring, 1998, Cardoso & Lazzari 2003, Rodrigues, Agna *et al.* 2013, Silva *et al.* 2013, Santos *et al.* 2016, Lira *et al.* 2019). Assim, as joaninhas são empregadas no controle biológico conservativo, bem como empregadas no controle biológico aplicado (Obrycki *et al.* 2009, Kundoo & Khan 2017).

As joaninhas apresentam desenvolvimento holometábolo, passando pelas fases de ovo, quatro instares larvais, pré-pupa, pupa e adulta. Em alguns casos, o desenvolvimento larval pode ocorrer em três e até cinco instares, dependendo das condições ambientais e da quantidade e qualidade da dieta artificial ou natural ofertada, mas tanto as larvas como os adultos são predadores consumindo grande quantidade de presas (Hodek & Honek 1996, Dreyer *et al.* 1997, Gyenge *et al.* 1998, Cardoso & Lazzari 2003, Pervez & Omkar 2004, Lundgren 2009).

A joaninha predadora, *E. connexa*, é uma espécie associada a diferentes agroecossistemas predando principalmente pulgões, mas sendo considerado um predador polífago, se alimentando de um grande número de insetos-pragas (Gordon 1985). Esta espécie pode consumir ≈60 *Aphis gossypii* Glover e ≈60 *Lipaphis pseudobrassicae* Davis por dia (Ferreira *et al.* 2013, Lira *et al.* 2019); ≈30 *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae), ≈150 *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard (Acari: Tetranychidae) por dia (Sarmiento *et al.* 2007).

As joaninhas apresentam inúmeras espécies de interesse para o controle biológico. No entanto, para a sua conservação nos agroecossistemas são necessários estudos a respeito da seletividade desses indivíduos a determinados inseticidas (Weber & Lundgren 2009). As fases de desenvolvimento mais jovens dos inimigos naturais são mais suscetíveis aos inseticidas que adultos (Schneider *et al.* 2004, Potin *et al.* 2022). Isso pode ser explicado pelo tegumento mais tenro nas fases de larva e ninfas, apresentando uma cutícula com menor teor de quitina, menor capacidade de desintoxicação enzimática e, assim, uma maior suscetibilidade quando comparados aos adultos (Ono *et al.* 2017). Ninfas da tesourinha, *Euborellia annulipes* (Lucas), por exemplo, foram mais suscetíveis aos inseticidas espinetoram e pimetozina que adultos (Potin *et al.* 2022). Fato que justifica a inclusão de ambas as fases imatura e adulta de inimigos naturais, bem como diferentes formas que o inimigo natural terá contato com o inseticida aplicado em campo, especialmente, resíduo seco sobre a superfície tratada e ingestão de presa contaminada (Potin *et al.* 2022).

Estudos de seletividade de inimigos naturais possuem importância para facilitar a recomendação de inseticidas em associação com predadores e parasitoides (Bueno *et al.* 2017). Estudos de seletividade envolvendo a joaninha predadora *E. connexa* são poucos, e de forma geral, é inexistente quando envolvem misturas de inseticidas.

Relevância do estudo

Os agroecossistemas possuem uma diversidade de fauna e flora que são influenciados pelas práticas de cultivo realizadas na agricultura. Uma dessas práticas com impacto sobre os organismos é o uso de inseticidas, que pode ocasionar a evolução e resistências dificultando o controle de pragas (Jiang *et al.* 2015). Por exemplo, o uso indiscriminado de piretroides resulta em incompatibilidade com o controle biológico, favorecendo a ocorrência de pragas, tais como ácaros, pulgões e moscas-branca (Wilson *et al.* 1998, Godfrey *et al.* 2000, Oliveira *et al.* 2001). Dessa forma, a seletividade dos inseticidas deve ser considerada durante a escolha desses para a utilização.

A conservação dos inimigos naturais é de importância para o MIP, pois esses insetos realizam o controle biológico ajudando a manter o nível populacional das pragas abaixo do nível de dano econômico, se constituindo um fator a ser considerado na recomendação de inseticidas. O uso de inseticidas seletivos as pragas, específicos no controle da praga alvo, consiste em uma prática de conservação dos inimigos naturais. Neste contexto, a realização de estudos de seletividade de inseticidas se faz necessária, a fim de se identificar aqueles que são seguros ou que são menos prejudiciais aos inimigos naturais e, assim, viabilizar o controle biológico (Carvalho 2002).

O conhecimento de inseticidas seletivos tem importância para a conservação daqueles naturalmente ocorrendo nos agroecossistemas, bem como para as espécies usadas nas liberações. Como já mencionado, nos agroecossistemas podem ocorrer várias espécies de pragas simultaneamente, e a liberação de um inimigo natural específico requer adoção de táticas de controle para o manejo das demais pragas. Desta forma, a compatibilidade do inimigo natural com inseticidas recomendados tem como objetivo também favorecer o controle biológico aplicado. No presente estudo, a população da joaninha predadora resistente a um inseticida não seletivo, à λ -

cialotrina, foi impactada negativamente quando formulações inseticidas incluem outros inseticidas não seletivos. Formulações com misturas de inseticidas têm-se tornado comum e, entre elas, aquelas de piretroides com neonicotinoides e piretroides com diamidas. As informações sobre a toxicidade dessas misturas em dosagens recomendadas para aplicação são relevantes para a sua utilização e conservação de *E. connexa*, nos agroecossistemas, tanto daquelas liberadas, bem como daquelas naturalmente ocorrendo em campo apresentando resistência à λ -cialotrina (Costa *et al.* 2018), ou não. Assim, o objetivo do trabalho foi estudar os efeitos de misturas comerciais (e seus isolados) de um piretroide (λ -cialotrina) e uma diamida (clorantraniliprole) com neonicotinoides (tiametoxam e dinotefuram) na sobrevivência e em parâmetros biológicos de larvas e adultos da joaninha *E. connexa* resistente a piretroides

Literatura Citada

- AGROFIT, 2022 (Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários).** Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em 02/02/2022.
- Ahmad, M., M.A., Saleem & A. H., Sayyed. 2009.** Efficacy of different insecticide mixtures against pyrethroid and organophosphate resistant populations of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest. Manag. Sci.* 65: 266–274.
- Attique, M.N.R., A. Khaliq & A.H. Sayyed. 2006.** Could resistance to insecticides in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) be overcome by insecticide mixtures? *J. Appl. Entomol.* 130: 122–127.
- Balanza, V., J. E. Mendoza, D. Cifuentes & P. Bielza. 2021.** Selection for resistance to pyrethroids in the predator *Orius laevigatus*. *Pest. Manag. Sci.* 77: 2539–2546.
- Barbosa, P.R.R, J.P. Michaud, A.R.S. Rodrigues & J.B. Torres. 2016.** Dual resistance to lambda-cyhalothrin and dicotophos in *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Chemosphere* 159: 1–9.
- Blümel, S. & M. Gross. 2001.** Effect of pesticide mixtures on the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Phytoseiidae) in the laboratory. *J Appl. Entomol.* 125: 201–205.
- Bueno, A.F., G.A. Carvalho, A.C. Santos, D. R. Sosa-Gómez & D. M. Silva. 2017.** Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research and field recommendation. *Cien. Rural.* 47: 1–10.

- Cardoso, J.T. & S.M.N. Lázari. 2003.** Consumption of *Cinara* spp. (Hemiptera; Aphididae) by *Cycloneda sanguinea* (Linnaeus, 1763) and *Hippodamia convergens* Guérin-Méneville, 1842 (Coleoptera, Coccinellidae). *Rev. Bras. Entomol.* 47: 559–562.
- Carvalho, G.A., C.F. Carvalho, B. Souza, B. & J.L.R. Ulhoa. 2002.** Seletividade de inseticidas a *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae). *Neotrop. Entomol.* 31: 615–621.
- Collier, R., A. Jukes, C. Daniel & M. Hommes. 2016.** Ecological selectivity of pesticides and application methods. *IOBC-WPRS Bull.* 118: 94–98.
- Corbel, V., M. Stankiewicz, J. Bonnet, F. Grolleau, J.M. Hougard & B. Lapied. 2006.** Synergism between insecticides permethrin and propoxur occurs through activation of presynaptic muscarinic negative feedback of acetylcholine release in the insect central nervous system. *Neurotoxicology* 27: 508–519.
- Costa, P.M.G., J.B. Torres, V.M. Rondelli & R. Lira. 2018.** Field-evolved resistance to λ -cyhalothrin in the lady beetle *Eriopis connexa*. *Bull. Entomol. Res.* 108: 380–387.
- Cloyd, R. 2012.** Indirect effects of pesticides on natural enemies, p. 122–140. In R.P. Soundararajan (ed), *Pesticides – advances in chemical and botanical pesticides*. London: IntechOpen Limited, 395p.
- Das, S.K. 2014.** Scope and relevance of using pesticide mixtures in crop protection: a critical review. *Int. J. Environ. Sci. Toxic.* 2: 119–125.
- Dobzhansky, T. 1951.** *Genetics and the origin of species*. 3 ed., New York: Columbia University Press, 364p.
- Dreyer, B.S.P., P. Neuenschwander, B. Bouyjou, J. Baumgärtner & S. Dorn. 1997.** The influence of temperature on the life table of *Hyperaspis notata*. *Entomol. Exp. Appl.* 84: 85–92.
- Ferreira, E.S., A.R.S. Rodrigues, C.S.A. Silva-Torres & J.B. Torres. 2013.** Life-history costs associated with resistance to lambda-cyhalothrin in the predatory ladybird beetle *Eriopis connexa*. *Agric. For. Entomol.* 15: 168–177.
- Fritz, L.L., E. A. Heinrichs, V. Machado, T.F. Andreis, M. Pandolfo, S.M. Salles, J.V. Oliveira & L. M. Fiuza. 2013.** Impact of lambda-cyhalothrin on arthropod natural enemy populations in irrigated rice fields in southern Brazil. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 33: 178–187.
- Godfrey, L., J.A. Rosenheim & P.B. Goodell. 2000.** Cotton aphid emerges as a major pest in SJV cotton. *Calif. Agric.* 54: 26–29.
- Gordon, R.D. 1985.** *The Coccinellidae (Coleoptera) of America North of Mexico*. J.N.Y. *Entomol. Soc.* 93: 1–912.

- Gyenge, J.E., J.D. Edeelstein & C.E Salto. 1998.** Efectos de la temperatura y la dieta en la biología de *Eriopis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae). An. Soc. Entomol. Brasil 27: 345–356.
- Hardman, J. M. D.L. Moreau, M, Snyder, S. O. Gaul & E. D. Bent. 2000.** Performance of a pyrethroid-resistant strain of the predator mite *Typhlodromus pyri* (Acari: Phytoseiidae) under different insecticide regimes. J. Econ. Entomol. 93: 590–604.
- Hassan, S.A. 1989.** Testing methodology and the concept of the IOBC/WPRS Working Group, p. 1–18. In P.C. Jepson (ed.), Pesticides and non-target invertebrates. Wimborne: Intercept, 240p.
- Hassan, S.A. 1994.** Activities of the IOBC/WPRS working group pesticides and beneficial organisms. IOBC/WPRS Bull. 17:1–5.
- Hemingway, J. 2000.** The molecular basis of two contrasting metabolic mechanisms of insecticide resistance. Insect. Biochem. Mol. Biol. 30: 1009–1015.
- Hernández, A.F., F. Gil & M. Lacasaña. 2017.** Toxicological interactions of pesticide mixtures: an update. Arch. Toxicol. 91: 3211–3223.
- Hodek, I. & A. Honek. 2009.** Scale insects, mealybugs, whiteflies and psyllids (Hemiptera, Sternorrhyncha) as prey of ladybirds. Biol. Control 51: 232–243.
- IBAMA, 2021.** Instituto Brasileiro Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Relatório de comercialização dos agrotóxicos. <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. Acessado em 13/02/2023.
- IOBC, 2023.** Organização Internacional de Controle Biológico, disponível em: <https://iobc-wprs.org/expert-group/pesticides-and-beneficial-organisms/>. Acessado em 01/06/2023.
- Jiang, T., S. Wu, T. Yang, C. Zhu & C. Gao. 2015.** Monitoring field populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) for resistance to eight insecticides in China. Fla. Entomol. 98: 65–73.
- Khajehali, J., T. Van leeuwen & L. Tirry, L. 2009.** Susceptibility of an organophosphate resistant strain of the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) to mixtures of bifenazate with organophosphate and carbamate insecticides. Exp. Appl. Acarol. 49: 185–192.
- Kumral, N.A., N.S. Gencer, H. Susurluk & C. Yalcin. 2011.** A comparative evaluation of the susceptibility to insecticides and detoxifying enzyme activities in *Stethorus gilvifrons* (Coleoptera: Coccinellidae) and *Panonychus ulmi* (Acarina: Tetranychidae). Int. J. Acarol. 37: 255–268.
- Kundoo, A.A. & A.A. Khan. 2017.** Coccinellids as biological control agents of soft bodied insects: A review. J. Entomol. Zool. Stud. 5: 1362–1373.

- Lira, R., D.V. Nascimento, J.B. Torres & H.A.A. Siqueira. 2019.** Predation on diamondback moth larvae and aphid by resistant and susceptible lady beetle, *Eriopis connexa*. Neotrop. Entomol. 48: 909–918.
- Lundgren, J.G. 2009.** Nutritional aspects of non-prey foods in the life histories of predaceous Coccinellidae. Biol. Control 51: 294–305.
- Nasir, M., M. Imran & M. Ahmad. 2013.** Pyrethroids synergize new chemical insecticides in field populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Pakistan J. Zool. 45: 629–633.
- Newsom, L.D., R.F. Smith & W.H. Whitcomb. 1976.** Selective pesticides and selective use of pesticides, p. 565–591. In C.B. Huffaker & P.S. Messenger (eds.), Theory and practice of biological control. New York: Academic Press, 788p.
- Obrycki, J.J. & T.J. Kring. 1998.** Predaceous Coccinellidae in biological control. Annu. Rev. Entomol. 43: 295–332.
- Obrycki, J.J., J.D. Harwood, T.J. Kring & R.J. O’Neil. 2009.** Aphidophagy by coccinellidae: application of biological control in agroecosystems. Biol. Control 51: 244–254.
- Oliveira, M. R. V., T. J. Henneberry & P. Anderson. 2001.** History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. Crop Prot. 20: 709–723.
- Ono, E.K., O.Z. Zanardi, K.F.A. Santos & P.T. Yamamoto. 2017.** Susceptibility of *Ceraeochrysa cubana* larvae and adults to six insect growth-regulator insecticides. Chemosphere 168: 49–57.
- Oppenoorth, F.J. 1984.** Biochemistry of insecticide resistance. Pestic. Biochem. Physiol. 22: 187–193.
- Pervez, A. & Omkar. 2004.** Temperature dependent life attributes of an aphidophagous ladybird beetle, *Propylea dissecta* (Mulsant). Biocontrol Sci. Technol. 14: 587–594.
- Potin, D.M., A.V.A. Machado, P.R.R. Barbosa & J.B. Torres. 2022.** Multiple factors mediate insecticide toxicity to a key predator for cotton insect pest management. Ecotoxicol. 31: 490–502.
- Reffstrup, T.K., J. C. Larsen & O. Meyer. 2010.** Risk assessment of mixtures of pesticides. Current approaches and future strategies. Regul. Toxicol. Pharmacol. 56: 174–192.
- Ripper, W.E., R.M. Greenslade & G.S. Hartley. 1951.** Selective insecticides and biological control. J. Econ. Entomol. 44: 448–459.
- Rivers, A.N., C.A. Mullen & M.E. Barbercheck. 2018.** Cover crop species and management influence predatory arthropods and predation in an organically managed, reduced-tillage cropping system. Environ. Entomol. 47: 340–355.

- Rodrigues, A.R.S., J.B. Torres, H.A.A. Siqueira & D.P.A. Lacerda. 2013.** Inheritance of lambda-cyhalothrin resistance in the predator lady beetle *Eriopis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae). *Biol. Control* 64: 217–224.
- Rodrigues, A.R.S., H.A.A. Siqueira & J.B. Torres. 2014.** Enzymes mediating resistance to lambda-cyhalothrin in *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae). *Pestic. Biochem. Physiol.* 110: 36–43.
- Rodrigues, A. S., R. N. C. Guedes, H.A.A. Siqueira & J.B. Torres. 2020.** Stability of the resistance to lambda-cyhalothrin in the ladybird beetle *Eriopis connexa*. *Entomol. Exp. Appl.* 168: 644–652.
- Roseinheim, J.A. 1998.** Higher-order predators and the regulation of insect herbivore populations. *Annu. Rev. Entomol.* 43: 421–447.
- Ruberson, J.R. P. Roberts & J.P. Michaud. 2007.** Pyrethroid resistance in George populations of the predator *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Proc. Beltwide Cotton Conf.* 1: 361–365.
- Santos, E.A., P.M.G. Costa, J.B. Torres & C.S.A. Silva-Torres. 2016.** Use of prey and non-prey food by the ladybird beetle *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae) under laboratory-rearing conditions. *Biocontrol Sci. Technol.* 26: 1184–1196.
- Sarmiento, R.A., A. Pailini, M. Venzon, O.F.F. Souza, A.J. Molina-Rugama & C.L. Oliveira. 2007.** Functional response of the predator *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae) to different prey types. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 50: 121–126.
- Schneider, M.I.G., G. Smagghe, S. Pineda & E. Vinuela. 2004.** Action of insect growth regulator insecticides and spinosad on life history parameters and absorption in third-instar larvae of the endoparasitoid *Hyposoter didymator*. *Biol. Control* 31: 189–198.
- Silva, R.B., I. Cruz, J.C. Zanuncio, M.L.C. Figueiredo, G.C. Canevaru, A.G. Pereira & J.E. Serrão. 2013.** Biological aspects of *Eriopis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae) fed on different insect pests of maize (*Zea mays* L.) and sorghum [*Sorghum bicolor* L. (Moench.)]. *Braz. J. Biol.* 73: 419–424.
- Soares, J.J., A.R.B. Nascimento & M.V. Silva. 2008.** Predadores e parasitoides chaves e seletividade de inseticidas na cultura algodoeira. Campina Grande: Embrapa Algodão, 29p.
- Spíndola, A.F., C.S.A. Silva-Torres, A.R.S. Rodrigues & J.B. Torres. 2013.** Survival and behavioural responses of the predatory ladybird beetle, *Eriopis connexa* populations susceptible and resistant to a pyrethroid insecticide. *Bull. Entomol. Res.* 103: 485–494.
- Taillebois E & S.H. Thany. 2022.** The use of insecticide mixtures containing neonicotinoids as a strategy to limit insect pests: Efficiency and mode of action. *Pestic. Biochem. Physiol.* 184:105126.

- Tang, L.D., B.L. Qiu, A.G. Cuthbertson & S.X Ren. 2015.** Status of insecticide resistance and selection for imidacloprid resistance in the ladybird beetle *Propylaea japonica* (Thunberg). *Pestic. Biochem. Physiol.* 123: 87–92.
- Torres, J. B., A. R.S. Rodrigues, E.M. Barros, D. S. Santos. 2015.** Lambda-Cyhalothrin Resistance in the Lady Beetle *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae) Confers Tolerance to Other Pyrethroids. *J. Econ. Entomol.* 108: 60–68.
- Torres, J. B. & Bueno, A. F. 2018.** Conservation biological control using selective insecticides - a valuable tool for IPM. *Biol. Control* 126: 53–64.
- Viñuela, E., U. Händel & H. Vogt. 1996.** Evaluación en campo de los efectos secundarios de dos plaguicidas de origen botánico, una piretrina natural y un extracto de neem, sobre *Chrysoperla carnea* Steph. (Neuroptera: Chrysopidae). *Bol. Sanid. Veg. Plagas* 22: 97–106.
- Vogt, H. 1994.** Effects of pesticides on *Chrysoperla carnea* Steph. (Neuroptera, Chrysopidae) in the field and comparison with laboratory and semi-field results. *IOBC/WPRS Bull.* 17: 71–82.
- Warnock, D.F. & R. A. Cloyd. 2005.** Effect of pesticide mixtures in controlling western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae). *J. Entomol. Sci.* 40: 54–66.
- Weber, D.C. & J. G. Lundgren. 2009.** Assessing the trophic ecology of the Coccinellidae: their roles as predators and as prey. *Biol. Control* 51: 199–214.
- Wilson, L.J., L.R. Bauer & D.A. Lally. 1998.** Effect of early season insecticide use on predators and outbreaks of spider mites (Acari: Tetranychida) in cotton. *Bull. Entomol. Res.* 88: 477–488.
- Whitcomb, W.H. 1981.** The use of predators in insect control, p. 105-123. In D. Pimentel (ed.), *Handbook of pest management in agriculture*. 1st ed., Boca Raton: CRC Press, 624p.
- WHO. 1957.** Expert committee on insecticides: seventh report. Geneva, Tech. Rep. Ser. 125, 31p.
- WHO. 1960.** Insecticide resistance and vector control. Geneva, Tech. Rep. Ser. 191, 98p.

CAPÍTULO 2

MISTURA DE INSETICIDAS RESULTA EM PERDA DA SELETIVIDADE À λ - CIALOTRINA EM POPULAÇÃO DE JOANINHA RESISTENTE A PIRETROIDE¹

MARIA R. S. SOARES²

²Departamento de Agronomia - Entomologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua
Dom Manoel de Medeiros, 52171-900, Recife, PE, Brasil.

¹Soares, M.R.S. Mistura de inseticidas resulta em perda da seletividade à λ -cialotrina em população de joanina resistente a piretroides. A ser submetido.

RESUMO – A mistura de inseticidas em formulação comercial oferece diferentes modos de ação para o controle de pragas. Contudo, a seletividade aos inimigos naturais pode ser alterada a depender dos inseticidas empregados na formulação. A seletividade fisiológica a piretroides observada em *Eriopsis connexa* (Germar) (EcViR), devido a resistência, foi testada com inseticidas em formulações simples e em mistura. A λ -cialotrina, clorantraniliprole, sulfoxaflor, tiametoxam e dinotefuram, e as respectivas misturas de λ -cialotrina+sulfoxaflor, λ -cialotrina+clorantraniliprole, λ -cialotrina+dinotefuram, λ -cialotrina+tiametoxam e clorantraniliprole+tiametoxam foram estudadas. Larvas e adultos da joaninha com cinco e três dias de idade, respectivamente, foram confinados com resíduo seco dos inseticidas obtidos com a máxima dosagem recomendada pelo fabricante avaliando a sobrevivência e a reprodução. Curvas concentração-mortalidade foram determinadas para larvas e adultos da joaninha empregando os inseticidas em formulação simples e em mistura para aqueles ocasionando mortalidade acima de 40%. A sobrevivência e reprodução de adultos após exposição na fase de larva, bem como aqueles tratados na fase adulta, foram determinados. A formulação de λ -cialotrina ou clorantraniliprole com os neonicotinoides tiametoxam e dinotefuram resultou em perda da seletividade fisiológica. O índice de combinação de inseticidas nas misturas mostrou efeito altamente antagônico dos neonicotinoides usados com a λ -cialotrina e clorantraniliprole. Por outro lado, as formulações de λ -cialotrina+clorantraniliprole e λ -cialotrina+sulfoxaflor permitiram sobrevivência de larvas e adultos de EcViR acima de 80%. Portanto, destaca-se que a seletividade fisiológica de *E. connexa* à λ -cialotrina em é perdida, quando neonicotinoides compõem a formulação com λ -cialotrina.

PALAVRAS-CHAVE: Seletividade de inseticidas, controle biológico conservativo, insetos predadores, manejo integrado de pagas, neonicotinoide, diamida

INSECTICIDE MIXED RESULTS IN LOSS OF SELECTIVITY TO λ -CYHALOTHRIN IN LABYD BEETLE RESISTANT TO PYRETHROIDS

ABSTRACT – Insecticide mixtures offer different modes of action in the same formulation broadening pest species control and mitigating insecticide resistance selection. Nevertheless, the selectivity for natural enemies can be altered depending on the insecticides used in the formulation. In this work, the population of the lady beetle *Eriopis connexa* (Germar), resistant to the broad-spectrum pyrethroid λ -cyhalothrin (EcViR) hence exhibiting physiological selectivity, was exposed to insecticides in single and mixed formulations. The insecticides λ -cyhalothrin, chlorantraniliprole, sulfoxaflor, thiamethoxam, and dinotefuran and their mixtures of λ -cyhalothrin+sulfoxaflor, λ -cyhalothrin+chlorantraniliprole, λ -cyhalothrin+dinotefuran, λ -cyhalothrin+thiamethoxam, and chlorantraniliprole+thiamethoxam were studied. Survival and reproduction were assessed by confining larvae and adults of *E. connexa* at five and three days old, respectively, with dry insecticide residues obtained with the maximum recommended rate. Concentration-mortality curves were also determined for larvae and adults using insecticides causing mortality over 40%. The survival and reproduction of adults surviving the exposure at larval and adult stages were monitored for 30 days. The formulations of λ -cyhalothrin and chlorantraniliprole with thiamethoxam and dinotefuran resulted in the loss of physiological selectivity to λ -cyhalothrin exhibited by EcViR. The combination index, showed a highly antagonistic effect of the neonicotinoids used in formulations with λ -cyhalothrin and chlorantraniliprole. On the other hand, the formulation of λ -cyhalothrin+chlorantraniliprole and λ -cyhalothrin+sulfoxaflor allowed the survival of EcViR larvae and adults above 80%. Therefore, it was clear that the physiological selectivity gained by the resistance to λ -cyhalothrin in *E. connexa* is lost when neonicotinoids are present in the insecticide formulation.

KEY WORDS: Selectivity of insecticides, conservation biological control, predatory insects, integrated pest management, neonicotinoids, diamide

Introdução

Programas de manejo integrado de pragas são favorecidos com a adoção de inseticidas seletivos. A seletividade a um determinado inseticida pode ser obtida através da seletividade ecológica, que se baseia em táticas que visam menor exposição dos inimigos naturais aos inseticidas aplicados, como aplicação em horários em que as temperaturas são menores; e através da seletividade fisiológica, que se baseia na diferença de suscetibilidade entre insetos pragas e inimigos naturais a inseticidas (Pedigo 1999).

A seletividade fisiológica para o inimigo natural pode ser obtida pela resistência aos inseticidas, como ocorre em *Eriopis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae), que apresenta resistência metabólica (Rodrigues *et al.* 2014), selecionada naturalmente a piretroides (Rodrigues *et al.* 2013, Costa *et al.* 2018). Além desta espécie, outras joaninhas apresentam resistência a piretroides, tais como: *Stethorus gilvifrons* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) (Kumral *et al.* 2011) à bifentrina; *Propylaea japonica* (Thunberg) à beta-cipermetrina (Tang *et al.* 2015); e *Hippodamia convergens* Guérin-Meneville (Coleoptera: Coccinellidae) (Barbosa *et al.* 2016), que apresenta dupla resistência a λ -cialotrina e dicrotofós. Esta seletividade obtida pela resistência a inseticidas em inimigos naturais é considerada vantajosa, se considerarmos o potencial para uma associação de métodos de controle objetivando a redução de indivíduos pragas remanescentes após uma pulverização (Spindola *et al.* 2013, Lira *et al.* 2019, Rodrigues *et al.* 2020). No entanto, existe um crescente uso de misturas ou formulações comerciais contendo dois ou mais inseticidas (Cloyd 2011). No Brasil, cerca de 97% dos produtores rurais utilizam misturas comerciais para controle de pragas, doenças e plantas daninhas (Gazziero 2015).

Uma vantagem da utilização de misturas comerciais de inseticidas é mitigar a seleção de para resistência a inseticidas em insetos-pragas (Robertson *et al.* 2007, Madgwick & Kanitz 2023), potencial redução do custo operacional e do número de aplicações (Gazziero 2015), do menor risco

de contaminação aos trabalhadores devido ao menor número de aplicações (Picanço 2021). Por outro lado, o uso de misturas inseticidas pode apresentar algumas limitações, como fitotoxicidez (Cloyd 2011), redução de eficiência quando apresentando um resultado de antagonismo (Hernández *et al.* 2013), e efeito negativo para os inimigos naturais e polinizadores (Lash *et al.* 2007, Taillebois & Thany 2022). Resultados da mistura de piretroides e neonicotinoides variam do efeito antagonista, efeito aditivo ao efeito sinergista, dependendo dos inseticidas usados na mistura (Taillebois & Thany 2022). Portanto, existe uma necessidade de estudos sobre os impactos de misturas comerciais de inseticidas sobre agentes de controle biológico, principalmente para aqueles inimigos naturais. De modo geral, a maioria dos trabalhos de seletividade apresentam resultados focados apenas no inseticida de formulação simples, mesmo sendo aplicado de forma sequencial (Lira *et al.* 2023). Estudos com os inseticidas piriproxifem, cipermetrina, teflubenzurom, acetamiprido, clorfenapir, tiametoxam, metidationa, lunefurom e misturas de piretroide com neonicotinoide não foram compatíveis com a joaninha *E. connexa* (Tavares *et al.* 2010, Fogel *et al.* 2016, 2021, Barros *et al.* 2018, Pasini *et al.* 2021). Enquanto os inseticidas espinetoram, clorantraniliprole, λ -cialotrina, pimetrozina, espinosade mostram ser seletivos e compatíveis com a população de *E. connexa* resistente a piretroides (EcViR) (Barros *et al.* 2018, Costa *et al.* 2020).

Diante disto, neste estudo foi testada a hipótese de que a seletividade fisiológica da joaninha *E. connexa* resistente a piretroides será perdida quando expostas a misturas comerciais de inseticidas contendo outros inseticidas que não os piretroides. Assim, o objetivo do trabalho foi estudar a compatibilidade de misturas comerciais da λ -cialotrina e clorantraniliprole com os neonicotinoides tiametoxam e dinotefuram com larvas e adultos da joaninha *E. connexa*, resistente a piretroides.

Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Controle Biológico, do Departamento de Agronomia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), onde a população da joaninha predadora, *E. connexa*, resistente a piretroides (EcViR) (Rodrigues *et al.* 2013), vem sendo mantida a 135 gerações, sob pressão de seleção de 5 mg/mL de i.a de λ -cialotrina, em grau técnico, e que apresenta uma razão de resistência de 266 vezes para a λ -cialotrina (Nascimento *et al.* 2023).

Criação da joaninha *Eriopis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae). A criação da população resistente (EcViR) foi realizada conforme descrita em Rodrigues *et al.* (2013), sob condições controladas de temperatura (25 ± 2 °C), fotofase de 12h e umidade relativa do ambiente (60-70%), tanto na criação como nos experimentos. Os adultos da joaninha foram criados em gaiolas de acrílico transparente de 50 × 40 × 50 cm (C × L × A), que possuem aberturas laterais circulares de ≈ 10 cm de diâmetro, e fechadas com tecido *voil* para permitir a circulação de ar. Folhas de papel toalha são amassadas e colocadas no interior das gaiolas como substrato para oviposição. As posturas foram coletadas e transferidas para recipientes plásticos de 80mL de volume tipo coletor universal (J. Prolab, São José dos Pinhais, PR). Após a eclosão, as larvas foram criadas na densidade de três larvas por recipiente, onde foram mantidas até a fase adulta. No interior dos recipientes foi colocado pedaços de papel toalha ≈ 4 cm² para absorção de umidade, reduzir o contato e canibalismo entre as larvas e, também, servir de substrato para pupação. Tanto as larvas quanto os adultos foram alimentados com ovos de *Ephestia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) em abundância, adquiridos da empresa PROMIP (Promip Manejo Integrado de Pragas, Engenheiro Coelho, SP). Os adultos receberam uma dieta complementar composta de mel de abelha e levedura de cerveja (50%:50%), bem como pulgão e psíldeo de locais livre de inseticida, quando disponíveis.

Inseticidas. Os inseticidas estudados foram utilizados na formulação comercial simples ou em mistura comercial, aplicados empregando a máxima dosagem e volume de calda recomendada pelo fabricante (Tabela 1). A exposição dos insetos aos inseticidas foi mediante o resíduo seco dos inseticidas obtido pela aplicação 1 mL da calda da solução inseticida ou do tratamento testemunha (espalhante adesivo) no interior de tampas e fundos das placas de vidro (80×15 mm, Diam \times A). A aplicação do inseticida foi realizada com auxílio de um pulverizador Airbrush setTM (Paasche Airsbush Co, Harwood Heights, IL, USA) regulado a 15 lbs/pol (34,47 Pa). Entre a aplicação de cada inseticida, o pulverizador foi lavado com uma solução de hipoclorito 10%. Após a pulverização, as placas foram colocadas em bandejas e deixadas por aproximadamente 2h no interior de uma capela para exaustão de gás NalgonTM 3700 (Nalgon Equipamentos Científicos, Itupeva, SP), para evaporar a calda inseticida.

Toxicidade dos Inseticidas em Formulações Simples e em Misturas para Larvas e Adultos de *Eriopsis connexa* (Exp. #1). Larvas com cinco dias de idade e adultos com três dias de idade de *E. connexa* (EcViR), foram confinados com resíduo seco dos inseticidas durante 48 horas. Ovos de *E. kuehniella* foram ofertados em abundância no interior da placa como alimento. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×11 , consistindo em duas idades da joaninha (larva ou adulto) e 11 tratamentos para cada idade (dez formulações inseticidas e um controle positivo), sendo cada tratamento composto de 10 repetições. Cada repetição foi representada por uma placa de Petri contendo cinco larvas ou cinco adultos ($n = 50$ por tratamento). A avaliação de mortalidade foi realizada colocando os insetos com a parte ventral voltada para cima, e foi considerado morto o indivíduo incapaz de retornar à posição original e caminhar.

A toxicidade aguda foi determinada a partir da avaliação realizada 48 horas, após o confinamento dos insetos sobre o resíduo dos inseticidas. A partir dos dados foi determinada a

porcentagem de sobrevivência para cada repetição, como sendo a sobrevivência do inimigo natural o resultado de interesse para o controle biológico. A toxicidade crônica foi avaliada criando as larvas sobreviventes até a fase adulta, quando foi anotado o número de adultos emergidos. A partir desse resultado foi calculado a porcentagem de sobrevivência real [(nº. de insetos adultos/cinco larvas) *100].

Parâmetros Biológicos dos Insetos Sobreviventes após Exposição aos inseticidas (Exp. #2).

Adultos obtidos do tratamento de larvas com cinco dias de idade, e de adultos com três dias de idade sobreviventes após 48 horas, foram criados e pareados em casais em recipientes de 80 mL, seguindo a metodologia de criação, e observados durante 30 dias para determinar a fecundidade e viabilidade de ovos, além da sobrevivência das fêmeas neste período. As posturas realizadas em papel toalha foram transferidas para placas de Petri e monitoradas durante cinco dias para anotar o número de larvas eclodidas. Quando a fêmea realizava a postura no recipiente de criação, transferia-se o casal para outro recipiente mantendo a postura intacta para avaliar a viabilidade.

Bioensaio para Determinação de Toxicidade (Exp. #3). Este bioensaio foi realizado para os inseticidas que apresentaram resultado de mortalidade (acima de 40%) para larvas ou adultos em função do tratamento controle, no bioensaio de toxicidade para larvas e adultos (Exp.#1). No caso em que a mistura ocasionou mortalidade acima de 40%, curvas de concentração-mortalidade tanto para a formulação em mistura como para a formulação simples de cada inseticida foram necessárias para determinar o índice de combinação.

Os procedimentos de obtenção do resíduo seco, exposição dos insetos e avaliação foram similares aos adotados no estudo de toxicidade para larvas e adultos (Exp. #1). Bioensaios preliminares foram realizados para os inseticidas em formulação simples e em mistura para determinar concentrações ocasionando mortalidades acima de 0% e próximo a 100%. Em seguida, no mínimo cinco concentrações seriais dos inseticidas foram estabelecidas, mais a testemunha,

para a determinação das curvas de concentração-mortalidade. Bioensaios contendo todas as concentrações previamente determinadas para cada formulação simples ou em mistura foram repetidos duas ou mais vezes, conforme sugere o método para ajuste do modelo de Probit, e o número final de insetos testados não seja inferior a 120 indivíduos (Robertson *et al.* 2007).

Para o tratamento com clorantraniliprole, formulação simples, foram testadas concentrações de 100X a dosagem de 3,32 g i.a./L, recomendada de campo (Insetos-pragas) (AGROFIT 2022). Contudo, não foi observada mortalidade suficiente para calcular a curva de concentração-mortalidade e, assim, foi utilizado o valor de 3,32 g i.a./L, referente a máxima dose recomendada, para calcular o índice de combinação quando em mistura com tiametoxam.

Análises dos Dados. Os dados de porcentagem de sobrevivência determinadas 48 horas após o confinamento com o resíduo seco (Exp. #1), fecundidade e viabilidade de ovos para adultos obtidos do tratamento de larvas e adultos foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk; Proc Univariate) e homogeneidade de variância (Bartlett; Proc Anova), sendo a porcentagem de sobrevivência transformada em arcoseno, enquanto a fecundidade e viabilidade de ovos foram transformados em raiz quadrada para atenderem os requisitos da análise de variância (ANOVA). Os resultados de porcentagem de sobrevivência foram submetidos à ANOVA, em esquema fatorial (idade da joaninha e tratamentos) mediante o Proc GLM do SAS (SAS Institute 2002). As médias de porcentagem de sobrevivência (Exp. #1), e de fecundidade (no. de ovos por fêmea) e a viabilidade de ovos (taxa de eclosão de larvas) (Exp. #2), foram comparadas entre as respectivas formulações inseticidas pelo teste de Turkey HSD, empregando correção de Bonferroni ($0,05/n$ médias) para as comparações.

Os dados de mortalidade diária durante 30 dias de avaliação na fase adulta foram utilizados para construir curvas de sobrevivência. O método de Kaplan-Meier foi utilizado para a construção

de curvas de sobrevivência, e submetidas a comparações múltiplas em pares pelo teste Log-Rank ($\alpha = 0,05$) usando o SigmaPlot 12.5 (Systat Software Inc. 2013).

As mortalidades de larvas e adultos de *E. connexa* através de exposição ao resíduo seco dos inseticidas (Exp. #3) foram submetidas à análise de Probit (Finney 1971), empregando o Proc Probit do SAS (SAS Institute 2002), para calcular as concentrações letais (CL_{50} e CL_{90}), e seus respectivos limites de confiança a 95% de probabilidade. O efeito da combinação dos inseticidas nas misturas binárias de inseticidas para larvas e adultos da joaninha foi determinado através do Índice de Combinação das Misturas (ICM) conforme Chou & Talalay (1984), sendo interpretado através de três possíveis resultados: $ICM < 1$, efeito sinergista; $ICM = 1$, efeito aditivo; e $ICB >$ efeito antagônico. Valores de ICM, bem como para o Índice de Redução na Concentração (IRC) para atingir 50% de mortalidade da joaninha, foram calculados empregando o Software Compusyn[®] (Chou & Martin 2007).

Resultados

Toxicidade dos Inseticidas em Formulações Simples e em Misturas para Larvas e Adultos de *Eriopsis connexa* (Exp. #1). A sobrevivência diferiu entre tratamentos para larvas ($F_{10, 99} = 45,77$, $P < 0,0001$) (Fig. 1A) e adultos ($F_{10, 110} = 41,19$, $P < 0,0001$) (Fig. 1C) da população de *E. connexa* resistente à λ -cialotrina (EcViR) após 48 horas de exposição (Fig. 1A e C). Tiametoxam e dinotefuram ocasionaram mortalidade de aproximadamente 100% para larvas de *E. connexa*, demonstrando serem inseticidas altamente tóxicos para larvas. Os inseticidas λ -cialotrina, sulfoxaflor, clorantraniliprole, λ -cialotrina+sulfoxaflor, λ -cialotrina+clorantraniliprole, apresentaram baixa toxicidade para larvas e adultos da joaninha, com sobrevivência média similar a 100% (Fig. 1A-C). Por outro lado, as misturas desses inseticidas com os neonicotinoides resultaram em sobrevivência média entre 20 e 60% para larvas e adultos (Fig. 1A-C).

A sobrevivência real, calculada pela porcentagem de larvas atingindo a fase adulta, foi diferente entre tratamentos ($F_{8, 81} = 42,93$, $P < 0,0001$). As misturas λ -cialotrina+dinotefuram, λ -cialotrina+tiametoxam e clorantraniliprole+tiametoxam permitiram apenas 40, 20 e 16% de larvas chegando a fase adultas respectivamente (Fig. 1B). Além disso, tiametoxam e dinotefuram ocasionaram 100% de mortalidade de larvas após as 48 horas, enquanto nos demais tratamentos foram observadas sobrevivência real variando entre 66% e 92% (Fig. 1B).

Parâmetros Biológicos dos Insetos Sobreviventes após Exposição aos inseticidas (Exp. #2).

A sobrevivência de adultos variou em função dos tratamentos ao longo de 30 dias de avaliação para os indivíduos expostos na fase de larva ($\chi^2 = 24,78$; GL = 8; $P = 0,002$) (Fig. 2A), bem como para aqueles indivíduos expostos, apenas, na fase adulta ($\chi^2 = 55,39$; GL = 10; $P < 0,001$) (Fig. 2B). Larvas expostas aos inseticidas dinotefuram e tiametoxam não sobreviveram até a fase adulta, e assim, não foi possível a continuidade da avaliação de sobrevivência e fecundidade. Nos demais tratamentos de larvas, acompanhados até a fase adulta, apenas clorantraniliprole+tiametoxam reduziu a sobrevivência dos adultos durante os 30 dias de avaliação (Fig. 1A). As joaninhas na fase adulta que tiveram contato com resíduos dos inseticidas tiametoxam e clorantraniliprole+tiametoxam apresentaram menor sobrevivência ao final dos 30 dias de avaliação (Fig. 2B).

O número de ovos ($F_{5, 91} = 1,25$; $P = 0,29$; $F_{5, 100} = 1,37$; $P = 0,24$) e a viabilidade desses ovos ($F_{5, 91} = 1,26$; $P = 0,28$; $F_{5, 100} = 0,69$; $P = 0,63$) produzidos por adultos oriundos de larvas expostas ou da exposição já quando adultos por 30 dias, não diferiram entre os tratamentos clorantraniliprole, λ -cialotrina, sulfoxaflor, λ -cialotrina+sulfoxaflor e λ -cialotrina+clorantraniliprole e testemunha. Os demais tratamentos ocasionaram alta mortalidade dos indivíduos inviabilizando a obtenção de dados referente a produção de ovos e a viabilidade desses (Tabela 2). Ainda, os resultados sugerem que os adultos expostos já na fase adulta tiveram

um melhor desempenho reprodutivo do que os indivíduos expostos aos inseticidas na fase de larva (Tabela 2).

Bioensaio para Determinação de Toxicidade (Exp. #3). Os dados de mortalidade de larvas e adultos de *E. connexa* expostas as misturas comerciais λ -cialotrina+tiametoxam, λ -cialotrina+dinotefuram, clorantraniliprole+tiametoxam e as suas respectivas formulações simples, assumiram o modelo de Probit ($P > 0,05$), permitindo os cálculos das concentrações letais e seus respectivos limites de confiança (Tabela 3). Os inseticidas tiametoxam, seguido de dinotefuram em formulação simples, foram os mais tóxicos (i.e., menores valores da CL_{50}), tanto para larvas quanto para adultos, em comparação aos demais inseticidas. Entre os inseticidas testados em formulação simples, a λ -cialotrina foi menos tóxica para larvas e adultos da joaninha, corroborando a seletividade fisiológica proporcionada pela resistência desta população (EcViR) a piretroides.

Com relação as misturas, clorantraniliprole+tiametoxam foi menos tóxica (i.e., maiores valores de CL_{50}) para larvas e adultos comparado ao tiametoxam, em formulação simples. Por outro lado, λ -cialotrina+dinotefuram foi o menos tóxico (i.e., maior CL_{50}) entre as misturas comerciais para larvas, seguida de λ -cialotrina+tiametoxam, para adultos (Tabela 3).

O Índice de Combinação da Mistura (ICM) indica alto antagonismo (valores $> 1,0$) para todas as misturas estudadas, quanto a toxicidade tanto para larvas quanto para adultos da joaninha (Tabela 4). A potência média (Dm_{50}) de todos os inseticidas foi aumentada resultando em menores valores de Dm_{50} para as misturas (A+B) que para a λ -cialotrina e clorantraniliprole em formulação simples. Isto fica claro pelo índice de redução do inseticida na mistura (IRC), estimado para obter o mesmo nível de mortalidade da joaninha, para todas as misturas (Tabela 4). A redução da concentração da λ -cialotrina na mistura variou de 1,73 a 14,8 vezes para a mistura de λ -cialotrina+dinotefuram com adultos e larvas da joaninha, respectivamente. Entre os neonicotinoides, o IRC variou de 1,68 vezes para o tiametoxam em mistura com o

clorantraniliprole a 25,70 vezes para o dinotefuram em mistura com a λ -cialotrina, ambos observados para larvas (Tabela 4). Fato observado nas linhas de efeito médio da mistura, que se aproximaram mais dos inseticidas supostamente seletivos (LC, λ -cialotrina e CL, clorantraniliprole), que quando usados em formulação simples (Fig. 3), tanto para larvas como os adultos da joaninha. Por outro lado, o IRC na mistura para o clorantraniliprole sugere aumento na sua concentração para obter 50% de mortalidade de larvas e adultos da joaninha.

Discussão

Os inseticidas seletivos para a população EcViR estudada quando misturados com neonicotinoides perderam esta característica de seletividade corroborando a hipótese do estudo. Por outro lado a mistura de λ -cialotrina+sulfoxaflor mostrou ser compatível com a população estudada de *E. connexa*. Poucos estudos abordam a toxicidade de misturas de inseticidas para os inimigos naturais contendo neonicotinoides. Portanto, além do resultado científico, esses resultados possuem caráter prático para o MIP, sobretudo para mostrar que há formulações comerciais contendo misturas de inseticidas compatíveis e não compatíveis com inimigos naturais. Os resultados possuem, entre outros objetivos, auxiliar no processo de seleção de formulações inseticidas mais compatíveis para o manejo de pragas e, assim, adequá-la com os princípios da conservação do inimigo natural em campo, no manejo de rotação de inseticidas e evitar o uso de misturas quando a praga alvo pode ser controlada com formulações simples de inseticidas seletivos. Tiametoxam e dinotefuram são neonicotinoides de segunda e terceira geração (Maienfisch *et al.* 2001, Wakita *et al.* 2003), classificados como inseticidas de largo espectro, sendo amplamente recomendados para o controle de insetos sugadores (Maienfisch *et al.* 2001, Torres *et al.* 2003a, Acda 2007). No Brasil, os neonicotinoides, estão entre os inseticidas mais utilizados, com aproximadamente 20 mil toneladas de ingrediente ativo comercializado por ano (IBAMA, 2021). Contudo, os

neonicotinoides são tóxicos para os inimigos naturais (Barros *et al.* 2018, Cheng *et al.* 2022, Torres *et al.* 2002, 2003b) corroborando os resultados encontrados.

Larvas e adultos de *E. connexa* apresentaram baixa ou nenhuma mortalidade após contato com o resíduo seco de clorantraniliprole, sulfoxaflor, λ -cialotrina, λ -cialotrina+clorantraniliprole, λ -cialotrina+sulfoxaflor corroborando a hipótese da manutenção da seletividade fisiológica para esta população resistente a piretroides (EcViR), quando exposta a λ -cialotrina e a mistura desta com inseticidas seletivos. Contudo, esta seletividade foi perdida quando a λ -cialotrina ou o clorantraniliprole compôs mistura com os inseticidas neonicotinoides dinotefuram e tiametoxam. Ainda, os resultados sugerem que adultos de *E. connexa* sobrevivem mais que larvas expostas aos inseticidas não seletivos tiametoxam, dinotefuram e suas misturas λ -cialotrina+dinotefuram, λ -cialotrina+tiametoxam e clorantraniliprole+tiametoxam. A forma imatura de insetos predadores tem se mostrado mais sensíveis aos inseticidas que a fase adulta (Garzón *et al.* 2015, Santos *et al.* 2017, Potin *et al.* 2022). Os resultados, ainda, demonstram que independente da fase da joaninha, a presença dos neonicotinoides na mistura resultou em efeito antagônico, mesmo quando presente em menor concentração na mistura que na formulação simples. Todos os resultados mostram redução de concentração na mistura para ocasionar mortalidade similar mortalidade, exceto para o clorantraniliprole tanto para larvas como para adultos da joaninha. Os resultados mostram aumento de concentração na mistura com tiametoxam para a obtenção de mesma taxa de mortalidade, demonstrando a sua característica de seletividade, mas que também deve-se considerar que na mistura clorantraniliprole+tiametoxam contém 100g de clorantraniliprole comparado 200 g na formulação simples.

Informações sobre a toxicidade e efeito subletal de misturas com dois ou mais inseticidas nos inimigos naturais são escassos. Apesar de apresentar na sua composição inseticidas seletivos, existe o risco da idade e da espécie do inimigo natural ser afetado por essas misturas. Larvas de último

instar de *Adalia bipunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae) expostas ao resíduo seco de sulfoxaflor, apresentaram alta mortalidade (Garzon *et al.* 2015). As joaninhas *H. convergens*, *Coleomegilla maculata* (DeGeer), *Harmonia axyridis* (Pallas) e *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) submetidas a alimentação com presas tratadas com clorantraniliprole apresentaram efeitos subletais com redução da fecundidade, fertilidade, sobrevivência e tempo de desenvolvimento (Moscardini *et al.* 2015, Oliveira *et al.* 2019, He *et al.* 2019). Contudo, a fecundidade e a fertilidade de *E. connexa* EcViR não apresentou redução nessas características quando expostas aos inseticidas λ -cialotrina, clorantraniliprole, sulfoxaflor, e as formulações contendo as misturas λ -cialotrina+clorantraniliprole e λ -cialotrina+sulfoxaflor. No entanto, a resistência a piretroides desenvolvida pela população EcViR, possui um custo adaptativo (Ferreira *et al.* 2013, D'Ávila *et al.* 2018, Nascimento *et al.* 2023). Assim, é justificável a avaliação dos possíveis efeitos das formulações comerciais contendo mistura de inseticidas com a λ -cialotrina, mesmo quando sendo caracterizados como seletivos e empregados em menor concentração na mistura, que na formulação simples.

Além dos impactos negativos ocasionados para a fase de larva, o efeito da formulação clorantraniliprole+tiametoxam persistiu para adultos oriundos da exposição na fase de larva. Portanto, apesar de clorantraniliprole ser um inseticida seletivo, a presença do tiametoxam reduziu significativamente esta seletividade. Tiametoxam além da toxicidade aguda, apresenta longo efeito residual contra insetos sugadores e predadores zoofitófagos por resíduo seco (Maienfisch *et al.* 2001, Torres *et al.* 2003a, Torres & Ruberson 2004), ou tratamento de sementes (Campos *et al.* 2023). O resíduo prolongado do tiametoxam foi também demonstrada quando afetou a sobrevivência de *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) e *Coccinella undecimpunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae), reduzindo aproximadamente em 70% a população de ambos os inimigos naturais, após 21 dias da pulverização (Gaber *et al.* 2015).

A conservação do inimigo natural nos agroecossistemas por meio da seletividade fisiológica, obtida pela resistência ao inseticida, é esperado que o inimigo natural desempenha importante mortalidade sobre indivíduos pragas remanescentes após a aplicação do inseticida, para o qual o inimigo natural é resistente (Svobodová *et al.* 2017, Torres & Bueno 2018, Rodrigues *et al.* 2020). No modelo biológico estudado, a joaninha predadora *E. connexa* é resistente à λ -cialotrina, mas após exposição ao resíduo seco das formulações contendo as misturas de λ -cialotrina+tiametoxam e λ -cialotrina+dinotefuram apresentou alta mortalidade. Isso demonstra, que apesar de resistente à λ -cialotrina, a joaninha apresentou baixa sobrevivência as misturas contendo neonicotinoide. Barros *et al.* (2018), Machado *et al.* (2019) e Pasini *et al.* (2021) encontraram baixa seletividade da formulação contendo a mistura de λ -cialotrina+tiametoxam para inimigos naturais. Além disso, Pasini *et al.* (2021) demonstraram o impacto negativo da mistura λ -cialotrina+tiametoxam na sobrevivência, fecundidade e fertilidade de *E. connexa* suscetível a λ -cialotrina, durante 31 dias após aplicação. Portanto, o uso de formulações de inseticidas em mistura deve ser realizado de forma racional, considerando não apenas a eficiência contra a praga, mas também a conservação dos inimigos naturais, recomendando inseticidas com baixo impacto em organismos benéficos, como clorraniliprole (Machado *et al.* 2019, Radrigan-Navarro *et al.* 2021) e sulfoxaflor (Tran *et al.* 2016, Colares *et al.* 2017).

As diamidas, como o clorraniliprole, apresentam modo de ação atuando nos receptores de rianodina, provocando uma perda de ions de cálcio acarretando a morte do inseto (Cui *et al.* 2016, Bai *et al.* 2018). Devido a sua baixa toxicidade aos inimigos naturais e riscos a mamíferos, as diamidas estão substituindo outras classes de inseticidas de maior potencial de risco, como por exemplo os neonicotinoides (Schmidt-Jeffris & Nault 2016). Já as sulfoxaminas como sulfoxaflor são inseticidas que atuam no sistema nervoso dos insetos, possuem modo de ação próximo aos neonicotinoides sendo eficientes contra insetos sugadores (IRAC 2023). Embora possua

similaridade com neonicotinoides, as sulfoxaminas possuem relações estrutura-atividade única em comparação com outros inseticidas (Sparks *et al.* 2013). Apesar desta semelhança, os resultados confirmam a seletividade desse inseticida devido a baixa mortalidade ocasionada em formulações simples ou em misturas para a joaninha EcViR, assim como para outros predadores (Tran *et al.* 2016, Prabhaker *et al.* 2017, Aita *et al.* 2020), e outras joaninhas (Colares *et al.* 2017, He *et al.* 2020). Desse modo, o sulfoxalfor em formulação comercial simples ou em misturas com outros inseticidas, também seletivos, torna-se uma opção para o manejo de pragas sugadoras.

De modo geral, considerando a toxicidade dos inseticidas avaliados no experimento de determinação da toxicidade, os inseticidas neonicotinoides em formulação simples foram mais tóxicos para *E. connexa* EcViR, em comparação as misturas. Isto acontece devido a menor concentração desses na composição da formulação em mistura (Attique *et al.* 2006). A joaninha estudada apresenta resistência à λ -cialotrina, que se destaca com 36 formulações comerciais para recomendação no Brasil (AGROFIT 2022), sendo o segundo piretroide mais usado, perdendo apenas para a bifentrina (IBAMA 2021). Dessa forma, um inimigo natural resistente pode ser uma ferramenta praticada dentro do MIP. As misturas de λ -cialotrina com clorantraniliprole e sulfoxaflor podem ser recomendadas nestas condições, enquanto que a presença dos neonicotinoides estudados na mistura resultaram em perda da seletividade.

Além de avaliar os efeitos letais dos inseticidas em inimigos naturais, deve-se levar em consideração os efeitos residuais, pois essas informações serão úteis para estimar a persistência dessas substâncias, permitindo entender melhor a resposta de uma população de inimigos naturais (Carvalho *et al.* 2019). A redução da sobrevivência e do desempenho reprodutivo são as características mais afetadas pela ação residual dos inseticidas (Cloyd 2012). No entanto, considera-se aceitável um inseticida que cause 50% de mortalidade em populações de inimigos naturais, desde que não acarrete efeitos subletais (Serrão *et al.* 2022). Desse modo, a partir dos

resultados obtidos, a associação do controle biológico com o controle químico através de misturas de inseticidas se mostra promissor para aquelas misturas contendo inseticidas seletivos, ou no caso de predadores e parasitoides resistentes a inseticidas, demonstraram serem seguros a população EcViR de *E. connexa* estudada.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa, aos membros avaliadores da banca pelas correções e sugestões.

Literatura Citada

- AGROFIT, 2022 (Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários).** Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em 02/02/2022.
- Alda, M.N. 2007.** Toxicity of thiamethoxam against Philippine subterranean termites. *J. Insect Sci.* 7: 1–6.
- Aita, R.C., A. K. Tran & R. L. Koch. 2020.** Susceptibility of First Instar *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae) and *Chrysoperla rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae) to the Inseticida Sulfoxaflor. *Fla. Entomol.* 103: 191–196.
- Attique, M.N.R., A. Khaliq & A.H. Sayyed. 2006.** Could resistance to insecticides in *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) be overcome by insecticide mixtures? *J. Appl. Entomol.* 130: 122–127.
- Bai, Y.L. 2018.** The rapid growth of the diamide pesticide market has reached nearly 2 billion US dollars. *Pestic. Market News* 20: 27–29.
- Barbosa, P.R.R., J.P. Michaud, A.R.S. Rodrigues, J.B. Torres. 2016.** Dual resistance to lambda-cyhalothrin and dicofol in *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Chemosphere* 159: 1–9.
- Barros, E.M., C.S.A. Silva-Torres, C.S.A., G. Rolim & J.B. Torres. 2018.** Short-term toxicity of insecticides residues to key predators and parasitoids for pest management in cotton. *Phytoparasitica* 46: 391–404.
- Campos, K.L., C.S.Bastos, R.V. Sequeira & J.B. Torres. 2023.** Systemic insecticides in cotton plants: seed treatment, protection against early-season sucking insects, and their ecological

selectivity with predatory insects of different feeding habits. *Arthrop. Pl. Inter.* <https://doi.org/10.1007/s11829-023-09981-w>.

- Carvalho, G.A., A. D. Grützmacher, L.C. Passos, R.L. Oliveira. 2019.** Physiological and ecological selectivity of pesticides for natural enemies of insects, p. 469–478. In B. Souza, L. Vázquez & R. Marucci (eds.), *Natural enemies of insect pests in neotropical agroecosystems*. Amsterdam: Springer, 546p.
- Cheng, S., C. Yu, M. Xue, X. Wang, L. Chen, D. Nie, N. Zhang, J. Zhang, Y. Hou & R. Lin. 2022.** Toxicity and risk assessment of nine pesticides on nontarget natural predator *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Pest Manag. Sci.* 78: 5124–5132.
- Chou, T.C. & P. Talalay. 1984.** Quantitative analysis of dose–effect relationships: the combined effects of multiple drugs or enzyme inhibitors. *Adv. Enz. Regul.* 22: 27–55.
- Chou, T.C. & N. Martin. 2007.** CompuSyn software for drug combinations and for general dose effect analysis, and user’s guide. ComboSyn, Inc. Paramus.
- Costa, P.M.G., J.B. Torres, V.M. Rondelli & R. Lira. 2018.** Field-evolved resistance to λ -cyhalothrin in the lady beetle *Eriopis connexa*. *Bull. Entomol. Res.* 108: 380–387.
- Costa, P.M.G., R.L. Santos, D.V Nascimento & J.B. Torres. 2020.** Does spinetoram pose low risk to the neotropical lady beetle *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae)? *Phytoparasitica* 48: 491–499.
- Colares, F., J.P. Michaud, C. L. Bain & J. B. Torres. 2017.** Relative toxicity of two aphicides to *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae): implications for integrated management of sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol.* 110: 52–58.
- Cui, F., T. Chai, L. Qian & C. Wang. 2016.** Effects of three diamides (chlorantraniliprole, cyantraniliprole and flubendiamide) on life history, embryonic development and oxidative stress biomarkers of *Daphnia magna*. *Chemosphere* 169: 107–116.
- Cloyd, R.A. 2011.** Pesticide mixtures, p. 69–80. In Stoytcheva M. (ed.), *Pesticides - formulations, effects, fate*. London: IntechOpen, 809p.
- Cloyd, R. 2012.** Indirect effects of pesticides on natural enemies, p. 122–140. In R.P. Soundararajan (ed.), *Pesticides – advances in chemical and botanical pesticides*. London: IntechOpen, 395p.
- D’Ávila, V.A., W.F. Barbosa, I.C. Reis, B.S. Gallardo, J.B. Torres & R.NC. Guedes. 2018.** Lambda–cyhalothrin exposure, mating behavior and reproductive output of pyrethroid-susceptible and resistant lady beetles (*Eriopis connexa*). *Crop Prot.* 107: 41– 47.

- Ferreira, E.S., A.R.S. Rodrigues, C.S.A. Silva-Torres & J.B. Torres. 2013.** Life-history costs associated with resistance to lambda-cyhalothrin in the predatory ladybird beetle *Eriopis connexa*. *Agric. For. Entomol.* 15: 168–177.
- Fogel, M.N., A.C. Scorsetti, G. Minardi & M.I. Schneider. 2021.** Toxicity assessment of two IGR insecticides on eggs and larvae of the ladybird *Eriopis connexa*. *Pest Manag. Sci.* 79: 1316–1323.
- Fogel, M.N., M. I.Schneider, F.Rimoldi, L. Ladux, N. Desneux & A. Ronco. 2016.** Toxicity assessment of four insecticides with different modes of action on pupae and adults of *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae), a relevant predator of the Neotropical Region. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23:14918–14926.
- Gaber, A.S., A.A. Abd-Ella, G.H. Abou-Elhagag, Y.A. Abdel-Rahman. 2015.** Field efficiency and selectivity effects of selected insecticides on cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididea) and its predators. *J. Phytopathol. Pest. Manag.* 2: 2–35.
- Garzón, A., P. Medina, F. Amor, E. Viñuela & F. Budia. 2015.** Toxicity and sublethal effects of six insecticides to last instar larvae and adults of the biocontrol agents *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Adalia bipunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae). *Chemosphere* 132: 87–93.
- Gazziero, D.L.P. 2015.** Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. *Pl. Dan.* 33: 83–92.
- Hernández, A.F., T. Parrón, A.M. Tsatsakis, M. Requena, R. Alarcón & O. López-Guarnido. 2013.** Toxic effects of pesticide mixtures at a molecular level: their relevance to human health. *Toxicology* 307: 136–145.
- He, F., S. Sun, H. Tan, X. Sun, D. Shang, C. Yao, C. Qin, S. Ji, X. Li, J. Zhang & X. Jiang. 2019.** Compatibility of chlorantraniliprole with the generalist predator *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) based toxicity, life-cycle development and population parameters in laboratory microcosms. *Chemosphere* 225: 182–190.
- He, F., S. Sun, L. He, C. Qin, X. Li, J. Zhang, & X. Jiang. 2020.** Responses of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) to sulfoxaflor exposure. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 187: 109849.
- IBAMA. 2021.** Instituto Brasileiro Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Relatório de Comercialização dos Agrotóxicos. <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. (Acessado em: 13/02/2023).
- IRAC, 2023.** Comitê de ação à resistência a inseticidas. <https://www.irac-br.org/modo-de-acao>. (Acessado em 13/02/2023).

- Kumral, N.A., N. S. Gencer, H. Susurluk & C. Yalcin. 2011.** A comparative evaluation of the susceptibility to insecticides and detoxifying enzyme activities in *Stethorus gilvifrons* (Coleoptera: Coccinellidae) and *Panonychus ulmi* (Acarina: Tetranychidae). *Int. J. Acarol.* 37: 255–268.
- Lash, H.E., D. F. Warnock, R.A. Cloyd. 2007.** Effect of pesticide mixtures on the survival of the predatory mite *Neoseiulus cucumeris* (Acarina: Phytoseiidae). *J. Entomol. Sci.* 42: 311–319.
- Lira, R., D.V. Nascimento, J.B. Torres & H.A.A. Siqueira. 2019.** Predation on diamondback moth larvae and aphid by resistant and susceptible lady beetle, *Eriopis connexa*. *Neotrop. Entomol.* 48: 909–918.
- Lira, R., E. K. S. Ferreira, P. R. R. Barbosa, A. M. Simmons & J. B. Torres. 2023.** Performance of the lady beetle *Eriopis connexa* to sequential exposure to selective insecticides prevailed over its pyrethroid resistance. *BioControl*. <https://doi.org/10.1007/s10526-023-10180-y>.
- Machado, A.V.A., D.M. Potin, J.B. Torres & C.S.A. Silva Torres. 2019.** Selective insecticides secure natural enemies action in cotton pest management. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 184: 109669.
- Madgwick, P.G. & R. Kanitz. 2023.** Beyond redundant kill: A fundamental explanation of how insecticide mixtures work for resistance management. *Pest Manag. Sci.* 79: 495–506.
- Maienfisch, P., H. Huerlimann, A. Rindlisbacher, L. Gsell, H. Dettwiler, J. Haettenschwile & M. Walti. 2001.** The discovery of thiamethoxam: a second-generation neonicotinoid. *Pest Manag. Sci.* 57:165–176.
- Moscardini, V.F., P.C. Gontijo, J.P. Michaud & G.A. Carvalho. 2015.** Sublethal effects of insecticide seed treatments on two nearctic lady beetles (Coleoptera: Coccinellidae). *Ecotoxicology* 24:1152–1161.
- Nascimento, D. V., R. Lira & J.B. Torres. 2023.** Heterosis and reselection for pyrethroid resistance trait maintenance in the lady beetle *Eriopis connexa* (Germar). *Ann. Appl. Biol.* <https://doi.org/10.1111/aab.12839>.
- Oliveira, R. L., P. C. Gontijo, R. R. Sâmia & G. A. Carvalho 2019.** Long-term effects of chlorantraniliprole reduced risk insecticide applied as seed treatment on lady beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Chemosphere* 219: 678–683.
- Pasini, R.A., M. Rakes, R. V. Castilhos, F. S. Armas F, J. B. Pazini, R. Zantedeschi R & A. D. Grützmacher. 2021.** Residual action of five insecticides on larvae and adults of the neotropical predators *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae) and *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae). *Ecotoxicology* 30: 44–56.

- Pedigo, L.P. 1999.** Entomology and pest management. New York, Macmillan, 691p.
- Picanço, M.C., M.C. Lopes & G.A Silva. 2021.** Tópicos de manejo integrado de pragas. Viçosa: Editora UFV, 338 p.
- Potin, D.M., A.V.A. Machado, P.R.R. Barbosa & J.B. Torres. 2022.** Multiple factors mediate insecticide toxicity to a key predator for cotton insect pest management. *Ecotoxicol.* 31: 490–502.
- Prabhaker, N., S. Naranjo, T. Perring & S. Castle. 2017.** Comparative toxicities of newer and conventional insecticides against four generalist predator species. *J. Econ. Entomol.* 110: 2630–2636.
- Radrigán-Navarro, C., E. H. Beers, A. Alvear & E. Fuentes-Contreras. 2021.** Acute toxicity of lethal and sublethal concentrations of neonicotinoid, insect growth regulator and diamide insecticides on natural enemies of the woolly apple aphid and the obscure mealybug. *Chil. J. Agric. Res.* 81:398–407.
- Robertson, J.L., R.M. Russel, H.K. Preisler & E. Savin. 2007.** Bioassay with Arthropods. 2ed. Boca Raton: CRC, 212p.
- Rodrigues, A.R.S., J.B. Torres, H.A.A. Siqueira & D.P.A. Lacerda. 2013.** Inheritance of lambda-cyhalothrin resistance in the predator lady beetle *Eriopis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae) *Biol. Control* 64: 217–224.
- Rodrigues, A.R.S., H.A.A. Siqueira & J.B. Torres. 2014.** Enzymes mediating resistance to lambda-cyhalothrin in *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae). *Pestic. Biochem. Physiol.* 110: 36–43.
- Rodrigues, A.S., R.N.C. Guedes, H.A.A. Siqueira, J.B. Torres. 2020.** Stability of the resistance to lambda-cyhalothrin in the ladybird beetle *Eriopis connexa*. *Entomol. Exp. Appl.* 168: 644–652.
- Santos, K.F.A., O.Z. Zanardi, M.R. Morais, C.R.O. Jacob, M.B. Oliveira & P.T. Yamamoto. 2017.** The impact of six insecticides commonly used in control of agricultural pests on the generalist predator *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Chemosphere* 186: 218–226.
- SAS Institute. 2002.** SAS/STAT user's guide, release 9.0. Cary, NC: SAS Inst.
- Schmidt-Jeffris, R.A. & B.A. Nault. 2016.** Anthranilic Diamide Insecticides Delivered via Multiple Approaches to Control Vegetable Pests: A Case Study in Snap Bean. *J. Econ. Entomol.* 109: 2479–2488.
- Serrão, J.E., A. Plata-Rueda, L. C. Martínez & J. C. Zanuncio. 2022.** Side-effects of pesticides on non-target insects in agriculture: a mini-review. *Sci. Nat.* 109, 17. <https://doi.org/10.1007/s00114-022-01788-8>

- Sparks, T.C., G. B. Watson, M. R. Loso, C. Geng, J. M. Babcock & J. D. Thomas. 2013.** Sulfoxaflor and the sulfoximine insecticides: Chemistry, mode of action and basis for efficacy on resistant insects. *Pestic. Biochem. Physiol.* 107: 1–7.
- Spíndola, A.F., C.S.A. Silva-Torres, A.R.S. Rodrigues & J.B. Torres. 2013.** Survival and behavioural responses of the predatory ladybird beetle, *Eriopis connexa* populations susceptible and resistant to a pyrethroid insecticide. *Bull. Entomol. Res.* 103: 485-494.
- Svobodová, Z., E.C. Burkness, H. O. Skoková & W.D. Hutchison. 2017.** Predator preference for Bt-fed *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) prey: implications for insect resistance management in Bt maize seed blends. *J. Econ. Entomol.* 110:1317–1325.
- Systat Software Inc. 2013.** SigmaPlot versão 12.5. Palo Alto, CA, Systat Softw. Inc.
- Taillebois E & S.H. Thany. 2022.** The use of insecticide mixtures containing neonicotinoids as a strategy to limit insect pests: Efficiency and mode of action. *Pestic. Biochem. Physiol.* 184:105126.
- Tang, L., B. Qiu, A. G.S. Cuthbertson & S.X. Ren. 2015.** Status of insecticide resistance and selection for imidacloprid resistance in the ladybird beetle *Propylaea japonica* (Thunberg), *Pestic. Biochem. Phys.*123: 87–92.
- Tavares, W.S., A. C. Mariana, I. Cruz, R. D. Silveira, J. E. Serrão & J. C. Zanuncio.2010.** Selective effects of natural and synthetic insecticides on mortality of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its predator *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae), *J. Environ. Sci. Health B.* 45: 557–561.
- Torres, J. B., C.S.A. Silva-Torres, M.R. Silva & J.F. Ferreira. 2002.** Compatibilidade de inseticidas e acaricidas com o percevejo predador *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) em algodoeiro. *Neotrop. Entomol.* 31: 311–317.
- Torres, J.B., C.S.A. Silva-Torres & R. Barros. 2003a.** Relative effects of Insecticides Thiamethoxam on the predator *Podisus migrispinus* and the Tobacco White fly *Bemisia tabaci* in nectaried and nectariless cotton. *Pest Manag. Sci.* 59: 315– 323.
- Torres, J. B., C. S. A. Silva-Torres, & J.V. Oliveira. 2003b.** Toxicity of pymetrozine and thiamethoxam to *Aphelinus gossypii* and *Delphastus pusillus*. *Pesqu. Agropec. Bras.* 38: 459–466.
- Torres, J.B. & J.R. Ruberson. 2004.** Toxicity of thiamethoxam and imidacloprid to *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) nymphs associated to aphid and whitefly control in cotton. *Neotrop. Entomol.* 33: 99–106.
- Torres, J. B. & Bueno, A. F. 2018.** Conservation biological control using selective insecticides - a valuable tool for IPM. *Biol. Control* 126: 53–64.

Tran, A.K, T.M. Alves & R.L Koch. 2016. Potential for sulfoxaflor to improve conservation biological control of *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) in Soybean. J. Econ. Entomol. 109: 2105–2114.

Wakita, T., K. Kinoshita, E. Yamada, N. Yasui, N. Kawahara, A. Naoi, M. Nakaya, K. Ebihara, H. Matsuno & K. Kodaka. 2003. The discovery of dinotefuran: a novel neonicotinoid. Pest. Manag. Sci. 59: 10165–1022.

Tabela 1. Inseticidas com suas respectivas formulações, máxima dosagem recomendada para a praga alvo e respectivo agroecossistema (AGROFIT 2022).

Inseticidas	Concentração na formulação (g i.a.)	Formulação comercial	Recomendação (g i.a./ha) ¹	Praga alvo (Algodão/soja) ¹
λ-cialotrina	50	Karate Zeon [®]	20	Cv, Agg, Aa, Pg
Clorantraniliprole	200	Prêmio [®]	30	Aa, El, Cv, Ha, Sf
Dinotefuram	200	Dinno [®]	200	Eh, Nv, Pg
Sulfoxaflor	240	Closer [®]	14,4	Ag, Bt
Tiametoxam	250	Actara [®]	50	Ag, Bt, Fs
λ-cialotrina+Dinotefuram	48+84	Zeus [®]	24+42	Eh, Pg, Bt (Soja)
λ-cialotrina+Sulfoxaflor	150+100	Expedition [®]	45+30	Eh, Pg, Nv
λ-cialotrina+Clorantraniliprole	50+100	Ampligo [®]	20+40	Agg, Sf, Ha, Hz, Ag, Ci
λ-cialotrina+Tiametoxam	141+106	Engeo pleno [®]	32,25+26,5	Agg, Ag
Clorantraniliprole+Tiametoxam	100+200	Voliam Flexi [®]	25+50	Ag, Agg, Sf

¹Máxima dosagem recomendada referente a praga alvo (AGROFIT 2022); Aa, *Alabama argillacea*; Ag, *Aphis gossypii*; Agg, *Anthonomus grandis grandis*; Bt, *Bemisia tabaci*; Cv, *Chloridea virescens*; Pg, *Pectinophora gossypiella*; Elasmopalpus lignosellus; Ha, *Helicoverpa armigera*; Sf, *Spodopera frugiperda*; Eh, *Euschistus heros*; PG, *Piezodorus guildini*; Fs, *Frankliniella shultzei*; Nv, *Nezara viridula*; Hz, *Helicoverpa zea*; Ag, *Anticarsia gemmatalis*; Ci, *Chrysodeixis includens*.

Tabela 2. Média (\pm EP) do número de ovos e viabilidade de ovos de *Eriopsis connexa*, resistente à λ -cialotrina (EcViR), avaliadas durante 30 dias na fase adulta após exposição durante as fases de larva ou adulta (n = número de casais avaliados por tratamento).

Tratamentos	n	No. de ovos/♀	Viabilidade de ovos (%)
Exposição de larvas aos 3 dias de idade		$F_{5, 91} = 1,25, P = 0,29$	$F_{5, 91} = 1,26, P = 0,28$
Testemunha	17	$83,4 \pm 16,07$	$33,1 \pm 5,18$
λ -cialotrina	18	$93,6 \pm 7,65$	$37,6 \pm 3,53$
Clorantraniliprole	15	$101,7 \pm 18,58$	$36,4 \pm 3,54$
Sulfoxaflor	16	$101,8 \pm 18,76$	$25,8 \pm 4,11$
λ -cialotrina+Sulfoxaflor	16	$161,3 \pm 25,05$	$32,6 \pm 3,53$
λ -cialotrina+Clorantraniliprole	15	$118,7 \pm 24,66$	$26,5 \pm 5,08$
Exposição de adultos aos 5 dias de idade		$F_{5, 100} = 1,37; P = 0,24$	$F_{5, 100} = 0,69; P = 0,63$
Testemunha	21	$112,4 \pm 14,29$	$37,0 \pm 3,99$
λ -cialotrina	18	$129,5 \pm 24,82$	$27,4 \pm 4,67$
Clorantraniliprole	17	$195,6 \pm 28,02$	$32,0 \pm 3,57$
Sulfoxaflor	17	$118,5 \pm 21,32$	$32,8 \pm 3,54$
λ -cialotrina+Sulfoxaflor	18	$192,5 \pm 35,65$	$31,5 \pm 4,15$
λ -cialotrina+Clorantraniliprole	15	$148,9 \pm 30,55$	$35,4 \pm 4,76$

Tabela 3. Toxicidade de diferentes inseticidas em formulação simples e em misturas que ocasionaram mortalidade significativa quando aplicado na dosagem recomendada para larvas e adultos de *Eriopsis connexa* com três dias de idade após contato com resíduo seco do inseticida em superfície inerte.

Inseticidas	Porcentagem na formulação (i.a.)	N	GL	Inclinação (\pm EP)	CL ₅₀ ¹ (I.C. 95%)	CL ₉₀ ¹ (I.C. 95%)	χ^2 Valor P
Larvas							
λ -cialotrina	100	180	8	0,73 \pm 0,13	161,63 (86,86 - 385,72)	8691 (2180 - 150397)	5,88 ^{0,66}
Dinotefuram	100	120	5	2,08 \pm 0,21	0,02 (0,016 - 0,03)	0,093 (0,06 - 0,17)	3,80 ^{0,57}
Tiametoxam	100	165	4	1,37 \pm 0,25	0,004 (0,002 - 0,006)	0,036 (0,02 - 0,08)	5,85 ^{0,21}
Clorantraniliprole ²	100	200	-	-	-	-	-
λ -cialotrina+Dinotefuram	36,3+63,6	140	5	1,01 \pm 0,21	44,49 (25,11 - 120,97)	818,09 (236,76 - 13752,0)	5,70 ^{0,33}
λ -cialotrina+Tiametoxam	57,1+42,9	120	4	0,50 \pm 0,24	1,13 (3,44 - 4,14)	406,19 (53,81 - 2,21 ³⁰)	2,50 ^{0,64}
Clorantraniliprole+Tiametoxam	33,3+66,7	195	4	1,47 \pm 0,25	1,84 (0,99 - 2,72)	13,57 (8,86 - 27,87)	5,54 ^{0,23}
Adultos							
λ -cialotrina	100	140	5	0,50 \pm 0,22	582,69 (204,15 - 20,33)	159062,0 (8934 - 5,49 ²⁰)	8,86 ^{0,11}
Dinotefuram	100	120	4	0,93 \pm 0,14	0,01 (0,008 - 0,03)	0,40 (0,17 - 1,52)	7,30 ^{0,12}
Tiametoxam	100	130	5	1,20 \pm 0,70	0,0008 (0,00017 - 0,001)	0,009 (0,005 - 0,02)	2,04 ^{0,84}
Clorantraniliprole ²	100	200	-	-	-	-	-
λ -cialotrina+Dinotefuram	36,3+63,6	120	4	1,06 \pm 0,26	3,98 (1,09 - 7,20)	63,21 (30,76 - 383,70)	6,35 ^{0,17}
λ -cialotrina+Tiametoxam	57,1+42,9	122	5	1,38 \pm 0,27	15,0 (10,00 - 25,00)	125,49 (57,65 - 652,29)	6,34 ^{0,27}
Clorantraniliprole+Tiametoxam	33,3+66,7	120	5	2,87 \pm 0,62	1,25 (0,83 - 1,63)	3,49 (2,54 - 6,62)	5,32 ^{0,37}

¹Concentrações letais em g i.a./L e respectivos intervalos de confiança a 95% de probabilidade; ²Concentrações testadas (3,32 g i.a./L) sem mortalidade para cálculo de CL.

Tabela 4. Dose média para 50% de mortalidade, índice de combinação das misturas (ICM) e índice de redução da concentração (IRC) de inseticidas usados nas misturas para larvas e adultos de *Eriopsis connexa*, resistente à λ -cialotrina, para à obtenção de mesma mortalidade (50%).

Mistura de inseticidas (A+B)	Proporção na mistura	Dm ₅₀ ²		Dm ₅₀ ² A+B	ICM ³	IRC	
		A	B			A	B
Larvas							
λ -cialotrina+Dinotefuram	1,00 : 1,75	89,34	0,022	40,81	1192,99 ± 409,46	6,02	0,00085
λ -cialotrina+Tiametoxam	1,33 : 1,00	89,37	0,0099	1,104	101,13 ± 25,74	41,81	0,0047
Clorantraniliprole ¹ +Tiametoxam	1,00 : 2,00	5,29	0,00546	2,169	265,1 ± 23,24	7,31	0,0038
Adultos							
λ -cialotrina+Dinotefuram	1,00 : 1,75	295,30	0,013	4,77	229,69 ± 44,79	170,41	0,00435
λ -cialotrina+Tiametoxam	1,33 : 1,00	295,30	0,0023	11,60	2186,73 ± 11,60	44,60	0,00045
Clorantraniliprole+Tiametoxam	1,00 : 2,00	6,95	0,00228	1,07	313,78 ± 21,97	19,47	0,00321

¹Considerado a maior dosagem recomendada (3,32 g i.a./L).

²Potência média 50% de cada inseticida ou da combinação dos inseticidas na mistura.

³ICM < 1,0 indica efeito sinergista; ICM = 1 efeito aditivo; e ICM > 1,0 significa efeito antagonista.

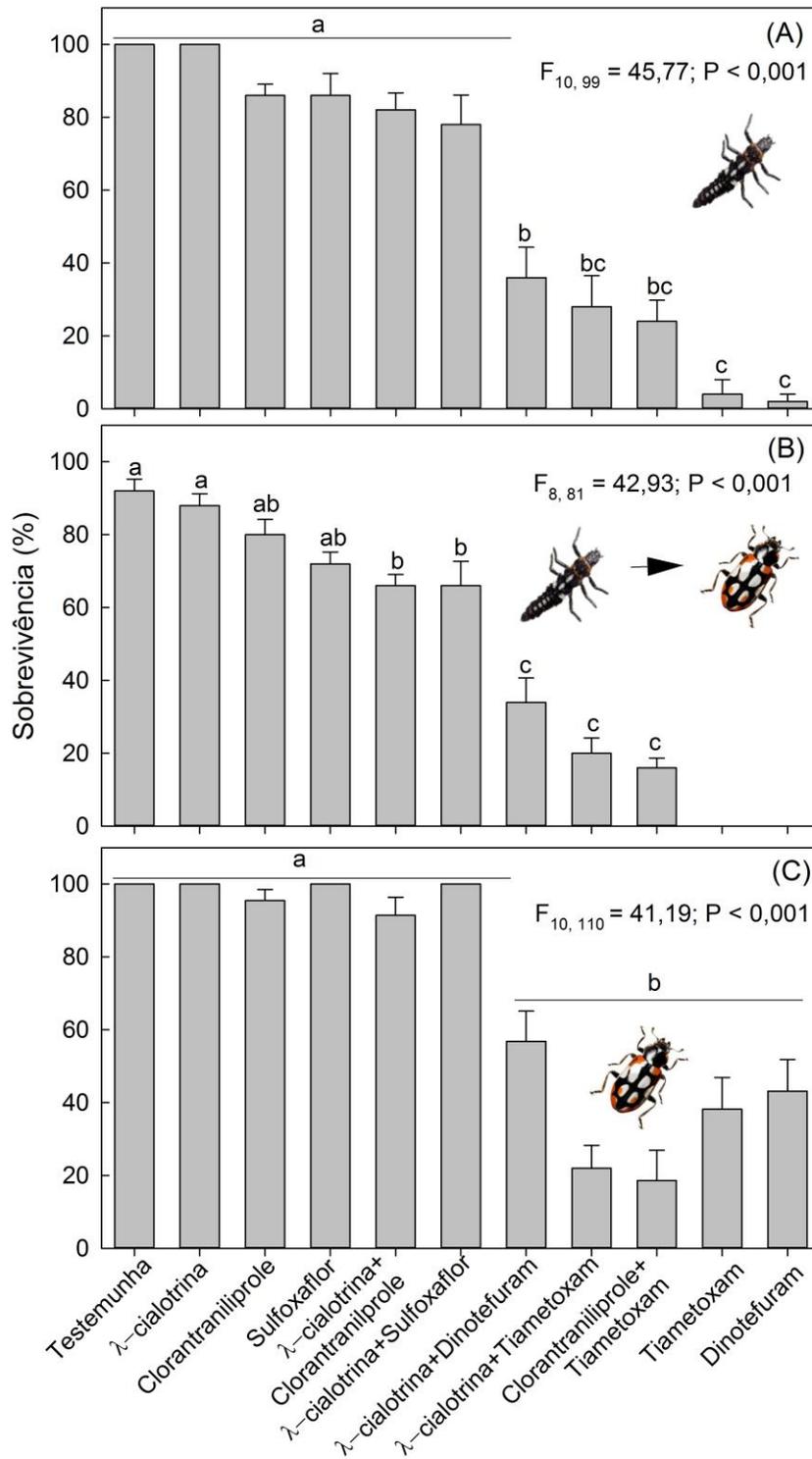


Figura 1. Sobrevivência de larvas (A), adultos oriundos de larvas tratadas (B) e adultos (C) de *Eriopis connexa* resistente à λ -cialotrina (EcViR), confinadas com resíduos de diferentes inseticidas. Letras comparam tratamentos pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05/\text{número de médias em comparação}$).

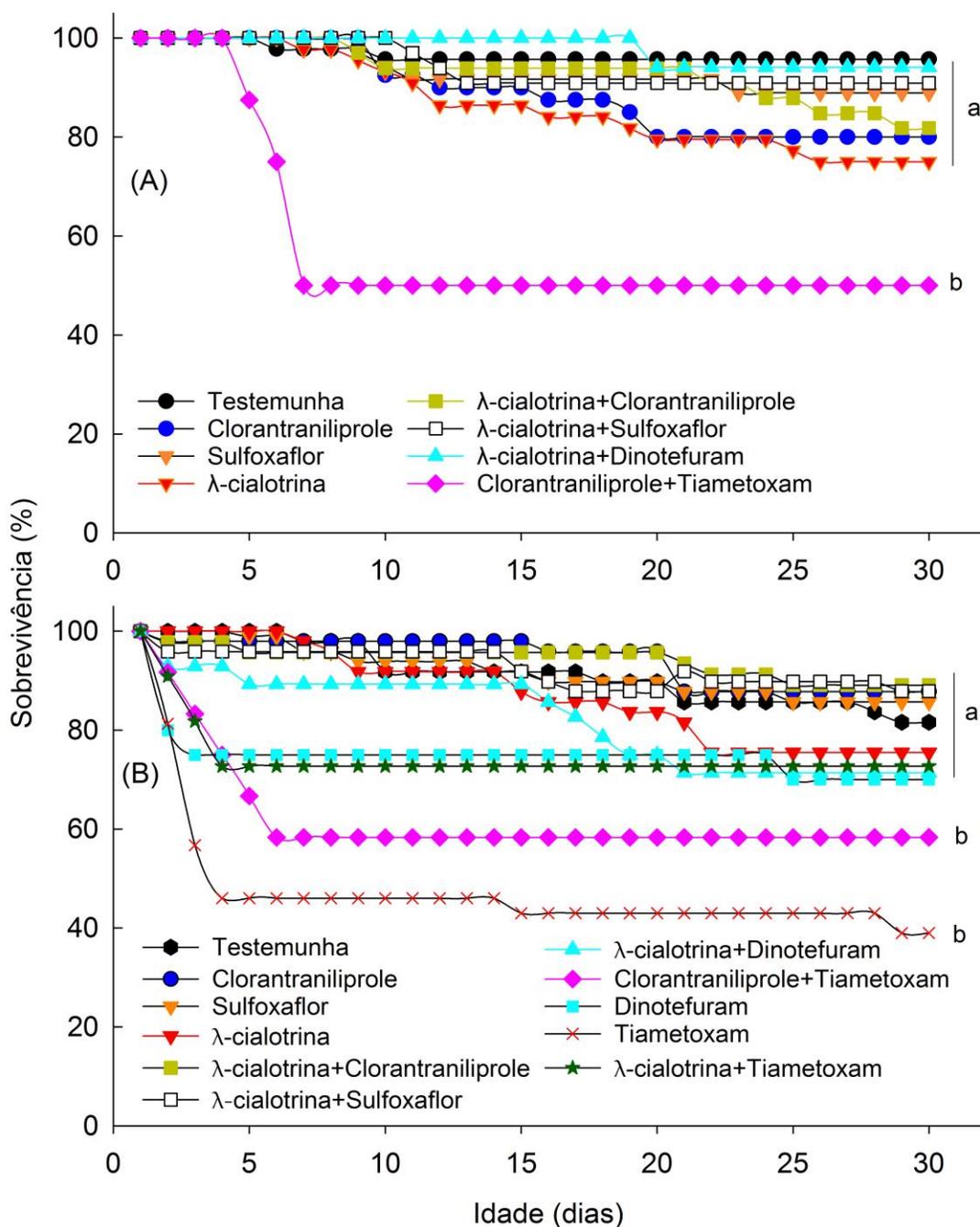


Figura 2. Sobrevivência de adultos de *Eriopis connexa*, população resistente à λ -cialotrina (EcViR), durante 30 dias na fase adulta após exposição na fase de larva (A) ou adulta (B) aos inseticidas λ -cialotrina, clorantraniliprole (Cloran), dinotefuram (Dino), tiametoxam (Tiam) e sulfoxaflor (Sulfo) e suas respectivas misturas. Curvas de sobrevivência seguida de diferentes letras indicam diferença entre tratamentos após múltiplos pares de comparações pelo método de Holm-Sidak ao nível de 5% de probabilidade.

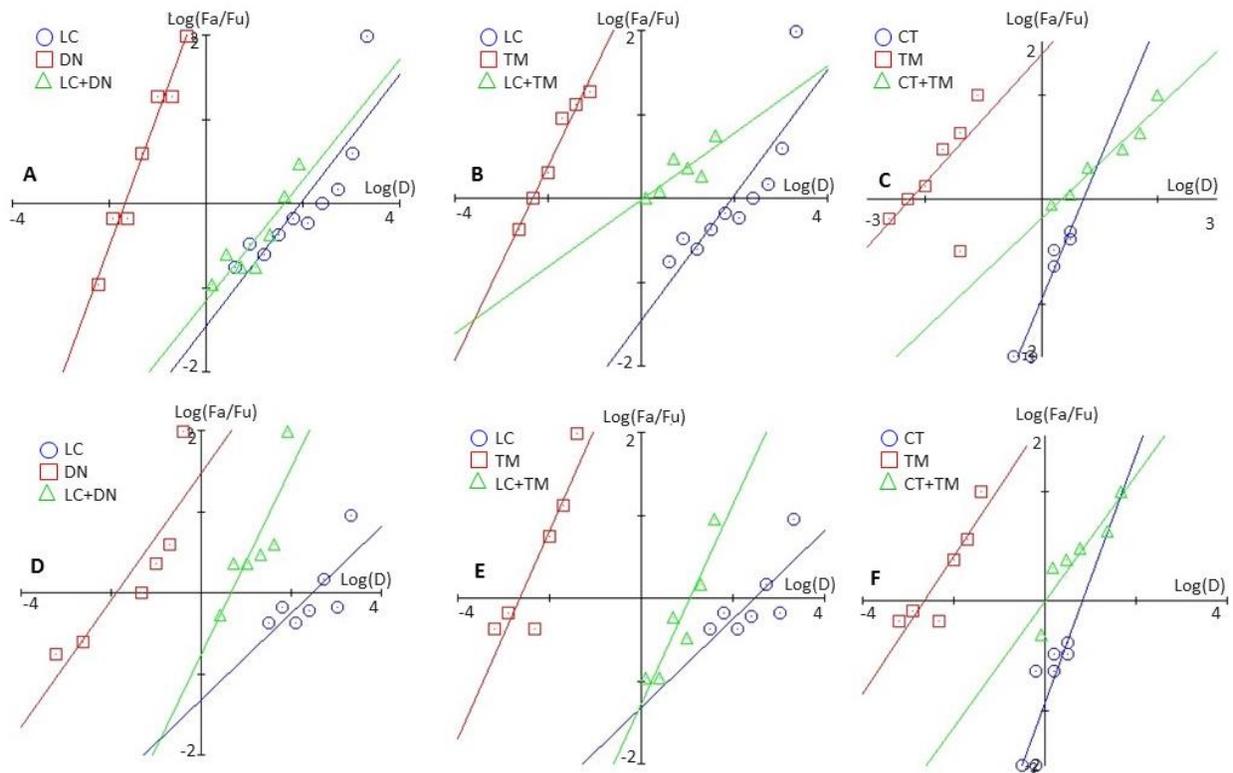


Figura 3. Efeito médio dos inseticidas λ -cialotrina (LC), dinotefuram (DN), tiametoxam (TM) e clorotraniliprole (CT), em formulação simples e em suas respectivas misturas para larvas (A-C) e adultos (D-F) de *Eriopsis connexa* em contato com resíduo seco dos inseticidas.

CAPITULO 3

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As formulações comerciais contendo mistura de inseticidas têm a função de controlar um maior número de espécies-pragas simultaneamente, retardar a resistência por atuar em múltiplos sítios alvos, reduzir os custos de aplicação, e etc. No entanto, o uso dessas formulações em programas de Manejo de Integrado de Pragas (MIP) requer estudos a respeito de seus efeitos letais e subletais em organismos não-alvo. Isto porque as formulações comerciais podem variar a concentração do inseticida (ingrediente ativo) na mistura relativo a formulação simples. Essas variações podem resultar em efeitos sinergista, antagonista ou aditivo (similar) de quando aplicado em formulações simples. As variações entre formulação simples e misturas podem ser oriundas de diversos fatores da combinação dos ingredientes ativos, mas principalmente, da diferença na concentração do ingrediente ativo entre as formulações. Inimigos naturais são importantes reguladores de insetos-pragas, além de auxiliarem no controle de indivíduos sobreviventes após a aplicação de inseticidas, sendo aqueles potencialmente resistentes. Esses insetos benéficos podem ser afetados de forma direta e indireta pelo uso de formulações simples e em mistura, inviabilizando assim a associação do controle químico e biológico.

Atualmente, além da adoção de inseticidas seletivos permitindo a sobrevivência de inimigos naturais, a ocorrência da resistência em inimigos naturais possibilita a integração entre os controles químico e biológico. Nesse estudo, demonstramos a alta seletividade de formulações comerciais contendo misturas de λ -cialotrina com clorantraniliprole e sulfoxaflor e suas formulações simples para um predador resistente à λ -cialotrina, a joaninha *E. connexa* população EcViR, quando expostas a resíduos secos desses inseticidas. Além disso, também, não foram

observados efeitos subletais a espécie estudada. Por outro lado, os neonicotinoides demonstraram alta toxicidade a joaninha predadora mesmo quando presente em menores concentrações nas formulações em misturas. As formulações de λ -cialotrina e clorantraniliprole em mistura com neonicotinoides foram consideradas antagonista à joaninha resistente à λ -cialotrina. Além disso, o tiametoxam e a sua respectiva mistura com clorantraniliprole afetou a sobrevivência durante 30 dias da fase larval e adulta da joaninha. O índices de combinação determinados para as misturas contendo os neonicotinoides mostraram alto efeito antagônico, bem como o índice de redução de inseticida na mistura, para o obter o mesmo nível de mortalidade da joaninha, variou de 1,73 a 14,8 vezes para a mistura de λ -cialotrina+dinotefuram com adultos e larvas da joaninha, respectivamente, e de 1,68 vezes para o tiametoxam em mistura com o clorantraniliprole a 25,70 vezes para o dinotefuram em mistura com a λ -cialotrina, ambos observados para larvas. Portanto, de acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que é possível realizar a integração de misturas de inseticidas e inimigos naturais desde que ambos os ingredientes ativos compondo as misturas apresentem seletividade.