**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Mecanismos associados à ocorrência de surtos populacionais e manejo de
Panonychus citri (McGregor) (Acari: Tetranychidae) em pomares cítricos**

Odimar Zanuzo Zanardi

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Entomologia

**Piracicaba
2015**

Odimar Zanuzo Zanardi
Engenheiro Agrônomo

**Mecanismos associados à ocorrência de surtos populacionais de *Panonychus citri*
(McGregor) (Acari: Tetranychidae) em pomares cítricos**

Orientador:
Prof. Dr. **PEDRO TAKAO YAMAMOTO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Entomologia

Piracicaba
2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Zanardi, Odimar Zanuzo

Mecanismos associados à ocorrência de surtos populacionais e manejo de
Panonychus citri (McGregor) (Acari: Tetranychidae) em pomares cítricos / Odimar
Zanuzo Zanardi. - - Piracicaba, 2015.

134 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Surto populacional 2. Inseticidas 3. Hormese 4. Comportamento 5. Demografia
6. Impactos sobre predador 7. Biopesticidas I. Título

CDD 634.3
Z27m

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

A Deus, pelo dom da vida e por estar ao meu lado em todos os momentos.

AGRADEÇO

Aos meus pais Edevino José Zanardi e Ilza Maria Zanuzo Zanardi, minha irmã Cristiane Zanuzo Zanardi Dovigi e meu irmão Odinei Zanuzo Zanardi pelo afeto, incentivo e apoio em minha formação pessoal e profissional.

DEDICO

A minha noiva Aquidauana Miqueloto pelo amor, paciência e companheirismo.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Pedro Takao Yamamoto pela orientação, ensinamentos, confiança, amizade e oportunidade para a realização desse trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Entomologia e Acarologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), pelos ensinamentos transmitidos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Departamento de Entomologia e Acarologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) por toda a infraestrutura disponibilizada para a execução desse trabalho.

A todos os amigos e colegas do Programa de Pós-Graduação em Entomologia e Acarologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, pelo convívio e companheirismo.

A todos os amigos e colegas do Laboratório de Manejo Integrado de Pragas (ESAL/USP), em especial Gabriel Rodrigo Rugno, Aline Aparecida Franco, Cynthia Renata de Oliveira Jacob, Gabriela Pavan Bordini, Kênia Fernanda Aguiar Santos, Matheus Rovere de Moraes, Ana Clara Ribeiro, Fernanda Canassa, Vitor Hugo Beloti e Gustavo Gonçalves pelo convívio, companheirismo, amizade, conhecimentos transmitidos e auxílio na condução desse trabalho.

A todos os amigos do Laboratório de Resistência de Artrópodes a Pesticidas (ESALQ/USP), em especial Eloisa Salmeron, Daniel Bernardi, Oderlei Bernardi, Rogério Bezerra do Nascimento, Renato Jun Horikoshi, Daniela Okuma, Mariana Durigan e Rogério Machado pelo companheirismo, incentivo e momentos de descontração.

Aos amigos do Laboratório de Resistência de Plantas a Insetos e Plantas Inseticidas (ESALQ/USP), Leandro do Prado Ribeiro, Mônica da Silva Santos e Thiago Felipe Ansante pela amizade, companheirismo, ensinamentos e produção científica na área de biopesticidas.

A todos os funcionários do Departamento de Entomologia e Acarologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), pela dedicação aos serviços prestados.

Às secretárias do Departamento de Entomologia e Acarologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em especial à Andrea Varella Sintoni pelo auxílio, colaboração, dedicação e aos serviços prestados.

À bibliotecária Eliana Maria Garcia da Biblioteca Central (ESALQ/USP), pelo auxílio na formatação desse trabalho.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram ou participaram da execução desse trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	15
Referências	18
2 DESENVOLVIMENTO E REPRODUÇÃO DE <i>Panonychus citri</i> (MCGREGOR) (ACARI: TETRANYCHIDAE) EM DIFERENTES ESPÉCIES E VARIEDADES DE PLANTAS CÍTRICAS	23
Resumo	23
Abstract.....	23
2.1 Introdução	24
2.2 Material e métodos	26
2.2.1 Ácaros.....	26
2.2.2 Hospedeiros avaliados	26
2.2.3 Unidades experimentais.....	27
2.2.4 Duração e sobrevivência do estágio imaturo	27
2.2.5 Avaliação dos parâmetros do estágio adulto	27
2.2.6 Tabela de vida.....	28
2.3 Resultados.....	29
2.3.1 Duração e desenvolvimento do estágio imaturo.....	29
2.3.2 Reprodução e longevidade.....	31
2.3.3 Expectativa de vida e valor da reprodução	32
2.3.4 Tabela de vida.....	36
2.4 Discussão	37
2.5 Conclusões.....	40
Referências	40
3 IMPACTO DE INSETICIDAS PIRETROIDES E NEONICOTINOIDES NOS PARÂMETROS BIOLÓGICOS, COMPORTAMENTAIS E DEMOGRÁFICOS DE <i>Panonychus citri</i> (MCGREGOR) (ACARI: TETRANYCHIDAE).....	45
Resumo	45
Abstract.....	45
3.1 Introdução	46
3.2 Material e Métodos	48

3.2.1 Ácaros	48
3.2.2 Inseticidas avaliados	48
3.2.3 Bioensaios	48
3.2.3.1 Efeito de inseticidas nos parâmetros biológicos de <i>P. citri</i>	49
3.2.3.1.1 Efeito sobre ovo	49
3.2.3.1.2 Efeito sobre larvas, protoninfas, deutoninfas e fêmeas adultas	49
3.2.3.1.3 Efeito na reprodução	50
3.2.3.2 Efeito de inseticidas nos parâmetros comportamentais de <i>P. citri</i>	50
3.2.3.2.1 Efeito repelente	50
3.2.3.2.2 Efeito na preferência de alimentação e oviposição de <i>P. citri</i>	51
3.2.3.3 Efeito sobre os parâmetros demográficos de <i>P. citri</i>	52
3.2.3.4 Análise dos dados.....	53
3.3 Resultados	54
3.4 Discussão	60
3.5 Conclusões	63
Referências.....	63
4 EFEITO DA APLICAÇÃO DE INSETICIDAS PIRETROIDES E NEONICOTINOIDES NA DEMOGRAFIA DE <i>Panonychus citri</i> (MCGREGOR) (ACARI: TETRANYCHIDAE)	69
Resumo.....	69
Abstract	69
4.1 Introdução	70
4.2 Material e Métodos	71
4.2.1 Ácaros	71
4.2.2 Inseticidas avaliados	72
4.2.3 Biensaios	72
4.2.3.1 Efeito da pulverização de inseticidas piretroides e neonicotinoides na demografia de <i>P. citri</i>	72
4.2.3.2 Efeito da aplicação sistêmica de inseticidas neonicotinoides na demografia de <i>P. citri</i>	73
4.2.3.3 Efeito da aplicação de inseticidas em sucessão da demografia de <i>P. citri</i>	73
4.3.4 Análise dos dados.....	74
4.3 Resultados	75
4.4 Discussão	80
4.5 Conclusões	83

Referências	84
5 IMPACTO DE INSETICIDAS PIRETROIDES E NEONICOTINOIDES SOBRE <i>Iphiseiodes zuluagai</i> DENMARK & MUMA (ACARI: PHYTOSEIIDAE).....	87
Resumo	87
Abstract.....	87
5.1 Introdução	88
5.2 Material e métodos	90
5.2.1 Ácaros.....	90
5.2.2 Inseticidas avaliados	91
5.2.3 Bioensaios.....	91
5.2.3.1 Efeito de inseticidas sobre ovos de <i>I. zuluagai</i>	91
5.2.3.2 Efeito de inseticidas sobre larvas e adultos de <i>I. zuluagai</i>	92
5.2.3.3 Duração do efeito nocivo de inseticidas sobre <i>I. zuluagai</i>	92
5.2.3.4 Efeito de inseticidas no desenvolvimento e reprodução de <i>I. zuluagai</i>	93
5.2.3.5 Tabela de vida.....	94
5.3 Resultados.....	95
5.4 Discussão	102
5.5 Conclusões.....	106
Referências	106
6 ATIVIDADEACARICIDA DE BIOPESTICIDAS À BASE DE AZADIRACHTIN, ANNONIN E MATRINE SOBRE <i>Panonychus citri</i> (MCGREGOR) (ACARI: TETRANYCHIDAE)	113
Resumo	113
Abstract.....	113
6.1 Introdução	114
6.2 Material e Métodos	116
6.2.1 Ácaros.....	116
6.2.2 Biopesticidas avaliados.....	116
6.2.3. Bioensaios.....	116
6.2.3.1 Atividade acaricida dos biopesticidas.....	117
6.2.3.2 Efeito na fecundidade e fertilidade	117
6.2.3.3 Bioatividade comparada	118
6.2.3.4 Avaliação da persistência residual dos biopesticidas	118
6.2.3.5 Análise dos dados	119

6.3 Resultados	120
6.4 Discussão	127
6.5 Conclusões	129
Referências	130
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	133

RESUMO

Mecanismos associados à ocorrência de surtos populacionais e manejo de *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) em pomares cítricos

O ácaro purpúreo, *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae), ainda é considerado uma praga de importância secundária nos pomares cítricos brasileiros. No entanto, nos últimos anos, sua população vem aumentando consideravelmente devido a ocorrência de surtos populacionais do ácaro que, na maioria das vezes, causam danos consideráveis nas plantas e exige que medidas de controle sejam adotadas. Neste sentido, objetivou-se com esse estudo, avaliar os níveis de suscetibilidade de diferentes espécies e variedades de plantas cítricas no desenvolvimento e reprodução de *P. citri*; elucidar as causas biológicas, comportamentais e demográficas responsáveis pelo aumento populacional do ácaro após a aplicação de inseticidas piretroides; demonstrar os impactos desses inseticidas sobre o predador *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae) e verificar a atividade de biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine como tática adicional de controle de *P. citri*. Os resultados demonstraram que as espécies e variedades de plantas cítricas apresentaram diferentes níveis de suscetibilidade ao ácaro *P. citri*. A maior taxa de crescimento populacional do ácaro ocorreu em laranja Valência e limoeiro Siciliano quando comparados as laranjeiras Pera, Natal e Hamlin e tangerineira Ponkan, demonstrando que esses hospedeiros podem contribuir para o aumento populacional do ácaro. Entre os hospedeiros avaliados, laranja Hamlin proporcionou menor taxa de crescimento de *P. citri*, demonstrando que essa variedade é menos favorável ao desenvolvimento e reprodução do ácaro quando comparado aos demais hospedeiros testados. Além das diferentes taxas de crescimento do ácaro proporcionado pelas plantas hospedeiras, o uso de inseticidas piretroides e neonicotinoides também contribuem para o aumento populacional do ácaro *P. citri*. Com base nos resultados, o aumento na dispersão e na deterrência de alimentação e oviposição dos ácaros proporcionados pelos inseticidas piretroides, a insensibilidade dos diferentes estádios de desenvolvimento do ácaro aos inseticidas neonicotinoides e ao efeito hormese, caracterizado pelo aumento na fecundidade das fêmeas expostas principalmente aos inseticidas piretroides deltamethrin e lambda-cyhalothrin e o neonicotinoide imidacloprid foram as principais causas biológicas e comportamentais associadas ao aumento populacional de *P. citri*. Por outro lado, os inseticidas esfenvalerate e thiamethoxam não ocasionaram aumento significativo nos parâmetros demográficos do ácaro quando comparado aos demais tratamentos avaliados. Além das alterações na abundância populacional de *P. citri*, os inseticidas piretroides ocasionaram redução na sobrevivência e/ou reprodução do predador *I. zuluagai*, demonstrando que esses produtos podem afetar a densidade e a efetividade do predador no controle biológico de artrópodes-praga nos pomares cítricos. Diante do aumento na abundância e na frequência de surtos populacionais do ácaro *P. citri* após a aplicação de inseticidas piretroides e neonicotinoides e dos impactos ocasionados sobre o predador *I. zuluagai* novas alternativas de controle de *P. citri* foram investigadas no presente estudo. Os resultados demonstraram que o uso de biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine apresentaram alta atividade contra *P. citri* e pode ser uma importante alternativa para uso no manejo do ácaro em substituição ou rotação com acaricidas sintéticos. As informações obtidas no presente estudo contribuirão para subsidiar os programas de manejo integrado de pragas nos pomares cítricos.

Palavras-chave: Surto populacional; Inseticidas; Hormese; Comportamento; Demografia; Impactos sobre predador; Biopesticidas

ABSTRACT

Mechanisms associated with the occurrence of outbreaks and management of *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) in citrus groves

The citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae), is still considered a pest of secondary importance in Brazilian citrus groves. However, in recent years, its population has been increasing considerably due to occurrence of mite outbreaks that, in most cases, cause considerable damage to the plants and requires the adoption of control measures. Thus, the purpose of this study was to evaluate the susceptibility levels of different species and varieties of citrus plants to the development and reproduction of *P. citri*; to elucidate the biological, behavioral and demographic causes responsible for mite population growth after application of pyrethroids and neonicotinoids insecticides; to demonstrate the impact of these pesticides on *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae) predator and to verify the activity of azadirachtin-, annonin-, and matrine-based biopesticides as additional tactic of *P. citri* control. The results showed that the species and varieties of citrus plants showed different susceptibility levels to *P. citri* mite. The highest growth rates of mite population occurred in Valencia orange and Sicilian lemon compared to Pera, Natal and Hamlin oranges and Ponkan mandarin, demonstrating that these hosts can contribute to mite population growth. Among the hosts evaluated, Hamlin sweet orange showed lower growth rate of *P. citri*, showing that this variety is less favorable to the development and reproduction of the mite when compared to other hosts tested. In addition to the different growth rates of the mite provided by host plants, the use of pyrethroid and neonicotinoids insecticides also contributed to the *P. citri* population growth. Based on the results, the increase in dispersion and feeding and oviposition deterrence of the mites provided by the pyrethroids insecticides, the insensibility of the different development stages of mites to neonicotinoids insecticides and hormesis effect, characterized by increasing the fecundity of female exposed mainly to insecticides deltamethrin and lambda-cyhalothrin pyrethroids and imidacloprid neonicotinoid were the main biological and behavioral causes associated to population growth of *P. citri*. On the other hand, esfenvalerate and thiamethoxam insecticides did not cause a significant increase in the demographic parameters of the mite when compared to other treatments. Besides the changes in population abundance of *P. citri*, the pyrethroid insecticides caused reduction in survival and/or reproduction of *I. zuluagai* predator, demonstrating that these products can affect density and effectiveness of the predator in the biological control of arthropod pests in citrus groves. Given the increase in abundance and frequency of outbreaks of *P. citri* after application of pyrethroid and neonicotinoids insecticides and of impacts caused to *I. zuluagai* predator new management alternatives to *P. citri* control were investigated in this study. The results showed that the use of azadirachtin-, annonin-, and matrine-based biopesticides had high activity against *P. citri* and may be an important alternative in the management of the mite in replacement or rotation with synthetic acaricides. The information obtained in this study will contribute to support the integrated pest management programs of citrus groves.

Keywords: Outbreak; Insecticides; Hormesis; Behavior; Demography; Impacts on predator; Biopesticides

1 INTRODUÇÃO

No cenário mundial, o Brasil é um dos maiores produtores de produtos agropecuários, devido a grande extensão territorial e tecnologia que vem sendo utilizado nos sistemas de produção nos últimos anos. Apesar da alta produção, a incidência de artrópodes-praga continua sendo um dos principais fatores que desafiam a viabilização e a consolidação de altas produtividades nas culturas. Em citros, por exemplo, as perdas podem atingir 10% do total produzido (OLIVEIRA et al., 2013), devido a grande diversidade de espécies de artrópodes-praga que causam danos diretos nas plantas ou que atuam como vetores de patógenos e afetam o normal crescimento e desenvolvimento da cultura (YAMAMOTO et al., 2009; RIBEIRO et al., 2014). Entre as táticas de supressão populacional de artrópodes-praga, o uso de pesticidas sintéticos tem sido a mais utilizada pelos citricultores (BELALQUE-JR et al., 2010). Apesar dos pesticidas atuarem na redução da abundância e na mitigação dos impactos causados pelos artrópodes-praga, eles também interrompem os processos ecológicos, causando mortalidade dos inimigos naturais, seleção de populações resistentes aos ingredientes ativos, ressurgência de pragas alvos de controle e surtos de pragas secundárias (DUTCHER, 2007; SZCZEPANIEC et al., 2011; CORDEIRO et al., 2013; ZHAN et al., 2015). Essas alterações na abundância populacional das pragas podem ocasionar redução na quantidade e qualidade dos produtos produzidos, além de aumentar os custos de produção, reduzir a eficácia da técnica e comprometer a sustentabilidade ambiental do sistema (RIBEIRO et al., 2014).

Entre os efeitos colaterais dos pesticidas, a ocorrência de surtos de pragas secundárias, que é caracterizado pelo rápido aumento na densidade populacional de uma espécie de artrópode-praga não alvo do pesticida após a sua utilização, tem sido cada vez mais frequente (SZCZEPANIEC et al., 2011; CORDEIRO et al., 2013) e, na maioria das vezes, causam prejuízos similares as pragas chave das culturas caso medidas de controle não sejam adotadas. Casos de surtos de pragas secundárias após a aplicação de pesticidas foram constatados em diversas culturas, incluindo olerícolas (JAMES; PRICE, 2002), algodoeiro (BARTLETT, 1968; TRICHILO; WILSON, 1993; BARROS et al., 2007; SMITH, 2010; SMITH et al., 2013), soja (COSTAMAGNA; LANDIS; DIFONZO, 2007), macieira (BEERS et al., 2005; HARDMAN et al., 2006), videira (PRISCHMANN et al., 2005; STAVRINIDES; MILLS, 2009), cafeeiro (CORDEIRO et al., 2013), roseira (GUPTA; KRISCHIK, 2007) e árvores em paisagens urbanas (RAUPP et al., 2004; SZCZEPANIEC et al., 2011; SZCZEPANIEC; RAUPP, 2013). Entre os artrópodes-praga, um grande número de relatos de

surtos de pragas secundárias tem sido constatado em ácaros da família Tetranychidae, devido ao grande número de hospedeiros, alta capacidade reprodutiva e o reduzido intervalo entre gerações, características que condicionam a esses artrópodes rápido crescimento populacional em um curto espaço de tempo. Em citros, no Brasil, o ácaro purpúreo, *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae), era considerado uma praga secundária (OLIVEIRA; PATTARO, 2008), mas com a intensificação no uso de inseticidas piretroides e neonicotinoides para o controle de insetos-praga, especialmente de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), vetor das bactérias “*Candidatus Liberibacter spp.*”, cujos sintomas estão associados ao huanglongbing (HLB), a abundância desse ácaro vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, exigindo pulverizações frequentes de acaricidas para o seu controle (YAMAMOTO; ZANARDI, 2013; RIBEIRO et al., 2014).

Inicialmente, o aumento na abundância populacional de ácaros-praga após a aplicação de inseticidas de amplo espectro de ação estava associado a mortalidade dos inimigos naturais (BARTTLET, 1968; TRICHILO; WILSON, 1993). No entanto, nos últimos anos novas evidências passaram a ser investigadas como causas adicionais para explicar os fatores responsáveis pelo aumento na frequência de surtos de ácaros fitófagos. Entre as evidências, a melhoria na qualidade nutricional das plantas hospedeiras proporcionada pelos inseticidas (SZCZEPANIEC et al., 2013), a insensibilidade dos ácaros fitófagos aos produtos (SZCZEPANIEC et al., 2011), o aumento na repelência/dispersão dos ácaros (BARROS et al., 2007) e o efeito hormese (JAMES; PRICE, 2002; COHEN, 2006; GUEDES; MAGALHÃES; COSME, 2009; CORDEIRO et al., 2013; CUTLER, 2013; GUEDES; CUTLER, 2014) aliado aos diferentes níveis de suscetibilidade das espécies e variedades de plantas hospedeiras cultivadas atualmente, tem sido as principais causas bioecológicas associadas a ocorrência de surtos populacionais de ácaros fitófagos em cultivos agrícolas. Apesar dessas causas terem sido os fatores predominantes para a ocorrência de surtos populacionais de diversos ácaros fitófagos, para *P. citri* essas evidências ainda não foram investigadas.

Além de contribuir para o aumento na densidade populacional de artrópodes-pragas, os inseticidas também podem reduzir ou alterar os parâmetros biológicos e demográficos dos inimigos naturais das pragas presentes nos agroecossistemas, reduzindo o potencial de ação desses agentes biológicos no controle natural de artrópodes-praga. Entre os inimigos naturais, o ácaro predador *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae) é uma das espécies mais abundantes em plantas em cítricas (REIS; CHIAVEGATO; ALVES, 1998; MORAES, 2002; ALBUQUERQUE; MORAES, 2008). Esse predador possui ampla distribuição no território nacional (REIS et al., 2000; MORAES, 2002; MORAES et al., 2004)

e está associado principalmente ao ácaro da leprose *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae) e *Phyllocoptruta oleivora* Ashmead (Acari: Eriophyidae) (SATO et al., 1994; REIS et al., 2002), os quais são considerados pragas chave nos sistemas de produção citrícola (ANDRADE et al., 2013; MAOZ et al., 2014). Apesar de estar associado aos ácaros *B. phoenicis* e *P. oleivora*, os maiores níveis populacionais do ácaro são constatados durante os meses secos do ano (inverno), cujo período também coincide com os maiores níveis de infestação de ácaros tetraniquídeos, especialmente *P. citri*, *Tetranychus mexicanus* (McGregor) e *Eutetranychus banksi* (McGregor). No entanto, a eficácia do predador no controle biológico dessas espécies ainda não foi documentada.

Apesar de ser um dos principais ácaros predadores encontrados em plantas cítricas, sua densidade populacional vem reduzindo consideravelmente nos últimos anos. Entre as hipóteses, a intensificação no uso de inseticidas piretroides e neonicotinoides para o manejo de *D. citri* tem sido a principal causa apontada para a redução populacional do ácaro. Apesar do grande número de estudos demonstrando a toxicidade aguda e os efeitos subletais de pesticidas sobre ácaros predadores (TEODORO et al., 2005; TEODORO; PALLINI; OLIVEIRA, 2009; REIS; FRANCO; SILVA, 2011; TUELHER et al., 2014), poucos levam em consideração os parâmetros biológicos e demográficos como critério para avaliar os impactos dos inseticidas sobre predadores. Além da mortalidade, a exposição contínua dos ácaros aos resíduos de inseticidas pode ocasionar alterações fisiológicas e comportamentais que afetam o desenvolvimento dos estágios imaturos, razão sexual, fecundidade, fertilidade, longevidade, mobilidade, orientação, capacidade de predação e de alimentação dos ácaros (TEODORO et al., 2005; DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007; REIS; FRANCO; SILVA, 2011; TUELHER et al., 2014), reduzindo os níveis populacionais e a efetividade do predador no controle biológico de pragas.

Diante do aumento na frequência de surtos populacionais do ácaro *P. citri* após aplicações de inseticidas piretroides e neonicotinoides, das restrições fitossanitárias impostas pelos órgãos regulamentadores quanto ao uso de inseticidas sintéticos de amplo espectro para o manejo de insetos-praga e dos impactos causados sobre a fauna benéfica, novas alternativas vêm sendo investigadas como tática adicional de controle de artrópodes-praga. Neste sentido, extratos brutos ou compostos do metabolismo primário e secundários de plantas tem demonstrado alto potencial para o manejo de pragas em diferentes sistemas de produção. Entre os compostos bioativos de plantas os limonoides (azadirachtin + 3-tigloylazadirachtol, extraídos e purificados de sementes de *Azadirachta indica* L), a acetogenina annonin [composto derivado de ácidos graxos de cadeia longa (C-32/C-34) combinados com uma

unidade de 2-propanol, comumente encontrado em plantas da família Annonaceae (ALALI et al., 1999)] e o alcaloide matrine [composto heterocíclico ($C_{15}H_{24}N_2O$) derivado da quinolizidina abundantemente encontrado em plantas do gênero *Sophora* (Fabaceae) (MAO; HENDERSON, 2007)] possuem alta atividade contra artrópodes-praga (MAO; HENDERSON, 2007; LIU et al., 2007; HWANG et al., 2009; MARČIĆ et al., 2012; ISMAN; SEFFRIN, 2014) e vem sendo investigado como possíveis candidatos para serem incorporados nos programas de manejo de *P. citri* nos pomares cítricos.

Diante do aumento na incidência de surtos populacionais de *P. citri* e da redução do predador *I. zuluagai* nos sistemas de produção citrícola, objetivou-se com este estudo avaliar:

- O efeito de diferentes espécies e variedades de plantas cítricas hospedeiras nos parâmetros biológicos e demográficos de *P. citri*;
- O efeito de inseticidas piretroides e neonicotinoides nos parâmetros biológicos, comportamentais e demográficos de *P. citri* em condições laboratoriais;
- O impacto de inseticidas piretroides e neonicotinoides na demografia de *P. citri* em casa de vegetação;
- A ação dos inseticidas piretroides e neonicotinoides no desenvolvimento e reprodução do ácaro predador *I. zuluagai* em condições laboratoriais;
- A bioatividade e o efeito residual de biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine como tática adicional de controle de *P. citri*.

Referências

ALALI, F.Q.; LIU, X.X.; MCLAUGHLIN, J.L. Annonaceous acetogenins: recent progress. **Journal of Natural Products**, Cincinnati, v. 62, n. 3, p. 504-540, 1999.

ALBUQUERQUE, F.A.; MORAES, G.J. Perspectivas para a criação massal de *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 37, n. 3, p. 328-333, 2008.

ANDRADE, D.J.; PATTARO, F.C.; MORAIS, M.R.; BARBOSA, C.L.; OLIVEIRA, C.A.L. Aspectos técnicos e econômicos da poda e do controle químico de *Brevipalpus phoenicis* no manejo da leprose dos citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 409-424, 2013.

BARROS, R.; DEGRANDE, P.E.; SORIA, M.F.; RIBEIRO, J.S.F. Desequilíbrio biológico do ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae) após aplicações de inseticidas em algodoeiro. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 74, n. 2, p. 171-174, 2007.

BARTLETT, B.R. Outbreaks of two-spotted spider-mites and cotton aphids following pesticide treatment. I. Pest stimulation vs. natural enemy destruction as the cause of outbreaks. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 61, n. 1, p. 297-303, 1968.

BEERS, E.H.; BRUNNER, J.F.; DUNLEY, J.E.; DOERR, M.; GRANGER, K. Role of neonicotinyl insecticides in Washington apple integrated pest management. Part II. Nontarget effects on integrated mite control. **Journal of Insect Science**, Arizona, v. 5, n. 16, p. 1-10, 2005.

BELASQUE-JR, J.; BASSANEZI, R.B.; YAMAMOTO, P.T.; AYRES, A.J; TACHIBANA, A.; VIOLANTE, A.R; TANK-JUNIOR, A.; DI GIORGI, F.; TERSI, F. E.A.; MENEZES, G.M.; DRAGONE, J.; JANK-JUNIOR, R.H.; BOVÉ, J.M. Lessons from huanglongbing management in São Paulo state, Brazil. **Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 92, n. 2, p. 285-302, 2010.

COHEN, E. Pesticide-mediated homeostatic modulation in arthropods. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 85, n. 1, p. 21-27, 2006.

CORDEIRO, E.M.G.; MOURA, I.L.T.; FADINI, M.A.M.; GUEDES, R.N.C. Beyond selectivity: are behavioral avoidance and hormesis likely causes of pyrethroid-induced outbreaks of the southern red mite *Oligonychus ilicis*? **Chemosphere**, Oxford, v. 93, n. 6, p. 1111-1116, 2013.

COSTAMAGNA, A.S.; LANDIS, D.A.; DIFONZO, D.C. Suppression of soybean aphid by generalist predators results in a trophic cascade in soybeans. **Ecological Applications**, Tempe, v. 17, n. 2, p. 441-451, 2007.

CUTLER, G.C. Insects, insecticides and hormesis: evidence and considerations for study. **Dose-Response**, Massachusetts, v. 11, n. 2, p. 154-177, 2013.

DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J.M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 52, p. 81-106, 2007.

DUTCHER, J.D. A review of resurgence and replacement causing pest outbreaks in IPM. In: CIANCIO, A.; MUKERJI, K.G. (Ed.). **General concepts in integrated pest and disease management**. Amsterdam: Springer, 2007. chap. 2, p. 27-43.

GUEDES, R.N.C.; CUTLER, G.C. Insecticide-induced hormesis and arthropod pest management. **Pest Management Science**, Sussex, v. 70, n. 5, p. 690-697, 2014.

GUEDES, R.N.C.; MAGALHÃES, L.C.; COSME, L.V. Stimulatory sublethal response of a generalist predator to permethrin: hormesis, hormoligosis, or homeostatic regulation? **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 102, n. 1, p. 170-176, 2009.

GUPTA, G.; KRISCHIK, V.A. Professional and consumer insecticides for the management of adult Japanese beetle on hybrid tea rose. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 100, n. 3, p. 830-837, 2007.

HARDMAN, J.M.; FRANKLIN, J.L.; JENSEN, K.I.N.; MOREAU, D.L. Effects of pesticides on mite predators (Acari: Phytoseiidae) and colonization of apple trees by *Tetranychus urticae*. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, v. 34, n. 5 p. 449-462, 2006.

HWANG, I.C.; KIM, J.; KIM, H.M.; KIM, D.I.; KIM, S.G.; KIM, S.S.; JANG, C. Evaluation of toxicity of plant extract made by neem and matrine against main pests and natural enemies. **Korean Journal of Applied Entomology**, Seoul, v. 48, n. 1, p. 87-94, 2009.

ISMAN, M.B.; SEFFRIN, R. Natural insecticides from the Annonaceae: a unique example for developing biopesticides. In: SINGH, D. (Ed.). **Advances in plant biopesticides**. Amsterdam: Springer, 2014. v. 15, chap. 2, p. 21-33.

JAMES, D.G.; PRICE, T.S. Fecundity of twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) is increased by direct and systemic exposure to imidacloprid. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 27, n. 4, p. 151-156, 2002.

LIU, Z.L.; GOH, S.H.; HO, S.H. Screening of Chinese medicinal herbs for bioactivity against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst). **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 43, n. 3, p. 290-296, 2007.

MAO, L.; HENDERSON, G. Antifeedant activity and acute and residual toxicity of alkaloids from *Sophora flavescens* (Leguminosae) against *Formosan subterranean* termites (Isoptera: Rhinotermitidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 100, n. 3, p. 866-870, 2007.

MAOZ, Y.; GAL, S.; ARGOV, Y.; DOMERATZKY, S.; MELAMED, E.; GAN-MOR, S.; COLL, M.; PALEVSKY, E. Efficacy of indigenous predatory mites (Acari: Phytoseiidae) against the citrus rust mite *Phyllocoptruta oleivora* (Acari: Eriophyidae): augmentation and conservation biological control in Israeli citrus orchards. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 63, n. 3, p. 295-312, 2014.

MARČIĆ, D.; PRIJOVIĆ, M.; DROBNJAKOVIĆ, T.; MEDO, I.; PERIĆ, P.; MILENKOVIĆ, S. Greenhouse and field evaluation of two biopesticides against *Tetranychus urticae* and *Panonychus ulmi* (Acari: Tetranychidae). **Pesticides & Phytomedicine**, Stuttgart, v. 27, n. 4, p. 313-320, 2012.

MORAES, G.J. Controle biológico de ácaros fitófagos com ácaros predadores. In: PARRA, J.R.P.; BOTELHO, P.S.M.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; BENTO, J.M.S. (Ed.). **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores**. Barueri: Manole, 2002. cap. 14, p. 225-237.

MORAES, G.J.; McMURTRY, J.A.; DENMARK, H.A.; CAMPOS, C.B. A revised catalog of the mite family Phytoseiidae. **Zootaxa**, Auckland, v. 434, p. 1-494, 2004.

OLIVEIRA, C.A.L.; PATTARO, F.C. Citros: manejo de ácaros fitófagos na cultura. In: YAMAMOTO, P.T. (Org.). **Manejo integrado de pragas do citros**. Piracicaba: ESALQ, 2008. cap. 4, p. 81-125.

OLIVEIRA, C.M.; AUAD, A.M.; MENDES, S.M.; FRIZZAS, M. R. Economic impact of exotic insect pests in Brazilian agriculture. **Journal and Applied Entomology**, Berlin, v. 137, n. 1/2, p. 1-15, 2013.

PRISCHMANN, D.A.; JAMES, D.G.; WRIGHT, L.C.; TENEYCK, R.D.; SNYDER, W.E. Effects of chlorpyrifos and sulfur on spider mites (Acari: Tetranychidae) and their natural enemies. **Biological Control**, Orlando, v. 33, p. 324-334, 2005.

RAUPP, M.J.; WEBB, R.E.; SZCZEPANIEC, A.; BOOTH, D.; AHERN, R. Incidence, abundance, and severity of mites on hemlocks following applications of imidacloprid. **Journal of Arboriculture**, Savoy, v. 30, n. 2, p. 108-113, 2004.

REIS, P.R.; FRANCO, R.A.; SILVA, F.M.A. Selectivity of rynaxypyr for three species of phytoseiid mites relevant to coffee in Brazil. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 3, p. 212-216, 2011.

REIS, P.R.; CHIAVEGATO, L.G.; ALVES, E.B. Biologia de *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 185-191, 1998.

REIS, P.R.; CHIAVEGATO, L.G.; ALVES, E.B.; SOUSA, E.O. Ácaros da família Phytoseiidae associados aos citros no município de Lavras, Sul de Minas Gerais. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 95-104, 2000.

REIS, P.R.; SOUZA, J.C.; SOUSA, E.O.; TEODORO, A.V. Controle do *Brevipalpus phoenicis* em cafeeiro com produtos seletivos ácaros predadores. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecologia**, Turrialba, v. 64, n. 2, p. 55-61, 2002.

RIBEIRO, L.P.; ZANARDI, O.Z.; VENDRAMIM, J.D.; YAMAMOTO, P.T. Comparative toxicity of an acetogenin-based extract and commercial pesticides against citrus red mite. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 87-98, 2014.

SATO, M.E.; RAGA, A.; CERÁVOLO, L.C.; ROSSI, A.C.; POTENZA, M.R. Ácaros predadores em pomar cítrico de Presidente Prudente, estado de São Paulo. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 23, n. 3, p. 435-441, 1994.

SMITH, J.F. **Early-season management of twospotted spider mite on cotton and impacts of infestation timing on cotton yield loss**. Starkville: Mississippi State University, 2010. 136 p.

SMITH, J.F.; CATCHOT, A.L.; MUSSER, F.R.; GORE, J. Effects of aldicarb and neonicotinoid seed treatments on twospotted spider mite on cotton. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 106, n. 2, p. 807-815, 2013.

STAVRINIDES, M.C.; MILLS, N.J. Demographic effects of pesticides on biological control of Pacific spider mite (*Tetranychus pacificus*) by the western predatory mite (*Galendromus occidentalis*). **Biological Control**, Orlando, v. 48, n. 3, p. 267-273, 2009.

SZCZEPANIEC, A.; RAUPP, M.J. Direct and indirect effects of imidacloprid on fecundity and abundance of *Eurytetranychus buxi* (Acari: Tetranychidae) on boxwoods. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 59, n. 3, p. 307-318, 2013.

SZCZEPANIEC, A.; CREARY, S.F.; LASKOWSKI, K.L.; NYROP, J.P.; RAUPP, M.J. Neonicotinoid insecticide imidacloprid causes outbreaks of spider mites on elm trees in urban landscapes. **PlosOne**, San Francisco, v. 6, n. 5, p. e20018, 2011.

SZCZEPANIEC, A.; RAUPP, M.J.; PARKER, R.D.; KERNS, D.; EUBANKS, M.D. Neonicotinoid insecticides alter induced defenses and increase susceptibility to spider mites in distantly related crop plants. **PlosOne**, San Francisco, v. 8, n. 5, p. e62620, 2013.

TEODORO, A.V.; FADINI, M.A.M.; LEMOS, W.P.; GUEDES, R.N.C.; PALLINI, A. Lethal and sub-lethal selectivity of fenbutatin oxide and sulfur to the predator *Iphiseiodes zuluagai* (Acari: Phytoseiidae) and its prey, *Oligonychus ilicis* (Acari: Tetranychidae), in Brazilian coffee plantations. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 36, n. 1-2, p. 61-70, 2005.

TEODORO, A.V.; PALLINI, A.; OLIVEIRA, C. Sub-lethal effects of fenbutatin oxide on prey location by the predatory mite *Iphiseiodes zuluagai* (Acari: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 47, n. 4, p. 293-299, 2009.

TRICHILO, R.J.; WILSON, L.T. An ecosystem analysis of spider mite outbreaks: physiological stimulation or natural enemy suppression. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 17, n. 4, p. 291-314, 1993.

TUELHER, E.S.; VENZON, M.; GUEDES, R.N.C.; PALLINI, A. Toxicity of organic-coffee-approved products to the southern red mite *Oligonychus ilicis* and to its predator *Iphiseiodes zuluagai*. **Crop Protection**, Guildford, v. 55, n. 1, p. 28-34, 2014.

YAMAMOTO, P.T.; ZANARDI, O.Z. Atualização de manejo do ácaro purpúreo *Panonychus citri*. **Revista Citricultura Atual**, Cordeirópolis, v. 96, p. 16-17, 2013.

YAMAMOTO, P.T.; FELIPPE, M.R.; SANCHES, A.; COELHO, J.H.C.; GARBIM, L.F.; XIMENES, N. Eficácia de inseticidas para o manejo de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) em citros. **BioAssay**, Piracicaba, v. 4, n. 4, p. 1-9, 2009.

ZHAN, Y.; FAN, S.; ZHANG, M.; ZALOM, F. Modelling the effect of pyrethroid use intensity on mite population density for walnuts. **Pest Management Science**, Sussex, v. 71, n. 1, p. 159-164, 2015.

2 DESENVOLVIMENTO E REPRODUÇÃO DE *Panonychus citri* (MCGREGOR) (ACARI: TETRANYCHIDAE) EM DIFERENTES ESPÉCIES E VARIEDADES DE PLANTAS CÍTRICAS

Resumo

As espécies e variedades de plantas cítricas cultivadas atualmente podem alterar a densidade populacional do ácaro *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) e afetar os programas de manejo de pragas nos pomares cítricos. Dessa forma, objetivou-se com este estudo avaliar, em laboratório, o desenvolvimento e a reprodução de *P. citri* e estimar os parâmetros de tabela de vida em quatro variedades de laranja-doce (Valência, Pera, Natal e Hamlin), além de uma tangerineira (Ponkan) e um limoeiro (Siciliano). Os resultados revelaram que o período de incubação e a viabilidade dos ovos não foram influenciados pelas plantas hospedeiras. No entanto, o desenvolvimento e a sobrevivência dos estádios imaturos foram significativamente menores em laranja Hamlin do que em Valência, Pera e Natal, tangerineira Ponkan e limoeiro Siciliano. A fecundidade e o período de oviposição das fêmeas foram menores em laranja Hamlin do que nos demais hospedeiros avaliados. Ácaros criados sobre laranja Valência e limoeiro Siciliano apresentaram maior taxa líquida de reprodução (R_o), taxa intrínseca de crescimento (r) e taxa finita de aumento (λ) e menor intervalo entre gerações (T) do que em laranjeiras Pera, Natal e Hamlin e tangerineira Ponkan. Por outro lado, ácaros criados sobre laranja Hamlin apresentaram menor R_o , r e λ e maior T quando comparado aos demais hospedeiros. Esses resultados indicam que, para laranja Valência e limoeiro Siciliano o manejo de *P. citri* deve ser mais criterioso com monitoramento mais frequente para detectar as infestações iniciais da praga.

Palavras-chave: Ácaro purpúreo; Planta hospedeira; Desenvolvimento; Reprodução; Tabela de vida

Abstract

The species and varieties of citrus plants that are currently grown can alter the population density of the citrus red mite *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) and affect pest management programs in citrus groves. In this study we evaluated, in the laboratory, the development and reproduction of *P. citri* and estimated its life-table parameters when reared on four varieties of sweet orange (Valencia, Pera, Natal, and Hamlin), one mandarin (Ponkan) and one lemon (Sicilian). The incubation period and egg viability were not affected by the host plant. However, the development and survival of the immature stage were significantly lower on Hamlin orange than on Valencia, Pera and Natal oranges, Ponkan mandarin and Sicilian lemon. The fecundity and oviposition period of females were lower on Hamlin orange than on the other hosts. Mites reared on Valencia orange and Sicilian lemon had a higher net reproductive rate (R_o), intrinsic growth rate (r) and finite rate of increase (λ), and a shorter interval between generations (T) than on Pera, Natal and Hamlin oranges and Ponkan mandarin. On the other hand, mites reared on Hamlin orange had the lowest R_o , r and λ and the highest T among the hosts. These results indicate that for Valencia orange and Sicilian lemon, the management of *P. citri* should be more rigorous, with more frequent monitoring to detect initial infestations of the pest.

Keywords: Citrus red mite; Plant host; Development; Reproduction; Life table

2.1 Introdução

O ácaro-purpúreo, *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae), é uma das pragas mais importantes da citricultura mundial, devido ao seu alto potencial biótico e pelo seu grande número de hospedeiros (~ 112 espécies de plantas), embora tenha preferência por plantas do gênero *Citrus* (GOTOH; ISHIKAWA; KITASHIMA, 2003; LEI et al., 2004; PAN et al., 2006; DING et al., 2013; MIGEON; DORKELD, 2014). No Brasil, os maiores níveis populacionais de *P. citri* são observados durante os meses mais secos do ano, quando as condições de temperatura e umidade relativa do ar são mais favoráveis ao seu desenvolvimento e reprodução (OLIVEIRA; PATTARO, 2008). Em citros, a infestação do ácaro ocorre preferencialmente nas folhas, mas podem infestar ramos novos e frutos, quando em altas densidades populacionais. As injúrias, nas folhas, diminui a capacidade fotossintética e transpiratória das células epidérmicas (PAN et al., 2006; MORAES; FLECHTMANN, 2008; RODRÍGUEZ et al., 2010), impedindo o desenvolvimento normal das plantas, enquanto que, em frutos, podem ocasionar alterações no teores de açúcares, sabor e aparência (DING et al., 2013). Além dos danos nas plantas, a incidência do ácaro pode causar reações alérgicas e dermatites em pessoas que estão diretamente envolvidas no processo de produção, especialmente durante a colheita dos frutos (KIM et al., 2001, 2002).

O rápido desenvolvimento e o reduzido intervalo entre gerações proporcionam ao ácaro altos níveis populacionais em um curto período de tempo, exigindo, na maioria das vezes, aplicações de acaricidas para o seu controle (YAMAMOTO; ZANARDI, 2013). O crescimento populacional do ácaro pode ser influenciado por diversos fatores, incluindo as condições ambientais (principalmente temperatura e umidade relativa do ar), espécie, variedade, qualidade nutricional, estágio de desenvolvimento e presença de aleloquímicos nas plantas hospedeiras, competição intra e interespecífica, predação e pesticidas que provocam alterações nos parâmetros biológicos, fisiológicos e comportamentais do ácaro (JONES; PARRELLA, 1984; ASHIHARA, 1987; KARACA, 1988; KITASHIMA; GOTOH, 1995; GOTOH; ISHIKAWA; KITASHIMA, 2003; LEI et al., 2004; DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007; KASAP, 2009; SOUFBAF et al., 2010). Entre os fatores que atuam na regulação populacional de ácaros-praga presentes nas plantas hospedeiras, as variações na composição nutricional e na presença de compostos do metabolismo primário e secundário (aleloquímicos) tem sido os mais importantes. Portanto, a identificação de espécies e variedades de plantas cítricas menos favoráveis ao desenvolvimento e reprodução de *P. citri* pode ser uma importante tática para reduzir os níveis populacionais do ácaro nos diferentes

sistemas de produção, em especial naqueles de base ecológica, onde não é permitido o uso de acaricidas sintéticos para o seu controle. Além disso, reduz os impactos causados pelos acaricidas sobre a fauna benéfica (especialmente ácaros predadores), contribuindo para o estabelecimento de programas de manejo mais sustentáveis.

Por outro lado, a identificação de espécies e variedades de plantas que proporcionam maior taxa de crescimento populacional do ácaro pode auxiliar na definição de futuras estratégias de manejo que permitem reduzir o crescimento populacional do ácaro e evitar danos econômicos. Neste contexto, estudos prévios demonstraram os efeitos de diferentes espécies e variedades de plantas cítricas no desenvolvimento e reprodução de *P. citri* (ASHIHARA, 1987; KARACA, 1994; CHIAVEGATO, 1988; KITASHIMA; GOTOH, 1995; LEI et al., 2004; KASAP, 2009). No entanto, poucos consideraram os parâmetros demográficos como critério para discriminar os efeitos das plantas hospedeiras na densidade populacional do ácaro. Dessa forma, a estimativa dos parâmetros de tabela de vida têm sido considerados uma ferramenta importante para análise e compreensão dos fatores que interferem no crescimento, na sobrevivência, na reprodução e na taxa intrínseca de crescimento populacional de artrópodes-praga (HUANG; CHI, 2012).

Apesar de ser uma ferramenta importante para o entendimento dos parâmetros demográficos de artrópodes-praga, os métodos tradicionais de análise de tabela de vida levam em consideração apenas a população de fêmeas, ignorando os machos, os diferentes estádios de desenvolvimento e as variações nas taxas de desenvolvimento entre os indivíduos (HUANG; CHI, 2012; YIN et al., 2013), resultando em erros que podem comprometer a estimativa dos parâmetros demográficos da população (CHI; LIU, 1985). Diante dessas limitações, Chi e Liu (1985) e Chi (1988) desenvolveram um modelo teórico de análise de tabela de vida que leva em consideração as diferentes idades-estádios e as taxas de desenvolvimento dos indivíduos de ambos os sexos. Atualmente, esse modelo vem sendo utilizado em estudos de tabela de vida de insetos (JHA; CHI; TANG, 2012; JIN et al., 2012; HUANG; CHI, 2012; NASERI et al., 2014) e ácaros (DANESHNIA; AKRAMI; ALEOSFOOR, 2013; YIN et al., 2013). Diante dos danos causados pelo ácaro *P. citri* nos diferentes agroecossistemas e a baixa disponibilidade de informações sobre os parâmetros demográficos do ácaro nas principais espécies e variedades de plantas cítricas hospedeiras cultivadas atualmente no Brasil, objetivou-se com este estudo avaliar o desenvolvimento e a reprodução e estimar os parâmetros de tabela de vida do ácaro nesses hospedeiros visando fornecer subsídios para os programas de manejo integrado de pragas.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Ácaros

Para o estabelecimento da criação, espécimes de *P. citri* foram coletados em plantas de limoeiro Cravo [*Citrus reticulata* Blanco × *Citrus sinensis* (L.) Osbeck (Rutaceae)] de um pomar experimental localizado no campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba, São Paulo, Brazil, sem aplicação de pesticidas. A espécie do ácaro foi confirmada e o *voucher* (lâmina) do respectivo espécime encontra-se depositado no Museu de Zoologia “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba, São Paulo, Brasil, sob número MZLQ15169. A criação foi mantida sobre folhas de laranjeira Baía Lane Late [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck (Rutaceae)] colocada com a face adaxial voltada para cima sobre uma camada de espuma umedecida com água deionizada em bandejas plásticas (38,5 × 24,5 × 6,0 cm de comprimento, largura e altura, respectivamente). Tiras de algodão hidrófilo umedecido foram utilizadas nas bordas das folhas para manutenção da sua turgescência e impedir a fuga dos ácaros. As folhas foram substituídas a cada sete dias. A criação foi mantida em sala climatizada com temperatura de 25 ± 2 °C, umidade relativa do ar (UR) de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas.

2.2.2 Hospedeiros avaliados

O desenvolvimento e a reprodução de *P. citri* foram avaliados sobre quatro variedades de laranjeira-doce [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck (Rutaceae)] amplamente cultivadas no Brasil (Valência, Pera, Hamlin e Natal), além da tangerineira Ponkan [*Citrus reticulata* Blanco (Rutaceae)] e o limoeiro Siciliano [*Citrus limon* (L.) Burm. (Rutaceae)]. Para isso, seedlings de aproximadamente um ano de idade (~ 0,8 m de altura) foram adquiridos de um viveiro comercial e transplantado em vasos de 12 L contendo substrato Multiplant Citrus® [Terra do Paraíso: Substrato para Plantas, Holambra, SP, Brasil (<http://agroserra-rs.com.br/substratos-terra-do-paraíso.html>)] onde foi mantido por dois anos em casa de vegetação sem aplicação de pesticidas.

2.2.3 Unidades experimentais

As unidades experimentais foram constituídas por arenas confeccionadas com folhas desenvolvidas (maduras) de cada espécie e variedade de planta cítrica, colocadas com a face adaxial voltada para cima sobre uma camada de espuma umedecida com água deionizada em bandejas plásticas ($38,5 \times 24,5 \times 6,0$ cm de comprimento, largura e altura, respectivamente). Tiras de algodão hidrófilo umedecida foram utilizadas nas bordas das folhas para manutenção da sua turgescência. Sobre as folhas foram colocados discos (5 cm de diâmetro) de algodão hidrófilo que serviu de barreira de contenção dos ácaros durante o período de avaliação dos bioensaios.

2.2.4 Duração e sobrevivência do estágio imaturo

Para a obtenção dos ovos, 20 adultos (10 fêmeas e 10 machos) de *P. citri* com até 48 horas de idade foram transferidos para cada arena, onde permaneceram por 24 horas. Decorrido esse período, os adultos foram removidos e os ovos depositados em cada arena contados. Em cada arena foram selecionados aleatoriamente 20 ovos e os excedentes foram removidos. Para cada espécie e variedade de planta cítrica hospedeira foram utilizadas seis repetições ($n = 120$ ovos). Os ovos presentes em cada arena foram observados diariamente até a eclosão das larvas. As larvas obtidas em cada tratamento (planta hospedeira) foram individualizadas em arenas para avaliação do desenvolvimento e sobrevivência dos estádios imaturos (larva, protoninfa e deutoninfa). As avaliações foram realizadas a cada 12 horas. A presença de exúvia nas arenas foi utilizada como critério para determinar a duração dos estádios imaturos do ácaro. Foram considerados mortos os ácaros que não apresentavam reação ao toque de um pincel fino. Os bioensaios foram realizados em sala climatizada com temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas.

2.2.5 Avaliação dos parâmetros do estágio adulto

Adultos recém-emergidos (≤ 12 horas de idade) foram separados por sexo, formados casais e transferidos para novas arenas para avaliação do período de pré-oviposição e oviposição, fecundidade diária e longevidade de fêmeas e machos. Nas arenas em que houve a morte dos machos antes das fêmeas, novos machos provenientes da criação mantida em laboratório foram transferidos para as respectivas unidades experimentais. No entanto, os

dados desses machos não foram utilizados nas análises. Os ácaros mortos e os ovos depositados pelas fêmeas em cada arena foram contados e removidos a cada 12 horas. O bioensaio foi encerrado após a morte total dos ácaros.

2.2.6 Tabela de vida

As tabelas de vida foram elaboradas com base nos dados de todos os indivíduos testados (incluindo as fêmeas, os machos e os indivíduos que morreram durante o desenvolvimento do estágio imaturo) conforme proposto por Chi (1988). Os dados originais de todos os indivíduos foram analisados de acordo com o modelo teórico proposto por Chi e Liu (1985) utilizando o programa TWOSEXMSChart (CHI, 2012). Para as diferentes plantas cítricas hospedeiras foram calculadas a taxa de sobrevivência para cada idade-estágio específica (S_{xj}), onde: x = idade em dias e j = estágio de desenvolvimento, a taxa de sobrevivência na idade específica (l_x), a fecundidade na idade específica (m_x), a expectativa de sobrevivência na idade-estágio específica (e_{xj}) e os valores da reprodução na idade-estágio específica (v_{xj}). Além disso, para cada espécie e variedade de planta hospedeira foi estimada:

A taxa líquida de reprodução (R_o);

$$R_o = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$$

A taxa intrínseca de crescimento (r);

$$1 = \sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x$$

O tempo médio entre gerações (T);

$$T = \ln R_o / r$$

e a razão finita de aumento (λ).

$$\lambda = e^r$$

A taxa intrínseca de crescimento foi estimada pela fórmula de Euler-Lotka (GOODMAN, 1982). A e_{xj} foi calculada de acordo com o método proposto por Chi e Su (2006). As médias e os erros padrões de cada parâmetro populacional foram estimados pelo método de bootstrap seguindo o procedimento proposto por Huang e Chi (2012). Durante o procedimento de bootstrap, os dados de cada parâmetro biológico e demográfico analisado foram reamostrados 10.000 vezes. As médias de cada tratamento foram comparadas pelo teste de bootstrap emparelhado (EFRON; TIBSHIRANI, 1993).

2.3 Resultados

2.3.1 Duração e desenvolvimento do estágio imaturo

Neste estudo, foram constatadas diferenças significativas nas durações dos estádios de desenvolvimento de *P. citri* criados sobre diferentes espécies e variedades de plantas cítricas. De modo geral, as variações na taxa de crescimento do ácaro foram maiores entre as variedades de laranjeira-doce do que entre as espécies de plantas cítricas (Tabela 2.1). O período de incubação dos ovos foi de aproximadamente 6,6 dias para todas as espécies e variedades de plantas cítricas avaliadas, demonstrando que essas plantas hospedeiras não interferem no desenvolvimento embrionário do ácaro. No entanto, a duração do estágio larval foi significativamente maior em ácaros criados sobre laranjeira Hamlin em comparação com os demais hospedeiros testados (Tabela 2.1). Laranjeiras Hamlin, Pera e Natal proporcionaram menor desenvolvimento de protoninfas do que laranjeira Valência, limoeiro Siciliano e tangerineira Ponkan (Tabela 2.1). Ácaros criados sobre folhas de laranjeiras Hamlin e Natal apresentaram maior duração do estágio de deutoninfa do que aqueles que utilizaram folhas de laranjeiras Valência e Pera, limoeiro Siciliano e tangerineira Ponkan como substrato de alimentação (Tabela 2.1). Dessa forma, o tempo de desenvolvimento do estágio imaturo de fêmeas e de machos foi significativamente maior em laranjeira Hamlin em relação aos demais hospedeiros avaliados, indicando que essa variedade é menos favorável ao desenvolvimento do ácaro (Tabela 2.1).

Diante das diferentes taxas de desenvolvimento dos indivíduos, foi constatado sobreposições dos estádios de desenvolvimento do ácaro em todos os hospedeiros avaliados (Figura 2.1). As curvas indicam a diferença dos estádios de desenvolvimento e a sobrevivência de cada idade-estágio específico do ácaro. A probabilidade de uma larva recém-eclodida sobreviver até o estágio adulto foi menor em laranjeira Hamlin (0,57 para fêmeas e 0,27 para machos) do que em laranjeiras Valência, Pera e Natal (0,61, 0,59 e 0,60 para fêmeas e 0,30, 0,29 e 0,30 para machos, respectivamente), limoeiro Siciliano (0,63 para fêmeas e 0,31 para machos) e tangerineira Ponkan (0,58 para fêmeas e 0,31 para machos) (Figura 2.1). A taxa de sobrevivência do estágio imaturo do ácaro foi menor em laranjeira Hamlin do que nos demais hospedeiros avaliados (Figura 2.1). A emergência dos machos ocorreu antes das fêmeas em todos os hospedeiros testados.

Tabela 2.1 - Duração (dias) e sobrevivência dos estádios imaturos de *Panonychus citri* criados sobre diferentes espécies e variedades de plantas cítricas. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Parâmetro	Espécie e variedade de planta cítrica ¹					
	<i>Citrus sinensis</i>				<i>Citrus limum</i>	<i>Citrus reticulata</i>
	Valência	Pera	Natal	Hamlin	Siciliano	Ponkan
Duração de ovo	6,6 $\pm$ 0,10 a	6,7 $\pm$ 0,09 a	6,6 $\pm$ 0,09 a	6,7 $\pm$ 0,11 a	6,6 $\pm$ 0,10 a	6,7 $\pm$ 0,10 a
Duração de larva	1,9 $\pm$ 0,07 b	2,0 $\pm$ 0,06 b	1,8 $\pm$ 0,06 c	2,2 $\pm$ 0,07 a	1,9 $\pm$ 0,05 c	2,0 $\pm$ 0,08 b
Duração de protoninfa	1,8 $\pm$ 0,08 b	2,2 $\pm$ 0,09 a	2,1 $\pm$ 0,07 a	2,2 $\pm$ 0,08 a	1,9 $\pm$ 0,06 b	1,8 $\pm$ 0,08 b
Duração de deutoninfa	1,9 $\pm$ 0,06 c	2,0 $\pm$ 0,09 b	2,4 $\pm$ 0,09 a	2,5 $\pm$ 0,09 a	1,9 $\pm$ 0,06 c	2,1 $\pm$ 0,07 b
Duração do estágio imaturo						
Fêmea	12,5 $\pm$ 0,18 c	12,8 $\pm$ 0,18 b	12,9 $\pm$ 0,18 b	13,5 $\pm$ 0,16 a	12,4 $\pm$ 0,13 c	12,3 $\pm$ 0,15 c
Macho	11,3 $\pm$ 0,25 c	11,6 $\pm$ 0,24 b	11,9 $\pm$ 0,17 b	12,6 $\pm$ 0,29 a	11,1 $\pm$ 0,14 c	11,7 $\pm$ 0,35 b
Viabilidade de ovo	92,8	93,0	91,2	92,4	92,0	93,3
Sobrevivência estágio imaturo	78,0	76,8	75,8	70,2	81,7	79,2

¹Médias seguidas pela mesma letra, nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de bootstrap emparelhado ($p < 0,05$)

Figura 2.1 - Taxa de sobrevivência de idade-estágio específica de *Panonychus citri* criados sobre diferentes espécies e variedades de plantas cítricas. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

2.3.2 Reprodução e longevidade

Nenhuma diferença significativa foi constatada no período de pré-oviposição das fêmeas criadas sobre diferentes espécies e variedades de plantas cítricas. No entanto, o período de oviposição foi significativamente menor em fêmeas que desenvolveram sobre

laranjeira Hamlin e tangerineira Ponkan do que em laranjeiras Valência, Pera e Natal e limoeiro Siciliano (Tabela 2.2). A máxima oviposição das fêmeas criadas sobre laranjeira Valência e limoeiro Siciliano foi de 6,94 e 7,34 ovos, respectivamente, sendo superiores aos observados em fêmeas que utilizaram laranjeira Hamlin (3,73 ovos) como substrato de alimentação e oviposição. Fêmeas que desenvolveram sobre folhas de laranjeiras Pera e Natal apresentaram oviposição máxima de 6,04 e 6,02 ovos, respectivamente, sendo similar aos constatados em fêmeas criadas sobre tangerineira Ponkan (Figura 2.2). A menor fecundidade (número médio de ovos por fêmea) foi constatada em laranjeira Hamlin, enquanto que, laranjeira Valência e limoeiro Siciliano proporcionaram os maiores valores de fecundidade do ácaro (Tabela 2.2). Longevidade de 10,7 e 10,2 dias foram verificadas em fêmeas criadas sobre laranjeira Hamlin e tangerineira Ponkan, respectivamente, diferindo estatisticamente das fêmeas que utilizaram laranjeira Pera (11,6 dias) e Natal (11,0 dias) e àquelas que desenvolveram sobre folhas de laranjeira Valência (13,4 dias) e limoeiro Siciliano (13,6 dias) (Tabela 2.2). Da mesma forma, a menor longevidade de machos foi verificada em laranjeira Hamlin (9,3 dias) e tangerineira Ponkan (9,6 dias), seguido por machos criados sobre laranjeiras Pera (10,4 dias) e Natal (10,1 dias) e Valência (12,1 dias) e limoeiro Siciliano (12,0 dias) (Tabela 2.2).

2.3.3 Expectativa de vida e valor da reprodução

Os dados de expectativa de vida de idade-estágio específica indicaram que o tempo de vida esperado para um ácaro recém-eclodido (e_I) em limoeiro Siciliano (24,7 dias) e laranjeira Valência (24,4 dias) foi significativamente maior do que àqueles que desenvolveram sobre laranjeira Hamlin (21,9 dias) (Figura 2.3). As variedades Natal e Pera apresentaram expectativa de vida de 23,1 e 22,8 dias, respectivamente, sendo similar aos ácaros criados sobre tangerineira Ponkan (21,6 dias). De modo geral, a expectativa de vida diminuiu gradativamente com o aumento da idade dos indivíduos (Figura 2.3).

O valor da reprodução de uma fêmea recém-eclodida (v_I) é exatamente a razão finita de aumento de uma população (λ). Portanto, o maior pico de reprodução (período em que as fêmeas mais contribuem para o aumento populacional do ácaro) foi observado aos 15 dias em fêmeas mantidas sobre folhas de laranjeiras Valência ($v_{15} = 22,8$), Pera ($v_{15} = 19,6$), Natal ($v_{15} = 19,0$) e Hamlin ($v_{15} = 13,9$) e limoeiro Siciliano ($v_{15} = 24,7$). No entanto, para fêmeas criadas sobre tangerineira Ponkan o pico de oviposição ocorreu aos 16 dias ($v_{16} = 26,1$) (Figura 2.4).

Tabela 2.2 - Período de pré-oviposição e oviposição, fecundidade total e longevidade de *Panonychus citri* criados sobre diferentes espécies e variedades de plantas cítricas. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Parâmetro	Espécie e variedade de planta cítrica ¹					
	<i>Citrus sinensis</i>				<i>Citrus limum</i>	<i>Citrus reticulata</i>
	Valência	Pera	Natal	Hamlin	Siciliano	Ponkan
Período de pré-oviposição	1,1 $\pm$ 0,08 a	1,2 $\pm$ 0,09 a	1,3 $\pm$ 0,07 a	1,3 $\pm$ 0,11 a	1,2 $\pm$ 0,13 a	1,1 $\pm$ 0,15 a
Período de oviposição	11,4 $\pm$ 0,56 a	10,1 $\pm$ 0,57 a	9,9 $\pm$ 0,84 a	8,7 $\pm$ 0,27 b	11,0 $\pm$ 0,55 a	8,53 $\pm$ 0,27 b
Fecundidade total média	45,0 $\pm$ 1,04 a	35,3 $\pm$ 0,90 b	34,8 $\pm$ 1,43 b	31,3 $\pm$ 1,04 c	46,4 $\pm$ 0,95 a	35,1 $\pm$ 0,52 b
Longevidade						
Fêmea	13,4 $\pm$ 0,36 a	11,6 $\pm$ 0,32 b	11,0 $\pm$ 0,45 b	10,7 $\pm$ 0,48 c	13,6 $\pm$ 0,42 a	10,2 $\pm$ 0,25 c
Macho	12,1 $\pm$ 0,57 a	10,4 $\pm$ 0,44 b	10,1 $\pm$ 0,50 b	9,3 $\pm$ 0,32 c	12,0 $\pm$ 0,47 a	9,6 $\pm$ 0,37 c

¹Médias seguidas pela mesma letra, nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de bootstrap emparelhado ($p < 0,05$)

Figura 2.2 - Taxa de sobrevivência (lx) e fecundidade específica (mx) de *Panonychus citri* criados sobre diferentes espécies e variedades de plantas cítricas. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Figura 2.3 - Expectativa de vida de idade-estágio específica de *Panonychus citri* criados sobre diferentes espécies e variedades de plantas cítricas. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Figura 2.4 - Valor da reprodução de idade-estágio específica de *Panonychus citri* criados sobre diferentes espécies e variedades de plantas cítricas. Temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

2.3.4 Tabela de vida

A estimativa dos parâmetros de tabela de vida demonstrou que a taxa líquida de reprodução (R_o) de *P. citri* foi significativamente maior em ácaros que utilizaram laranjeira Valência e limoeiro Siciliano como hospedeiro de alimentação e oviposição. A menor R_o foi constatada em ácaros criados sobre laranjeira Hamlin, enquanto que, laranjeiras Pera e Natal

proporcionaram valores de R_o intermediários (Tabela 2.3). O intervalo médio entre gerações (T) foi significativamente maior em ácaros criados em laranjeira Hamlin do que àqueles que utilizaram laranjeiras Valência, Pera e Natal, tangerineira Ponkan e limoeiro Siciliano como hospedeiros (Tabela 2.3). Ácaros que desenvolveram sobre laranjeira Valência e limoeiro Siciliano apresentaram maior taxa intrínseca de crescimento (r) e razão finita de aumento (λ) quando comparado aos demais hospedeiros. Os menores valores de r e λ foram obtidos em ácaros criados sobre laranjeira Hamlin, enquanto que, laranjeiras Valência, Pera e Natal e tangerineira Ponkan proporcionaram valores de r e λ intermediários (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Estimativa dos parâmetros de tabela de vida de *Panonychus citri* criados sobre diferentes espécies e variedades de plantas cítricas. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Hospedeiro	Parâmetro ¹			
	R_o	T	r	λ
Valência	$27,76 \pm 2,09$ a	$17,58 \pm 0,22$ c	$0,1890 \pm 0,0045$ a	$1,208 \pm 0,0054$ a
Pera	$20,90 \pm 1,66$ b	$18,64 \pm 0,20$ b	$0,1629 \pm 0,0047$ b	$1,177 \pm 0,0055$ b
Natal	$21,13 \pm 1,78$ b	$18,66 \pm 0,21$ b	$0,1633 \pm 0,0044$ b	$1,197 \pm 0,0052$ b
Hamlin	$16,99 \pm 1,53$ c	$19,16 \pm 0,19$ a	$0,1478 \pm 0,0049$ c	$1,159 \pm 0,0047$ c
Siciliano	$29,07 \pm 2,14$ a	$17,56 \pm 0,15$ c	$0,1918 \pm 0,0046$ a	$1,211 \pm 0,0056$ a
Ponkan	$21,04 \pm 1,59$ b	$18,17 \pm 0,17$ b	$0,1675 \pm 0,0042$ b	$1,182 \pm 0,0053$ b

¹Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de bootstrap emparelhado ($p < 0,05$)

2.4 Discussão

Os resultados deste estudo revelaram que as espécies e variedades de plantas cítricas influenciaram significativamente nos parâmetros biológicos e demográficos do ácaro *P. citri*. De modo geral, as variedades de laranjeira-doce (variações intraespecíficas) causaram efeitos mais pronunciados do que as espécies (variações intraespecíficas) de plantas cítricas utilizadas como hospedeiros de alimentação e oviposição do ácaro. Corroborando esses resultados, Lei et al. (2004) também verificaram grandes variações no desenvolvimento de *P. citri* em diversas variedades de plantas cítricas. De acordo com os autores, as variações intraespecíficas (morfológicas, fisiológicas e nutricionais) das plantas hospedeiras intraespecíficas podem alterar a qualidade das plantas hospedeiras e afetar os níveis populacionais dos ácaros.

Apesar das diferentes taxas de crescimento de *P. citri* verificadas no presente estudo, o período de incubação dos ovos foi de aproximadamente 6,6 dias para todas as espécies e variedades de plantas cítricas avaliadas. No entanto, esses resultados foram superiores aos reportados por Karaca (1988) e Gotoh, Ishikawa e Kitashima (2003) em ácaros criados sobre laranjeira-azeda [*Citrus aurantium* L. (Rutaceae)] (período de incubação de 5,5 e 5,9 dias, respectivamente) e Lei et al. (2004) em quatro variedades de pomeleiro [*Citrus maxima* (Burm.) Merr. (Rutaceae)] (5,0 a 5,3 dias), quatro variedades de tangerineira (5,4 a 5,7 dias) e cinco variedades de laranjeira (6,0 a 6,5 dias) e inferiores a uma variedade de citromeleiro Swingle [*Citrus japonica* Thunb. (Rutaceae)], cujo período de desenvolvimento embrionário foi de 6,9 dias. As diferenças na duração do período embrionário são atribuídas à qualidade nutricional e a presença de aleloquímicos nas plantas utilizadas como hospedeiro de alimentação e oviposição dos ácaros. Apesar dos embriões não utilizarem diretamente a planta hospedeira como alimento, seus progenitores (especialmente as fêmeas), ao se alimentarem, ingerem diferentes nutrientes e compostos do metabolismo primário e secundário de plantas que podem alterar a qualidade dos ovos produzidos e afetar o desenvolvimento do embrião (YIN et al., 2013). Além da planta hospedeira, fatores abióticos (temperatura, umidade relativa do ar e fotoperíodo) e o sexo dos indivíduos também podem influenciar na duração do período embrionário. Saitô (1979) avaliando a duração do desenvolvimento de *P. citri* em folhas de tangerineira [*Citrus unshiu* Mark (Rutaceae)] em condições laboratoriais (temperatura de $25 \pm 1^\circ \text{C}$, UR de $52 \pm 2\%$ e fotoperíodo de 15 L: 9 E horas) verificou que o período de incubação foi de 5,8 dias para fêmeas e 5,9 dias para machos. Da mesma forma, Kasap (2009) demonstrou que o período de desenvolvimento embrionário de *P. citri* criados sobre folhas de laranjeiras de umbigo (*C. sinensis*) foi de 18,3; 7,8; 6,4; 4,9 e 4,3 dias para fêmeas e 17,6; 7,3; 6,3; 4,8 e 4,2 machos quando mantidos sob temperaturas de 15, 20, 25, 30 e $35 \pm 1^\circ \text{C}$, UR de $65 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 16 L: 8 E horas, respectivamente.

A duração do estágio imaturo de fêmeas e machos foram maiores em laranjeira Hamlin do que em laranjeiras Valência, Pera e Natal, limoeiro Siciliano e tangerineira Ponkan. Duração do período ovo-adulto variando de 11,2 a 11,6 dias foi verificado em fêmeas e machos de *P. citri* criados sobre folhas de laranjeira-azeda (KARACA, 1988; GOTOH; ISHIKAWA; KITASHIMA, 2003) e de 12,1 dias em limoeiro Siciliano (CHIAVEGATO, 1988). Por outro lado, Saitô (1979) e Kasap (2009) verificaram que o ciclo ovo-adulto foi de 12,0 e 12,2 dias para fêmeas e de 11,6 e 11,7 dias para machos que utilizaram folhas de tangerineira (sem relatar a variedade) e laranjeira de umbigo como substrato de alimentação, respectivamente, sendo próximos aos verificados nas diferentes espécies e variedades de

plantas cítricas (exceto laranjeira Hamlin) avaliadas no presente estudo. Além do menor desenvolvimento de *P. citri*, laranjeira Hamlin também ocasionou redução na taxa de sobrevivência do estágio imaturo do ácaro, demonstrando que essa variedade é menos favorável ao desenvolvimento do ácaro. A presença de aleloquímicos (antibiose) que reduzem a taxa de desenvolvimento e sobrevivência do ácaro pode ser uma das causas para o menor crescimento do ácaro nessa planta hospedeira (VENDRAMIM; GUZZO, 2009).

No estágio adulto, a menor fecundidade (31,3 ovos por fêmea) e período de oviposição (8,7 dias) foram constatados em ácaros criados sobre laranjeira Hamlin. Entretanto, esses valores foram similares aos obtidos por Karaca (1988) que verificou fecundidade de 35,4 ovos depositados em 8,9 dias em fêmeas de *P. citri* que utilizaram laranjeira-azedá como hospedeiro e superiores aos constatados por Kasap (2009) em fêmeas criadas em laranjeira de umbigo (fecundidade de 25,6 ovos por fêmea e período de oviposição de 9,9 dias) e Lei et al. (2004) em fêmeas que desenvolveram sobre três variedades de pomeleiro e quatro variedades de tangerineira (fecundidade variando de 6,9 a 8,4 ovos por fêmea) durante 25 dias de oviposição. Por outro lado, Gotoh, Ishikawa e Kitashima (2003) relataram fecundidade média de 67,2 ovos e período de oviposição de 13,2 dias para fêmeas criadas sobre laranjeira-azedá. Essas variações são atribuídas a qualidade da planta utilizada como alimento durante o desenvolvimento do estágio imaturo. Alimentos com maiores concentrações de nitrogênio (um dos principais componentes de aminoácidos livres e/ou proteínas solúveis) são mais adequados para o desenvolvimento e reprodução dos ácaros, pois essas substâncias auxiliam no desenvolvimento e maturação do aparato reprodutivo das fêmeas (HARE, 1988; YIN et al., 2013).

A longevidade média de fêmeas e machos criados sobre laranjeira Hamlin foi de 10,7 e 9,3 dias, respectivamente, sendo inferior aos verificados em laranjeiras Valência, Pera e Natal, limoeiro Siciliano e tangerineira Ponkan (longevidade variando de 13,6 a 11,0 para fêmeas e de 12,1 a 10,1 para machos). Apesar das diferenças, esses resultados foram similares aos verificados em ácaros criados em limoeiro Siciliano (13,0 dias) (CHIAVEGATO, 1988) e inferiores aos ácaros mantidos sobre folhas de laranjeira-azedá (14,9 dias) (GOTOH; ISHIKAWA; KITASHIMA, 2003) e de umbigo (14,6 dias) (KASAP, 2009). Além das diferenças nutricionais entre as espécies e variedades de plantas hospedeiras, condições ambientais e variabilidade genética entre as populações de *P. citri* utilizadas nos estudos também podem ocasionar alterações nas variáveis biológicas do ácaro. A expectativa de vida dos ácaros criados sobre laranjeira Hamlin foi significativamente menor do que aqueles que

desenvolveram sobre folhas de laranjeira Valência e limoeiro Siciliano, indicando que essa variedade reduz a tempo de vida e os danos causados pelo ácaro.

Com base na estimativa dos parâmetros de tabela de vida, os resultados demonstraram que os hospedeiros alteraram significativamente os parâmetros demográficos do ácaro. Ácaros criados sobre laranjeira Hamlin apresentaram menor taxa líquida de reprodução ($R_0 = 16,99$), taxa intrínseca de crescimento ($r = 0,156$) e taxa finita de aumento ($\lambda = 1,159$) e maior intervalo entre geração ($T = 19,16$) quando comparado os demais hospedeiros testados. Essas diferenças são decorrentes do menor desenvolvimento do estágio imaturo e ao menor número de ovos depositados pelas fêmeas de *P. citri* nesse hospedeiro. Valores de R_0 e r similares aos estimados em laranjeira Hamlin no presente estudo também foram constatados por Karaca (1988) em laranjeira-azeda ($R_0 = 16,09$ e $r = 0,186$) e Kasap (2009) em laranjeira de umbigo ($R_0 = 16,50$ e $r = 0,160$). Esses resultados indicam que o uso de laranjeira Hamlin pode ser uma alternativa para a manejo de *P. citri* em áreas com alta incidência do ácaro. Cabe salientar, no entanto, que o cultivo exclusivo dessa variedade, apesar de ser menos favorável ao crescimento populacional do ácaro, pode ser inviável economicamente, devido a menor qualidade do suco produzido e a necessidade de escalonamento da colheita e de cultivo de outras variedades na propriedade. Por outro lado, laranjeira Valência e limoeiro Siciliano foram mais favoráveis ao desenvolvimento e reprodução de *P. citri*, corroborando os resultados obtidos por Vieira e Chiavegato (1999) que verificaram que limoeiro Siciliano foi o hospedeiro mais adequado para o desenvolvimento do ácaro-branco [*Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae)]. A maior adequabilidade desses hospedeiros resultou no menor tempo de desenvolvimento dos estádios imaturos e no maior número de ovos depositados pelas fêmeas. No entanto, em campo, o cultivo desses hospedeiros pode requerer medidas de controle mais frequentes, uma vez que os níveis populacionais e o número de gerações anuais do ácaro podem ser maiores nesses hospedeiros. Portanto, esses resultados sugerem que, em áreas de cultivo de laranjeira Valência e limoeiro Siciliano o manejo de *P. citri* deve ser mais rigoroso com monitoramento mais frequente para detectar as infestações iniciais da praga.

2.5 Conclusões

- Laranjeira Valência e limoeiro Siciliano são mais favoráveis ao crescimento populacional do ácaro fitófago *P. citri*.

- Laranjeira Hamlin proporciona menor taxa de crescimento populacional do ácaro fitófago *P. citri*.
- Laranjeiras Pera e Natal e tangerineira Ponkan não alteram a taxa de crescimento populacional do ácaro *P. citri*.

Referências

ASHIHARA, W. Infestation and reproduction of the Citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acarina: Tetranychidae). **Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, v. 22, n. 4, p. 512-518, 1987.

CHI, H. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. **Environmental Entomology**, College Park, v. 17, n. 1, p. 26-34, 1988.

_____. **TWOSEX-MSChart**: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. 2012. Disponível em: <<http://www.140.120.197.173/Ecology/>>. Acesso em: 13 set. 2013.

CHI, H.; LIU, H. Two new methods for the study of insect population ecology. **Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica**, Taipei, v. 24, n. 2, p. 225-240, 1985.

CHI, H.; SU, H.Y. Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. **Environmental Entomology**, College Park, v. 35, n. 1, p. 10-21, 2006.

CHIAVEGATO, L.G. Biologia de *Panonychus citri* (McGregor, 1916) (Acari: Tetranychidae). Pragas dos citros. **Científica**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 79-84, 1988.

DANESHNIA, N.; AKRAMI, M.A.; ALEOSFOOR, M. Life table parameters of fig mite, *Eotetranychus hirsti* (Acari: Tetranychidae) under laboratory conditions. **Persian Journal of Acarology**, Karaj, v. 2, n. 2, p. 277-286, 2013.

DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J-M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 52, p. 81-106, 2007.

DING, T.B.; NIU, J.Z.; YANG, L.H.; ZHANG, K.; DOU, W.; WANG, J.J. Transcription profiling of two cytochrome P450 genes potentially involved in acaricide metabolism in citrus red mite *Panonychus citri*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 106, n. 1/2, p. 28-37, 2013.

EFRON, B.; TIBSHIRANI, R.J. A. **An introduction to the bootstrap**. New York; London: Springer, 1993. 430 p.

GOODMAN, D. Optimal life histories, optimal notation, and the value of reproductive value. **American Naturalist**, Chicago, v. 119, n. 6, p. 803-823, 1982.

GOTOH, T.; ISHIKAWA, Y.; KITASHIMA, Y. Life-history traits of the six *Panonychus* species from Japan (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 29, n. 3/4, p. 252-261, 2003.

HARE, J.D. Egg production of the citrus red mite (Acari: Tetranychidae) on lemon and mandarin orange. **Environmental Entomology**, College Park, v. 17, n. 4, p. 715-721, 1988.

HUANG, Y.B.; CHI, H. Age-stage, two-sex life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) with a discussion on the problem of applying female age-specific life tables to insect populations. **Insect Science**, Elmsford, v. 19, n. 2, p. 263-273, 2012.

JHA, R.K.; CHI, H.; TANG, L.C. Life table of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) with a discussion on Jackknife vs. bootstrap techniques and variations on the Euler-Lotka equation. **Formosan Entomologist**, Taiwan, v. 32, n. 4, p. 355-375, 2012.

JIN, T.; LIN, Y.Y.; JIN, Q.A.; WEN, H.B.; PENG, Z.Q. Age-stage, two-sex life table of *Brontispa longissima* (Gestro) (Coleoptera: Hispididae) feeding on four palm plant varieties. **Environmental Entomology**, College Park, v. 41, n. 5, p. 1208-1214, 2012.

JONES, V.P.; PARRELLA, M.P. The sublethal effects of selected insecticides on life table parameters of *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). **The Canadian Entomologist**, Quebec, v. 116, n. 7, p. 1033-1040, 1984.

KARACA, I. Life table of Citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) in laboratory conditions. **Türkiye Entomoloji Derneği and Dergisi**, İzmir, v. 18, n. 2, p. 65-70, 1994.

KASAP, I. The biology and fecundity of the citrus red mite *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) at different temperatures under laboratory conditions. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 33, n. 6, p. 593-600, 2009.

KIM, S.H.; KIM, Y.K.; LEE, M.H.; HONG, S.C.; BAE, J.M.; MIN, K.U.; KIM, Y.Y.; CHO, S.H. Relationship between sensitization to citrus red mite (*Panonychus citri*) and the prevalence of atopic diseases in adolescents living near citrus orchards. **Clinical and Experimental Allergy**, Oxford, v. 32, n. 7, p. 1054-1058, 2002.

KIM, Y.K.; PARK, H.S.; KIM, H.Y.; JEE, Y.K.; SON, J.W.; BAE, J.M.; LEE, M.H.; CHO, S.H.; MIN, K.U.; KIM, Y.Y. Citrus red mite (*Panonychus citri*) may be an important allergen in the development of asthma among exposed children. **Clinical and Experimental Allergy**, Oxford, v. 31, n. 4, p. 582-589, 2001.

KITASHIMA, Y.; GOTOH, T. Host range difference and reproductive incompatibility among five populations of the Citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae). **Journal of the Acarological Society of Japan**, Kagoshima, v. 4, n. 2, p. 91-101, 1995.

LEI, H.D.; HU, J.H.; LI, H.J.; RAN, C.; ZHANG, Q.B.; LIN, B.M.; TIAN, W.H.; QIAN, K.M. Performances of the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acarina: Tetranychidae) on various citrus varieties. **Acta Entomologica Sinica**, Beijing, v. 47, n. 5, p. 607-611, 2004.

MIGEON, A.; DORKELD, F. **Spider mites web**: a comprehensive database for the Tetranychidae. 2014. Disponível em: <<http://www.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb>>. Acesso em: 18 ago. 2014.

MORAIS, G.J.; FLECHTMANN, C.H.W. **Manual de acarologia**: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. Ribeirão Preto: Ed. Holos, 2008. 308 p.

NASERI, B.; GOLPARVAR, Z.; RAZMJOU, J.; GOLIZADEH, A. Age-stage, two-sex life table of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on different bean cultivars. **Journal of Agricultural Science and Technology**, Rasht, v. 16, n. 1, p. 19-32, 2014.

OLIVEIRA, C.A.L.; PATTARO, F.C. Citros: manejo de ácaros fitófagos na cultura. In: YAMAMOTO, P.T. (Org.). **Manejo integrado de pragas do citros**. Piracicaba: ESALQ, 2008. cap. 4, p. 81-125.

PAN, W.; LUO, P.; FU, R.; GAO, P.; LONG, Z.; XU, F.; XIAO, H.; LIU, S.H. Acaricidal activity against *Panonychus citri* of a ginkgolic acid from the external seed coat of *Ginkgo biloba*. **Pest Management Science**, Sussex, v. 62, n. 3, p. 283-287, 2006.

RODRÍGUEZ, H.; RAMOS, M.; PINO, O.; DÍAZ, B. Toxicidad del extracto crudo de maíz sobre *Panonychus citri* (McGregor) en condiciones de laboratorio. **Revista de Protección Vegetal**, Havana, v. 26, n. 2, p. 105-110, 2011.

SAITÔ, Y. Comparative studies on life histories of three species of spider mites (Acarina: Tetranychidae). **Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, v. 14, n. 1, p. 83-94, 1979.

SOUFBAF, M.; FATHIPOUR, Y.; KARIMZADEH, J.; ZALUCKI, M.P. Development and age-specific mortality of diamondback moth on Brassica host plants: pattern and causes of mortality under laboratory conditions. **Annals of the Entomological Society of America**, College Park, v. 103, n. 4, p. 574-579, 2010.

VENDRAMIM, J.D.; GUZZO, E.C. Resistência de plantas e a bioecologia e nutrição dos insetos. In: PANIZZU, A.R.; PARRA, J.R. (Ed.). **Bioecologia e nutrição de insetos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. cap. 1, p. 1055-1105.

VIEIRA, M.R.; CHIAVEGATO, E.G. Biologia de *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae) em limão Siciliano (*Citrus limon* Burm.). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 27-33, 1999.

YAMAMOTO, P.T.; ZANARDI, O.Z. Atualização de manejo do ácaro purpúreo *Panonychus citri*. **Revista Citricultura Atual**, Cordeirópolis, v. 96, p. 16-17, 2013.

YIN, W.D.; QIU, G.S.; YAN, W.T.; SUN, L.N.; ZHANG, H.J.; MA, C.S.; ADAOBI, U.P. Age-stage two-sex life tables of *Panonychus ulmi* (Acari: Tetranychidae), on different apple varieties. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 106, n. 5, p. 2118-2125, 2013.

3 IMPACTO DE INSETICIDAS PIRETROIDES E NEONICOTINOIDES NOS PARÂMETROS BIOLÓGICOS, COMPORTAMENTAIS E DEMOGRÁFICOS DE *Panonychus citri* (MCGREGOR) (ACARI: TETRANYCHIDAE)

Resumo

O uso de inseticidas piretroides e neonicotinoides para o controle de insetos-praga tem sido uma das principais causas associadas a ocorrência de surtos populacionais de *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) nos pomares cítricos. Dessa forma, objetivou-se com este estudo, avaliar os efeitos de três inseticidas piretroides (esfenvalerate, deltamethrin e lambda-cyhalothrin) e dois neonicotinoides (imidacloprid e thiamethoxam) sobre os parâmetros biológicos, comportamentais e demográficos de *P. citri*. Os resultados demonstraram que os inseticidas piretroides e neonicotinoides não afetaram a taxa de eclosão de larvas de *P. citri*. No entanto, os inseticidas piretroides reduziram a taxa de sobrevivência do estágio imaturo em até 37,8%. Apesar da mortalidade, os piretroides ocasionaram aumento na fecundidade ($\leq 33\%$) e na repelência do ácaro e reduziram a preferência das fêmeas na utilização das áreas tratadas para alimentação e oviposição. Por outro lado, os neonicotinoides não ocasionaram mortalidade, repelência e preferência de alimentação e oviposição de *P. citri*, mas imidacloprid ocasionou aumento na fecundidade das fêmeas. Com base nos parâmetros demográficos, os inseticidas deltamethrin, lambda-cyhalothrin e imidacloprid ocasionaram aumento na R_0 , r e λ de *P. citri*, enquanto que, esfenvalerate e thiamethoxam foram similares ao tratamento controle. Dessa forma, o aumento na fecundidade e repelência do ácaro e a menor preferência de alimentação e oviposição das fêmeas foram os principais fatores associados ao aumento populacional de *P. citri* após a aplicação de inseticidas piretroides (especialmente deltamethrin e lambda-cyhalothrin), enquanto que, a insensibilidade dos ácaros e o aumento na capacidade reprodutiva foram as principais evidências do aumento na abundância do ácaro após a aplicação de imidacloprid.

Palavras-chave: Ácaro purpúreo; Surto populacional; Fecundidade; Repelência; Preferência de alimentação; Preferência de oviposição

Abstract

The use of pyrethroids and neonicotinoids insecticides for the control of insect pests have been one of the main causes associated of outbreaks of *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) in citrus groves. Thus, the aim of this study was to evaluate, in laboratory conditions, the effects of three pyrethroids insecticides (esfenvalerate, deltamethrin and lambda-cyhalothrin) and two neonicotinoids (imidacloprid and thiamethoxam) on biological, behavioral and demographic parameters of *P. citri*. However, pyrethroid insecticides reduced the survival rate of the immature stage up to 37.8%. Despite mortality, pyrethroids increased fecundity ($\leq 33\%$) and mite repellence, and reduced the preference of females in the use of the treated areas for feeding and oviposition. On the other hand, neonicotinoids did not cause mortality, repellence and feeding and oviposition preference of *P. citri* females, but imidacloprid increased fecundity of females. Based on the demographic parameters, deltamethrin, lambda-cyhalothrin and imidacloprid insecticides increased R_0 , r and λ of *P. citri*, whereas esfenvalerate and thiamethoxam were similar to the control. Thus, the increase in fecundity and repellence of mite and the lowest feeding and oviposition preference of females were the main factors associated with population growth of *P. citri* after

application of pyrethroid insecticides (especially deltamethrin and lambda-cyhalothrin), whereas insensitivity of mites and increased reproductive capacity were the main evidences of increase in mite abundance after application of imidacloprid.

Keywords: Citrus red mite; Outbreak; Fecundity; Repellence; Feeding preference; Oviposition preference

3.1 Introdução

A incidência de artrópodes-praga nos sistemas de produção tem sido um dos principais fatores que desafiam a viabilização e a consolidação de altas produtividades nas culturas. Entre as táticas de manejo que visam reduzir os níveis populacionais das pragas, o controle químico tem sido a mais utilizada, devido a sua ação rápida e ser de baixo custo. Apesar dos pesticidas atuarem na redução da abundância e na mitigação dos impactos causados pelos artrópodes-praga, eles também interrompem os processos ecológicos, causando mortalidade dos inimigos naturais, seleção de populações resistentes aos ingredientes ativos, ressurgência de pragas alvos de controle e surtos de pragas secundárias (DUTCHER, 2007; SZCZEPANIEC et al., 2011; CORDEIRO et al., 2013; ZHAN et al., 2015). Essas alterações na densidade e na dinâmica populacional das pragas podem ocasionar perdas quantitativas e qualitativas dos produtos produzidos, além de aumentar os custos de produção e reduzir a eficácia da técnica e a sustentabilidade ambiental do sistema.

Entre os efeitos colaterais dos pesticidas, a ocorrência de surtos de pragas secundárias, que é caracterizado pelo rápido aumento na densidade populacional de uma espécie de artrópode-praga não alvo do pesticida após a sua aplicação, tem sido cada vez mais frequente nos sistemas de produção (SZCZEPANIEC et al., 2011; CORDEIRO et al., 2013) e, na maioria das vezes, causam prejuízos similares as pragas chave caso medidas de controle não sejam adotadas. Casos de surtos de pragas secundárias após a aplicação de pesticidas têm sido relatados em diversas culturas, incluindo olerícolas (JAMES; PRICE, 2002), algodoeiro (BARTLETT, 1968; TRICHILO; WILSON, 1993; BARROS et al., 2007; SMITH, 2010; SMITH et al., 2013), soja (COSTAMAGNA; LANDIS; DIFONZO, 2007), macieira (BEERS et al., 2005; HARDMAN et al., 2006), videira (PRISCHMANN et al., 2005; STAVRINIDES; MILLS, 2009), cafeeiro (CORDEIRO et al., 2013), roseira (GUPTA; KRISCHIK, 2007) e árvores em paisagens urbanas (RAUPP et al., 2004; SZCZEPANIEC et al., 2011; SZCZEPANIEC; RAUPP, 2013). Entre os artrópodes-praga, um grande número de relatos de surtos de pragas secundárias tem sido constatado em ácaros da família Tetranychidae, devido ao grande número de plantas hospedeiras, alta capacidade reprodutiva e o reduzido intervalo

entre gerações, características que condicionam a esses artrópodes rápido crescimento populacional em um curto espaço de tempo.

Em citros, no Brasil, *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) era considerado uma praga secundária (OLIVEIRA; PATTARO, 2008), mas com a intensificação no uso de inseticidas piretroides e neonicotinoides para o controle de insetos-praga, especialmente de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), vetor das bactérias “*Candidatus Liberibacter spp.*”, cujos sintomas estão associados ao huanglongbing (HLB), os níveis populacionais do ácaro vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, exigindo pulverizações frequentes de acaricidas para o seu controle (YAMAMOTO; ZANARDI, 2013; RIBEIRO et al., 2014). Os primeiros casos de surtos de *P. citri* em citros ocorreram na década 1970 em Taiwan (WU; TAO, 1977) após o lançamento dos primeiros piretroides sintéticos e, mais tarde, na Califórnia (JONES; PARRELLA, 1984) e Japão (FURUHASHI, 1990). Além dos piretroides, Gottwald et al. (2002) reportaram que pulverizações do neonicotinoide imidacloprid para o controle do pulgão-preto [*Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Hemiptera: Aphididae)] foram responsáveis pelo aumento populacional de *P. citri* em pomares cítricos em Porto Rico.

Inicialmente, os surtos populacionais de *P. citri* estavam associados a mortalidade dos inimigos naturais causados pelos inseticidas utilizados no manejo de insetos-praga (BARTTLET, 1968; TRICHILO; WILSON, 1993). No entanto, mecanismos adicionais vêm sendo investigados e utilizados para explicar os fatores que desencadeiam o aumento populacional de pragas secundárias após aplicações de inseticidas (GUEDES; MAGALHÃES; COSME, 2009; RAUPP; SHREWSBURY; HERMS, 2010; SZCZEPANIEC et al., 2011). Entre eles, a melhoria na qualidade nutricional das plantas hospedeiras proporcionada pelos inseticidas (SZCZEPANIEC et al., 2013), a insensibilidade dos ácaros fitófagos aos ingredientes ativos (SZCZEPANIEC et al., 2011), aumento na repelência/dispersão (BARROS et al., 2007; BOSTANIAN et al., 2009) e o efeito hormese que é caracterizado pela inversão na resposta biológica (redução no tempo de desenvolvimento, aumento na fecundidade, longevidade, etc.) após a exposição dos ácaros aos produtos (JAMES; PRICE, 2002; COHEN, 2006; GUEDES; MAGALHÃES; COSME, 2009; CUTLER, 2013; GUEDES; CUTLER, 2014), tem sido as principais causas associadas ao aumento na abundância de pragas secundárias nos sistemas de produção.

Apesar dessas causas terem sido constatadas em diversas espécies de ácaros-praga, para *P. citri* essas evidências ainda não foram completamente investigadas. Portanto, a elucidação dos mecanismos que favorecem o aumento populacional de *P. citri* após a

aplicação de inseticidas será importante para compreender as alterações na abundância e na dinâmica populacional do ácaro nos sistemas de produção. Dessa forma, objetivou-se com este estudo, avaliar em condições laboratoriais, os efeitos de três inseticidas piretroides (deltamethrin, esfenvalerate e lambda-cyhalothrin) e dois neonicotinoides (imidacloprid e thiamethoxam) comumente utilizados no manejo de insetos-praga (especialmente de *D. citri*) em pomares cítricos sobre os parâmetros biológicos, comportamentais e demográficos de *P. citri*.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Ácaros

Para a realização dos bioensaios foram utilizados ácaros provenientes da criação mantida em condições laboratoriais (item 2.2.1).

3.2.2 Inseticidas avaliados

Os inseticidas foram avaliados nas concentrações recomendadas para o manejo de *D. citri* em citros pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2009), sendo: esfenvalerate 0,019 g L⁻¹ (Sumidan[®] 150 EC - Sumitomo Chemical do Brasil Representações Ltda., SP, Brasil), deltamethrin 0,008 g L⁻¹ (Decis Ultra[®] 100 EC - Bayer CropScience S.A., SP, Brasil), lambda-cyhalothrin 0,010 g L⁻¹ (Karate Zeon[®] 50 CS - Syngenta Proteção de Plantas Ltda., SP, Brasil), imidacloprid 0,040 g L⁻¹ (Provado[®] 200 SC - Bayer CropScience S.A., SP, Brasil) e thiamethoxam 0,025 g L⁻¹ (Actara[®] 250 WG - Syngenta Proteção de Plantas Ltda., SP, Brasil).

3.2.3. Bioensaios

Os bioensaios foram realizados em sala climatizada com temperatura 25 ± 2 °C, umidade relativa (UR) de 60 ± 10% e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas. Para todos os bioensaios foi utilizado delineamento inteiramente aleatorizado.

3.2.3.1 Efeito de inseticidas nos parâmetros biológicos de *P. citri*

3.2.3.1.1 Efeito sobre ovo

O efeito dos inseticidas piretroides e neonicotinoides sobre ovos de *P. citri* foi avaliado utilizando arenas de 5 cm de diâmetro confeccionadas com folhas de laranjeira-doce [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck (Rutaceae)] da variedade Valência colocadas sobre uma camada de espuma em bandejas plásticas (29,0 × 21,0 × 6,0 cm de comprimento, largura e altura, respectivamente) e utilizadas como unidades experimentais. Feito isso, 20 fêmeas acasaladas (~ 72 horas de idade), provenientes da criação mantida em laboratório, foram transferidas para cada arena. Após 24 horas, as fêmeas foram removidas das arenas e os ovos depositados contatos e submetidos à pulverização de 2 mL de solução, do respectivo tratamento, em torre de Potter (Burkard Scientific, Uxbridge, UK), ajustada à pressão de 0,703 kg cm⁻², propiciando deposição de $1,8 \pm 0,1$ mg de resíduo fresco por cm² de folha. Após a pulverização dos tratamentos, as arenas foram acondicionadas em sala climatizada. Para cada tratamento foram utilizados 10 repetições e o bioensaio foi repetido quatro vezes ao longo do tempo. O número de larvas eclodidas em cada arena foi avaliado após oito dias da pulverização dos tratamentos. Os ovos que não originaram larvas foram considerados mortos. O efeito dos inseticidas sobre ovos de *P. citri* foi calculado utilizando a fórmula de Henderson e Tilton (1955).

3.2.3.1.2 Efeito sobre larvas, protoninfas, deutoninfas e fêmeas adultas

O efeito dos inseticidas sobre os diferentes estádios de desenvolvimento (larva, protoninfa, deutoninfa e fêmea adulta) do ácaro foi avaliado em condições laboratoriais utilizando bioensaio de contato residual. Para isso, folhas de laranjeira-doce da variedade Valência foram inicialmente pulverizadas com 2 mL de solução, dos respectivos tratamentos, em torre de Potter conforme descrito no item 3.2.3.1.1 e mantidas em sala climatizada, por três horas, para a secagem dos resíduos. Como tratamento controle foi utilizado água deionizada. Decorrido esse período, arenas (unidades experimentais) foram confeccionadas em bandejas plásticas conforme descrito no item 3.2.3.1.1 e infestadas com 10 ácaros do respectivo estágio de desenvolvimento (larva, protoninfa, deutoninfa e fêmea adulta) e acondicionada em sala climatizada. Para cada tratamento e estágio de desenvolvimento do

ácaro foram utilizadas 10 repetições e os bioensaios repetidos por quatro vezes ao longo do tempo ($n = 4 \times 100 = 400$).

O número de ácaros vivos e mortos em cada arena foi avaliado após 24 horas. Foram considerados mortos os ácaros que não apresentavam reação ao toque de um pincel fino. O efeito dos inseticidas sobre cada estágio de desenvolvimento do ácaro foi calculado pela fórmula de Abbott (1925).

3.2.3.1.3 Efeito na reprodução

Para avaliação dos efeitos dos inseticidas piretroides e neonicotinoides sobre a reprodução de *P. citri* foram utilizadas folhas de laranjeira-doce da variedade Valência pulverizadas com 2 mL de solução, dos respectivos tratamentos, em torre de Potter conforme procedimento descrito no item 3.2.3.1.1. Decorridos três horas da pulverização dos tratamentos (período necessário para a secagem dos resíduos), arenas de 5 cm de diâmetro foram confeccionadas conforme descrito no item 3.2.3.1.1 e utilizadas como unidades experimentais. Feito isso, cada arena foi infestada com 10 fêmeas recém-emergidas (≤ 24 horas de idade) do ácaro. Para cada tratamento foram utilizadas 10 repetições e o bioensaio foi repetido três vezes ao longo do tempo ($n = 3 \times 100 = 300$). A mortalidade e o número de ovos depositados pelas fêmeas foram avaliados a cada 24 horas durante oito dias. O efeito dos inseticidas na fecundidade das fêmeas foi determinado com base na razão do número total de ovos depositados e o número de fêmeas vivas durante todo o período de avaliação.

3.2.3.2 Efeito de inseticidas nos parâmetros comportamentais de *P. citri*

3.2.3.2.1 Efeito repelente

Para estimar o efeito repelente dos inseticidas piretroides e neonicotinoides foi utilizado o procedimento descrito por Bostanian et al (2009). Para isso, folhas de laranjeira-doce da variedade Valência foram pulverizadas com 2 mL de solução, do respectivo tratamento, em torre de Potter conforme descrito no item 3.2.3.1.1. Feito isso, arenas de 5 cm de diâmetro foram confeccionadas conforme descrito no item 3.2.3.1.1 e infestadas com 10 fêmeas recém-emergidas (≤ 24 horas de idade) do ácaro e utilizadas como unidades experimentais. Para cada tratamento foram utilizados 25 repetições e o bioensaio foi repetido três vezes ao longo do tempo ($n = 3 \times 250 = 750$).

As avaliações foram realizadas aos 15, 30, 60, 120 e 240 minutos após a liberação das fêmeas nas arenas, contando os ácaros aprisionados da barreira de algodão de cada arena. Com base em tais valores, foi estimado o efeito repelente dos inseticidas (R) do ácaro utilizando a fórmula:

$$R_{(\%) } = 100 - \left(\frac{NAT_c - NAT_i}{NAT_c} \right) \times 100$$

onde: NAT_c = número total de ácaros aprisionados na barreira de algodão das arenas tratadas com água deionizada (controle) e NAT_i = número total de ácaros aprisionados na barreira de algodão nas arenas tratadas com inseticidas.

3.2.3.2.2 Efeito na preferência de alimentação e oviposição de *P. citri*

O efeito dos inseticidas na preferência de alimentação e oviposição do ácaro foi avaliado sobre fêmeas adultas de *P. citri* em condições laboratoriais. Para tal, foram utilizados discos de folhas de laranjeira-doce da variedade Valência de 5 cm de diâmetro, nos quais foram demarcados uma linha central, dividindo o disco foliar em duas seções simétricas. Além disso, duas linhas paralelas foram demarcadas lateralmente a uma distância de 0,2 cm da linha central. Uma das seções do disco foliar foi pulverizada com 2 mL de água deionizada (tratamento controle), enquanto que, a outra seção foi pulverizada com a solução inseticida do respectivo tratamento. A seção localizada entre as duas linhas laterais não recebeu nenhum tratamento. Após a aplicação dos tratamentos, os discos foram mantidos em sala climatizada, por três horas, para a secagem dos resíduos. Decorrido este período, tiras de algodão hidrófilo umedecido foram adicionadas no entorno dos discos foliares para impedir a fuga dos ácaros (arenas). Feito isso, 10 fêmeas de *P. citri* (≤ 48 horas de idade) foram liberadas sobre a linha central e no centro de cada arena. Para cada tratamento foram utilizadas 25 repetições e o bioensaio repetido três vezes ao longo do tempo ($n = 3 \times 250 = 750$). O número de puncturas de alimentação do ácaro e de ovos depositados em cada seção das arenas foram contados 48 horas após a liberação das fêmeas. As puncturas de alimentação e os ovos depositados entre as linhas laterais foram desconsiderados da análise. Com base em tais valores foi estimado o efeito na preferência de alimentação (PA) e oviposição (PO) do ácaro utilizando as fórmulas:

$$PA_{(\%) } = 100 - \left(\frac{ATP_c - ATP_i}{ATP_c} \right) \times 100$$

e

$$PO_{(\%) } = 100 - \left(\frac{ATO_c - ATO_i}{ATOP_c} \right) \times 100$$

onde: ATP_c = número total de puncturas de alimentação do ácaro na seção tratada com água deionizada (controle); ATP_i = número total de puncturas de alimentação do ácaro na seção tratada com inseticida; NTO_c = número total de ovos depositados pelas fêmeas na seção controle (água deionizada) e NTO_i = número total de ovos depositados pelas fêmeas na seção tratada com inseticida.

3.2.3.3 Efeito sobre os parâmetros demográficos de *P. citri*

O efeito dos inseticidas no desenvolvimento e reprodução de *P. citri* foi avaliado em condições laboratoriais utilizando bioensaio de contato residual. Para isso, seedlings de laranjeira-doce da variedade Valência com aproximadamente 40 cm de altura e 10 folhas completamente desenvolvidas, foram pulverizadas até o ponto de escorrimento, com as respectivas soluções inseticidas e o tratamento controle (água deionizada), utilizando um pulverizador costal modelo Jacto[®] PJH (Jacto do Brasil S.A., Pompeia, São Paulo, Brasil) equipado com bico cone cheio FL-5VS (Teejet Technologies Company, São Paulo, Brasil) de vazão constante e acondicionados em sala climatizada. Para cada tratamento foram utilizados cinco seedlings. Três horas após a pulverização dos tratamentos (período necessário para a secagem dos resíduos), duas folhas foram destacadas aleatoriamente de cada seedlings (10 folhas tratamento⁻¹) e utilizadas para a confecção das arenas conforme descrito no item 3.2.3.1.1. Feito isso, cada arena foi infestada com 30 larvas recém eclodidas (≤ 24 horas de idade) ($n = 300$). A sobrevivência e a duração do estágio imaturo foram avaliadas a cada 12 horas até a obtenção dos adultos. Os adultos obtidos em cada tratamento foram contados (determinação da sobrevivência do estágio imaturo), separados por sexo e transferidos para novas arenas confeccionadas com folhas de laranjeira-doce provenientes das plantas tratadas para avaliação do período de pré-oviposição e oviposição, fecundidade diária e total, fertilidade e longevidade de fêmeas e machos. Durante o período de avaliação do estágio adulto, as arenas foram substituídas a cada cinco dias até a morte total dos ácaros. Para cada tratamento foi utilizado 80 ácaros (40 fêmeas e 40 machos). A fecundidade das fêmeas e a longevidade dos ácaros foram avaliadas a cada 24 horas. A duração do período de incubação dos ovos e a fertilidade das fêmeas foram determinadas com base no número de larvas

eclodidas de 100 ovos coletados a partir da segunda oviposição de 20 fêmeas que não foram utilizadas para avaliação dos parâmetros de fecundidade e longevidade. O número de larvas eclodidas foi avaliado a cada 24 horas por um período de oito dias. Ovos que não originaram larvas foram considerados mortos.

Com base nos dados de duração e viabilidade do período embrionário, duração e sobrevivência do estágio imaturo, período de pré-oviposição e oviposição, fecundidade e longevidade de fêmeas e machos foram estimadas:

A taxa líquida de reprodução (R_o);

$$R_o = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$$

A taxa intrínseca de crescimento (r);

$$1 = \sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x$$

O tempo médio entre gerações (T);

$$T = \ln R_o / r$$

e a razão finita de aumento (λ)

$$\lambda = e^r$$

de acordo com o modelo teórico proposto por Chi e Liu (1985) utilizando o programa TWOSEXMSChart (CHI, 2012). A taxa intrínseca de crescimento foi estimada pela fórmula de Euler-Lotka (GOODMAN, 1982). As médias e os erros padrões de cada parâmetro populacional foram estimados pelo método de bootstrap seguindo o procedimento proposto por Huang e Chi (2012). Durante o procedimento de bootstrap, os dados de cada parâmetro biológico e demográfico analisado foram reamostrados 10.000 vezes. As médias de cada tratamento foram comparadas pelo teste de bootstrap emparelhado (EFRON; TIBSHIRANI, 1993).

3.2.3.4 Análise dos dados

Modelos lineares generalizados (NELDER; WEDDERBURN, 1972) com distribuição do tipo quase-binomial e quase-Poisson foram utilizados para análise dos dados de proporção de mortalidade (larva, protoninfa, deutoninfa e fêmeas adultas) e de contagem (efeito sobre ovos, repelência, preferência de alimentação e oviposição e número de ovos depositados pelas fêmeas sobreviventes), respectivamente. A verificação da qualidade do ajuste foi feita pelo

gráfico meio-normal de probabilidades com envelope de simulação (HINDE; DEMÉTRIO, 1998). Quando houve diferença significativa entre os tratamentos, múltiplas comparações (teste de Tukey, $p < 0,05$) foram realizadas por meio da função “*glht*” do pacote “*multcomp*” com ajuste dos valores de p . Todas as análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico “*R*”, versão 3.1.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

3.3 Resultados

Os resultados demonstraram que as taxas de sobrevivência de *P. citri* variaram de acordo com o inseticida e o estágio de desenvolvimento do ácaro expostos aos resíduos dos produtos. Dessa forma, a pulverização dos inseticidas piretroides esfenvalerate, deltamethrin e lambda-cyhalothrin e dos neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam não afetaram a taxa de eclosão de larvas de *P. citri*, demonstrando que esses produtos não afetam o desenvolvimento e a sobrevivência do embrião (Tabela 3.1). No entanto, a sobrevivência de larvas e protoninfas foi significativamente menor nos tratamentos com esfenvalerate, deltamethrin e lambda-cyhalothrin quando comparadas com imidacloprid e thiamethoxam e o tratamento controle (Tabela 3.1). A exposição de protoninfas e de fêmeas adultas aos inseticidas piretroides não ocasionou mortalidade significativa, demonstrando que esses estágios de desenvolvimento são mais tolerantes aos produtos do que os estágios iniciais de desenvolvimento do ácaro (Tabela 3.1).

Apesar dos efeitos na sobrevivência, os inseticidas piretroides e neonicotinoides ocasionaram aumento na fecundidade das fêmeas (número de ovos depositados) quando comparado ao tratamento controle (Tabela 3.2). Os maiores valores de fecundidade foram observados em fêmeas expostas aos resíduos de deltamethrin, lambda-cyhalothrin e imidacloprid, seguido por esfenvalerate e thiamethoxam e o tratamento controle. Apesar do aumento na fecundidade, nenhum efeito significativo foi observado na fertilidade das fêmeas (Tabela 3.2). No entanto, os piretroides esfenvalerate, deltamethrin e lambda-cyhalothrin ocasionaram maior repelência e menor preferência de alimentação e oviposição das fêmeas do que os neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam e o tratamento controle (Tabela 3.2).

Tabela 3.1 - Número médio de ácaros vivos e erro padrão ($N \pm EP$) e porcentagem de redução (%) na sobrevivência de ovos, larvas, protoninfas deutoninfas e fêmeas adultas de *Panonychus citri* tratadas com inseticidas piretroides e neonicotinoides. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Tratamento	Estádio de desenvolvimento do ácaro									
	Ovos ¹		Larva ²		Protoninfa ²		Deutoninfa ²		Fêmeas adultas ²	
	$N \pm EP$	%	$N \pm EP$	%	$N \pm EP$	%	$N \pm EP$	%	$N \pm EP$	%
Esfenvalerate (0,019 g L ⁻¹)	83,6 $\pm$ 2,91 a	95,4 $\pm$ 2,99 a	6,1 $\pm$ 0,87 c	37,8	7,3 $\pm$ 0,40 c	26,3	8,9 $\pm$ 1,75 a	10,1	9,5 $\pm$ 1,03 a	4,2
Deltamethrin (0,008 g L ⁻¹)	82,5 $\pm$ 2,92 a	93,4 $\pm$ 3,54 a	7,6 $\pm$ 1,23 b	22,4	8,5 $\pm$ 0,29 b	14,1	9,2 $\pm$ 1,58 a	7,1	9,2 $\pm$ 0,79 a	7,1
Lambda-cyhalothrin (0,010 g L ⁻¹)	81,7 $\pm$ 2,50 a	92,2 $\pm$ 2,27 a	7,3 $\pm$ 1,52 b	25,5	8,6 $\pm$ 1,16 b	13,1	9,0 $\pm$ 1,65 a	9,1	9,3 $\pm$ 0,82 a	6,1
Imidacloprid (0,040 g L ⁻¹)	85,9 $\pm$ 4,47 a	96,0 $\pm$ 3,31 a	9,5 $\pm$ 0,71 a	3,1	9,8 $\pm$ 0,42 a	1,0	9,8 $\pm$ 0,42 a	1,0	9,7 $\pm$ 0,67 a	2,0
Thiamethoxam (0,025 g L ⁻¹)	82,5 $\pm$ 4,09 a	94,3 $\pm$ 3,62 a	9,4 $\pm$ 0,84 a	4,1	9,7 $\pm$ 0,67 a	2,0	9,9 $\pm$ 0,32 a	0,0	9,8 $\pm$ 0,71 a	1,0
Controle	84,3 $\pm$ 3,31 a	94,8 $\pm$ 2,34 a	9,8 $\pm$ 0,42 a	-	9,9 $\pm$ 0,32 a	-	9,9 $\pm$ 0,32 a	-	9,9 $\pm$ 0,32 a	-
F	0,052	0,996	18,975		3,587		0,653		4,955	
g.l.	5, 54	5, 54	5, 54		5, 54		5, 54		5, 54	
Valor de p	0,9980	0,0560	< 0,0001		0,0059		0,5990		0,0008	

¹Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente (GLM com distribuição quase-Poisson seguido por teste *post hoc* de Tukey, $p < 0,05$)

²Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente (GLM com distribuição quase-binomial seguido por teste *post hoc* de Tukey, $p < 0,05$)

Tabela 3.2 - Efeito na fecundidade, fertilidade, dispersão e preferência de alimentação e oviposição de fêmeas de *Panonychus citri* expostas aos inseticidas piretroides e neonicotinoides. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Tratamento	Parâmetro ¹				
	Fecundidade (número de ovos) ²	Fertilidade (%)	Efeito repelente ³ (%)	Preferência de alimentação ⁴ (%)	Preferência de oviposição ⁵ (%)
Esfenvalerate (0,019 g L ⁻¹)	22,2 ± 0,98 b	98,4 ± 2,24 a	32,5 ± 4,17 b	33,5 ± 1,08 c	39,6 ± 0,48 b
Deltamethrin (0,008 g L ⁻¹)	26,3 ± 1,01 a	95,5 ± 4,40 a	27,6 ± 3,40 b	40,4 ± 2,28 b	43,1 ± 0,93 bc
Lambda-cyhalothrin (0,010 g L ⁻¹)	25,4 ± 0,61 ab	97,1 ± 2,11 a	21,3 ± 2,51 b	36,5 ± 2,17 bc	36,9 ± 0,45 b
Imidacloprid (0,040 g L ⁻¹)	26,5 ± 1,58 a	96,3 ± 3,69 a	0,2 ± 0,83 a	52,0 ± 1,15 a	50,6 ± 0,80 a
Thiamethoxam (0,025 g L ⁻¹)	21,4 ± 1,10 b	95,7 ± 2,88 a	4,3 ± 1,72 a	51,2 ± 0,78 a	49,4 ± 1,54 a
Controle	19,7 ± 0,90 c	96,7 ± 3,60 a	0,4 ± 0,44 a	49,3 ± 1,06 a	51,4 ± 1,37 a
F	6,003	0,914	40,400	26,742	30,552
g.l.	5, 54	5, 54	5, 144	5, 144	5, 144
Valor de p	0,0004	0,882	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

¹Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente (GLM com distribuição quase-Poisson seguido por teste *post hoc* de Tukey, $p < 0,05$)

²Número total médio de ovos depositados por fêmea viva durante oito dias

³Percentual de ácaros aprisionados na barreira de algodão das arenas

⁴Percentual médio de puncturas de alimentação nas seções tratadas com inseticida

⁵Percentual médio de ovos depositados nas seções tratadas com inseticida

Diante dos efeitos agudos e subletais acumulados nos diferentes estádios de desenvolvimento e reprodução do ácaro, os resultados demonstraram que os piretroides esfenvalerate, deltamethrin e lambda-cyhalothrin não afetaram o tempo de desenvolvimento, mas reduziram significativamente a sobrevivência do estágio imaturo quando comparados aos neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam e o tratamento controle (Tabela 3.3). O maior período de oviposição e fecundidade (número de ovos depositados pelas fêmeas) foram constatados em fêmeas expostas aos resíduos de deltamethrin, lambda-cyhalothrin e imidacloprid do que àquelas que desenvolveram sobre resíduos de esfenvalerate e thiamethoxam e o tratamento controle (Tabela 3.3). O período de pré-oviposição das fêmeas e a longevidade dos ácaros não foram influenciados pelos inseticidas.

Com base nos efeitos no desenvolvimento, sobrevivência e reprodução nos diferentes tratamentos, foi estimado os parâmetros demográficos do ácaro *P. citri*. Os resultados demonstraram que a taxa líquida de reprodução (R_0), taxa intrínseca de crescimento (r) e razão finita de aumento (λ) foram maiores em ácaros criados sobre resíduos de imidacloprid. Por outro lado, esfenvalerate e thiamethoxam não ocasionaram alteração significativa nos parâmetros demográficos do ácaro e foram similares ao tratamento controle. Valores intermediários R_0 , r e λ foram constatados em ácaros criados sobre resíduos de deltamethrin e lambda-cyhalothrin (Tabela 3.4). O menor tempo médio entre gerações foi constatado em ácaros que desenvolveram sobre resíduos de imidacloprid, demonstrando que esse inseticida pode aumentar o número de gerações anuais do ácaro e contribuir para o aumento na frequência de surtos populacionais de *P. citri* nos pomares cítricos (Tabela 3.4).

Tabela 3.3 - Desenvolvimento e reprodução de *Panonychus citri* criados sobre resíduos de inseticidas piretroides e neonicotinoides. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Parâmetro biológico	Tratamento ¹					
	Controle	Esfenvalerate (0,019 g L ⁻¹)	Deltamethrin (0,008 g L ⁻¹)	Lambda-cyhalothrin (0,010 g L ⁻¹)	Imidacloprid (0,040 g L ⁻¹)	Thiamethoxam (0,025 g L ⁻¹)
Duração do estágio imaturo (dias)	12,1 ± 0,12 a	12,3 ± 0,14 a	12,3 ± 0,13 a	12,4 ± 0,16 a	12,0 ± 0,14 a	12,3 ± 0,17 a
Sobrevivência estágio imaturo (%)	94,2 ± 2,49 a	76,6 ± 4,02 c	85,7 ± 3,83 b	83,7 ± 3,97 b	93,5 ± 2,75 a	92,9 ± 3,50 a
Período de pré-oviposição (dias)	1,3 ± 0,09 a	1,4 ± 0,07 a	1,4 ± 0,06 a	1,5 ± 0,05 a	1,3 ± 0,04 a	1,4 ± 0,06 a
Período de oviposição (dias)	12,9 ± 0,20 b	12,2 ± 0,22 b	13,9 ± 0,23 a	13,4 ± 0,19 a	13,0 ± 0,15 a	12,8 ± 0,22 b
Fecundidade total média	31,8 ± 0,94 c	32,9 ± 1,01bc	37,2 ± 1,19 a	38,7 ± 0,94 a	37,9 ± 1,08 a	33,8 ± 1,04 b
Longevidade média (dias)	14,0 ± 0,87 a	14,4 ± 1,12 a	13,1 ± 0,77 a	13,5 ± 0,77 a	14,2 ± 0,79 a	13,9 ± 1,04 a

¹Médias seguidas pela mesma letra, nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de bootstrap emparelhado ($p < 0,05$)

Tabela 3.4 - Estimativa dos parâmetros demográficos (tabela de vida) de *Panonychus citri* criados sobre resíduos de inseticidas piretroides e neonicotinoides. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Tratamento	Parâmetro ¹			
	R_o	T	r	λ
Controle	$16,4 \pm 1,57$ c	$18,7 \pm 0,21$ ab	$0,150 \pm 0,0056$ c	$1,161 \pm 0,0065$ c
Esfenvalerate (0,019 g L ⁻¹)	$18,4 \pm 1,86$ c	$19,1 \pm 0,23$ a	$0,152 \pm 0,0057$ c	$1,165 \pm 0,0067$ c
Deltamethrin (0,008 g L ⁻¹)	$24,7 \pm 2,43$ b	$18,5 \pm 0,18$ ab	$0,173 \pm 0,0058$ b	$1,189 \pm 0,0069$ b
Lambda-cyhalothrin (0,010 g L ⁻¹)	$22,1 \pm 2,20$ b	$18,0 \pm 0,19$ b	$0,171 \pm 0,0061$ b	$1,187 \pm 0,0072$ b
Imidacloprid (0,040 g L ⁻¹)	$29,4 \pm 2,59$ a	$17,5 \pm 0,16$ c	$0,193 \pm 0,0055$ a	$1,213 \pm 0,0066$ a
Thiamethoxam (0,025 g L ⁻¹)	$20,7 \pm 2,27$ bc	$18,7 \pm 0,24$ ab	$0,162 \pm 0,0061$ bc	$1,176 \pm 0,0072$ bc

¹Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de bootstrap emparelhado ($p < 0,05$)

3.4 Discussão

Os efeitos dos inseticidas piretroides e neonicotinoides nos parâmetros biológicos, comportamentais (repelência e preferência de alimentação e oviposição) e demográficos de *P. citri* foram avaliados em condições laboratoriais. Com base nos resultados obtidos, o aumento na abundância populacional do ácaro depende do inseticida utilizado no manejo de insetos-praga, da toxicidade dos inseticidas sobre os diferentes estádios de desenvolvimento do ácaro, dos efeitos dos inseticidas sobre os parâmetros reprodutivos (especialmente fecundidade) e comportamentais (repelência e preferência de alimentação e oviposição) do ácaro. Essas informações contribuem para o entendimento da abundância e da dinâmica populacional do ácaro nos agroecossistemas após a aplicação dos produtos, além de auxiliar na definição de estratégias de manejo que visam mitigar os problemas associados ao aumento populacional do ácaro nos sistemas de produção.

Com base nos efeitos agudos sobre os diferentes estádios de desenvolvimento de *P. citri*, os resultados revelaram que os inseticidas piretroides esfenvalerate, deltamethrin e lambda-cyhalothrin não afetaram a taxa de eclosão de larvas, mas reduziram a taxa de sobrevivência do estágio imaturo (especialmente de larvas e protoninfas), sendo os níveis de toxicidade dependentes do ingrediente ativo e do estágio de desenvolvimento do ácaro exposto aos resíduos dos produtos. Entre os inseticidas avaliados, os piretroides (especialmente esfenvalerate) ocasionaram maior toxicidade aguda (mortalidade) quando comparado aos neonicotinoides. Os menores índices de sobrevivência foram observados em larvas e protoninfas expostas ao inseticida esfenvalerate, enquanto que, deutoninfa e fêmeas adultas foram mais tolerantes aos produtos. Da mesma forma, Holland e Chapman (1994) e Oliveira (1998) avaliando a toxicidade aguda de esfenvalerate e deltamethrin sobre diferentes estádios de desenvolvimento de *Tetranychus urticae* Koch e *Oligonychus ilicis* (McGregor) (Acari: Tetranychidae), respectivamente, verificaram que esses inseticidas não afetaram o desenvolvimento e a sobrevivência do embrião. No entanto, esses inseticidas reduziram a sobrevivência dos ácaros de 16,6 a 41,7%, sendo os maiores níveis de mortalidade verificados nos estádios iniciais de desenvolvimento dos ácaros, corroborando com o presente estudo. A maior suscetibilidade dos estágios imaturos aos inseticidas piretroides é atribuída, em hipótese, ao menor grau de esclerotização da cutícula, a qual constitui a primeira barreira de defesa dos ácaros contra agentes xenobióticos (ZANARDI et al., 2015).

Apesar da menor sobrevivência, esfenvalerate, deltamethrin e lambda-cyhalothrin estimularam as fêmeas a aumentar sua capacidade reprodutiva (fecundidade) em ~ 12, ~ 33 e

~ 29%, respectivamente. Similarmente, Oliveira (1998) relatou aumento de ~ 32% na fecundidade de fêmeas de *Oligonychus ilicis* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) expostas ao piretroide deltamethrin. Em campo, Li, Harmsen e Thistlewood (1992) e Li e Harmsen (1993) verificaram que plantas de macieira [*Malus domestica* Bork. (Rosaceae)] pulverizadas com lambda-cyhalothrin apresentaram maior número de ovos e de formas móveis de *T. urticae* do que as plantas controle. Apesar de reduzir a sobrevivência do estágio imaturo, o incremento na fecundidade das fêmeas expostas aos resíduos pode ser um fator importante para o aumento na abundância do ácaro em plantas cítricas após a aplicação dos produtos.

Além dos efeitos sobre os parâmetros biológicos do ácaro, os inseticidas piretroides, aqui avaliados, provocaram alterações no comportamento de *P. citri*, aspecto verificado pela maior repelência e menor preferência de alimentação e oviposição das fêmeas nas áreas tratadas com inseticidas. Efeito repelente também foi observado em fêmeas de *T. urticae* (DONAHVE et al., 1988) e *Panonychus ulmi* Koch (Acari: Tetranychidae) (BOWIE; WORNER; CHAPMAN, 1999) expostas aos resíduos de inseticidas piretroides. Além disso, Li e Harmsen (1993) verificaram menor número de ovos e maior desagregação (dispersão) das formas móveis de *T. urticae* em plantas tratadas com lambda-cyhalothrin. Esses resultados demonstram que os ácaros conseguem identificar a presença de inseticidas na superfície foliar, devido a presença de quimiorreceptores localizados nos tarsos, induzindo os ácaros a buscar áreas livres de resíduo para sua alimentação e oviposição. Estudos de distribuição espacial demonstraram que, após a aplicação de inseticidas piretroides os ácaros se movimentavam verticalmente no dossel das plantas em busca de superfícies não tratadas (PENMAN; CHAPMAN; BOWIE, 1986; HOLLAND; CHAPMAN, 1994; BOWIE; WORNER; CHAPMAN, 1999). Além disso, Margolies e Kennedy (1988) verificaram que após a aplicação de fenvalerate os ácaros produziam fios de seda nas extremidades das folhas e ramos das plantas, permitindo a dispersão anemófila para plantas adjacentes. O aumento na dispersão dos ácaros e a identificação das áreas não tratadas para a alimentação e oviposição diminuem as possibilidades de contaminação direta dos adultos com os resíduos dos produtos logo após a aplicação (IFTNER; HALL, 1986; BOWIE; WORNER, CHAPMAN, 1999), garantindo sua sobrevivência e reprodução. Além disso, reduz a competição intraespecífica por alimento (menor número de ácaros competindo pelo mesmo alimento) e local de oviposição o que pode favorecer o aumento populacional do ácaro.

Por outro lado, os inseticidas neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam não afetaram os parâmetros biológicos (taxa de eclosão de larvas, sobrevivência dos estádios imaturos e fertilidade das fêmeas) e comportamentais (repelência e preferência de alimentação

e oviposição) do ácaro *P. citri*. No entanto, imidacloprid proporcionou aumento de ~ 30% na fecundidade das fêmeas quando comparado ao tratamento controle. Em consonância com esses resultados, Ako et al. (2006) e Zeng e Wang (2010) avaliando o efeito de imidacloprid sobre *T. urticae* e *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval (Acari: Tetranychidae), respectivamente, também verificaram que o inseticida não afetou a taxa de eclosão e a sobrevivência do ácaro. No entanto, Zeng e Wang (2010) relataram maior número de ovos em fêmeas expostas ao inseticida imidacloprid. Aumentos de 25 a 50% na fecundidade também foram observados em fêmeas de *T. urticae* (JAMES; PRICE, 2002) e *Eurytetranychus buxi* (Acari: Tetranychidae) (SZCZEPANIEC et al., 2011; SZCZEPANIEC; RAUPP, 2013) expostas ao inseticida imidacloprid. Por outro lado, fêmeas de *P. citri* expostas aos resíduos de thiamethoxam não apresentaram aumento na fecundidade. Em contraste, Smith et al. (2013) demonstraram que aplicações foliares de 0,056 g L⁻¹ de thiamethoxam em algodoeiro aumentaram em 70% a produção de ovos de *T. urticae*. Essas diferenças são atribuídas as variações interespecíficas e a menor concentração de thiamethoxam utilizada no presente estudo (0,025 g L⁻¹), a qual não foi capaz de estimular as fêmeas de *P. citri* a aumentar sua capacidade reprodutiva.

Com base na estimativa dos parâmetros de tabela de vida que considera todos as alterações biológicas para demonstrar os efeitos dos inseticidas na abundância populacional do ácaro, os resultados demonstraram que os inseticidas piretroides deltamethrin e lambda-cyhalothrin e o neonicotinoide imidacloprid foram os que proporcionaram as maiores taxas de crescimento populacional de *P. citri*, enquanto que, esfenvalerate e thiamethoxam foram similares ao tratamento controle. Dessa forma, o uso de deltamethrin, lambda-cyhalothrin e imidacloprid no manejo de insetos-praga pode contribuir para a ocorrência de surtos populacionais de *P. citri* nos pomares cítricos.

Considerando os efeitos dos inseticidas piretroides e neonicotinoides sobre os parâmetros biológicos, comportamentais (repelência e preferência de alimentação e oviposição) e demográficos de *P. citri*, os resultados desse estudo revelaram que o aumento na fecundidade (efeito hormese) e repelência/dispersão e a menor preferência de alimentação e oviposição induzido pelos inseticidas piretroides (especialmente deltamethrin e lambda-cyhalothrin) foram as principais causas biológicas e comportamentais associadas ao aumento na densidade populacional do ácaro. Por outro lado, a insensibilidade dos diferentes estádios de desenvolvimento de *P. citri* aos inseticidas neonicotinoides e o efeito hormese proporcionado pelo inseticida imidacloprid foram as principais evidências apontadas como causas adicionais do aumento na abundância populacional do ácaro. Por sua vez, o uso do

piretroide esfenvalerate e do neonicotinoide thiamethoxam não ocasionou aumento significativo na população de *P. citri*, demonstrando que a ocorrência de surtos populacionais após a aplicação desses inseticidas está associada, em hipótese, a mortalidade dos inimigos naturais e a melhoria da qualidade das plantas hospedeiras, respectivamente. No entanto, essas evidências serão alvo de futuros estudos.

3.5 Conclusões

- Os inseticidas piretroides deltamethrin, esfenvalerate e lambda-cyhalothrin causam mortalidade de 38% de larvas e protoninfas de *P. citri*, aumentam a fecundidade das fêmeas e afetam o comportamento (efeito repelente e reduz a preferência de alimentação e oviposição) de *P. citri*.
- Os inseticida neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam não afetam a sobrevivência dos diferentes estádios de desenvolvimento e o comportamento do ácaro, mas imidacloprid aumenta a capacidade reprodutiva das fêmeas de *P. citri*.
- Os inseticidas piretroides deltamethrin e lambda-cyhalothrin e o neonicotinoide imidacloprid proporcionam aumento na taxa de crescimento populacional de *P. citri*.
- O inseticida piretroide esfenvalerate e o neonicotinoide thiamethoxam não aumentam a abundância de *P. citri*.

Referências

ABBOTT, W.S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 18, n. 2, p. 265-266, 1925.

AKO, M.; BORGEMEISTER, C.; POEHLING, H.M.; ELBERT, A.; NAUEN, A. Effects of neonicotinoid insecticides on the bionomics of twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 97, n. 5, p. 1587-1594, 2004.

BARROS, R. DEGRANDE, P.E.; SORIA, M.F.; RIBEIRO, J.S.F. Desequilíbrio biológico do ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae) após aplicações de inseticidas em algodoeiro. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 74, n. 2, p. 171-174, 2007.

BARTLETT, B.R. Outbreaks of two-spotted spider-mites and cotton aphids following pesticide treatment. I. Pest stimulation vs. natural enemy destruction as the cause of outbreaks. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 61, n. 1, p. 297-303, 1968.

BEERS, E.H.; BRUNNER, J.F.; DUNLEY, J.E.; DOERR, M.; GRANGER, K. Role of neonicotinyl insecticides in Washington apple integrated pest management. Part II. Nontarget

effects on integrated mite control. **Journal of Insect Science**, Arizona, v. 5, n. 16, p. 1-10, 2005.

BOSTANIAN, N.J.; THISTLEWOOD, H.A.; HARDMAN, J.M.; LAURINA, M-C.; RACETTE, G. Effect of seven new orchard pesticides on *Galendromus occidentalis* in laboratory studies. **Pest Management Science**, Sussex, v. 65, p. 635-639, 2009.

BOWIE, M.H.; WORNER, S.D.; CHAPMAN, R.B. The use of image analysis to study the effects of residues of esfenvalerate on the locomotory behaviour of *Panonychus ulmi* and *Typhlodromus pyri* (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 23, n. 1, p. 1-9, 1999.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT**: sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 14 jan. 2015.

CHI, H. **TWOSEX-MSChart**: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. 2012. Disponível em: <<http://www.140.120.197.173/Ecology/>>. Acesso em: 13 set. 2013.

CHI, H.; LIU, H. Two new methods for the study of insect population ecology. **Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica**, Taipei, v. 24, n. 2, p. 225-240, 1985.

COHEN, E. Pesticide-mediated homeostatic modulation in arthropods. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 85, n. 1, p. 21-27, 2006.

CORDEIRO, E.M.G.; MOURA, I.L.T.; FADINI, M.A.M.; GUEDES, R.N.C. Beyond selectivity: are behavioral avoidance and hormesis likely causes of pyrethroid-induced outbreaks of the southern red mite *Oligonychus ilicis*? **Chemosphere**, Oxford, v. 93, n. 6, p. 1111-1116, 2013.

COSTAMAGNA, A.S.; LANDIS, D.A.; DIFONZO, D.C. Suppression of soybean aphid by generalist predators results in a trophic cascade in soybeans. **Ecological Applications**, Tempe, v. 17, n. 2, p. 441-451, 2007.

CUTLER, G.C. Insects, insecticides and hormesis: evidence and considerations for study. **Dose-Response**, Massachusetts, v. 11, n. 2, p. 154-177, 2013.

DONAHVE, D.H.; MCPERSON, R.M.; POE, S.L. Dispersal response of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) to fenvalerate and permethrin residues on soybeans. **Journal of Entomological Science**, Tifton, v. 23, n. 2, p. 350-356, 1988.

DUTCHER, J.D. A review of resurgence and replacement causing pest outbreaks in IPM. In: CIANCIO, A.; MUKERJI, K.G. (Ed.). **General concepts in integrated pest and disease management**. Amsterdam: Springer, 2007. chap. 2, p. 27-43.

EFRON, B.; TIBSHIRANI, R.J.A. **An introduction to the bootstrap**. New York; London: Springer, 1993. 430 p.

FURUHASHI, K. Ressurgence of citrus red mite, *Panonychus citri* McGregor induced by synthetic pyrethroids. **Japan Pesticide Information**, Tokyo, v. 57, n. 57, p. 21-26, 1990.

GOODMAN, D. Optimal life histories, optimal notation, and the value of reproductive value. **American Naturalist**, Chicago, v. 119, n. 6, p. 803-823, 1982.

GOTTWALD, T.R.; ABREU-RODRIGUEZ, E.; YOKOMI, R.K.; STANSLY, P.A.; RILEY, T.K. Effects of chemical control of aphid vectors and of cross-protection on increase and spread of citrus tristeza virus. In: Fifteenth IOCV CONFERENCE, 15., 2002, Riverside. **Proceedings...** Riverside: Fifteenth IOCV Conference, 2002. p. 117-130.

GUEDES, R.N.C.; CUTLER, G.C. Insecticide-induced hormesis and arthropod pest management. **Pest Management Science**, Sussex, v. 70, n. 5, p. 690-697, 2014.

GUEDES, R.N.C.; MAGALHÃES, L.C.; COSME, L.V. Stimulatory sublethal response of a generalist predator to permethrin: hormesis, hormoligosis, or homeostatic regulation? **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 102, n. 1, p. 170-176, 2009.

GUPTA, G.; KRISCHIK, V.A. Professional and consumer insecticides for the management of adult Japanese beetle on hybrid tea rose. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 100, n. 3, p. 830-837, 2007.

HARDMAN, J.M.; FRANKLIN, J.L.; JENSEN, K.I.N.; MOREAU, D.L. Effects of pesticides on mite predators (Acari: Phytoseiidae) and colonization of apple trees by *Tetranychus urticae*. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, v. 34, n. 5 p. 449-462, 2006.

HENDERSON, C.F.; TILTON, E.W. Tests with acaricides against the Brown wheat mite. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 48, n. 2, p. 157-161, 1955.

HINDE, J.; DEMÉTRIO, C.G.B. Overdispersion: models and estimation. **Computational Statistics & Data Analysis**, Amsterdam, v. 27, n. 2/3, p. 151-170, 1998.

HOLLAND, J.M.; CHAPMAN, R.B. A comparison of the toxic and sub-lethal effects of fluvalinate and esfenvalerate on the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 18, n. 1, p. 3-22, 1994.

HUANG, Y.B.; CHI, H. Age-stage, two-sex life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) with a discussion on the problem of applying female age-specific life tables to insect populations. **Insect Science**, Elmsford, v. 19, n. 2, p. 263-273, 2012.

IFTNER, D.C.; HALL, F.R. The effects of fenvalerate and permethrin residues on *Tetranychus urticae* Koch fecundity and rate of development. **Journal of Agricultural Entomology**, Clemson, v. 1, n. 3, p. 191-200, 1986.

JAMES, D.G.; PRICE, T.S. Fecundity of twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) is increased by direct and systemic exposure to imidacloprid. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 27, n. 4, p. 151-156, 2002.

JONES, V.P.; PARRELLA, M.P. The sublethal effects of selected insecticides on life table parameters of *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). **The Canadian Entomology**, Quebec, v. 116, n. 7, p. 1033-1040, 1984.

LI, S.Y.; HARMSSEN, R. Pyrethroid lambdacyhalothrin-induced population increase of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in an apple orchard. **Journal of Agricultural Entomology**, Clemson, v. 1, n. 3, p. 197-203, 1993.

LI, S.Y.; HARMSSEN, R.; THISTLEWOOD, H.M.A. The effect of pyrethroid lambdacyhalothrin applications on the spatial distribution of phytophagous and predatory mites in apple orchards. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 15, n. 4, p. 259-269, 1992.

MARGOLIES, D.C.; KENNEDY, G.G. Fenvalerate-induced aerial dispersal by the twospotted spider mite. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 46, p. 233-240, 1988.

NELDER, J.A.; WEDDERBURN, R.W.M. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society**, Oxford, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972.

OLIVEIRA, C.A.L. Efeito de deltametrina na biologia de *Oligonychus ilicis* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) em laboratório. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 27, n. 3, p. 459-467, 1998.

OLIVEIRA, C.A.L.; PATTARO, F.C. Citros: manejo de ácaros fitófagos na cultura. In: YAMAMOTO, P.T. (Org.). **Manejo integrado de pragas do citros**. Piracicaba: ESALQ, 2008. p. 81-125.

PENMAN, D.R.; CHAPMAN, R.B.; BOWIE, M.H. Direct and repellent activity of pyrethroids against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 79, n. 5, p. 1183-1187, 1986.

PRISCHMANN, D.A.; JAMES, D.G.; WRIGHT, L.C.; TENNEYCK, R.D.; SNYDER, W.E. Effects of chlorpyrifos and sulfur on spider mites (Acari: Tetranychidae) and their natural enemies. **Biological Control**, Orlando, v. 33, p. 324-334, 2005.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. 1706 p.

RAUPP, M.J.; SHREWSBURY, P.M.; HERMS, D.H. Ecology of herbivorous arthropods in urban landscapes. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 55, p. 19-38, 2010.

RAUPP, M.J.; WEBB, R.E.; SZCZEPANIEC, A.; BOOTH, D.; AHERN, R. Incidence, abundance, and severity of mites on hemlocks following applications of imidacloprid. **Journal of Arboriculture**, Savoy, v. 30, n. 2, p. 108-113, 2004.

RIBEIRO, L.P.; ZANARDI, O.Z.; VENDRAMIM, J.D.; YAMAMOTO, P.T. Comparative toxicity of an acetogenin-based extract and commercial pesticides against citrus red mite. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 87-98, 2014.

SMITH, J.F. **Early-season management of twospotted spider mite on cotton and impacts of infestation timing on cotton yield loss**. Starkville: Mississippi State University, 2010. 136 p.

SMITH, J.F.; CATCHOT, A.L.; MUSSER, F.R.; GORE, J. Effects of aldicarb and neonicotinoid seed treatments on twospotted spider mite on cotton. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 106, n. 2, p. 807-815, 2013.

STAVRINIDES, M.C.; MILLS, N.J. Demographic effects of pesticides on biological control of Pacific spider mite (*Tetranychus pacificus*) by the western predatory mite (*Galendromus occidentalis*). **Biological Control**, Orlando, v. 48, n. 3, p. 267-273, 2009.

SZCZEPANIEC, A.; CREARY, S.F.; LASKOWSKI, K.L.; NYROP, J.P.; RAUPP, M.J. Neonicotinoid insecticide imidacloprid causes outbreaks of spider mites on elm trees in urban landscapes. **PlosOne**, San Francisco, v. 6, n. 5, p. e20018, 2011.

SZCZEPANIEC, A.; RAUPP, M.J. Direct and indirect effects of imidacloprid on fecundity and abundance of *Eurytetranychus buxi* (Acari: Tetranychidae) on boxwoods. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 59, n. 3, p. 307-318, 2013.

SZCZEPANIEC, A.; RAUPP, M.J.; PARKER, R.D.; KERNS, D.; EUBANKS, M.D. Neonicotinoid insecticides alter induced defenses and increase susceptibility to spider mites in distantly related crop plants. **PlosOne**, San Francisco, v. 8, n. 5, p. e62620, 2013.

TRICHILO R.J.; WILSON, L.T. An ecosystem analysis of spider mite outbreaks: physiological stimulation or natural enemy suppression. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 17, n. 4, p. 291-314, 1993.

WU, K.C.; TAO, C.C. Comparative study of spraying and painting insecticides against citrus leaf miner, *Phyllocnistis citrella* (Phyllocnistidae: Lepidoptera). **Journal of Agricultural Research of China**, Taiwan, v. 26, n. 2, p. 158-168, 1977.

YAMAMOTO, P.T.; ZANARDI, O.Z. Atualização de manejo do ácaro purpúreo *Panonychus citri*. **Revista Citricultura Atual**, Cordeirópolis, v. 96, p. 16-17, 2013.

ZANARDI, O.Z.; RIBEIRO, L.P.; ANSANTE, T.F.; SANTOS, M.S.; BORDINI, G.P.; YAMAMOTO, P.T.; VENDRAMIM, J.D. Bioactivity of a matrine-based biopesticide against four pest species of agricultural importance. **Crop Protection**, Guildford, v. 67, p. 160-167, 2015.

ZENG, C-X.; WANG, J.-J. Influence of exposure to imidacloprid on survivorship, reproduction and vitellin content of the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus*. **Journal of Insect Science**, Arizona, v. 10, n. 20, p. 1-9, 2010.

ZHAN, Y.; FAN, S.; ZHANG, M.; ZALOM, F. Modelling the effect of pyrethroid use intensity on mite population density for walnuts. **Pest Management Science**, Sussex, v. 71, n. 1, p. 159-164, 2015.

ZENG, C-X.; WANG, J.-J. Influence of exposure to imidacloprid on survivorship, reproduction and vitellin content of the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus*. **Journal of Insect Science**, Arizona, v. 10, n. 20, p. 1-9, 2010.

ZHAN, Y.; FAN, S.; ZHANGA, M.; ZALOM, F. Modelling the effect of pyrethroid use intensity on mite population density for walnuts. **Pest Management Science**, Sussex, v. 71, n. 1, p. 159-164, 2015.

4 EFEITO DA APLICAÇÃO DE INSETICIDAS PIRETROIDES E NEONICOTINOIDES NA DEMOGRAFIA DE *Panonychus citri* (MCGREGOR) (ACARI: TETRANYCHIDAE)

Resumo

O uso de inseticidas piretroides e neonicotinoides tem sido uma das principais causas associadas a ocorrência de surtos populacionais de *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) em citros. Dessa forma, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito dos inseticidas piretroides deltamethrin, esfenvalerate e lambda-cyhalothrin e dos neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam na taxa instantânea de crescimento (*ri*) do ácaro em casa de vegetação. Os resultados demonstraram que o uso de deltamethrin, lambda-cyhalothrin e imidacloprid em pulverização ocasionaram aumento significativo na *ri* de *P. citri* até 60 dias após a pulverização (DAP). No entanto, na avaliação realizada aos 80 DAP houve uma redução significativa na abundância do ácaro devido a menor qualidade das plantas hospedeiras. Por outro lado, a pulverização de esfenvalerate e thiamethoxam não alterou a *ri* do ácaro, sendo similar ao tratamento controle. A aplicação sistêmica de neonicotinoides revelou que apenas imidacloprid ocasionou aumento na *ri* de *P. citri*, enquanto que, thiamethoxam foi similar ao controle. O uso de inseticidas em sucessão demonstrou que deltamethrin, lambda-cyhalothrin e imidacloprid proporcionam aumento significativo na abundância de *P. citri* seguindo a seguinte ordem: imidacloprid na primeira e segunda aplicação > piretroides na primeira e neonicotinoides na segunda aplicação > neonicotinoides na primeira e piretroides na segunda aplicação > piretroides na primeira e segunda aplicação > thiamethoxam e/ou esfenvalerate na primeira e segunda aplicação ≈ controle. Esses resultados indicam que o uso de deltamethrin, lambda-cyhalothrin e imidacloprid aumenta a densidade populacional do ácaro e contribui para a ocorrência de surtos populacionais do ácaro nos pomares cítricos.

Palavras-chave: Ácaro purpúreo; Surtos populacionais; Pulverização; Aplicação sistêmica; Sucessão

Abstract

The use of pyrethroids and neonicotinoids insecticides have been one of the main causes associated of outbreaks of *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) in citrus. Thus, the aim of this study was to evaluate the effect of deltamethrin, esfenvalerate and lambda-cyhalothrin pyrethroids and the imidacloprid and thiamethoxam neonicotinoids insecticides on the instantaneous growth rate (*ri*) of the mite in a greenhouse. The results showed that the use of deltamethrin, lambda-cyhalothrin and imidacloprid in spray significantly increased *ri* of *P. citri* up to 60 days after spraying (DAS). However, in the evaluation performed at 80 DAS, a significant reduction in the abundance of mites due to the lower quality of the host plants was observed. On the other hand, spraying esfenvalerate and thiamethoxam did not alter *ri* of mite, similar to the control treatment. Systemic application of neonicotinoids revealed that only imidacloprid increased *ri* of mite, while thiamethoxam was similar to control. The use of insecticides in succession showed that deltamethrin, lambda-cyhalothrin and imidacloprid significantly increased abundance of *P. citri* in the following order: imidacloprid in the first and second application > pyrethroids in the first and neonicotinoids in the second application > neonicotinoid in the first and pyrethroids in the

second application > pyrethroids in the first and second application > thiamethoxam and/or esfenvalerate in the first and second application $\approx$ control. These results indicate that the use of deltamethrin, lambda cyhalothrin and imidacloprid increases population density of *P. citri* and contributes to outbreaks of mites in citrus groves.

Keywords: Citrus red mite; Outbreaks; Spray; Systemic application; Succession

4.1 Introdução

A redução dos níveis populacionais de herbívoros com pesticidas continua sendo a tática de manejo mais utilizadas nos sistemas de produção (YAMAMOTO et al., 2009; SZCZEPANIEC et al., 2011). Apesar do crescente avanço nas tecnologias de pesticidas verificados nos últimos anos, a maioria dos produtos disponíveis continuam causando efeitos colaterais sobre populações de artrópodes não-alvo (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007; RAUPP, SHREWSBURY; HERMS, 2010; CUTLER, 2013; GUEDES; CUTLER, 2014). Entre os efeitos colaterais, os surtos populacionais de artrópodes-praga tem sido um dos principais problemas associados ao uso de pesticidas nos agroecossistemas, devido a necessidade de aplicações adicionais de pesticidas para suprimir os níveis populacionais das pragas e evitar danos econômicos (GRAVENA, 2011; SZCZEPANIEC et al., 2011).

Entre os artrópodes-praga de importância secundária, os ácaros fitófagos tem sido um dos principais grupos de pragas favorecidos pelo uso de inseticidas de amplo espectro para o controle de insetos-praga. Em citros, *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) era considerado uma praga secundária da cultura (OLIVEIRA; PATTARO, 2008), mas atualmente a população do ácaro vem aumentando e, muitas vezes, medidas de controle precisam ser adotadas para evitar danos nas plantas (YAMAMOTO; ZANARDI, 2013). No Brasil, o aumento na abundância populacional de *P. citri* tem sido atribuído ao aumento no número de aplicações de inseticidas para o manejo do psilídeo-asiático-dos-citros [*Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae)], vetor das bactérias “*Candidatus Liberibacter spp.*”, cujos sintomas estão associados ao huanglongbing (HLB) (YAMAMOTO; ZANARDI, 2013; RIBEIRO et al., 2014). Atualmente, nas principais regiões produtoras de citros do país, são consumidos cerca de 5,1 kg de ingrediente ativo de inseticidas hectare⁻¹ ano⁻¹, aplicados em sucessão ou rotação de ingredientes ativos (BELASQUE-JR et al., 2010; NEVES et al., 2011). Entre os grupos químicos, os piretroides e os neonicotinoides tem sido os mais utilizados, devido a sua eficácia, facilidade de aquisição e aplicação (pulverização) e serem de custo reduzido. Além disso, inseticidas neonicotinoides (especialmente imidacloprid

e thiamethoxam) podem ser utilizados em aplicações sistêmicas (solo, *drench*, pincelamento no tronco) (YAMAMOTO et al., 2009), garantindo, dessa forma, maior período de proteção das plantas contra insetos sugadores, como é o caso de *D. citri*. No entanto, o uso sistêmico de neonicotinoides pode favorecer o aumento populacional de ácaros fitófagos, devido o maior período de exposição dos ácaros aos ingredientes ativos dos produtos.

Além da forma de aplicação, o uso de inseticidas piretroides e neonicotinoides em sucessão e/ou rotação também podem alterar os níveis populacionais do ácaro. De acordo com Holland e Chapman (1994) e Oliveira (1998) os inseticidas piretroides esfenvalerate e deltamethrin ocasionaram mortalidade de 16,6 a 41,7% dos estágios imaturos de *Tetranychus urticae* Koch e *Oligonychus ilicis* (McGregor) (Acari: Tetranychidae). Por outro lado, o uso de imidacloprid e thiamethoxam (neonicotinoides) não afetaram significativamente a sobrevivência de *T. urticae* (AKO et al., 2006) e *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval (Acari: Tetranychidae) (ZENG; WANG, 2010). Diante dessas evidências, a avaliação do uso desses produtos em sucessão na abundância populacional do ácaro será muito importante para definir futuras estratégias de manejo que visam mitigar os impactos causados pelos inseticidas nos programas de manejo integrado de pragas (MIP).

Neste sentido, estudos que consideraram os parâmetros demográficos para avaliar os impactos de inseticidas sobre populações de herbívoros tem sido recomendados por ecotoxicologistas (WALTHALL; STARK, 1997; STARK; BANKS, 2003). A estimativa da taxa intrínseca de crescimento populacional (r_i) permite uma melhor compreensão dos impactos dos inseticidas, pois reflete com maior acurácia os efeitos dos produtos nos níveis populacionais da praga (GUEDES; MAGALHÃES; COSME, 2009; CORDEIRO et al., 2013). Diante da ausência de estudos que avaliam os impactos dos inseticidas comumente utilizados no manejo de insetos-praga na abundância populacional do ácaro *P. citri*, objetivou-se com este trabalho avaliar os impactos da aplicação de inseticidas piretroides e neonicotinoides na taxa intrínseca de crescimento instantânea do ácaro em casa de vegetação.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Ácaros

Para a realização dos bioensaios foram utilizados ácaros provenientes da criação mantida em condições laboratoriais (item 2.2.1).

4.2.2 Inseticidas avaliados

Os inseticidas avaliados foram: esfenvalerate 0,019 g L⁻¹ (Sumidan[®] 150 EC - Sumitomo Chemical do Brasil Representações Ltda., SP, Brasil), deltamethrin 0,008 g L⁻¹ (Decis Ultra[®] 100 EC - Bayer CropScience S.A., SP, Brasil), lambda-cyhalothrin 0,010 g L⁻¹ (Karate Zeon[®] 50 CS - Syngenta Proteção de Plantas Ltda., SP, Brasil), imidacloprid 0,040 g L⁻¹ (Provado[®] 200 SC - Bayer CropScience S.A., SP, Brasil) e thiamethoxam 0,025 g L⁻¹ (Actara[®] 250 WG - Syngenta Proteção de Plantas Ltda., SP, Brasil).

4.2.3 Biensaio

Os bioensaio foram realizados em casa de vegetação sem controle de temperatura, umidade relativa do ar e com fotoperíodo natural.

4.2.3.1 Efeito da pulverização de inseticidas piretroides e neonicotinoides na demografia de *P. citri*

Para avaliação do efeito dos inseticidas piretroides e neonicotinoides na demografia de *P. citri* foram utilizados 60 seedlings (10 seedlings para cada tratamento) de laranjeira-doce [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck (Rutaceae)] da variedade Valência, cultivadas em vasos (12 L), com aproximadamente 80 cm de altura e 50 folhas completamente desenvolvidas como unidades experimentais. Os seedlings foram infestados com duas fêmeas acasaladas de *P. citri* (~ 72 horas de idade) por folha. Após 15 dias da infestação, cinco folhas foram removidas aleatoriamente de cada seedlings e transportadas ao laboratório para quantificação de todas as formas móveis do ácaro (larvas, protoninfas, deutoninfas, fêmeas e machos) em estereomicroscópio com aumento de até 40x (pré-amostragem). Feito isso, os seedlings foram pulverizados, com os respectivos tratamentos, utilizando um pulverizador modelo Jacto[®] PJH (Jacto do Brasil S.A., Pompeia, SP, Brasil) equipado com bico cone cheio FL-5VS (Teejet Technologies Company, SP, Brasil) de vazão constante até o ponto de escorrimento. As avaliações foram realizadas aos 20, 40, 60 e 80 dias após a pulverização dos tratamentos utilizando o mesmo procedimento descrito anteriormente. Com os dados obtidos foi estimada a taxa intrínseca de crescimento instantânea (*ri*) do ácaro utilizando a fórmula proposta por Stark e Banks (2003):

$$ri = \ln(Nf / No) / \Delta t$$

onde: N_f = número total de formas móveis do ácaro obtidos nas avaliações finais (20, 40, 60 e 80 dias após a pulverização dos tratamentos), N_o = número total de formas móveis do ácaro obtidos na avaliação inicial (pré-amostragem) e Δt = intervalo de tempo (em dias) entre a pré-amostragem e as avaliações finais do bioensaio. Valores positivos e negativos de r_i indicam um incremento e um decréscimo na população do ácaro, respectivamente, enquanto que, valores de $r_i = 0$ indicam que a população manteve-se estável durante o período de avaliação.

4.2.3.2 Efeito da aplicação sistêmica de inseticidas neonicotinoides na demografia de *P. citri*

Para avaliação do efeito da aplicação sistêmica de inseticidas neonicotinoides na demografia de *P. citri* foram utilizados seedlings de laranjeira-doce da variedade Valência, cultivadas em vaso (12 L), com aproximadamente 80 cm de altura e 50 folhas completamente desenvolvidas como unidades experimentais. Os seedlings foram infestados com duas fêmeas acasaladas de *P. citri* (~ 72 horas de idade) por folha. Após 15 dias da infestação, uma pré-amostragem foi realizada seguindo o mesmo procedimento descrito no item 4.2.3.1. Feito isso, os seedlings foram submetidos à aplicação sistêmica (*drench*) dos seguintes tratamentos: imidacloprid (Provado® 200 SC, na concentração de 0,35 g i. a. seedlings⁻¹), thiamethoxam (Actara® 250 WG, na concentração de 0,25 g i. a. seedlings⁻¹) e água deionizada (tratamento controle). Os inseticidas foram dissolvidos em 150 mL de água deionizada e aplicados na região de interface do substrato com a parte aérea das plantas (colo). Vinte e quatro horas antes e 48 horas após a aplicação dos tratamentos os seedlings foram mantidos sem irrigação. Após esse período, os seedlings foram irrigados diariamente com 150 mL de água deionizada. Para cada tratamento foram utilizados 25 seedlings. As avaliações foram realizadas aos 20, 40, 60 e 80 dias após a aplicação dos tratamentos, contando todas as formas móveis do ácaro presentes em cinco folhas colatadas aleatoriamente de cada seedling em estereomicroscópio com aumento de até 40x. Com os dados obtidos foi estimada a taxa intrínseca de crescimento instantânea (r_i) do ácaro seguindo o mesmo procedimento e critério de análise descrito no item 4.2.3.1.

4.2.3.3 Efeito da aplicação de inseticidas em sucessão na demografia de *P. citri*

Para avaliação do efeito da aplicação de inseticidas em sucessão na demografia de *P. citri* foram utilizados 360 seedlings de laranjeira-doce da variedade Valência com

aproximadamente 40 cm de altura e 15 folhas completamente desenvolvidas cultivadas em vaso (2,4 L) como unidades experimentais. Os seedlings foram infestados com duas fêmeas acasaladas de *P. citri* (~ 72 horas de idade) por folha. Após 14 dias da infestação, uma pré-amostragem de cinco folhas de cada seedlings foi realizada conforme procedimento descrito no item 4.2.3.1. Feito isso, os seedlings foram pulverizados com os respectivos tratamentos e concentrações descritas no item 4.2.3.1. Para cada tratamento (primeira pulverização) foram utilizados 60 seedlings. Decorridos 20 dias da primeira pulverização, 10 seedlings de cada tratamento da primeira pulverização foram submetidos a segunda pulverização, de modo que, cada tratamento da primeira pulverização recebeu todos os tratamentos na segunda pulverização conforme esquema abaixo:

Esquema de pulverização de inseticidas em sucessão (primeira pulverização e segunda pulverização)

A avaliação final foi realizada 40 dias após a primeira pulverização, contando todas as formas móveis do ácaro em todas as folhas dos seedlings. Com base nos dados da pré-amostragem e da avaliação final foi estimado a taxa intrínseca de crescimento instantânea (r_i) do ácaro para cada combinação de tratamento (primeira pulverização $\times$ segunda pulverização), seguindo o mesmo procedimento e critério de análise descrito no item 4.2.3.1.

4.3.4 Análise dos dados

Os bioensaios 4.2.3.1 e 4.2.2.2 foram realizados no delineamento inteiramente aleatorizados, enquanto que, o bioensaio 4.2.2.3 foi realizado em esquema fatorial 6×6 (seis inseticidas na primeira aplicação $\times$ seis inseticidas na segunda aplicação). Modelos lineares generalizados (NELDER; WEDDERBURN, 1972) com distribuição do tipo Gaussiana foram utilizados para análise dos dados da taxa intrínseca de crescimento instantâneo do ácaro nos bioensaios. A verificação da qualidade do ajuste foi feita pelo gráfico meio-normal de

probabilidades com envelope de simulação (HINDE; DEMÉTRIO, 1998). Quando houve diferença significativa entre os tratamentos nos bioensaios 4.2.3.1 e 4.2.3.2, múltiplas comparações (teste de Tukey, $p < 0,05$) foram realizadas por meio da função “*glht*” do pacote “*multcomp*” com ajuste dos valores de p . No entanto, os dados do bioensaio 4.2.3.3 foram submetidos ao teste de desmembramento da interação por meio da função “*ExpDes*” e as médias comparadas pelo teste de Tukey, $p < 0,05$. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico “*R*”, versão 3.1.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

4.3 Resultados

Os resultados demonstraram que a pulverização dos seedlings com os piretroides esfenvalerate, deltamethrin e lambda-cyhalothrin e os neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam alteraram significativamente a taxa intrínseca de crescimento instantânea (ri) de *P. citri* (Tabela 4.1). Na avaliação realizada aos 20 dias após a pulverização (DAP) a maior ri foi constatada em ácaros expostos aos resíduos de imidacloprid quando comparado ao tratamento controle. No entanto, seedlings tratados com deltamethrin, lambda-cyhalothrin e thiamethoxam não apresentaram aumento significativo na ri e foram similares ao tratamento controle (Tabela 4.1).

Aos 40 e 60 DAP, a ri do ácaro foi significativamente maior em seedlings tratados com deltamethrin, lambda-cyhalothrin e imidacloprid quando comparado com esfenvalerate e thiamethoxam e o tratamento controle (Tabela 4.1). No entanto, na avaliação final (80 DAP) a ri foi significativamente menor nos tratamentos com deltamethrin, lambda-cyhalothrin e imidacloprid quando comparado aos demais tratamentos, demonstrando que os ácaros haviam explorado grande parte dos recursos dos seedlings, aspecto observado pela despigmentação do limbo foliar ocasionado pela intensa alimentação do ácaro (Tabela 4.1).

A aplicação sistêmica (*drench*) dos inseticidas imidacloprid e thiamethoxam indicou que os produtos não alteraram significativamente a ri do ácaro nos primeiros 20 dias após a aplicação (DAA) (Tabela 4.2). No entanto, nas avaliações subsequentes (40, 60 e 80 DAA), houve um aumento significativo na densidade populacional do ácaro em seedlings tratados com imidacloprid diferindo estatisticamente do tratamento controle. Por sua vez, thiamethoxam não afetou significativamente a ri de *P. citri* e foi similar ao tratamento controle (Tabela 4.2).

Tabela 4.1 - Efeito da pulverização de inseticidas piretroides e neonicotinoides na demografia de *Panonychus citri*

Tratamento	Dias após a pulverização (DAP) ¹			
	20	40	60	80
Esfenvalerate (0,019 g L ⁻¹)	0,0387 ± 0,0036 b	0,0401 ± 0,0013 b	0,0348 ± 0,0011 b	0,0276 ± 0,0014 a
Deltamethrin (0,008 g L ⁻¹)	0,0416 ± 0,0026 ab	0,0458 ± 0,0015 a	0,0403 ± 0,0013 a	0,0191 ± 0,0019 b
Lambda-cyhalothrin (0,010 g L ⁻¹)	0,0543 ± 0,0044 ab	0,0466 ± 0,0017 a	0,0426 ± 0,0014 a	0,0213 ± 0,0011 b
Imidacloprid (0,040 g L ⁻¹)	0,0562 ± 0,0018 a	0,0482 ± 0,0013 a	0,0405 ± 0,0010 a	0,0206 ± 0,0013 b
Thiamethoxam (0,025 g L ⁻¹)	0,0434 ± 0,0020 ab	0,0396 ± 0,0012 b	0,0353 ± 0,0013 b	0,0252 ± 0,0009 a
Controle	0,0310 ± 0,0028 b	0,0381 ± 0,0016 b	0,0364 ± 0,0015 b	0,0279 ± 0,0011 a
F	5,5303	4,4696	4,3839	8,2969
g.l.	5, 144	5, 144	5, 144	5, 144
Valor de <i>p</i>	0,0001	0,0008	0,0009	< 0,0001

¹Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente (GLM com distribuição Gaussiana, seguido por *post hoc* teste de Tukey, *p* < 0,05)

Tabela 4.2 - Efeito da aplicação sistêmica (*drench*) de inseticidas neonicotinoides na demografia de *Panonychus citri*

Tratamento	Dias após a aplicação (DAA) ¹			
	20	40	60	80
Imidacloprid (0,040 g L ⁻¹)	0,1244 ± 0,0090 a	0,0798 ± 0,0017 a	0,0508 ± 0,0026 a	0,0277 ± 0,0018 a
Thiamethoxam (0,025 g L ⁻¹)	0,1245 ± 0,0064 a	0,0715 ± 0,0038 ab	0,0461 ± 0,0021 ab	0,0255 ± 0,0016 ab
Controle	0,1147 ± 0,0080 a	0,0623 ± 0,0040 b	0,0412 ± 0,0023 b	0,0210 ± 0,0011 b
F	0,7680	4,2429	6,9176	8,0156
g.l.	2, 72	2, 72	2, 72	2, 72
Valor de <i>p</i>	0,4677	0,0181	0,0018	0,0007

¹Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente (GLM com distribuição Gaussiana, seguido por *post hoc* teste de Tukey, $p < 0,05$)

Diante dos impactos constatados na abundância populacional do ácaro pelos diferentes inseticidas, foi avaliado o efeito da pulverização de inseticidas piretroides e neonicotinoides em sucessão na *ri* do ácaro. Com base nos resultados, houve interação significativa na combinação de tratamentos (primeira pulverização $\times$ segunda pulverização), demonstrando que o aumento na *ri* do ácaro depende da sucessão de inseticidas utilizados nas pulverizações ($F_{25, 180} = 6,562$; $p < 0,0001$). Os resultados demonstraram que os maiores níveis populacionais do ácaro foram obtidos quando se utiliza o neonicotinoide imidacloprid na primeira e segunda pulverização, quando comparado as demais combinações de tratamentos ($F_{5, 180} = 76,622$; $p < 0,0001$) (Tabela 4.3). Por outro lado, o uso de inseticidas neonicotinoides em sucessão a piretroides proporcionaram maior crescimento populacional do ácaro do que quando se utiliza piretroides em sucessão a neonicotinoides ($F_{5, 180} = 81,899$; $p < 0,0001$) (Tabela 4.3). O uso sucessivo de piretroides (especialmente de deltamethrin e lambda-cyhalothrin) também proporcionou aumento na abundância populacional de *P. citri*, mas em proporções menores do que quando se utiliza piretroide e/ou neonicotinoide em sucessão. O uso sucessivo de esfenvalerate e thiamethoxam não ocasionou aumento significativo na *ri* do ácaro e foram similares ao tratamento controle (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Taxa intrínseca de crescimento instantânea *Panonychus citri* após aplicação de inseticidas em sucessão

Primeira pulverização	Segunda pulverização					
	Taxa intrínseca de crescimento instantânea (ri) ¹					
	Esfenvalerate	Deltamethrin	Lambda-cyhalothrin	Imidacloprid	Thiamethoxam	Controle
Deltamethrin (0,008 g L ⁻¹)	0,068 ± 0,0035 CDbc	0,076 ± 0,0025 BCabc	0,080 ± 0,0020 Bb	0,096 ± 0,0013 Aa	0,069 ± 0,0015 CDbc	0,064 ± 0,0042 Da
Esfenvalerate (0,019 g L ⁻¹)	0,068 ± 0,0027 BCbc	0,074 ± 0,0024 ABc	0,077 ± 0,0028 Ab	0,083 ± 0,0008 Abc	0,064 ± 0,0050 BCbc	0,061 ± 0,0023 Cab
Lambda-cyhalothrin (0,010 g L ⁻¹)	0,077 ± 0,0013 ABa	0,083 ± 0,0018 Aa	0,083 ± 0,0033 Aab	0,081 ± 0,0012 Ab	0,071 ± 0,0020 BCb	0,062 ± 0,0015 Cab
Imidacloprid (0,040 g L ⁻¹)	0,075 ± 0,0021 DEab	0,081 ± 0,0023 CDab	0,089 ± 0,0013 Ba	0,094 ± 0,0010 Aa	0,086 ± 0,0018 BCa	0,070 ± 0,0010 Ea
Thiamethoxam (0,025 g L ⁻¹)	0,066 ± 0,0015 CDbc	0,075 ± 0,0014 ABCbc	0,078 ± 0,0009 Ab	0,077 ± 0,0017 ABbc	0,068 ± 0,0017 BCDbc	0,060 ± 0,0025 Dab
Controle	0,057 ± 0,0031 BCc	0,061 ± 0,0024 ABcd	0,064 ± 0,0022 ABc	0,069 ± 0,0019 Ac	0,059 ± 0,0024 ABCc	0,050 ± 0,0018 Cb

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (nas linhas) e minúsculas (nas colunas) não diferem significativamente (GLM com distribuição Gaussiana, seguido por *post hoc* teste de Tukey, $p < 0,05$)

4.4 Discussão

O impacto de inseticidas piretroides e neonicotinoides sobre a taxa intrínseca de crescimento instantânea de *P. citri* foi investigado em seedlings cultivados em casa de vegetação. Os resultados demonstraram que os inseticidas piretroides deltamethrin e lambda-cyhalothrin e o neonicotinoide imidacloprid proporcionaram aumento na abundância populacional do ácaro, enquanto que, esfenvalerate e thiamethoxam não alteraram a taxa intrínseca de crescimento instantânea de *P. citri* e foram similares ao tratamento controle. Esses resultados indicam que o aumento populacional do ácaro proporcionado pelos inseticidas pode afetar negativamente os programas de manejo que visam a preservação dos inimigos naturais (especialmente ácaros predadores), devido a necessidade de realizar intervenções adicionais com acaricidas para reduzir os níveis populacionais do ácaro nos sistemas de produção citrícola (RIBEIRO et al., 2014).

Com base na estimativa da taxa intrínseca de crescimento instantânea de *P. citri* após a pulverização dos inseticidas piretroides e neonicotinoides, os resultados demonstraram que os piretroides deltamethrin e lambda-cyhalothrin e o neonicotinoide imidacloprid proporcionaram aumento significativo no número de ácaros nos seedlings, demonstrando que esses produtos podem alterar a abundância populacional da praga e contribuir para o aumento da incidência de surtos de *P. citri* nos pomares cítricos. Aumento na densidade de ácaros fitófagos após a aplicação de inseticidas piretroides também foi relatado por Li, Harmsen e Thistlewood (1992) e Li e Harmsen (1993) em plantas de macieira [*Malus domestica* Bork. (Rosaceae)] pulverizadas com lambda-cyhalothrin. Além do aumento populacional, os autores observaram uma alteração na distribuição espacial do ácaro após a aplicação do produto. O incremento na abundância populacional de *P. citri* constatado no presente estudo é atribuído ao efeito hormese (aumento na fecundidade) nas fêmeas e as alterações no comportamento do ácaro (efeito repelente e a capacidade do ácaro em localizar áreas livres de resíduos para alimentação e oviposição) logo após a aplicação dos produtos, conforme demonstrado anteriormente (Capítulo 2).

Da mesma forma, seedlings tratados com imidacloprid também apresentaram maior taxa intrínseca de crescimento instantânea de *P. citri* quando comparado ao tratamento controle. A insensibilidade dos ácaros ao inseticida e o aumento na capacidade reprodutiva das fêmeas (fecundidade) foram as principais causas associadas ao aumento populacional do ácaro. Esses resultados corroboram os obtidos por, Zeng e Wang (2010) que verificaram que uso de imidacloprid não causou mortalidade significativa do *T. cinnabarinus* Boisduval

(Acari: Tetranychidae), mas induziu as fêmeas a aumentar sua capacidade reprodutiva (fecundidade). Aumento na fecundidade após a aplicação de imidacloprid também foi observado em fêmeas de *T. urticae* (JAMES; PRICE, 2002), *Tetranychus schoenei* (Acari: Tetranychidae) (SZCZEPANIEC et al., 2011) e *Eurytetranychus buxi* (Garman) (Acari: Tetranychidae) (SZCZEPANIEC; RAUPP, 2013). Além disso, Zeng e Wang (2010) verificaram que fêmeas de *T. cinnabarinus* expostas ao imidacloprid depositaram ovos com maior conteúdo de vitelo (nutriente utilizado para alimentação do embrião durante o período de incubação dos ovos), proporcionando maior velocidade de desenvolvimento do embrião e incremento na taxa de eclosão de larvas, o que poderia contribuir para o rápido aumento populacional do ácaro após a aplicação do produto.

Por outro lado, o uso de esfenvalerate em pulverização não ocasionou aumento significativo na taxa intrínseca de crescimento instantânea de *P. citri*. Apesar do piretroide esfenvalerate proporcionar aumento na fecundidade das fêmeas, o inseticida causa de mortalidade ~ 38% das larvas e protoninfas de *P. citri* (Capítulo II). Dessa forma, a ocorrência de surtos populacionais de *P. citri* após a aplicação de esfevalerate pode estar associado ao aumento na dispersão e nas alterações no comportamento de alimentação e de oviposição do ácaro. Essa hipótese é suportada por Holland e Chapman (1994) que demonstraram que o surto populacional de *T. urticae* foi ocasionado pelo aumento na dispersão do ácaro e Hall (1979) que verificou que fêmeas de *T. urticae* não utilizaram as seções tratadas com o piretroide fenvalerate para alimentação do ácaro.

Apesar dos piretroides deltamethrin e lambda-cyhalothrin e do neonicotinoide imidacloprid proporcionarem aumento na abundância de *P. citri*, os resultados demonstraram que após 80 dias da pulverização dos inseticidas, os seedlings tratados com os inseticidas apresentaram redução significativa na taxa intrínseca de crescimento instantânea do ácaro. A redução na abundância de *P. citri* foi decorrente da menor disponibilidade e/ou qualidade do alimento (seedlings) proporcionado pela maior abundância do ácaro nos seedlings até os 60 dias após a pulverização dos produtos, aspecto verificado pela despigmentação do limbo foliar provocado pelo intenso processo de alimentação dos ácaros. Ambientes com baixa diponibilidade e/ou qualidade de alimento limita a taxa de crescimento de herbívoros para garantir a estabilidade das populações nos agroecossistemas (HERRANDO-PÉREZ et al., 2012). Neste sentido, pulverizações de inseticidas deltamethrin, lambda-cyhalothrin e imidacloprid pode trazer prejuízos consideráveis para os sistemas de produção caso as condições climáticas para o desenvolvimento do ácaro sejam favoráveis e medidas de controle não sejam adotadas.

A aplicação sistêmica de inseticidas de neonicotinoides demonstrou que o aumento na taxa intrínseca de crescimento de *P. citri* foi mais lenta quando comparada a pulverização. O menor crescimento inicial do ácaro deve-se ao período de translocação do inseticida do sistema radicular para a parte aérea das plantas. De acordo com Ichinose et al. (2010) o tempo necessário para absorção e translocação de imidacloprid do sistema radicular para a parte aérea em seedlings de citros foi de 5 a 10 dias após a aplicação do produto. Dessa forma, o impacto do inseticida sobre a taxa intrínseca de crescimento instantânea de *P. citri* não poderá ser observada em um curto espaço de tempo. No entanto, nas avaliações subsequentes (40, 60 e 80 dias após a aplicação do produto) foi observado um aumento na abundância populacional de *P. citri* tratadas com imidacloprid. Esses resultados indicam que imidacloprid aplicado sistemicamente também estimula as fêmeas de *P. citri* a aumentar sua capacidade reprodutiva, corroborando com os resultados obtidos por James e Price (2002) e Szczepaniec et al. (2011) que relataram efeito hormese em fêmeas de *T. urticae* e *T. schoenei* em plantas tratadas sistemicamente com imidacloprid.

Por outro lado, o uso de thiamethoxam em pulverização ou aplicado sistemicamente não ocasionou alteração significativa na abundância de *P. citri* quando comparado ao tratamento controle. Da mesma forma, Ako et al. (2004) e Pozzebon et al. (2011) demonstraram que a exposição *T. urticae* aos resíduos de thiamethoxam não ocasionou aumento nos níveis populacionais do ácaro. No entanto, Szczepaniec et al. (2013) verificaram aumento de ~ 30% na abundância de *T. urticae* em plantas de algodoeiro tratadas sistemicamente com o produto. Essas variações são atribuídas, em hipótese, aos diferentes níveis de tolerância das espécies, a forma de aplicação e a concentração de thiamethoxam utilizada nos bioensaios. No presente estudo foi utilizado 0,25 g de thiamethoxam por seedlings sendo superior as concentrações utilizadas nos estudos de Ako et al. (2004) (0,095 g L⁻¹) e Szczepaniec et al. (2013) (0,00034 g de thiamethoxam por semente). Esses resultados sugerem que o uso de thiamethoxam na concentração recomendada para o manejo de *D. citri* em citros não altera os parâmetros demográficos de *P. citri*.

Além dos efeitos na sobrevivência e reprodução do ácaro ocasionados pelos inseticidas piretroides e neonicotinoides, este estudo demonstrou, pela primeira vez os efeitos da aplicação de inseticidas em sucessão na taxa intrínseca de crescimento instantânea de *P. citri*. Com base nos dados obtidos, o uso sucessivo de imidacloprid proporcionou maior aumento na densidade populacional do ácaro quando comparado com as demais combinações de tratamentos avaliadas. Portanto, o uso sucessivo desse produto nos sistemas de produção poderá intensificar os problemas de surtos de *P. citri* nos pomares cítricos e trazer sérias

implicações para os programas de manejo integrado de pragas. Entretanto, o uso do piretroide esfenvalerate em sucessão ao imidacloprid poderá ser uma alternativa para reduzir os níveis populacionais do ácaro e diminuir a necessidade de aplicações adicionais de acaricidas para o seu controle.

Por outro lado, o uso de deltamethrin e lambda-cyhalothrin nas concentrações recomendadas para o manejo de *D. citri* em sucessão também proporcionou aumento na abundância de *P. citri*, mas em níveis inferiores aos verificados quando se utiliza somente imidacloprid. O menor crescimento populacional é atribuído a maior toxicidade aguda proporcionada pelos piretroides nos estádios iniciais de desenvolvimento do ácaro (principalmente larvas e protoninfa). Além disso, o uso de inseticidas piretroides e/ou neonicotinoides na primeira e na segunda pulverização interfere consideravelmente na abundância populacional do ácaro. Neste sentido, os resultados demonstraram que o uso de piretroides (principalmente deltamethrin e lambda-cyhalothrin) na primeira pulverização e neonicotinoides (especialmente imidacloprid) na segunda pulverização ocasionou aumento na taxa intrínseca de crescimento instantânea do ácaro mais pronunciado do que quando se utiliza piretroides em sucessão aos neonicotinoides. Isso ocorre devido a menor taxa de sobrevivência de *P. citri* na presença de resíduos de piretroides. Portanto, quando se utiliza piretroide em sucessão a neonicotinoide há um maior número de larvas e protoninfas que serão expostos aos resíduos de piretroides, cujos estádios de desenvolvimento são mais suscetíveis a esses inseticidas. No entanto, quando se utiliza neonicotinoide em sucessão aos piretroides, não há mortalidade significativa de larvas e protoninfas na segunda pulverização e todos os indivíduos sobreviventes da primeira pulverização (piretroides) serão mantidos na população. Além disso, tanto os piretroides quanto o neonicotinoide imidacloprid induzem as fêmeas a aumentar sua capacidade reprodutiva. Por outro lado, esfenvalerate e/ou thiamethoxam aplicados em sucessão não ocasionaram aumento significativo na população do ácaro, demonstrando que o uso desses inseticidas nas concentrações recomendadas para o manejo de insetos-praga em citros não contribui para a incidência de surtos populacionais do ácaro *P. citri*.

4.5 Conclusões

- Os inseticidas piretroides deltamethrin e lambda-cyhalothrin e o neonicotinoide imidacloprid aumentam a taxa intrínseca de crescimento instantânea de *P. citri*.

- Os inseticidas piretroide esfenvalerate e o neonicotinoide thiamethoxam não aumentam a taxa intrínseca de crescimento instantânea de *P. citri*.
- A aplicação de inseticidas piretroides e/ou neonicotinoides em sucessão altera os níveis populacionais do ácaro *P. citri*.

Referências

AKO, M.; BORGEMEISTER, C.; POEHLING, H.M.; ELBERT, A.; NAUEN, A. Effects of neonicotinoid insecticides on the bionomics of twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 97, n. 5, p. 1587-1594, 2004.

BELASQUE-JR., J.; YAMAMOTO, P.T.; MIRANDA, M.P.; BASSANEZI, R.B.; AYRES, A.J.; BOVÉ, J.M. Controle do huanglongbing no estado de São Paulo, Brasil. **Citrus Research & Technology**, Cordeirópolis, v. 31, n. 1, p. 53-64, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT**: sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 14 jan. 2015.

CORDEIRO, E.M.G.; MOURA, I.L.T.; FADINI, M.A.M.; GUEDES, R.N.C. Beyond selectivity: are behavioral avoidance and hormesis likely causes of pyrethroid-induced outbreaks of the southern red mite *Oligonychus ilicis*? **Chemosphere**, Oxford, v. 93, n. 6, p. 1111-1116, 2013.

CUTLER, G.C. Insects, insecticides and hormesis: evidence and considerations for study. **Dose-Response**, Massachusetts, v. 11, n. 2, p. 154-177, 2013.

DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J-M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 52, p. 81-106, 2007.

GRAVENA, S. História do controle de pragas na citricultura brasileira. **Citrus Research & Technology**, Cordeirópolis, v. 32, n. 2, p. 85-92, 2011.

GUEDES, R.N.C.; CUTLER, G.C. Insecticide-induced hormesis and arthropod pest management. **Pest Management Science**, Sussex, v. 70, n. 5, p. 690-697, 2014.

GUEDES, R.N.C.; MAGALHÃES, L.C.; COSME, L.V. Stimulatory sublethal response of a generalist predator to permethrin: hormesis, hormoligosis, or homeostatic regulation? **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 102, n. 1, p. 170-176, 2009.

HALL, F.R. Effects of synthetic pyrethroids on major insect and mite pest of apple. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 72, n. 3, p. 441-446, 1979.

HERRANDO-PÉREZ, S.; DELEAN, S.; BROOK, B.W.; BRADSHAW, C.J.A. Density dependence: an ecological tower of babel. **Oecologia**, Berlin, v. 170, n. 3, p. 585-603, 2012.

HINDE, J.; DEMÉTRIO, C.G.B. Overdispersion: models and estimation. **Computational Statistics and Data Analysis**, Amsterdam, v. 27, n. 2/3, p. 151-170, 1998.

HOLLAND, J.M.; CHAPMAN, R.B. A comparison of the toxic and sub-lethal effects of fluralinate and esfenvalerate on the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 18, n. 1, p. 3-22, 1994.

ICHINOSE, K.; BANG, D.V.; TUAN, D.H.; DIEN, L.Q. Effective use of neonicotinoids for protection of citrus seedlings from invasion by *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 103, n. 1, p. 127-135, 2010.

JAMES, D.G.; PRICE, T.S. Fecundity of twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) is increased by direct and systemic exposure to imidacloprid. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 27, n. 4, p. 151-156, 2002.

LI, S.Y.; HARMSSEN, R. Pyrethroid lambdacyhalothrin-induced population increase of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in an apple orchard. **Journal of Agricultural Entomology**, Clemson, v. 1, n. 3, p. 197-203, 1993.

LI, S.Y.; HARMSSEN, R.; THISTLEWOOD, H.M.A. The effect of pyrethroid lambdacyhalothrin applications on the spatial distribution of phytophagous and predatory mites in apple orchards. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 15, n. 4, p. 259-269, 1992.

NELDER, J.A.; WEDDERBURN, R.W.M. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society**, Oxford, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972.

NEVES, M.F.; TROMBIN, V.G.; MILAN, P.; LOPES, F.F.; CRESSONI, F.; KALAKI, R. **O retrato da citricultura brasileira**. São Paulo: Markestrat Centro de Pesquisa e Projetos em Marketing e Estratégia, 2011. v. 1, 71 p.

OLIVEIRA, C.A.L. Efeito de deltametrina na biologia de *Oligonychus ilicis* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) em laboratório. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 27, n. 3, p. 459-467, 1998.

OLIVEIRA, C.A.L.; PATTARO, F.C. Citros: manejo de ácaros fitófagos na cultura. In: YAMAMOTO, P.T. (Org.). **Manejo integrado de pragas do citros**. Piracicaba: ESALQ, 2008. p. 81-125.

POZZEBON, A.; DUSO, C.; TIRELLO, P.; ORTIZ, P.B. Toxicity of thiamethoxam to *Tetranychus urticae* Koch and *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) through different routes of exposure. **Pest Management Science**, Sussex, v. 67, n. 3, p. 352-359, 2011.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. 1706 p.

RAUPP, M.J.; SHREWSBURY, P.M.; HERMS, D.H. Ecology of herbivorous arthropods in urban landscapes. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 55, p. 19-38, 2010.

RIBEIRO, L.P.; ZANARDI, O.Z.; VENDRAMIM, J.D.; YAMAMOTO, P.T. Comparative toxicity of an acetogenin-based extract and commercial pesticides against citrus red mite. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 87-98, 2014.

STARK, J.D.; BANKS, J.E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 48, p. 505-519, 2003.

SZCZEPANIEC, A.; RAUPP, M.J. Direct and indirect effects of imidacloprid on fecundity and abundance of *Eurytetranychus buxi* (Acari: Tetranychidae) on boxwoods. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 59, n. 3, p. 307-318, 2013.

SZCZEPANIEC, A.; CREAMY, S.F.; LASKOWSKI, K.L.; NYROP, J.P.; RAUPP, M.J. Neonicotinoid insecticide imidacloprid causes outbreaks of spider mites on elm trees in urban landscapes. **PlosOne**, San Francisco, v. 6, n. 5, p. e20018, 2011.

SZCZEPANIEC, A.; RAUPP, M.J.; PARKER, R.D.; KERNS, D.; EUBANKS, M.D. Neonicotinoid insecticides alter induced defenses and increase susceptibility to spider mites in distantly related crop plants. **PlosOne**, San Francisco, v. 8, n. 5, p. e62620, 2013.

WALTHALL, W.K.; STARK, J.D. A comparison of acute mortality and population growth rate as endpoints of toxicological effects. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 37, n. 1, p. 45-52, 1997.

YAMAMOTO, P.T.; ZANARDI, O.Z. Atualização de manejo do ácaro purpúreo *Panonychus citri*. **Revista Citricultura Atual**, Cordeirópolis, v. 96, p.16-17, 2013.

YAMAMOTO, P.T.; FELIPPE, M.R.; SANCHES, A.; COELHO, J.H.C.; GARBIM, L.F.; XIMENES, N. Eficácia de inseticidas para o manejo de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) em citros. **BioAssay**, Piracicaba, v. 4, n. 4, p. 1-9, 2009.

ZENG, C-X.; WANG, J-J. Influence of exposure to imidacloprid on survivorship, reproduction and vitellin content of the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus*. **Journal of Insect Science**, Arizona, v. 10, n. 20, p. 1-9, 2010.

5 IMPACTO DE INSETICIDAS PIRETROIDES E NEONICOTINOIDES SOBRE *Iphiseiodes zuluagai* DENMARK & MUMA (ACARI: PHYTOSEIIDAE)

Resumo

Iphiseiodes zuluagai Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae) é um dos principais ácaros predadores encontrados em pomares cítricos. No entanto, o uso de inseticidas piretroides e neonicotinoides para o manejo de insetos-praga, em especial *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) pode afetar a densidade populacional e a ação do predador no controle biológico de ácaros-praga. Dessa forma, objetivou-se com este estudo, avaliar a toxicidade e a duração da atividade nociva de três inseticidas piretroides e dois neonicotinoides sobre *I. zuluagai* e estimar os parâmetros de tabela de vida do predador. Os resultados demonstraram que os inseticidas piretroides deltamethrin, esfenvalerate e lambda-cyhalothrin foram mais nocivos ao predador do que os neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam. Entre os piretroides, deltamethrin e lambda-cyhalothrin proporcionaram menor taxa de eclosão de larvas e de sobrevivência de larvas e adultos quando comparado ao piretroide esfenvalerate. A duração da atividade nociva dos piretroides foi maior (5-15 dias) do que os neonicotinoides (< 5 dias). Ácaros que desenvolveram sobre resíduos de piretroides apresentaram menor fecundidade e longevidade quando comparado aos neonicotinoides e o tratamento controle. Com base no efeito total, os inseticidas deltamethrin e lambda-cyhalothrin foram considerados nocivos (classe IV) para *I. zuluagai*, enquanto que, esfenvalerate foi moderadamente nocivo (classe III) e imidacloprid e thiamethoxam levemente nocivo (classe II) ao predador. A estimativa dos parâmetros de tabela de vida indicou que os inseticidas piretroides deltamethrin, esfenvalerate e lambda-cyhalothrin causaram maior redução na taxa líquida de reprodução (R_0), na taxa intrínseca de crescimento (r) e na razão finita de aumento (λ) de *I. zuluagai* do que os neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam que foram similares ao tratamento controle. Portanto, o uso de inseticidas piretroides para o controle de insetos-praga pode trazer sérias implicações para os programas de manejo integrado de pragas que visam explorar a controle biológico exercido pelo predador *I. zuluagai* nos sistemas de produção citrícola.

Palavras-chave: Ácaro predador; Toxicidade aguda; Efeitos subletais; Tabela de vida; Manejo integrado de pragas

Abstract

Iphiseiodes zuluagai Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae) is a major predator mite found in citrus groves. However, the use of pyrethroids and neonicotinoids insecticides for the management of insect pests, especially *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) may affect population density and predatory action in biological control of pest mites. Thus, the aimed with this study to evaluate the toxicity and duration of harmful activity of three pyrethroid and two neonicotinoids insecticides on *I. zuluagai* and to estimate life table parameters of the predator under laboratory conditions. Our results showed that the pyrethroid insecticides deltamethrin, lambda-cyhalothrin and esfenvalerate were more harmful to the predator mite than neonicotinoid imidacloprid and thiamethoxam. Among the pyrethroids,

deltamethrin and lambda-cyhalothrin provided lower hatching rate of larvae and survival of larvae and adults compared to esfenvalerate pyrethroid. The duration of the harmful activity of pyrethroids was higher (5-15 d) than neonicotinoids (< 5 d). Mites developed on pyrethroid residues showed lower fecundity and longevity compared to neonicotinoids and the control treatment. Based on the total effect, deltamethrin and lambda-cyhalothrin insecticides were considered harmful (class IV) for *I. zuluagai*, whereas esfenvalerate was moderately harmful (class III) and imidacloprid and thiamethoxam slightly harmful (class II) to the predator. The estimated life table parameters indicated that pyrethroid insecticides deltamethrin, lambda-cyhalothrin and esfenvalerate caused greater reduction in net reproductive rate (R_0), intrinsic growth rate (r) and finite rate of increase (λ) of *I. zuluagai* while compared with the neonicotinoid imidacloprid and thiamethoxam that were similar to the control treatment. Therefore, the use of pyrethroid insecticides to control pest insects may bring serious implications for integrated pest management programs aimed to explore the biological control exercised by predator mite *I. zuluagai* in citrus production systems.

Keywords: Mite predator; Acute toxicity; Sublethal effects; Life table; Integrated pest management

5.1 Introdução

A conservação e o aumento populacional de agentes de controle biológico tem sido uma das principais estratégias para reduzir a densidade populacional de artrópodes-pragas que causam prejuízos econômicos nos agroecossistemas (MIP) (BOSTANIAN et al., 2010; MAOZ et al., 2014). No entanto, essas estratégias dependem de diversos fatores, incluindo as condições ambientais favoráveis, disponibilidade de alimento (presas/hospedeiros) para os agentes de controle biológico durante todo o ciclo de desenvolvimento e produção das culturas, competição intra e interespecífica e principalmente da seletividade dos pesticidas utilizados no controle de artrópodes-praga que acometem as culturas (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007).

Em citros, apesar dos inimigos naturais exercerem importante papel na regulação das populações de importantes insetos e ácaros-praga, o controle químico ainda continua sendo a principal tática de controle utilizada pelos citricultores. No Brasil, o maior produtor mundial de laranja, o uso de pesticidas (inseticidas, acaricidas e fungicidas) teve um aumento de aproximadamente 600% nas últimas décadas, fato atribuído a expansão das áreas de cultivo e ao aumento no número de aplicações de inseticidas para o controle do psíldeo-asiático-dos-citros, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) vetor das bactérias “*Candidatus* Liberibacter americanus” e “*Candidatus* Liberibacter asiaticus” cujos sintomas estão associados ao huanglongbing (HLB), uma das doenças mais importantes da citricultura mundial (BELASQUE-JR et al., 2010; GRAFTON-CARDWELL; STELINSKI; STANSLY,

2013). Atualmente, a citricultura brasileira consome cerca de 5,1 kg de ingrediente ativo hectare⁻¹ ano⁻¹ de inseticidas (NEVES et al., 2011), sendo os piretroides deltamethrin, lambda-cyhalothrin e esfenvalerate e os neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam os ingredientes ativos mais utilizados para o controle de insetos-praga (especialmente de *D. citri*) devido a sua alta eficácia e o baixo custo. Apesar desses inseticidas atuarem na redução da abundância e na mitigação dos impactos causados pelos insetos-praga, eles também podem afetar a densidade e a dinâmica populacional dos agentes de controle biológico presentes nos sistemas de produção (FRAGOSO et al., 2002).

Entre os inimigos naturais que ocorrem naturalmente nos pomares cítricos, os ácaros predadores (especialmente os da família Phytoseiidae) desempenham um papel importante no controle biológico de ácaros fitófagos que causam danos consideráveis na cultura. Entre os fitoseídeos, *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma tem sido a espécie mais abundante em plantas cítricas (ALBUQUERQUE; MORAES, 2008; MCMURTRY; MORAES; SOURASSOU, 2013). Esse predador está associado principalmente aos ácaros da leprose, *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae) e da ferrugem, *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead) (Acari: Eriophyidae) (ALBUQUERQUE; MORAES, 2008), consideradas pragas chave dos citros (ANDRADE et al., 2013; MAOZ et al., 2014). Apesar de estar associado aos ácaros *B. phoenicis* e *P. oleivora*, os maiores níveis populacionais são constatados durante os meses secos do ano (inverno), cujo período também coincide com os maiores níveis de infestação de ácaros tetraniquídeos, especialmente *Panonychus citri* (McGregor), *Tetranychus mexicanus* (McGregor) e *Eutetranychus banksi* (McGregor). Além da atividade predatória, *I. zuluagai* pode se alimentar de pólen e substâncias açucaradas (REIS; CHIAVEGATO; ALVES, 1998), característica que contribui para a manutenção do ácaro nas áreas de produção durante os períodos de baixa disponibilidade de presas. O uso de alimentos alternativos pelo ácaro, também permite a multiplicação em laboratório e a liberação massal do predador em áreas de produção (ALBUQUERQUE; MORAES, 2008).

Diante da importância do predador *I. zuluagai* para os programas de MIP e do intenso uso de inseticidas piretroides e neonicotinoides utilizados para o manejo de insetos-praga, faz-se necessário investigar os impactos causados por esses produtos sobre os parâmetros biológicos e demográficos do predador. O conhecimento dos efeitos desses inseticidas contribui para a definição de futuras estratégias de manejo que visam reduzir os efeitos sobre esse inimigo natural e, dessa forma, permitir explorar o máximo potencial do predador nos sistemas de produção. Apesar do grande número de estudos demonstrando a toxicidade aguda e os efeitos subletais de pesticidas (especialmente acaricidas e fungicidas) sobre ácaros

predadores (YAMAMOTO; BASSANEZI, 2003; TEODORO et al., 2005; TEODORO; PALLINI; OLIVEIRA, 2009; REIS; FRANCO; SILVA, 2011; TUELHER et al., 2014), poucos levam em consideração os parâmetros biológicos e demográficos como requisitos para avaliar os impactos de inseticidas sobre esses predadores. Além da mortalidade, a exposição contínua aos resíduos de inseticidas pode ocasionar alterações fisiológicas e comportamentais que afetam o desenvolvimento dos estágios imaturos, razão sexual, fecundidade, fertilidade, longevidade, mobilidade, orientação e alimentação dos ácaros (TEODORO et al., 2005; DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007; REIS; FRANCO; SILVA, 2011; TUELHER et al., 2014), reduzindo a ação desses predadores no controle biológico de ácaros-praga.

Neste contexto, estudos de tabela de vida têm sido recomendados como ferramenta adicional para análise e compreensão dos efeitos de agentes xenobióticos sobre os parâmetros biológicos e demográficos de inimigos naturais (STARK; BANKSI, 2003). A estimativa desses parâmetros contribui para elucidar os efeitos dos inseticidas na densidade e dinâmica populacional dos agentes de controle biológico. Dessa forma, objetivou-se com esse estudo avaliar os efeitos letal e subletais dos principais inseticidas piretroides e neonicotinoides utilizados no controle de *D. citri* sobre o ácaro predador *I. zuluagai*. Com base em tais efeitos, foi estimado os parâmetros de tabela de vida do ácaro, visando conhecer os impactos dos inseticidas na abundância do predador e fornecer subsídios para os programas de manejo integrado de praga na cultura do citros.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Ácaros

Para o estabelecimento da criação, espécimes de *I. zuluagai* foram coletados em plantas de laranjeira Valência, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck (Rutaceae), em um pomar experimental localizado no campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, em Piracicaba, SP, Brasil, sem aplicação de pesticidas. No laboratório, os ácaros foram transferidos para arenas confeccionadas de folhas de feijão-de-porco, *Canavalia ensiformis* (L.) D.C. (Fabaceae), colocadas com a face abaxial voltada para cima sobre uma camada de espuma umedecida com água deionizada em bandejas plásticas (38,5 × 24,5 × 6,0 cm de comprimento, largura e altura, respectivamente). Tiras de algodão hidrófilo umedecido foram utilizadas nas bordas das folhas para a manutenção da sua turgescência e impedir a fuga dos

ácaros. No centro de cada arena foram colocados fios de algodão para servir de abrigo e local de oviposição aos ácaros. Como alimento, foi utilizado pólen de taboa, *Typha angustifolia* L. (Typhaceae), disponibilizado sobre lamínulas de vidro de 2×2 cm o qual foi substituído a cada 48 horas. A criação foi mantida em sala climatizada com temperatura de 25 ± 2 °C, umidade relativa do ar (UR) de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas.

5.2.2 Inseticidas avaliados

Os inseticidas foram avaliados nas concentrações recomendadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o manejo de *D. citri* nos pomares cítricos (BRASIL, 2015), sendo: deltamethrin $0,008 \text{ g L}^{-1}$ (Decis Ultra[®] 100 EC - Bayer CropScience S.A., SP, Brasil), esfenvalerate $0,019 \text{ g L}^{-1}$ (Sumidan[®] 150 EC - Sumitomo Chemical do Brasil Representações Ltda., SP, Brasil), lambda-cyhalothrin $0,010 \text{ g L}^{-1}$ (Karate Zeon[®] 50 CS - Syngenta Proteção de Plantas Ltda., SP, Brasil), imidacloprid $0,040 \text{ g L}^{-1}$ (Provado[®] 200 SC - Bayer CropScience S.A., SP, Brasil) e thiamethoxam $0,025 \text{ g L}^{-1}$ (Actara[®] 250 WG - Syngenta Proteção de Plantas Ltda., SP, Brasil).

5.2.3 Bioensaios

Os bioensaios foram realizados em sala climatizada com temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas, seguindo delineamento inteiramente aleatorizado. Durante o período de avaliação dos bioensaios, os ácaros foram alimentados com pólen de taboa disponibilizado sobre lamínulas de vidro de $0,5 \times 0,5$ cm.

5.2.3.1 Efeito de inseticidas sobre ovos de *I. zuluagai*

Para avaliação do efeito dos inseticidas sobre ovos de *I. zuluagai*, arenas foram confeccionadas com discos de folha de laranjeira Valência de 3,3 cm de diâmetro colocados sobre uma camada de ágar: água na concentração de 25 g L^{-1} em placas de Petri de 3,5 cm de diâmetro $\times$ 0,7 cm de altura e utilizadas como unidades experimentais. Feito isso, cada arena foi infestada com 20 fêmeas do ácaro provenientes da criação mantida em laboratório. Após 12 horas da infestação, as arenas foram desinfestadas e os ovos contados e submetidos à pulverização de 2 mL de solução, do respectivo tratamento, em torre de Potter (Burkard Scientific Co., Uxbridge, UK), ajustada a uma pressão de $0,7 \text{ kg cm}^{-2}$, propiciando deposição

de $1,8 \pm 0,1$ mg resíduo fresco cm^{-2} de folha, estando de acordo com os critérios estabelecidos pelo grupo de trabalho da International Organization for Biological Control of Noxious Animals and Plants, West Palaearctic Regional Section (IOBC/WPRS) para estudos de toxicidade de pesticidas sobre inimigos naturais (HASSAN et al., 1994). Água deionizada (solvente utilizado para diluição dos inseticidas) foi utilizada como tratamento controle. Após a pulverização, as arenas foram fechadas com filme de policloreto de polivinila (PVC) e acondicionadas em sala climatizada. Para cada tratamento foram utilizados 10 repetições. As avaliações foram realizadas a cada 12 horas, contando as larvas eclodidas em cada arena. O efeito ovicida nos diferentes tratamentos foi calculado com base na razão do número de larvas eclodidas no tratamento inseticida e o controle utilizando a fórmula de Henderson e Tilton (1955).

5.2.3.2 Efeito de inseticidas sobre larvas e adultos de *I. zuluagai*

A toxicidade residual de inseticidas foi avaliada sobre larvas (estágio mais suscetível) e adultos (estágio mais tolerante) de *I. zuluagai*. Para isso, folhas de laranjeira Valência foram pulverizadas com os respectivos tratamentos em torre de Potter conforme descrito no item 5.2.3.1. Após a aplicação dos tratamentos, as folhas foram mantidas em sala climatizada por duas horas para a secagem dos resíduos. Decorrido esse período, discos de folha de 3,3 cm de diâmetro foram seccionados para confecção das arenas (unidades experimentais) conforme descrito no item 5.2.3.1 e infestadas com 10 larvas ou adultos de *I. zuluagai* provenientes da criação mantida em laboratório. Após a infestação, as arenas foram fechadas com filme de PVC e acondicionadas em sala climatizada. Para cada tratamento foram utilizados 10 repetições ($n = 100$). A mortalidade das larvas e dos adultos em cada arena foi avaliada 24 horas após a infestação. A toxicidade dos inseticidas para larvas e adultos de *I. zuluagai* foi calculada pela fórmula de Abbott (1925).

5.2.3.3 Duração do efeito nocivo de inseticidas sobre *I. zuluagai*

A duração do efeito nocivo dos inseticidas foi avaliada sobre larvas (estágio mais suscetível) de *I. zuluagai* em condições laboratoriais. Para isso, seedlings de laranjeira Valência cultivadas em vaso (12 L) em casa de vegetação foram utilizadas como substrato para aplicação dos tratamentos. Os tratamentos foram aplicados até o ponto de escorrimento com um pulverizador manual modelo Jacto[®] PJH (Jacto do Brasil S.A, Pompeia, SP, Brasil)

equipado com bico cone cheio FL-5VS (Teejet Technologies Company, SP, Brasil). Para cada tratamento foram utilizados cinco seedlings. Decorridos três horas (tempo 0) e 1, 3, 7, 10, 17, 24 e 31 dias após a pulverização dos tratamentos (DAP), uma folha de cada seedling foi destacada aleatoriamente, levadas ao laboratório, seccionados discos de 3,3 cm de diâmetro para confecção das unidades experimentais (arenas) conforme descrito no item 5.2.3.1. Feito isso, 12 larvas recém-eclodidas (≤ 12 horas de idade) de *I. zuluagai* foram transferidas para cada arena. Para cada tratamento e data de avaliação foram utilizados cinco repetições ($n = 60$). O efeito dos inseticidas foi determinado com base no número de ácaros mortos após 24 horas de exposição. Quando os produtos reduziram, em menos de 25% a mortalidade dos ácaros, foram classificados de acordo com a escala de persistência proposta pela IOBC/WPRS em: I = vida curta (< 5 dias), II = levemente persistente (5-15 dias), III = moderadamente persistente (16-30 dias) e IV = persistente (> 30 dias) (HASSAN; ABDELGADER, 2001).

5.2.3.4 Efeito de inseticidas no desenvolvimento e reprodução de *I. zuluagai*

O efeito de inseticidas no desenvolvimento e reprodução de *I. zuluagai* foi avaliado em condições laboratoriais, utilizando bioensaio de contato residual. Para isso, seedlings de laranjeira Valência foram submetidas à pulverização dos tratamentos conforme descrito no item 5.2.3.3. Como tratamento controle foi utilizado água deionizada. Após duas horas da aplicação dos tratamentos, uma folha de cada seedling foi destacada aleatoriamente, levadas ao laboratório, seccionados discos de 3,3 cm de diâmetro para confecção das arenas (item 5.2.3.1). Feito isso, 12 larvas recém-eclodidas (≤ 12 horas de idade) de *I. zuluagai* foram transferidas para cada arena. Após a infestação, as arenas foram fechadas com tecido tipo voile e acondicionadas em sala climatizada. Para cada tratamento foram utilizados cinco repetições ($n = 60$). A sobrevivência e a duração dos estádios imaturos (larva, protoninfa e deutoninfa) do ácaro foram avaliadas a cada 12 horas até a obtenção dos adultos.

Os adultos obtidos em cada tratamento foram transferidos para novas arenas (utilizando discos de folhas de seedlings tratados previamente com inseticidas e mantidos em casa de vegetação), para avaliação dos parâmetros do estágio adulto. Durante esse período, as arenas foram substituídas a cada cinco dias (para evitar a desidratação dos discos foliares). O período de pré-oviposição, oviposição, fecundidade diária e total, fertilidade e longevidade dos ácaros foram avaliados a cada 12 horas. A fertilidade das fêmeas foi determinada com base no número de larvas eclodidas a cada dois dias. Para isso, os ovos foram colocados em placas

de Petri de 3,5 cm de diâmetro $\times$ 0,7 cm de altura tampadas com filme de PVC e acondicionadas em sala climatizada. O número de larvas eclodidas em cada placa foi avaliado quatro dias após a transferência dos ovos.

Com base nos dados de mortalidade de larvas, protoninfas e deutoninfas (efeito letal) e de fecundidade e fertilidade das fêmeas (efeitos subletais) foi calculado o efeito total (E) para cada inseticida utilizando a fórmula $E(\%) = 100 - (100 - Mc) \times Er$ proposta por Van de Veire et al. (2002), onde: Mc = mortalidade total do estágio imaturo corrigida pela fórmula de Abbott (1925) e Er = efeito na reprodução calculado como: $Er = R_1 \times R_2$, sendo: R_1 = razão entre a fecundidade total média das fêmeas que desenvolveram sobre os resíduos de inseticidas e no tratamento controle e R_2 = razão entre a fertilidade total média das fêmeas que desenvolveram sobre os resíduos de inseticidas e o tratamento controle. Com base no efeito total, os inseticidas foram classificados de acordo com as escalas de toxicidade proposta pela IOBC/WPRS para testes de laboratório estendido (VAN DE VEIRE et al., 2002), sendo: classe I = inócuo ($E < 25\%$ de redução), classe II = levemente nocivo ($25\% \leq E \leq 50\%$ de redução); classe III = moderadamente nocivo ($51\% \leq E \leq 75\%$ de redução) e classe IV = nocivo ($E > 75\%$ de redução).

5.2.3.5 Tabela de vida

Com base nos dados de duração e sobrevivência do estágio imaturo e dos parâmetros reprodutivos e de longevidade do ácaro foram estimados os parâmetros de tabela de vida para cada tratamento. Para a confecção das tabelas de vida foram utilizados dados de todos os indivíduos (incluindo as fêmeas, os machos e os indivíduos que morreram durante o desenvolvimento do estágio imaturo) conforme proposto por Chi (1988). Os dados originais de todos os indivíduos foram analisados de acordo com o modelo teórico proposto por Chi e Liu (1985) utilizando o programa TWOSEXMSChart (CHI, 2012). Para cada tratamento foram estimadas:

A taxa líquida de reprodução (R_o):

$$R_o = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$$

A taxa intrínseca de crescimento (r):

$$1 = \sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x$$

O tempo médio entre gerações (T):

$$T = \ln Ro / r$$

e a razão finita de aumento (λ):

$$\lambda = e^r$$

A taxa intrínseca de crescimento foi estimada pela fórmula de Euler-Lotka (GOODMAN, 1982). As médias e os erros padrões de cada parâmetro populacional foram estimados pelo método de bootstrap seguindo o procedimento proposto por Huang e Chi (2012). Durante o procedimento de bootstrap, os dados de cada parâmetro biológico e demográfico foram reamostrados 10.000 vezes. As médias de cada tratamento foram comparadas pelo teste de bootstrap emparelhado (EFRON; TIBSHIRANI, 1993).

5.3 Resultados

Os resultados indicaram que os inseticidas apresentaram diferentes níveis de toxicidade ao ácaro predador *I. zuluagai*, variando de acordo com o estágio de desenvolvimento e o grupo químico utilizados nos bioensaios. A exposição de ovos e adultos de *I. zuluagai* aos inseticidas revelou que apenas os piretroides deltamethrin e lambda-cyhalothrin reduziram significativamente a taxa de eclosão de larvas e de sobrevivência dos adultos do ácaro, enquanto que, o piretroide esfenvalerate e os neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam não apresentaram efeito ovicida, não afetaram a sobrevivência de adultos e foram similares ao tratamento controle (Tabela 5.1). No entanto, para larvas todos os inseticidas testados causaram redução significativa na sobrevivência do ácaro, indicando que os estágios imaturos são mais suscetíveis aos produtos do que ovos e adultos (Tabela 5.1). Os maiores níveis de toxicidade foram constatados em larvas expostas aos piretroides deltamethrin e lambda-cyhalothrin, seguido por esfenvalerate e pelos neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam (Tabela 5.1). Além da toxicidade aguda, os inseticidas piretroides apresentaram maior duração do efeito nocivo quando comparado aos neonicotinoides (Figura 5.1). Com base na duração do efeito nocivo, os inseticidas imidacloprid e thiamethoxam foram considerados de vida curta (< 5 dias, classe I), enquanto que, deltamethrin, esfenvalerate e lambda-cyhalothrin foram considerados levemente persistentes (5-15 dias, classe II) de acordo com as classes de persistência de pesticidas estabelecidas pela IOBC/WPRS (Figura 5.1).

Tabela 5.1 - Efeito de inseticida sobre ovos, larvas e adultos de *Iphiseiodes zuluagai*.
Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Tratamento	Taxa de eclosão (%) ¹	Mortalidade (%) ¹	
		Larva	Adulto
Deltamethrin (0,008 g L ⁻¹)	84,3 $\pm$ 3,77 b	58,0 $\pm$ 4,16 ab	22,0 $\pm$ 2,91 a
Esfenvalerate (0,019 g L ⁻¹)	89,7 $\pm$ 0,76 a	47,0 $\pm$ 4,23 b	11,0 $\pm$ 2,77 b
Lambda-cyhalothrin (0,010 g L ⁻¹)	82,1 $\pm$ 1,54 b	65,0 $\pm$ 3,42 a	27,0 $\pm$ 3,00 a
Imidacloprid (0,040 g L ⁻¹)	91,2 $\pm$ 0,70 a	33,0 $\pm$ 3,67 b	7,0 $\pm$ 3,02 b
Thiamethoxam (0,025 g L ⁻¹)	89,9 $\pm$ 0,67 a	26,0 $\pm$ 4,00 b	5,0 $\pm$ 2,24 b
Controle	90,7 $\pm$ 0,69 a	4,0 $\pm$ 2,21 c	1,0 $\pm$ 1,00 b
F	7,267	24,498	14,781
g.l.	5, 54	5, 54	5, 54
Valor de <i>p</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001

¹Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente (GLM com distribuição quase-binomial, seguido por *post hoc* teste de Tukey, *p* < 0,05)

Figura 5.1 - Duração da atividade nociva de inseticidas sobre *Iphiseiodes zuluagai*. Temperatura 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Apesar dos diferentes níveis de toxicidade aguda verificados em larvas de *I. zuluagai*, os inseticidas não interferiram no tempo de desenvolvimento do estágio imaturo (larva, protoninfa e deutoninfa) do ácaro (Tabela 5.2). No estágio adulto, os resultados indicaram que os inseticidas piretroides e neonicotinoides não afetaram os períodos de pré-oviposição e oviposição das fêmeas (Tabela 5.2). No entanto, o número de ovos depositados pelas fêmeas foi significativamente menor em fêmeas mantidas sobre resíduos de deltamethrin, esfenvalerate e lambda-cyhalothrin do que àquelas criadas no tratamento controle. Por outro lado, fêmeas de *I. zuluagai* mantidas sobre resíduos de imidacloprid e thiamethoxam

apresentaram fecundidade similar ao tratamento controle (Tabela 5.2). A longevidade de fêmeas e machos nos tratamentos com inseticidas piretroides e neonicotinoides foram significativamente menores do que os verificados no tratamento controle (Tabela 5.2).

Ao considerar os efeitos letal (mortalidade do estágio imaturo) e subletais (fecundidade e fertilidade) de *I. zuluagai*, verificou-se que os inseticidas neonicotinoides foram menos nocivos ao predador do que os piretroides (Tabela 5.3). Com base no efeito total dos produtos, os inseticidas imidacloprid e thiamethoxam foram considerados levemente nocivos (classe II) para *I. zuluagai*, enquanto que, esfenvalerate foi moderadamente nocivo (classe III) e deltamethrin e lambda-cyhalothrin forma considerados nocivos (classe IV) ao predador (Tabela 5.3).

A estimativa dos parâmetros de tabela de vida indicou que a taxa líquida de reprodução (R_0), a taxa intrínseca de crescimento (r) e a razão finita de aumento (λ) foram significativamente menores nos ácaros mantidos sobre resíduos de deltamethrin e lambda-cyhalothrin do que nos demais tratamentos (Tabela 5.4). Entre os piretroides avaliados, esfenvalerate foi o que menos interferiu na R_0 , r e λ indicando que este inseticida é menos nocivo ao predador do que deltamethrin e lambda-cyhalothrin. Os inseticidas imidacloprid e thiamethoxam proporcionaram valores de R_0 , r e λ intermediários, sendo similares ao inseticida esfenvalerate e o tratamento controle (Tabela 5.4). Apesar dos efeitos significativos verificados na R_0 , r e λ , o intervalo médio entre geração (T) não foi influenciado pelos inseticidas (Tabela 5.4).

Tabela 5.2 - Duração (dias) e sobrevivência de *Iphiseiodes zuluagai* criados sobre resíduos de inseticidas. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Parâmetro	Tratamento ¹					
	Controle	Deltamethrin	Esfenvalerate	Lambda-cyhalothrin	Imidacloprid	Thiamethoxam
Duração de ovo	$1,3 \pm 0,05$ a	$1,2 \pm 0,06$ a	$1,3 \pm 0,06$ a	$1,4 \pm 0,06$ a	$1,3 \pm 0,06$ a	$1,3 \pm 0,05$ a
Duração de larva	$1,3 \pm 0,05$ a	$1,4 \pm 0,05$ a	$1,4 \pm 0,08$ a	$1,4 \pm 0,07$ a	$1,3 \pm 0,06$ a	$1,3 \pm 0,04$ a
Duração de protoninfa	$1,7 \pm 0,08$ a	$1,8 \pm 0,08$ a	$1,8 \pm 0,07$ a	$1,9 \pm 0,09$ a	$1,8 \pm 0,06$ a	$1,7 \pm 0,08$ a
Duração de deutoninfa	$1,7 \pm 0,07$ a	$1,7 \pm 0,09$ a	$1,7 \pm 0,08$ a	$1,7 \pm 0,08$ a	$1,8 \pm 0,07$ a	$1,7 \pm 0,07$ a
Duração do período imaturo	$6,0 \pm 0,15$ a	$6,1 \pm 0,19$ a	$6,2 \pm 0,17$ a	$6,1 \pm 0,19$ a	$6,2 \pm 0,15$ a	$6,0 \pm 0,17$ a
Sobrevivência estágio imaturo	90,0	46,7	61,7	41,7	73,3	75,0
Período de pré-oviposição	$4,7 \pm 0,40$ a	$4,2 \pm 0,16$ a	$4,8 \pm 0,46$ a	$4,2 \pm 0,18$ a	$4,8 \pm 0,42$ a	$4,9 \pm 0,49$ a
Período de oviposição	$10,9 \pm 0,37$ a	$10,8 \pm 0,25$ a	$11,4 \pm 0,40$ a	$10,6 \pm 0,23$ a	$11,4 \pm 0,38$ a	$11,2 \pm 0,47$ a
Fecundidade	$16,1 \pm 1,46$ a	$9,7 \pm 1,14$ b	$11,5 \pm 1,25$ b	$9,6 \pm 1,18$ b	$13,1 \pm 1,36$ ab	$13,8 \pm 1,36$ ab
Longevidade	$33,7 \pm 1,08$ a	$25,4 \pm 1,02$ c	$27,3 \pm 1,01$ c	$25,0 \pm 0,96$ c	$29,7 \pm 1,05$ bc	$31,6 \pm 0,88$ b

¹Médias seguidas pela mesma letra, nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de teste de bootstrap emparelhado ($p < 0,05$)

Tabela 5.3 - Efeito total de inseticidas sobre *Iphiseiodes zuluagai*. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Tratamento	¹ Mc	² R_I	³ R_2	⁴ E (%)	⁵ Classe IOBC/WPRS
Deltamethrin (0,008 g L ⁻¹)	37,0	0,48	0,70	78,84	IV
Esfenvalerate (0,019 g L ⁻¹)	20,4	0,66	0,80	57,96	III
Lambda-cyhalothrin (0,010 g L ⁻¹)	42,6	0,54	0,61	81,09	IV
Imidacloprid (0,040 g L ⁻¹)	7,4	0,80	0,75	44,44	II
Thiamethoxam (0,025 g L ⁻¹)	5,6	0,83	0,86	32,59	II

¹Mortalidade corrigida pela fórmula de Abbott (1925)

²Efeito na fecundidade (número de ovos no tratamento com inseticida/controle)

³Efeito na fertilidade (número de larvas no tratamento inseticida/controle)

⁴Efeito total $E_{(\%)} = 100 - (100 - Mc) \times R_I \times R_2$

⁵Classes de toxicidade proposta pela IOBC/WPRS: I = inócuo ($E < 25\%$ de redução), classe II = levemente nocivo ($25\% \leq E \leq 50\%$ de redução); classe III = moderadamente nocivo ($51\% \leq E \leq 75\%$ de redução) e classe IV = nocivo ($E > 75\%$ de redução)

Tabela 5.4 - Estimativa dos parâmetros de tabela de vida de *Iphiseiodes zuluagai* expostos aos resíduos de inseticidas. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Tratamento	Parâmetro ¹			
	R_o	T	r	λ
Deltamethrin (0,008 g L ⁻¹)	$3,2 \pm 0,70$ c	$17,6 \pm 0,54$ a	$0,07 \pm 0,013$ c	$1,07 \pm 0,014$ c
Esfenvalerate (0,019 g L ⁻¹)	$5,2 \pm 0,92$ b	$18,4 \pm 0,60$ a	$0,09 \pm 0,010$ b	$1,09 \pm 0,011$ b
Lambda-cyhalothrin (0,010 g L ⁻¹)	$2,9 \pm 0,66$ c	$17,7 \pm 0,72$ a	$0,06 \pm 0,014$ c	$1,06 \pm 0,014$ c
Imidacloprid (0,040 g L ⁻¹)	$7,0 \pm 1,11$ ab	$18,0 \pm 0,51$ a	$0,11 \pm 0,009$ ab	$1,11 \pm 0,019$ ab
Thiamethoxam (0,025 g L ⁻¹)	$7,4 \pm 1,17$ ab	$18,2 \pm 0,53$ a	$0,11 \pm 0,008$ ab	$1,12 \pm 0,017$ ab
Controle	$8,6 \pm 1,34$ a	$18,5 \pm 0,45$ a	$0,12 \pm 0,008$ a	$1,12 \pm 0,018$ a

¹Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de teste de bootstrap emparelhado ($p < 0,05$)

5.4 Discussão

Neste estudo, a toxicidade e o efeito residual de três inseticidas piretroides e dois neonicotinoides foram avaliadas sobre *I. zuluagai*, um importante predador de ácaros-praga que causam prejuízos nos pomares cítricos. Os resultados demonstraram que os níveis de toxicidade foram dependentes do estágio de desenvolvimento do ácaro e do grupo químico de inseticidas utilizados nos bioensaios. Os maiores níveis de mortalidade foram observados em larvas de *I. zuluagai*, enquanto que, ovos e adultos demonstraram menor suscetibilidade aos inseticidas. Similarmente, Beers e Schmidt (2014) e Döker et al. (2014) verificaram maior mortalidade de larvas de *Galendromus occidentalis* (Nesbitt) e *Iphiseius degenerans* (Berlese) (Acari: Phytoseiidae) expostos aos resíduos de lambda-cyhalothrin e thiamethoxam, respectivamente. Da mesma forma, Villanueva e Walgenbach (2005) relataram que o estágio imaturo de *Neoseiulus fallacis* (Garman) (Acari: Phytoseiidae) foi mais suscetível ao inseticida esfenvalerate do que os adultos. A maior suscetibilidade dos estágios imaturos é atribuída à menor esclerotização da cutícula, a qual constitui a primeira barreira de defesa dos ácaros aos agentes xenobióticos (ZANARDI et al., 2015).

Os resultados também revelaram que os níveis de toxicidade dos inseticidas piretroides foram mais pronunciados do que os neonicotinoides. Em consonância com esses resultados, Villanueva e Walgenbach (2005) demonstraram que fêmeas de *N. fallacis* foram mais suscetíveis ao piretroide esfenvalerate quando comparado aos neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam. Toxicidade diferencial entre o piretroide lambda-cyhalothrin e os neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam também foi demonstrado em fêmeas de *Anystis baccarum* (Linnaeus) (Acari: Anystidae) (LAURIN; BOSTANIAN, 2007). De acordo com os autores, lambda-cyhalothrin causou 100% de mortalidade dos espécimes de *A. baccarum*, enquanto que, imidacloprid e thiamethoxam foram considerados inócuos ao predador. Da mesma forma, Berris e Schmidt (2014) demonstraram que lambda-cyhalothrin ocasionou maior mortalidade de adultos de *G. occidentalis* do que o neonicotinoide imidacloprid. Esses resultados indicam que o uso de inseticidas piretroides para o manejo de insetos-praga pode trazer implicações mais severas para os programas de manejo integrado de pragas que tem como base a conservação e o aumento populacional de ácaros predadores como estratégia complementar para manter os níveis populacionais dos ácaros fitófagos abaixo daqueles capazes de causar danos econômicos.

Além da maior mortalidade, os inseticidas piretroides também reduziram a fecundidade e a longevidade das fêmeas do predador. Redução no número de ovos também

foi verificada em outras espécies de fitoseídeos, incluindo *Amblyseius gossipi* El-Badr (ABOU-AWAD; EL-BANHAWYE, 1985), *Neoseiulus californicus* (McGregor) (MONTEIRO, 2001; CASTAGNOLI et al., 2005), *Neoseiulus fallacis* (Garman) (VILLANUEVA; WALGENBACH, 2005), *Typhlodromus pyri* Scheuten (BOWIE et al., 2001), *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (DUSO et al., 2008) e *G. occidentalis* (HAMBY et al., 2013; BEERS; SHMIDT, 2014) expostos aos resíduos de inseticidas piretroides. Além disso, efeitos subletais adicionais de piretroides têm sido observados em ácaros predadores. Hamby et al. (2013) relataram que esfenvalerate, lambda-cyhalothrin, bifenthrin e permethrin reduziram a fertilidade das fêmeas de *G. occidentalis*. Lambda-cyhalothrin também reduziu a taxa de predação de *G. occidentalis* (BERRS; SHMIDT, 2014) e *A. fallacis* (PROVOST et al., 2005) e aumentou a mobilidade de adultos de *A. fallacis* (PROVOST et al., 2003), demonstrando que esses inseticidas afetam negativamente os parâmetros biológicos e comportamentais dos ácaros predadores.

Entre os piretroides avaliados, esfenvalerate ocasionou menor impacto ao predador *I. zuluagai* do que deltamethrin e lambda-cyhalothrin. Variações na suscetibilidade de ácaros predadores aos inseticidas piretroides têm sido demonstradas em investigações prévias. Por exemplo, Hamby et al. (2013) verificaram maior suscetibilidade de fêmeas de *G. occidentalis* aos inseticidas lambda-cyhalothrin, esfenvalerate e bifenthrin do que para o inseticida permethrin. Da mesma forma, Kongchuensin e Takafuji (2006) observaram maior mortalidade de imaturos de *Neoseiulus longispinosus* (Evans) (Acari: Phytoseiidae) expostos ao inseticida cypermethrin do que àqueles mantidos sobre resíduos de etofenprox, enquanto que, Duso et al. (2014) relataram maior suscetibilidade de adultos de *Kampimodromus aberrans* (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae) em superfícies tratadas com tau-fluvalinate quando comparado com etofenprox. Os diferentes níveis de suscetibilidade verificados dentro de um mesmo grupo químico são decorrentes das variações na toxicodinâmica e dos processos de detoxificação dos ingredientes ativos pelos ácaros (SIEGFRIED, 1993). Portanto, o conhecimento da toxicidade diferencial dos produtos utilizados nos sistemas de produção pode auxiliar na definição do momento mais adequado para utilização do produto e, com isso, reduzir os impactos causados pelos inseticidas nos programas de MIP.

Diante dos pronunciados efeitos agudos e subletais, os resultados demonstraram que os inseticidas piretroides deltamethrin, esfenvalerate e lambda-cyhalothrin afetaram negativamente a taxa líquida de reprodução (R_0), a taxa intrínseca de crescimento (r) e a razão finita de aumento (λ) de *I. zuluagai*. Esses resultados indicam que o uso sucessivo desses produtos nos sistemas de produção pode levar a população desse inimigo natural à

extinção (STARK; BANKS, 2003) e favorecer a ocorrência de surtos populacionais de ácaros-praga (YAMAMOTO; ZANARDI, 2013). Além dos impactos negativos sobre os parâmetros biológicos e demográficos de *I. zuluagai*, esses inseticidas mantiveram sua atividade nociva (persistência residual) por cerca de sete (esfenvalerate) e 10 (deltamethrin e lambda-cyhalothrin) dias após a aplicação dos produtos. No entanto, Bostanian e Racette (1997) relataram que a duração da atividade nociva de lambda-cyhalothrin para *A. fallacis* foi de 17 dias, enquanto que, Bellows-Jr, Morse e Gaston (1992) verificaram que fluvalinate e esfenvalerate causaram alta mortalidade de *Euseius stipulatus* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) até 60 dias após aplicação dos produtos, sendo superiores aos verificados no presente estudo. A menor duração da atividade nociva dos piretroides constatada para *I. zuluagai* sugere que essa espécie é mais tolerante aos ingredientes ativos do que as demais espécies de ácaros predadores. Essa hipótese pode ser uma justificativa para a maior abundância do ácaro, mesmo nas áreas que utilizam diversas pulverizações de inseticidas para o controle de insetos-praga. Apesar dos piretroides serem considerados, no primeiro momento, incompatíveis com os programas de MIP, os resultados indicam que esses produtos podem ser utilizados durante os períodos de menor mobilidade e/ou densidade populacional do ácaro predador. Nas principais mesorregiões de cultivo de citros do Brasil, esse período ocorre durante as estações chuvosas (primavera e verão), onde as condições climáticas são menos favoráveis para o desenvolvimento e reprodução do ácaro nos pomares cítricos (ALBUQUERQUE; MORAES, 2008).

Por outro lado, os inseticidas neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam não afetaram a duração e a sobrevivência dos estágios imaturos, mas reduziram levemente a fecundidade e a longevidade das fêmeas de *I. zuluagai*. Redução na fecundidade também foi observado em fêmeas de *G. occidentalis* (BOSTANIAN et al., 2009), *N. fallacis* (BOSTANIAN et al., 2010) e *Iphiseius degenerans* (Berlese) (DÖKER et al., 2014) expostas aos resíduos de imidacloprid e/ou thiamethoxam, demonstrando que esses inseticidas podem afetar negativamente a reprodução dos ácaros. O menor número de ovos depositados pelas fêmeas é decorrente da menor alimentação das fêmeas mantidas sobre as superfícies tratadas (BOSTANIAN et al., 2009) e as alterações fisiológicas que afetam a quantidade e a qualidade dos ovos produzidos (ZENG; WANG, 2010). Apesar da baixa toxicidade aguda verificada no presente estudo, investigações prévias têm demonstrado diferentes níveis de toxicidade desses neonicotinoides aos ácaros predadores. Por exemplo, imidacloprid foi considerado moderadamente nocivo para *T. californicus* (CASTAGNOLI et al., 2005) e *N. fallacis* (VILLANUEVA; WALGENBACH, 2005) e nocivo para *N. californicus* (CASTAGNOLI et

al., 2005), *G. occidentalis* e *N. fallacis* (JAMES, 2003). Por outro lado, imidacloprid foi inócuo para *Agistemus fleshneri* Summers (Acari: Stigmaeidae) (BOSTANIAN; LAROCQUE, 2001), *Neoseiulus collegae* (De Leon), *Phytoseiulus macropolis* (Banks) e *Proprioseiopsis mexicanus* (Garman) (MIZELL; SCONYERS, 1992), *Amblyseius womersleyi* Schicha (PARK; YOO; LEE, 1996), *Amblyseius victoriensis* (Womersley) (JAMES, 1997) e *Phytoseiulus persimilis* e *Neoseiulus californicus* (ARGOLO et al., 2013). Da mesma forma, thiamethoxam foi considerado moderadamente nocivo para *P. persimilis* (DUSO et al., 2008) e *K. aberrans* (TIRELLO; POZZEBON; DUSO, 2013; DUSO et al., 2014) e inócuo para *A. cucumeris* (SANGSOO et al., 2005) e *A. baccarum* (LAURIN; BOSTANIAN, 2007). Além dos diferentes níveis de suscetibilidade das espécies, a forma de exposição/contaminação dos ácaros com os ingredientes ativos também interfere nos níveis de toxicidade dos inseticidas. De acordo com Pozzebon et al. (2011), a maior toxicidade de thiamethoxam foi constatada em fêmeas de *P. persimilis* expostas ao contato direto com os resíduos ou com presas contaminadas do que àquelas submetidas a aplicação tópica do produto.

Além da baixa toxicidade, os inseticidas imidacloprid e thiamethoxam apresentaram baixa persistência residual para *I. zuluagai*. A baixa persistência desses inseticidas permite uma rápida recolonização do ácaro logo após a aplicação dos produtos. Além disso, possibilita a implementação do controle biológico aplicado (liberação inundativa de ácaros predadores) nas áreas de produção, visando suprimir rapidamente a população dos ácaros-praga. Apesar de reduzirem levemente a reprodução de *I. zuluagai*, esses inseticidas não afetaram significativamente os parâmetros demográficos do predador. Por ser um estudo de laboratório, onde os ácaros são mantidos constantemente sobre os resíduos (situação mais crítica) é provável que em campo, esses efeitos sejam inferiores aos verificados neste estudo. Essa hipótese é corroborada por Argolo et al. (2013) que avaliando o efeito de imidacloprid sobre *P. persimilis* verificaram que o inseticida alterou negativamente os parâmetros demográficos do ácaro em condições laboratoriais, mas não afetou sua eficácia no controle de ácaros-praga em sistema de produção de seedlings de tangerineira em casa de vegetação. Apesar de não ter sido observado nenhum impacto significativo nos parâmetros demográficos de *I. zuluagai* esses inseticidas precisam ser avaliados em condições de campo para verificar sua compatibilidade com o predador nos sistemas de produção citrícola.

5.5 Conclusões

- Os inseticidas piretroides deltamethrin, esfenvalerate e lambda-cyhalothrin reduzem a sobrevivência e/ou a reprodução do predador *I. zuluagai* e afeta negativamente a taxa de crescimento populacional do ácaro.
- Os inseticidas neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam não afetam a taxa de crescimento populacional de *I. zuluagai*.

A duração da atividade nociva dos inseticidas deltamethrin e lambda-cyhalothrin é de ~ 10 dias, enquanto que, esfenvalerate é de sete dias e os neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam é de aproximadamente três dias.

Referências

- ABBOTT, W.S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 18, n. 1, p. 265-267, 1925.
- ABOU-AWAD, B.A.; EL-BANHAWY, E.M. Comparison between the toxicity of synthetic pyrethroids and other compounds to the predacious mite *Amblyseius gossipi* (Mesostigmata: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 185-191, 1985.
- ALBUQUERQUE, F.A.; MORAES, G.J. Perspectivas para a criação massal de *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 37, n. 3, p. 328-333, 2008.
- ANDRADE, D.J.; PATTARO, F.C.; MORAIS, M.R.; BARBOSA, C.L.; OLIVEIRA, C.A.L. Aspectos técnicos e econômicos da poda e do controle químico de *Brevipalpus phoenicis* no manejo da leprose dos citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 409-424, 2013.
- ARGOLO, P.S.; BANYULS, N.; SANTIAGO, S.; MOLLÁ, Ó.; JACAS, J.A.; URBANEJA, A. Compatibility of *Phytoseiulus persimilis* and *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) with imidacloprid to manage clementine nursery pests. **Crop Protection**, Guildford, v. 43, p. 175-182, 2013.
- BEERS, E.H.; SCHMIDT, R.A. Impacts of orchard pesticides on *Galendromus occidentalis*: lethal and sublethal effects. **Crop Protection**, Guildford, v. 56, p. 16-24, 2014.
- BELASQUE-JR, J.; BASSANEZI, R.B.; YAMAMOTO, P.T.; AYRES, A.J; TACHIBANA, A.; VIOLANTE, A.R; TANK-JUNIOR, A.; DI GIORGI, F.; TERSI, F. E.A.; MENEZES, G.M.; DRAGONE, J.; JANK-JUNIOR, R.H.; BOVÉ, J.M. Lessons from huanglongbing management in São Paulo state, Brazil. **Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 92, n. 2, p. 285-302, 2010.
- BELLOWS-JR., T.S.; MORSE, J.G.; GASTO, L.K. Residual toxicity of pesticides used for control of lepidopteran insects in citrus to the predaceous mite *Euseius stipulatus* Athias-

Henriot (Acarina, Phytoseiidae). **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 113, n. 1/5, p. 493-501, 1992.

BOSTANIAN, N.J.; LAROCQUE, N. Laboratory tests to determine the intrinsic toxicity of four fungicides and two insecticides to the predacious mite *Agistemus fleschneri*.

Phytoparasitica, Bet Dagan, v. 29, n. 3, p. 215-222, 2001.

BOSTANIAN, N.J.; RACETTE, G. Residual toxicity of lambda-cyhalothrin on apple foliage to *Amblyseius fallacis* and the tarnished plant bug, *Lygus lineolaris*. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, v. 25, n. 3, p. 193-198, 1997.

BOSTANIAN, N.J.; HARDMAN, J.M.; THISTLEWOOD, H.A.; RACETTE, G. Effects of six selected orchard insecticides on *Neoseiulus fallacis* (Acari: Phytoseiidae) in the laboratory. **Pest Management Science**, Sussex, v. 66, n. 11, p. 1263-1267, 2010.

BOSTANIAN, N.J.; THISTLEWOOD, H.A.; HARDMAN, J.M.; LAURINA, M.C.; RACETTE, G. Effect of seven new orchard pesticides on *Galendromus occidentalis* in laboratory studies. **Pest Management Science**, Sussex, v. 65, n. 6, p. 635-639, 2009.

BOWIE, M.H.; WORNER, S.P.; KRIPS, O.E.; PENMAN, D.R. Sublethal effects of esfenvalerate residues on pyrethroid resistant *Typhlodromus pyri* (Acari: Phytoseiidae) and its prey *Panonychus ulmi* and *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 25, n. 4, p. 311-319, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT**: sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 14 jan. 2015.

CASTAGNOLI, M.; LIGUORI, M.; SIMONI, S.; DUSO, C. Toxicity of some insecticides to *Tetranychus urticae*, *Neoseiulus californicus* and *Tydeus californicus*. **BioControl**, Dordrech, v. 50, n. 4, p. 611-622, 2005.

CHI, H. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. **Environmental Entomology**, College Park, v. 17, p. 26-34, 1988.

_____. **TWOSEX-MSChart**: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. 2012. Disponível em: <<http://www.140.120.197.173/Ecology/>>. Acesso em: 13 set. 2013.

CHI, H.; LIU, H. Two new methods for the study of insect population ecology. **Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica**, Taipei, v. 24, n. 2, p. 225-240, 1985.

DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J.M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 52, p. 81-106, 2007.

DÖKER, I.; PAPPAS, M.L.; SAMARAS, K.; TRIANTAFYLLOU, A.; KAZAK, C.; BROUFAS, G.D. Compatibility of reduced-risk insecticides with the non-target predatory

mite *Iphiseius degenerans* (Acari: Phytoseiidae). **Pest Management Science**, Sussex, 2014. In press.

DUSO, C.; MALAGNINI, V.; POZZEBON, A.; CASTAGNOLI, M.; LIGUORI, M.; SIMONI, S. Comparative toxicity of botanical and reduced-risk insecticides to Mediterranean populations of *Tetranychus urticae* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari Tetranychidae, Phytoseiidae). **Biological Control**, Orlando, v. 47, n. 1, p. 16-21, 2008.

DUSO, C.; AHMAD, S.; TIRELLO, P.; POZZEBON, A.; KLARIC, V.; BALDESSARI, M.; MALAGNINI, V.; ANGELI, G. The impact of insecticides applied in apple orchards on the predatory mite *Kampimodromus aberrans* (Acari: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 62, n. 3, p. 391-414, 2014.

EFRON, B.; TIBSHIRANI, R.J.A. **An introduction to the bootstrap**. New York; London: Springer, 1993. v. 1, 430 p.

FRAGOSO, D.B.; JUSSELINO-FILHO, P.; PALLINI-FILHO, A.; BADJI, C.A. Ação de inseticidas organofosforados utilizados no controle de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae) sobre o ácaro predador *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 463-467, 2002.

GOODMAN, D. Optimal life histories, optimal notation, and the value of reproductive value. **American Naturalist**, Chicago, v. 119, n. 6, p. 803-823, 1982.

GRAFTON-CARDWELL, E.E.; STELINSKI, L.L.; STANSKY, P.A. Biology and management of Asian citrus psyllid, vector of the huanglongbing pathogens. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 58, p. 413-432, 2013.

HAMBY, K.A.; ALIFANO, J.A.; ZALOM, F.G. Total effects of contact and residual exposure of bifenthrin and λ -cyhalothrin on the predatory mite *Galendromus occidentalis* (Acari: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 61, n. 2, p. 183-193, 2013.

HASSAN, S.A.; ABDELGADER, H. A sequential testing program to assess the effects of pesticides on *Trichogramma cacoeciae* Marchal (Hym., Trichogrammatidae). **IOBC/WPRS Bulletin**, Versailles, v. 24, n. 4, p. 71-81, 2001.

HASSAN, S.A.; BIGLER, F.; BOGENSCHUTZ, H.; BOLLER, E.; BRUN, J.; CALIS, J.N.M.; COREMANS-PELSENEER, J.; DUSO, C.; GROVE, A.; HEIMBACH, U.; HELYER, N.; HOKKANEN, H.; LEWIS, G.B.; MANSOUR, F.; MORETH, L.; POLGAR, L.; SAMSØE-PETERSEN, L.; SAUPHANOR, B.; STAUBLI, A.; STERK, G.; VAINIO, A.; VAN DE VEIRE, M.; VIGGIANI, G.; VOGT, H. Results of the sixth joint pesticide testing programme of the IOBC/WPRS – Working Group “Pesticides and Beneficial Organisms”. **Entomophaga**, Paris, v. 39, n. 1, p. 107-119, 1994.

HENDERSON, C.F.; TILTON, E.W. Tests with acaricides against the brown wheat mite. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 48, n. 2, p. 157-161, 1955.

HUANG, Y.B.; CHI, H. Age-stage, two-sex life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) with a discussion on the problem of applying female age-specific life tables to insect populations. **Insect Science**, Elmsford, v. 19, n. 2, p. 263-273, 2012.

JAMES, D. Imidacloprid increases egg production in *Amblyseius victoriensis* (Acari: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 21, n. 2, p. 75-82, 1997.

JAMES, D.G. Toxicity of imidacloprid to *Galendromus occidentalis*, *Neoseiulus fallacis* and *Amblyseius andersoni* (Acari: Phytoseiidae) from hops in Washington State, USA. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 31, n. 3/4, p. 275-281, 2003.

KONGCHUENSIN, M.; TAKAFUJI, A. Effects of some pesticides on the predatory mite, *Neoseiulus longispinosus* (Evans) (Gamasina: Phytoseiidae). **Journal of the Acarological Society of Japan**, Osaka, v. 15, n. 1, p. 17-27, 2006.

LAURIN, M.C.; BOSTANIAN, N.J. Laboratory studies to elucidate the residual toxicity of eight insecticides to *Anystis baccarum* (Acari: Anystidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 100, n. 4, p. 1210-1214, 2007.

MAOZ, Y.; GAL, S.; ARGOV, Y.; DOMERATZKY, S.; MELAMED, E.; GAN-MOR, S.; COLL, M.; PALEVSKY, E. Efficacy of indigenous predatory mites (Acari: Phytoseiidae) against the citrus rust mite *Phyllocoptruta oleivora* (Acari: Eriophyidae): augmentation and conservation biological control in Israeli citrus orchards. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 63, n. 3, p. 295-312, 2014.

MCMURTRY, J.A.; DE MORAES, G.J.; SOURASSOU, N.F. Revision of the lifestyles of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. **Systematic and Applied Acarology**, London, v. 18, n.4, p. 297-320, 2013.

MIZELL, R.F.; SCONYERS, M.C. Toxicity of imidacloprid to selected arthropod predators in the laboratory. **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 75, n. 2, p. 277-280, 1992.

MONTEIRO, L.B. Seletividade de inseticidas a *Neoseiulus californicus* McGregor (Acari: Phytoseiidae) em macieira, no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 589-592, 2001.

NEVES, M.F.; TROMBIN, V.G.; MILAN, P.; LOPES, F.F.; CRESSONI, F.; KALAKI, R. **O retrato da citricultura brasileira**. São Paulo: Markestrat Centro de Pesquisa e Projetos em Marketing e Estratégia, 2011. 71 p.

PARK, C.G.; YOO, J.K.; LEE, J.O. Toxicity of some pesticides to twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) and its predator *Amblyseius womersleyi* (Acari: Phytoseiidae). **Korean Journal of Applied Entomology**, Suwon, v. 35, n. 3, p. 232-237, 1996.

POZZEBON, A.; DUSO, C.; TIRELLO, P.; ORTIZ, P.B. Toxicity of thiamethoxam to *Tetranychus urticae* Koch and *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari Tetranychidae, Phytoseiidae) through different routes of exposure. **Pest Management Science**, Sussex, v. 67, n. 3, p. 352-359, 2011.

PROVOST, C.; CODERRE, D.; LUCAS, É.; BOSTANIAN, N.J. Impact of lambda-cyhalothrin on intraguild predation among three mite predators. **Environmental Entomology**, College Park, v. 32, n. 2, p. 256-263, 2003.

PROVOST, C.; CODERRE, D.; LUCAS, E.; CHOUINARD, G.; BOSTANIAN, N.J. Impact of intraguild predation and lambda-cyhalothrin on predation efficacy of three acarophagous predators. **Pest Management Science**, Sussex, v. 61, n. 6, p. 532-538, 2005.

REIS, P.R.; CHIAVEGATO, L.G.; ALVES, E.B. Biologia de *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 185-191, 1998.

REIS, P.R.; FRANCO, R.A.; SILVA, F.M.A. Selectivity of rynaxypyr for three species of phytoseiid mites relevant to coffee in Brazil. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 3, p. 212-216, 2011.

SANGSOO, K.; SANGGI, S.; JONGDAE, P.; SEONGON, K.; DOLK, K. Effects of selected pesticides on the predatory mite *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae). **Journal of Entomological Science**, Tifton, v. 40, p. 107-114, 2005.

SIEGFRIED, B. D. Comparative toxicity of pyrethroid insecticides to terrestrial and aquatic insects. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 12, n. 9, p. 1683-1689, 1993.

STARK, J.D.; BANKS, J.E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 48, p. 505-519, 2003.

TEODORO, A.V.; PALLINI, A.; OLIVEIRA, C. Sub-lethal effects of fenbutatin oxide on prey location by the predatory mite *Iphiseiodes zuluagai* (Acari: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 47, n. 4, p. 293-299, 2009.

TEODORO, A.V.; FADINI, M.A.M.; LEMOS, W.P.; GUEDES, R.N.C.; PALLINI, A. Lethal and sub-lethal selectivity of fenbutatin oxide and sulfur to the predator *Iphiseiodes zuluagai* (Acari: Phytoseiidae) and its prey, *Oligonychus ilicis* (Acari: Tetranychidae), in Brazilian coffee plantations. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 36, n. 1/2, p. 61-70, 2005.

TIRELLO, P.; POZZEBON, A.; DUSO, C. The effect of insecticides on the non-target predatory mite *Kampimodromus aberrans*: laboratory studies. **Chemosphere**, Oxford, v. 93, n. 6, p. 1139-1144, 2013.

TUELHER, E.S.; VENZON, M.; GUEDES, R.N.C.; PALLINI, A. Toxicity of organic-coffee-approved products to the southern red mite *Oligonychus ilicis* and to its predator *Iphiseiodes zuluagai*. **Crop Protection**, Guildford, v. 55, n. 1, p. 28-34, 2014.

VAN DE VEIRE, M.; STERK, G.; VAN DER STAAIJ, M.; RAMAKERS, P.M.J.; TIRRY, L. Sequential testing scheme for the assessment of the side-effects of plant protection products on the predatory bug *Orius laevigatus*. **BioControl**, Dordrecht, v. 47, n. 1, p. 101-113, 2002.

VILLANUEVA, R.T.; WALGENBACH, J.F. Development, oviposition, and mortality of *Neoseiulus fallacis* (Acari: Phytoseiidae) in response to reduced-risk insecticides. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 98, n. 6, p. 2114-2120, 2005.

YAMAMOTO, P.T.; BASSANEZI, R.B. Seletividade de produtos fitossanitários aos inimigos naturais de pragas dos citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 24, n. 2, p. 353-382, 2003.

YAMAMOTO, P.T.; ZANARDI, O.Z. Atualização de manejo do ácaro purpúreo *Panonychus citri*. **Revista Citricultura Atual**, Cordeirópolis, v. 96, 16-17, 2013.

ZANARDI, O.Z.; RIBEIRO, L.P.; ANSANTE, T.F.; SANTOS, M.S.; BORDINI, G.P.; YAMAMOTO, P.T.; VENDRAMIM, J.D. Bioactivity of a matrine-based biopesticide against four pest species of agricultural importance. **Crop Protection**, Guildford, v. 67, p. 160-167, 2015.

ZENG, C.X.; WANG, J.J. Influence of exposure to imidacloprid on survivorship, reproduction and vitellin content of the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus*. **Journal of Insect Science**, Arizona, v. 10, n. 20, p. 1-9, 2010.

6 ATIVIDADE DE BIOPESTICIDAS À BASE DE AZADIRACTIN, ANNONIN E MATRINE SOBRE *Panonychus citri* (MCGREGOR) (ACARI: TETRANYCHIDAE)

Resumo

A ação de contato direto + residual de biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine foi avaliada sobre fêmeas de *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) em condições de laboratório e de casa de vegetação. Em laboratório, nossos resultados demonstraram que os biopesticidas causaram, de forma dependente da concentração, alta toxicidade aguda ($CL_{50} = 0,40; 0,63$ e $0,09 \text{ mL L}^{-1}$ após 96 horas da pulverização dos biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine, respectivamente) para fêmeas de *P. citri*. Os biopesticidas também reduziram significativamente o número de ovos depositados pelas fêmeas ($CE_{50} = 0,23; 0,32$ e $0,11 \text{ mL L}^{-1}$ para biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine, respectivamente) e o número de larvas eclodidas do ácaro (~ 10% na maior concentração testada). Com base nos promissores efeitos letal e subletais, os biopesticidas foram comparados (nas suas respectivas CL_{90}) com o acaricida sintético spiroticlofen (Envidor® 240 SC). Considerando todas as variáveis analisadas, os biopesticidas demonstraram níveis de atividade similares ao acaricida sintético spiroticlofen (controle positivo). Apesar da alta efetividade, os biopesticidas apresentaram baixa persistência residual em casa de vegetação (mortalidade $\geq 35\%$ aos três dias após a pulverização dos produtos). Assim, esses resultados indicam que os biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine constituem uma ferramenta importante para o manejo do ácaro *P. citri*, em diferentes sistemas de produção, em especial naqueles de base ecológica, onde táticas de controle são escassas e medidas eficientes de supressão populacional precisam ser incorporadas.

Palavras-chave: Ácaro purpúreo; Formulações; Bioatividade; Efeito letal; Fecundidade; Fertilidade

Abstract

Direct contact + residual action of azadirachtin-, annonin-, and matrine-based biopesticides were evaluated on females *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) in laboratory and greenhouse conditions. In laboratory, the results showed that biopesticides caused, concentration-dependent way, high acute toxicity ($LC_{50} = 0.40, 0.63$ and 0.09 mL L^{-1} 96 hours after spraying azadirachtin-, annonin- and matrine-based biopesticides, respectively) for *P. citri* females. Biopesticides also significantly reduced the number of eggs laid by females ($EC_{50} = 0.23, 0.32$ and 0.11 mL L^{-1} on azadirachtin-, annonin- and matrine-based biopesticides, respectively) and the number of hatched larvae in the mite (~ 10% at the highest concentration tested). Based on the promising lethal and sublethal effects, biopesticides were compared (in their respective LC_{90}) with synthetic acaricide spiroticlofen (Envidor® 240 SC). Considering all analyzed variables, biopesticides showed activity levels similar to synthetic acaricide spiroticlofen (positive control). Despite high effectiveness, biopesticides showed low residual persistence in greenhouse (mortality $\geq 35\%$ at three days after spraying products). Thus, these results indicate that azadirachtin-, annonin- and matrine-based biopesticides are an important tool for the management of *P. citri* mite in different production systems, especially those of ecological base, where control tactics are scarce and efficient actions for population suppression need to be incorporated.

Keywords: Citrus red mite; Formulations; Bioactivity; Lethal effect; Fecundity; Fertility

6.1 Introdução

Os artrópodes-praga são responsáveis por significativas perdas econômicas em decorrência de sua capacidade de infestar plantas, animais e o próprio homem. Seus danos ocorrem pela transmissão de doenças, pelo desencadeamento de reações alérgicas e pela sua ação parasítica que afetam o normal crescimento e desenvolvimento dos animais domésticos e das plantas cultivadas (RIBEIRO et al., 2014). Entre os artrópodes que se alimentam de plantas, o ácaro purpúreo, *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae), é mundialmente considerado uma das mais importantes espécies-praga, devido a sua ampla distribuição geográfica e por infestar aproximadamente 112 espécies de plantas hospedeiras, embora tenha preferência por plantas do gênero *Citrus* (PAN et al., 2006; FADAMIRO et al., 2013; MIGEON; DORKELD, 2014).

Apesar de *P. citri* ainda ser considerado uma praga secundária na citricultura brasileira, sua população vem aumentando consideravelmente nos últimos anos (YAMAMOTO; ZANARDI, 2013; RIBEIRO et al., 2014), fato atribuído, entre outros fatores, ao grande número de pulverizações de inseticidas piretroides e neonicotinoides utilizados para o controle do psíldeo asiático-dos-citros, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), vetor das bactérias “*Candidatus Liberibacter* spp.”, associadas ao huanglongbing (BOVÉ, 2006; GRAFTON-CARDWELL et al., 2013). Diante do aumento populacional do ácaro, tem-se verificado um incremento na frequência de aplicações de acaricidas que, apesar de eficaz, podem causar mortalidade dos inimigos naturais (em especial dos ácaros predadores) que atuam no controle biológico dos ácaros-praga. Além disso, o aumento no uso de acaricidas pode intensificar o processo de seleção de populações resistentes aos principais ingredientes ativos e proporcionar a ressurgência de pragas alvo de controle (HU et al., 2010; DÖKER; KAZAK, 2012; RIBEIRO et al., 2014), além de aumentar os custos de produção e reduzir a eficácia da técnica e a sustentabilidade ambiental do sistema.

Diante desses problemas e da crescente demanda por produtos mais adequados ambientalmente para uso em programas de manejo integrado de pragas (MIP), novas táticas de controle vêm sendo avaliadas como alternativa aos atuais pesticidas sintéticos utilizados na agricultura (ISMAN, 2006; RIBEIRO et al., 2013, 2014). Entre as táticas disponíveis, o uso de extratos ou compostos do metabolismo secundário de plantas tem demonstrado um papel importante na regulação populacional de artrópodes-praga que causam injúrias nas plantas em

diferentes sistemas de produção, em especial, naqueles onde não é permitido o uso de compostos sintéticos (ZEHNDER et al., 2007; BERNARDI et al., 2013). Apesar do crescente número de estudos e publicações nessa área, um número muito limitado de biopesticidas têm sido formulados, testados sob condições de semicampo e campo e disponibilizados no mercado (ISMAN; GRIENEISEN, 2014). No Brasil, a pequena participação no mercado de insumos agrícolas (~ 1% do mercado de pesticidas) é atribuída à falta de padronização, de controle de qualidade das formulações e, principalmente, da dificuldade de registro desses fitoquímicos (RIBEIRO et al., 2014). A recente promulgação e implementação de uma legislação específica para registro de produtos para uso na agricultura orgânica (BRASIL, 2009), tem proporcionado o registro de novos produtos elaborados com base na flora brasileira, bem como a introdução de formulações já disponíveis comercialmente em países de maior tradição nessa área (especialmente Índia e China) (ISMAN; GRIENEISEN, 2014). No entanto, antes de qualquer recomendação, faz-se necessária uma avaliação criteriosa desses produtos sobre as espécies-alvo, bem como de suas interações nos diferentes níveis tróficos dos distintos agroecossistemas, garantindo a sustentabilidade e a credibilidade da tecnologia.

Atualmente, no Brasil, apenas uma formulação à base de azadirachtin (AzamaxTM 1,2 EC - UPL - United Phosphorus do Brasil Ltda., Indianópolis, SP, Brasil) está registrada e disponível para uso no controle de pragas em culturas anuais e perenes (BRASIL, 2015). No entanto, nos últimos anos, novos compostos bioativos de plantas vem sendo incorporados em formulações e avaliados para uso no controle de importantes pragas que acometem os diferentes sistemas de produção. Entre os compostos bioativos com potencial para uso em formulações destacam-se o alcaloide matrine [composto heterocíclico (C₁₅H₂₄N₂O) derivado da quinolizidina abundantemente encontrado em plantas do gênero *Sophora* (Fabaceae) (MAO; HENDERSON, 2007)] e a acetogenina annonin [composto natural derivado de ácidos graxos de cadeia longa (C-32/C-34) combinados com uma unidade de 2-propanol, comumente encontrado em plantas da família Annonaceae (ALALI et al., 1999)]. Esses fitoquímicos vêm sendo utilizados isoladamente ou em mistura com outros compostos botânicos e pesticidas sintéticos no controle de artrópodes-praga em diversos países (MAO; HENDERSON, 2007; LIU et al., 2007; HWANG et al., 2009; MARČIĆ et al., 2012; ISMAN; SEFFRIN, 2014).

Além da toxicidade aguda sobre diferentes espécies-praga de importância agrícola, esses produtos também podem atuar como repelentes, esterilizantes, deterrentes de alimentação e oviposição que podem auxiliar na redução populacional e no potencial de dano das pragas presentes nos agroecossistemas (MAO; HENDERSON, 2007; BAKR et al., 2012; RIBEIRO et al., 2014). Apesar dessas potencialidades, poucos estudos têm sido realizados

para avaliar a bioatividade dessas formulações sobre espécies de ácaros de importância agrícola, especialmente de frutíferas. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho, avaliar a bioatividade de biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine sobre o ácaro purpúreo *P. citri* em condições laboratoriais e de casa de vegetação.

6.2 Material e Métodos

6.2.1 Ácaros

Para a realização dos bioensaios foram utilizados ácaros provenientes da criação mantida em condições laboratoriais (item 2.2.1).

6.2.2 Biopesticidas avaliados

As formulações avaliadas foram: 1) biopesticida à base de azadirachtin [AzamaxTM 1,2 EC, contendo os limonoides azadirachtin (8,90 g L⁻¹) + 3-tigloylazadirachtol (2,54 g L⁻¹) extraídos e purificados de sementes de *Azadirachta indica* L. (Meliaceae)]; 2) biopesticida à base de annonin [Anoson[®] 1,0 EC - Agrilife Biosolutions, Hyderabad, AP, Índia, sendo a acetogenina squamocin (annonin) o principal componente bioativo da formulação (10 g L⁻¹)] e 3) biopesticida à base de matrine [formulação pré-comercial, contendo 0,36% (p/v) de matrine (componente principal obtido de raízes secas de *Sophora flavescens* Ait. (Fabaceae) + 0,02% (p/v) de juglone (5-hidroxi-1,4-naftoquinona) (componente principal obtido de folhas de *Pterocarya stenoptera* C. DC. (Juglandaceae) + 0,20% (v/v) de α -pineno (componente principal do óleo essencial de folhas de *Platycladus orientalis* (L.) Franco (Cupressaceae)].

6.2.3. Bioensaios

Os bioensaios de toxicidade aguda e efeitos subletais foram realizados em sala climatizada com temperatura 25 ± 2 °C, UR de $65 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas. Por sua vez, o bioensaio de persistência residual dos biopesticidas foi realizado em casa de vegetação. Para todos os bioensaios foi utilizado delineamento inteiramente aleatorizado.

6.2.3.1 Atividade acaricida dos biopesticidas

A atividade acaricida dos biopesticidas foi avaliada sobre fêmeas de *P. citri* utilizando bioensaio de contato direto + residual. Para isso, arenas foram confeccionadas com discos de algodão hidrófilo de 5 cm de diâmetro dispostas sobre a face adaxial de folhas de laranjeira-doce [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck (Rutaceae)] da variedade Valência em bandejas plásticas (29,0 × 21,0 × 6,0 cm de comprimento, largura e altura, respectivamente) contendo na base uma camada de espuma umedecida com água deionizada e utilizadas como unidades experimentais. Feito isso, 11 fêmeas recém-emergidas (≤ 24 horas de idade) de *P. citri* foram transferidas para cada unidade experimental e submetidas à pulverização de 2 mL de solução, dos respectivos níveis de tratamento, em torre de Potter (Burkard Scientific, Uxbridge, UK), ajustada à pressão de 0,703 kg cm⁻², propiciando deposição de $1,8 \pm 0,1$ mg de resíduo fresco por cm² de folha. Os biopesticidas foram diluídos em água deionizada nas concentrações (0,125; 0,25; 0,50; 1; 2 e 4 mL L⁻¹ do biopesticida à base de azadirachtin (AzamaxTM 1,2 EC), 0,25; 0,5; 1; 2; 4 e 8 mL L⁻¹ do biopesticida à base de annonin (Anoson[®] 1,0 EC) e 0,0625; 0,125; 0,25; 0,50; 1 e 2 mL L⁻¹ do biopesticida à base de matrine (formulação pré-comercial) definidas com base em testes preliminares e de acordo com o procedimento descrito por Finney (1971). Água deionizada foi utilizada como tratamento controle. Para cada tratamento e concentração foram utilizadas cinco repetições e o bioensaio foi repetido duas vezes ao longo do tempo ($n = 2 \times 55 = 110$).

A mortalidade das fêmeas foi avaliada a cada 24 horas durante cinco dias. Foram consideradas mortas às fêmeas que não apresentavam reação ao toque de um pincel fino. Os ácaros que ficaram aprisionados na barreira de algodão foram desconsiderados da análise. Com base nos dados de mortalidade, foram estimadas as concentrações letais (CL₅₀ e CL₉₀) e o tempo letal médio (TL₅₀) com seus respectivos intervalos de confiança para cada formulação.

6.2.3.2 Efeito na fecundidade e fertilidade

O efeito dos biopesticidas na fecundidade e fertilidade das fêmeas de *P. citri* foi avaliado em condições laboratoriais, utilizando-se as mesmas concentrações, unidades e procedimentos experimentais do bioensaio de toxicidade aguda (item 6.2.3.1). Da mesma forma, cada unidade experimental foi infestada com 11 fêmeas de *P. citri* recém-emergidas ($\leq$

24 horas de idade), sendo que para cada concentração foram utilizadas cinco repetições, com duas repetições do bioensaio ao longo do tempo ($n = 2 \times 55 = 110$).

O número de ovos depositados em cada arena foi contado a cada 24 horas por um período de cinco dias. A fecundidade foi determinada com base no número médio de ovos depositados pelas fêmeas durante o período de avaliação. O número médio de ovos foi determinado por meio da razão do número total de ovos depositados nas arenas e o número de fêmeas vivas a cada 24 horas. Com base em tais valores, foi estimado a EC_{50} (concentração necessária para reduzir em 50% o número de ovos depositados pelas fêmeas vivas). Por sua vez, a fertilidade foi determinada por meio do percentual de larvas eclodidas após sete dias de incubação dos ovos nas mesmas condições ambientais descritas anteriormente.

6.2.3.3 Bioatividade comparada

Devido aos pronunciados efeitos agudos e subletais verificados nos bioensaios, os biopesticidas foram comparados (nas suas respectivas CL_{90} determinada no bioensaio anterior), com o acaricida sintético spiroticlofen [Envidor[®] 240 SC, 0,25 mL L⁻¹ (Bayer CropScience Ltda., São Paulo, SP, Brasil)]. Este acaricida está registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e está autorizado para uso no manejo de *P. citri* nos pomares cítricos brasileiros (BRASIL, 2015). Água deionizada foi utilizada como tratamento controle. Da mesma forma que nos bioensaios anteriores, arenas foram confeccionadas e utilizadas como unidades experimentais. Feito isso, 11 fêmeas recém-emergidas (≤ 24 horas de idade) foram transferidas para cada unidade experimental e submetidas a pulverização conforme procedimento descrito no item 6.2.3.1. Após a pulverização, as unidades experimentais foram acondicionadas em sala climatizada e avaliadas a cada 24 horas seguindo os mesmos procedimentos e critérios descritos nos itens 6.2.3.1 e 6.2.3.2.

6.2.3.4 Avaliação da persistência residual dos biopesticidas

Para avaliação da persistência residual dos biopesticidas, seedlings de laranjeira-doce da variedade Valência, cultivadas em vasos (12 L) e com aproximadamente 1 m de altura foram pulverizados até o ponto de escorrimento com as respectivas CL_{90} dos biopesticidas estimadas após 96 horas de exposição das fêmeas aos resíduos dos produtos, utilizando um pulverizador costal modelo Jacto[®] PJH (Jacto do Brasil S.A, Pompeia, SP, Brasil) equipado com bico cone cheio FL-5VS (Teejet Technologies Company, SP, Brasil) de vazão

constante. Água deionizada foi utilizada como tratamento controle. Após a pulverização dos tratamentos os seedlings foram mantidos em casa de vegetação sem controle de temperatura, umidade relativa do ar e com fotoperíodo natural. Para cada tratamento foram utilizados 10 seedlings. Decorridos três horas (tempo 0) e 1, 3 e 7 dias após a pulverização dos tratamentos, uma folha tratada foi destacada de cada seedling, levadas ao laboratório, onde foram confeccionadas arenas conforme procedimento descrito no item 6.2.3.1. Feito isso, as arenas foram infestadas com 11 fêmeas recém-emergidas (≤ 24 horas de idade) de *P. citri*, com 10 repetições por tempo de exposição ($n = 110$). A mortalidade das fêmeas expostas aos resíduos foi avaliada após 96 horas seguindo o mesmo procedimento e critérios descrito no item 6.2.3.1.

6.2.3.5 Análise dos dados

Modelos lineares generalizados (NELDER; WEDDERBURN, 1972) do tipo quase-binomial e quase-Poisson foram utilizados para análise dos dados de proporção de mortalidade e de eclosão das larvas (fertilidade = número de larvas eclodidas após sete dias de incubação dos ovos) e de contagem (fecundidade = número médio de ovos depositados pelas fêmeas vivas durante os quatro dias de avaliação do bioensaio), respectivamente. A verificação da qualidade do ajuste foi feita pelo gráfico meio-normal de probabilidades com envelope de simulação (HINDE; DEMÉTRIO, 1998). Quando houve diferença significativa entre os tratamentos, múltiplas comparações (teste de Tukey, $p < 0,05$) foram feitas por meio da função “*glht*” do pacote “*multcomp*” com ajuste dos valores de p para os tratamentos com níveis qualitativos, enquanto que regressões não lineares foram utilizadas para comparação dos tratamentos com níveis quantitativos. Todas as análises foram realizadas no software estatístico “*R*”, versão 3.1.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

Para estimativa das concentrações letais (CL_{50} e CL_{90}) foi utilizado um modelo binomial com função de ligação complemento log-log (modelo de gompit), utilizando-se o *Probit Procedure* do software SAS versão 9.2 (SAS INSTITUTE, 2011). Para estimativa do tempo letal médio (TL_{50}) utilizou-se o método proposto por Throne et al. (1995) para análise de Probit para dados correlacionados. Para a estimativa da concentração efetiva média (EC_{50}), ou seja, a concentração necessária para reduzir em 50% o número de ovos depositados pelas fêmeas de *P. citri*, foi utilizado um modelo logístico não-linear adaptado de Sims et al. (1996), através do *Nlim Procedure* do software SAS versão 9.2 (SAS INSTITUTE, 2011).

6.3 Resultados

Os resultados de laboratório revelaram que os biopesticidas causaram significativa mortalidade de fêmeas adultas de *P. citri* expostas ao contato direto + residual dos produtos, sendo o nível de atividade dependente tanto da concentração quanto do tempo de exposição utilizado nos bioensaios (Tabela 6.1). Da mesma forma, os tempos letais médios (TL₅₀) estimados para cada biopesticida foram variáveis de acordo com a concentração utilizada (Tabela 6.2).

Além da toxicidade aguda, os biopesticidas também ocasionaram efeitos subletais para fêmeas de *P. citri*, aspecto verificado pela redução, de uma maneira dependente da concentração, no número de ovos depositados pelas fêmeas sobreviventes após quatro dias de exposição aos resíduos CE₅₀ = 0,23 mL L⁻¹ (IC 95%: 0,18 – 0,27) para o biopesticida à base de azadirachtin; CE₅₀ = 0,32 mL L⁻¹ (IC 95%: 0,27 – 0,36) para o biopesticida à base de annonin; CE₅₀ = 0,11 mL L⁻¹ (IC 95%: 0,07 – 0,14) para o biopesticida à base de matrine (Figura 6.1). Além do pronunciado efeito na fecundidade, os biopesticidas causaram pequena redução na fertilidade (~ 10% na maior concentração testada) das fêmeas de *P. citri* [GLM com distribuição quase-binomial: biopesticida à base de azadirachtin ($F_{6, 28} = 3,296$; $p = 0,0140$), biopesticida à base de annonin ($F_{6, 28} = 13,490$; $p < 0,0001$) e biopesticida à base de matrine ($F_{6, 28} = 4,210$; $p = 0,0038$)] (Figura 6.1).

Com base nos promissores efeitos agudos (mortalidade) e subletais das formulações verificados nos bioensaios anteriores, a eficácia dos biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine foi comparada com o acaricida sintético spiroticlofen (Envidor[®] 240 SC). Independentemente do tempo de exposição, o efeito letal dos biopesticidas foi mais pronunciado do que no tratamento com spiroticlofen (controle positivo) e água deionizada (controle negativo). No entanto, na avaliação realizada às 24 horas após a pulverização (HAP) a maior mortalidade foi constatada em fêmeas de *P. citri* tratadas com o biopesticida à base de matrine, demonstrando que a toxicidade aguda dessa formulação é mais acentuada do que os demais produtos testados (Tabela 6.3). Porém, na avaliação final, 96 HAP, todos os biopesticidas avaliados apresentaram toxicidade aguda similar, diferindo apenas do controle positivo e água deionizada (Tabela 6.3).

Em relação aos efeitos subletais, os biopesticidas e o acaricida sintético spiroticlofen causaram significativa redução na fecundidade das fêmeas de *P. citri* (Tabela 6.3). Entre os biopesticidas testados, a maior redução na fecundidade foi constatada em fêmeas tratadas com os biopesticidas à base de annonin e matrine. Apesar de menos acentuado, o biopesticida à

base de azadirachtin e o acaricida sintético spiroticlofen também ocasionaram redução significativa no número de ovos depositados pelas fêmeas quando comparado ao controle negativo (Tabela 6.3). Além da fecundidade, o acaricida sintético spiroticlofen reduziu significativamente a fertilidade das fêmeas, sendo o nível de atividade bastante pronunciado e capaz de influenciar na dinâmica populacional da praga, o que comprova a eficácia do produto (Tabela 6.3).

Diante da destacada ação acaricida dos biopesticidas constatada nos testes laboratoriais, os produtos foram aplicados em seedlings de laranjeira-doce em casa de vegetação para avaliação da persistência residual dos produtos. Com base nos dados de mortalidade obtidos após 96 horas de exposição das fêmeas aos resíduos, observou-se que todos os biopesticidas apresentaram baixa persistência residual (mortalidade $\geq 35\%$ até três dias após a pulverização) (Figura 6.2). Entre as formulações avaliadas, os biopesticidas à base de azadirachtin e annonin apresentaram menor degradação inicial quando comparado ao biopesticida à base de matrine (Figura 6.2).

Tabela 6.1 - Estimativa da CL₅₀ e CL₉₀ (em mL L⁻¹) e do intervalo de confiança de formulações de biopesticidas para fêmeas de *Panonychus citri* em diferentes tempos de exposição. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de 60 ± 10% e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Formulação	Tempo de exposição (h)	N ^(a)	Slope ± EP (valor de <i>p</i>)	CL ₅₀ (IC) ^(b)	CL ₉₀ (IC) ^(b)	^(c) χ ²	g.l.	h ^(d)
Biopesticida à base de azadirachtin (Azamax [®] 1,2 EC)	24	732	1,16 ± 0,13 (<i>p</i> < 0,0001)	0,62 (0,47 - 0,80)	10,99 (6,46 - 24,34)	1,40	4	0,35
	48	732	1,36 ± 0,14 (<i>p</i> < 0,0001)	0,49 (0,24 - 0,84)	5,73 (2,67 - 16,60)	5,54	4	1,38
	72	729	1,47 ± 0,25 (<i>p</i> < 0,0001)	0,48 (0,17 - 0,90)	4,34 (1,97 - 12,38)	6,45	4	1,61
	96	717	1,49 ± 0,15 (<i>p</i> < 0,0001)	0,40 (0,21 - 0,62)	3,26 (1,84 - 9,76)	5,46	4	1,36
Biopesticida à base de annonin (Anoson [®] 1,0 EC)	24	735	0,99 ± 0,17 (<i>p</i> < 0,0001)	13,47 (7,43 - 38,58)	87,82 (18,78 - 177,19)	5,45	4	1,36
	48	733	1,40 ± 0,18 (<i>p</i> < 0,0001)	0,84 (0,67 - 1,02)	6,89 (6,09 - 10,29)	8,48	4	2,12
	72	733	1,76 ± 0,14 (<i>p</i> < 0,0001)	0,70 (0,58 - 0,83)	3,65 (2,92 - 4,85)	4,85	4	1,21
	96	730	2,20 ± 0,18 (<i>p</i> < 0,0001)	0,63 (0,54 - 0,73)	2,38 (1,97 - 3,00)	1,46	4	0,83
Biopesticida à base de matrine*	24	735	1,37 ± 0,18 (<i>p</i> < 0,0001)	0,15 (0,12 - 0,18)	1,15 (0,87 - 1,66)	9,01	4	2,25
	48	733	1,46 ± 0,22 (<i>p</i> < 0,0001)	0,11 (0,08 - 0,13)	0,65 (0,52 - 0,89)	10,8	4	2,70
	72	733	1,70 ± 0,16 (<i>p</i> < 0,0001)	0,10 (0,08 - 0,12)	0,51 (0,41 - 0,67)	6,82	4	1,70
	96	729	1,81 ± 0,26 (<i>p</i> < 0,0001)	0,09 (0,05 - 0,12)	0,42 (0,29 - 0,52)	6,55	4	1,64

^(a)N: número de ácaros testados

^(b)IC: intervalo de confiança a 95% de probabilidade de erro

^(c)χ²: valor de qui-quadrado de 'Pearson'

^(d)h: fator de heterogeneidade

*Formulação pré-comercial contendo 0,36% (p/v) de matrine (componente principal obtido de raízes secas de *Sophora flavescens* Ait. (Fabaceae) + 0,02% (p/v) de juglone (5-hidroxi-1,4-naftoquinona) (componente principal obtido de folhas de *Pterocarya stenoptera* C. DC. (Juglandaceae) + 0,20% (v/v) de α-pineno (componente principal do óleo essencial de folhas de *Platycladus orientalis* (L.) Franco (Cupressaceae)]

Tabela 6.2 - Estimativa do TL₅₀ (em horas) e do intervalo de confiança de formulações de biopesticidas para fêmeas de *Panonychus citri* em diferentes concentrações. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de 60 ± 10% e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Formulação	Concentração (mL L ⁻¹)	N ^(a)	Slope ± EP	TL ₅₀ (IC) ^(b)	^(c) χ ²	g.l.	h ^(d)
Biopesticida à base de azadirachtin Azamax TM 1,2 EC	1,00	103	0,68 ± 0,12	20,38 (9,65-33,83)	4,20	4	1,05
	2,00	101	1,04 ± 0,13	12,51 (3,97-21,41)	3,90	4	0,98
	4,00	101	2,14 ± 0,18	8,84 (7,25-10,40)	0,98	4	0,24
Biopesticida à base de annonin (Anoson [®] 1,0 EC)	1,00	104	1,57 ± 0,14	50,50 (35,74-80,84)	9,53	4	1,21
	2,00	104	2,07 ± 0,15	30,52 (21,96-42,05)	8,46	4	2,12
	4,00	104	2,47 ± 0,16	23,78 (15,48-34,67)	7,34	4	1,84
Biopesticida à base de matrine*	0,25	104	1,18 ± 0,13	16,50 (7,59-26,36)	9,09	4	2,27
	0,50	103	1,20 ± 0,14	7,42 (4,89-13,19)	7,38	4	1,84
	1,00	101	1,95 ± 0,19	5,97 (4,48-7,41)	3,05	4	0,76

^(a)N: número de ácaros testados

^(b)IC: intervalo de confiança a 95% de probabilidade de erro

^(c)χ²: valor de qui-quadrado de 'Pearson'

^(d)h: fator de heterogeneidade

*Formulação pré-comercial contendo contendo 0,36% (p/v) de matrine (componente principal obtido de raízes secas de *Sophora flavescens* Ait. (Fabaceae) + 0,02% (p/v) de juglone (5-hidroxi-1,4-naftoquinona) (componente principal obtido de folhas de *Pterocarya stenoptera* C. DC. (Juglandaceae) + 0,20% (v/v) de α-pineno (componente principal do óleo essencial de folhas de *Platycladus orientalis* (L.) Franco (Cupressaceae)]

Figura 6.1 - Fecundidade e fertilidade de fêmeas de *Panonychus citri* mantidas por quatro dias em arenas tratadas com diferentes concentrações de biopesticidas: **(A)** biopesticida à base de azadirachtin (AzamaxTM 1,2 EC), **(B)** biopesticida à base de annonin (Anoson[®] 1,0 EC) e **(C)** biopesticida à base de matrine (formulação pré-comercial contendo contendo 0,36% (p/v) de matrine (componente principal obtido de raízes secas de *Sophora flavescens* Ait. (Fabaceae) + 0,02% (p/v) de juglone (5-hidroxi-1,4-naftoquinona) (componente principal obtido de folhas de *Pterocarya stenoptera* C. DC. (Juglandaceae) + 0,20% (v/v) de α -pineno (componente principal do óleo essencial de folhas de *Platycladus orientalis* (L.) Franco (Cupressaceae)]. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Tabela 6.3 - Mortalidade acumulada (%), fecundidade e fertilidade de fêmeas de *Panonychus citri* mantidas por quatro dias em arenas tratadas com diferentes acaricidas. Temperatura de 25 ± 2 °C, UR de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14 L: 10 E horas

Acaricidas	Mortalidade (%) - Tempo de exposição (horas) ¹				Fecundidade ²	Fertilidade ¹
	24	48	72	96	(Nº ovos fêmea ⁻¹)	[taxa de eclosão (%)]
Biopesticida à base de azadirachtin (Azamax [®] 1,2 EC)	50,4 ± 4,08 b	68,8 ± 2,74 b	76,4 ± 2,91 b	89,2 ± 1,39 a	15,0 ± 0,71 bc	86,6 ± 2,97 a
Biopesticida à base de annonin (Anoson [®] 1,0 EC)	32,8 ± 5,09 c	72,2 ± 3,18 ab	79,8 ± 3,10 b	91,2 ± 2,87 a	10,2 ± 1,07 cd	89,8 ± 1,77 a
Biopesticida à base de matrine*	67,2 ± 2,15 a	84,2 ± 3,46 a	93,8 ± 3,23 a	98,3 ± 1,60 a	4,4 ± 1,03 d	85,8 ± 5,94 a
Spirodiclofen (Envidor [®] 240 SC)	12,0 ± 2,00 d	19,4 ± 3,22 c	39,8 ± 3,34 c	51,6 ± 7,03 b	16,6 ± 1,14 b	1,6 ± 0,68 b
Controle	0,0 ± 0,00 d	0,5 ± 0,50 d	1,4 ± 0,98 d	3,2 ± 1,24 c	24,2 ± 2,50 a	97,2 ± 0,86 a
F	73,21	167,70	173,20	125,20	24,40	159,50
g.l.	4, 20	4, 20	4, 20	4, 20	4, 20	4, 20
Valor de <i>p</i>	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

¹Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente (GLM com distribuição quase-binomial seguido por teste *post hoc* de Tukey, $p < 0,05$)

²Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente (GLM com distribuição quase-Poisson seguido por teste *post hoc* de Tukey, $p < 0,05$)

*Formulação pré-comercial contendo contendo 0,36% (p/v) de matrine (componente principal obtido de raízes secas de *Sophora flavescens* Ait. (Fabaceae) + 0,02% (p/v) de juglone (5-hidroxi-1,4-naftoquinona) (componente principal obtido de folhas de *Pterocarya stenoptera* C. DC. (Juglandaceae) + 0,20% (v/v) de α -pineno (componente principal do óleo essencial de folhas de *Platycladus orientalis* (L.) Franco (Cupressaceae)]

Figura 6.2 - Mortalidade (%) de fêmeas de *Panonychus citri* após 96 horas de exposição aos resíduos de acaricidas aplicados em seedlings de laranjeira-doce: **(A)** biopesticida à base de azadirachtin (AzamaxTM 1,2 EC, na concentração de 3,26 mL L⁻¹), **(B)** biopesticida à base de annonin (Anoson[®] 1,0 EC, na concentração de 2,38 mL L⁻¹) e **(C)** biopesticida à base de matrine (formulação pré-comercial contendo contendo 0,36% (p/v) de matrine (componente principal obtido de raízes secas de *Sophora flavescens* Ait. (Fabaceae) + 0,02% (p/v) de juglone (5-hidroxi-1,4-naftoquinona) (componente principal obtido de folhas de *Pterocarya stenoptera* C. DC. (Juglandaceae) + 0,20% (v/v) de α -pineno (componente principal do óleo essencial de folhas de *Platycladus orientalis* (L.) Franco (Cupressaceae)], na concentração de 0,42 mL L⁻¹) em diferentes tempos residuais. A mortalidade de fêmeas no tratamento controle foi inferior a 5% para todos os tempos residuais

6.4 Discussão

Ciclo de vida curto, alta capacidade biótica e reprodução especializada são características que proporcionam aos ácaros fitófagos (especialmente Tetranychidae) rápido crescimento populacional caso medidas de controle não forem adotadas. Neste contexto, a ação acaricida de biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine foi avaliada sobre fêmeas de *P. citri*. Os resultados demonstraram que os biopesticidas causaram alta atividade acaricida, podendo ser uma importante alternativa para o manejo do ácaro nos sistemas de produção citrícola. Com base na toxicidade aguda, os resultados demonstraram que os biopesticidas ocasionaram ação superior ao acaricida sintético spiroticlofen (Envidor® 240 SC), utilizado como controle positivo. Cabe salientar, no entanto, que os efeitos subletais do spiroticlofen, especialmente sobre a fecundidade e fertilidade das fêmeas de *P. citri*, já foi relatado previamente (RIBEIRO et al., 2014), o que garante a sua eficácia quando avaliado o efeito na população da espécie-praga. Tal efeito é decorrente do seu mecanismo de ação que envolve a inibição da biossíntese de lipídeos pelo bloqueio da enzima acetil-coenzima A carboxilase, responsável pela formação de importantes ácidos graxos durante a vitelogênese dos ácaros (BRETSCHNEIDER et al., 2003). A opção pela utilização de tal acaricida como controle positivo foi decorrente de sua disponibilidade e pela sua ampla utilização no manejo de ácaros-praga na cultura do citros [~ 60% do volume de acaricidas utilizados na citricultura brasileira (Miranda, M.P; Fundecitrus, informação pessoal) e por estar autorizado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2015) para uso no controle de *P. citri* nos pomares citrícos. Apesar da alta toxicidade aguda verificada nos biopesticidas avaliados no presente estudo, Ribeiro et al. (2014) demonstraram que o biopesticida à base de annonin causou baixa mortalidade de fêmeas de *P. citri* expostas aos resíduos (contato residual) do produto. Os maiores níveis de toxicidade constatados neste estudo são atribuídos a maior exposição das fêmeas (contato direto + residual) aos ingredientes ativos do biopesticida. Portanto, a eficácia da formulação no controle do ácaro *P. citri* dependerá das rotas de exposição (contaminação) dos ácaros ao biopesticida.

Além da toxicidade aguda, nossos resultados demonstraram que os biopesticidas ocasionaram significativa redução, de maneira dependente da concentração, na fecundidade e fertilidade das fêmeas de *P. citri*. Redução no número de ovos depositados pelas fêmeas de *P. citri* também foi observada por Ribeiro et al. (2014) ao avaliarem a bioatividade residual de uma formulação à base de azadirachtin e de um extrato etanólico de sementes de *A. mucosa* ESAM (rico em acetogeninas). Biopesticidas de origem botânica são constituídos por mais de

uma substância ativa que atuam sinergicamente sobre a espécie-alvo e produzem diferentes efeitos biológicos, tais como demonstrado no presente estudo. Esses efeitos subletais podem contribuir para a manutenção da população de *P. citri*, em níveis abaixo do limiar de dano econômico em condições campo (VENDRAMIM; CASTIGLIONI, 2000).

Com base nas variáveis analisadas e nos possíveis reflexos dos efeitos agudos e subletais na dinâmica populacional de *P. citri*, verificou-se que os biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine ocasionaram atividade acaricida equivalente ao acaricida sintético spiroticlofen (Envidor[®] 240 SC). Bioatividade de produtos à base de extratos brutos ou compostos do metabolismo secundário de plantas contra ácaros-praga similares aos acaricidas sintéticos tradicionalmente utilizados na agricultura têm sido reportados na literatura. Por exemplo, Bernardi et al. (2013) demonstraram que a formulação à base de azadirachtin (Azamax[™] 1,2 EC) proporcionou eficácia equivalente ao acaricida abamectin (Vertimec[®] 18 EC) no controle de *T. urticae* em morangueiro. Da mesma forma, Ribeiro et al. (2014) avaliando a bioatividade do extrato etanólico de sementes de *Annona mucosa* Jacq. (Annonaceae) sobre fêmeas de *P. citri*, verificaram que os biopesticidas proporcionaram eficácia similar ao acaricida sintético spiroticlofen (Envidor[®] 240 SC), um dos principais ingredientes ativos utilizado no manejo do ácaros-praga na citricultura brasileira. Portanto, essas formulações poderão constituir uma importante alternativa para o manejo de *P. citri* nos pomares cítricos.

A aplicação dos biopesticidas em seedlings em casa de vegetação demonstrou que os biopesticidas à base azadirachtin, annonin e matrine causaram alta toxicidade residual para fêmeas de *P. citri* e podem ser utilizados no manejo do ácaro em sistemas de produção de seedlings de citros sem causar qualquer efeito fitotóxico. Apesar da alta toxicidade verificada nas avaliações iniciais (tempo 0 e 1 dia após a aplicação dos produtos), os biopesticidas apresentaram baixa persistência (mortalidade $\geq 35\%$ até três dias após a pulverização). Tal aspecto pode ser atribuído à instabilidade dos princípios ativos à radiação ultravioleta e visível, considerada uma das principais causas de degradação de produtos naturais (SANDOVAL-MOJICA; CAPINERA, 2011; TUREK; STINTZING, 2013). O desenvolvimento de nanoformulações de liberação controlada poderá ser uma solução a ser testada em futuros estudos visando aumentar a persistência residual das formulações.

Embora a baixa persistência seja inicialmente considerada uma desvantagem pela necessidade de reaplicação mais frequente dos biopesticidas, tal característica permite a sua utilização em pré-colheita, situação em que há necessidade de uso de produtos com reduzido intervalo de segurança. Além disso, reduz a possibilidade de seleção de indivíduos resistentes,

devido à menor pressão de seleção exercida sobre as espécies-alvos (GEORGHIOU; TAYLOR, 1977). A baixa persistência também reduz o impacto sobre os agentes de controle biológico presente nas áreas de produção, devido o menor período de ação dos ingredientes ativos das formulações sobre os artrópodes, o que permite a recolonização e o estabelecimento do equilíbrio ecológico nos agroecossistemas. Além disso, permite a liberação inundativa de agentes de controle biológico em um curto período de tempo após a sua utilização. Essa possibilidade é suportada por Bernardi et al. (2013) que verificaram alta compatibilidade de uma formulação à base de azadirachtin (AzamaxTM 1,2 EC) com liberações inundativas de *Neoseiulus californicus* (McGregor) e *Phytoseiulus macropilis* (Banks) (Acari: Phytoseiidae) para o controle do ácaro-rajado [*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)] em cultivos de morangueiro [*Fragaria ananassa* Duch. (Rosaceae)]. No entanto, a compatibilidade dos biopesticidas, aqui avaliados, com agentes de controle biológico que atuam no controle de *P. citri* deverá ser alvo de futuros estudos.

Diante da pronunciada atividade acaricida proporcionada pelos biopesticidas, é possível afirmar que, essas formulações apresentam potencial para serem utilizadas em condições de campo como tática adicional de manejo de *P. citri* nos programas de MIP. Além disso, poderão ser utilizadas em sistemas de rotação com os atuais acaricidas sintéticos visando reduzir os problemas de ressurgência e de seleção de populações resistentes. Por outro lado, essas formulações também poderão constituir uma importante alternativa para os sistemas de produção de base ecológica onde as alternativas de controle são escassas e medidas eficientes de supressão populacional precisam ser incorporadas.

6.5 Conclusões

- Os biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine possuem alta atividade acaricida.
- Os biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine proporcionam atividade acaricida similar ao acaricida sintético spiroticlofen (Envidor[®] 240 SC).
- Os biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine possuem baixa persistência residual (mortalidade $\geq 35\%$ até três dias após a pulverização).

Os biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine apresentam potencial para uso no controle de *P. citri* em programas de manejo integrado de pragas.

Referências

- ALALI, F.Q.; LIU, X.X.; MCLAUGHLIN, J.L. Annonaceous acetogenins: recent progress. **Journal of Natural Products**, Cincinnati, v. 62, p. 504-540, 1999.
- BAKR, E.M.; SOLIMAN, Z.R.; HASSAN, M.F.; TAWADROUS, S.S.D. Biological activity of the organic pesticide Baicao No.1 against the red spider mite *Tetranychus urticae* Koch. **Acarines**, Giza, v. 6, n. 2, p. 35-39, 2012.
- BERNARDI, D.; BOTTON, M.; CUNHA, U.S.; BERNARDI, O.; MALAUSA, T.; GARCIA, M.S.; NAVA, D.E. Effects of azadirachtin on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and its compatibility with predatory mites (Acari: Phytoseiidae) on strawberry. **Pest Management Science**, Sussex, v. 69, n. 1, p. 75-80, 2013.
- BOVÉ, J.M. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. **Journal of Plant Pathology**, Ontario, v. 88, n. 1, p. 7-37, 2006.
- BRASIL. **Decreto No. 6.913, de 23 de julho de 2009**. 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6913.htm>. Acesso em: 13 dez. 2014.
- _____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT**: sistema de agrotóxicos fitossanitários. 2015. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 01 jan. 2015.
- BRETSCHNEIDER, T.; BENET-BUCHHOLZ, J.; FISCHER, R.; NAUEN, R. Spirodiclofen and spiromesifen: novel acaricidal and insecticidal tetrionic acid derivatives with a new mode of action. **CHIMIA International Journal for Chemistry**, Zurich, v. 57, n. 11, p. 697-701, 2003.
- DÖKER, İ.; KAZAK, C. Detecting acaricide resistance in Turkish populations of *Panonychus citri* McGregor (Acari: Tetranychidae). **Systematic & Applied Acarology**, London, v. 17, n. 4, p. 368-377, 2012.
- FADAMIRO, H. Y.; AKOTSEN-MENSAH, C.; XIAO, Y.; ANIKWE, J. Field evaluation of predacious mites (Acari: Phytoseiidae) for biological control of citrus red mite, *Panonychus citri* (Trombidiformes: Tetranychidae). **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 96, n. 1, p. 80-91, 2013.
- FINNEY, D.J. **Probit analysis**. Cambridge: Cambridge University Press, 1971. 31 p.
- GEORGHIOU, G.P.; TAYLOR, C.E. Operational influences in the evolution of insecticide resistance. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 70, n. 5, p. 653-658, 1977.
- GRAFTON-CARDWELL, E.E.; STELINSKI, L.L.; STANSLY, P.A. Biology and management of Asian citrus psyllid, vector of the huanglongbing pathogens. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 58, p. 413-432, 2013.

HINDE, J.; DEMÉTRIO, C.G.B. Overdispersion: models and estimation. **Computational Statistics & Data Analysis**, Amsterdam, v. 27, n. 2/3, p. 151-170, 1998.

HU, J.; WANG, C.; WANG, J.; YOU, Y.; CHEN, F. Monitoring of resistance to spiroticlofen and five other acaricides in *Panonychus citri* collected from Chinese citrus orchards. **Pest Management Science**, Sussex, v. 66, n. 9, p. 1025-1030, 2010.

HWANG, I.C.; KIM, J.; KIM, H.M.; KIM, D.I.; KIM, S.G.; KIM, S.S.; JANG, C. Evaluation of toxicity of plant extract made by neem and matrine against main pests and natural enemies. **Korean Journal of Applied Entomology**, Seoul, v. 48, n. 1, p. 87-94, 2009.

ISMAN, M.B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated World. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 51, p. 45-66, 2006.

ISMAN, M.B.; GRIENEISEN, M.L. Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 13, n. 3, p. 1-6, 2014.

ISMAN, M.B.; SEFFRIN, R. Natural insecticides from the Annonaceae: a unique example for developing biopesticides. In: SINGH, D. (Ed.). **Advances in plant biopesticides**. Amsterdam: Springer, 2014. chap. 2, p.21-33.

LIU, Z.L.; GOH, S.H.; HO, S.H. Screening of Chinese medicinal herbs for bioactivity against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst). **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 43, n. 3, p. 290-296, 2007.

MAO, L.; HENDERSON, G. Antifeedant activity and acute and residual toxicity of alkaloids from *Sophora flavescens* (Leguminosae) against *Formosan subterranean* termites (Isoptera: Rhinotermitidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanahm, v. 100, n. 3, p. 866-870, 2007.

MARČIĆ, D.; PRIJOVIĆ, M.; DROBNJAKOVIĆ, T.; MEDO, I.; PERIĆ, P.; MILENKOVIĆ, S. Greenhouse and field evaluation of two biopesticides against *Tetranychus urticae* and *Panonychus ulmi* (Acari: Tetranychidae). **Pesticides & Phytomedicine**, Stuttgart, v. 27, n. 4, p. 313-320, 2012.

MIGEON, A.; DORKELD, F. **Spider mites web**: a comprehensive database for the Tetranychidae. 2014. Disponível em: <<http://www.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb>>. Acesso em: 01 dez. 2014.

NELDER, J.A.; WEDDERBURN, R.W.M. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society**, Oxford, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972.

PAN, W.; LUO, P.; FU, R.; GAO, P.; LONG, Z.; XU, F.; XIAO, H.; LIU, S.H. Acaricidal activity against *Panonychus citri* of a ginkgolic acid from the external seed coat of *Ginkgo biloba*. **Pest Management Science**, Sussex, v. 62, n. 3, p. 283-287, 2006.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. 1706 p.

RIBEIRO, L.P.; ZANARDI, O.Z.; VENDRAMIM, J.D.; YAMAMOTO, P.T. Comparative toxicity of an acetogenin-based extract and commercial pesticides against citrus red mite. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 87-98, 2014.

RIBEIRO, L.P.; VENDRAMIM, J.D.; BICALHO, K.U.; ANDRADE, M.S.; FERNANDES, J.B.; MORAL, R.A.; DEMÉTRIO, C.G.B. *Annona mucosa* Jacq. (Annonaceae): a promising source of bioactive compounds against *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 55, p. 6-14, 2013.

SANDOVAL-MOJICA, A.F.; CAPINERA, J.L. Antifeedant effect of commercial chemicals and plant extracts against *Schistocerca americana* (Orthoptera: Acrididae) and *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae). **Pest Management Science**, Sussex, v. 67, n. 7, p. 860-868, 2011.

SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system**: getting started with the SAS learning. Version 9.2. Cary, 2011. 202 p.

SIMS, S.R.; GREENPLATE, J.T.; STONE, B.; CAPRIO, M.A.; GOULD, F. Monitoring strategies for early detection of Lepidoptera resistance to *Bacillus thuringiensis* insecticidal proteins. In: BROWN, T.M. (Ed.). **Molecular genetics and evolution of pesticide resistance**. Washington: American Chemical Society, 1996. p. 229-242.

THRONE, J.E.; WEAVER, D.K.; CHEW, V.B.; JAMES, E. Probit analysis of correlated data: multiple observations over time at one concentration. **Journal of Economic Entomology**, Lanhan, v. 88, n. 5, p. 1510-1512, 1995.

TUREK, C.; STINTZING, F.C. Stability of essential oils: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Wisconsin, v. 12, n. 1, p. 40-53, 2013.

VENDRAMIM, J.D.; CASTIGLIONI, E. Aleloquímicos, resistência de plantas e plantas inseticidas. In: GUEDES, J.C.; COSTA, I.D.; CASTIGLIONI, E. (Ed.). **Bases e técnicas do manejo de insetos**. Santa Maria: Pallotti, 2000. p. 113-128.

YAMAMOTO, P.T.; ZANARDI, O.Z. Atualização de manejo do ácaro purpúreo *Panonychus citri*. **Revista Citricultura Atual**, Cordeirópolis, v. 96, p. 16-17, 2013.

ZEHNDER, G.; GURR, G.M.; KÜHNE, S.; WADE, M.R.; WRATTEN, S.D.; WYSS, E. Arthropod management in organic crops. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 52, p. 57-80, 2007.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ácaro purpúreo, *P. citri*, ainda é considerado uma praga de importância secundária nos pomares cítricos brasileiros. No entanto, nos últimos anos, sua população vem aumentando consideravelmente devido a ocorrência de surtos populacionais do ácaro que, na maioria das vezes, causam danos consideráveis nas plantas e em muitos casos exige que medidas de controle sejam adotadas. Neste sentido, as principais causas biológicas, comportamentais e demográficas responsáveis pelo aumento na abundância populacional do ácaro foram investigadas no presente estudo. Os resultados demonstraram que as principais espécies e variedades de plantas cítricas cultivadas no Brasil apresentam diferentes níveis de suscetibilidade ao ácaro *P. citri*. A menor taxa de crescimento populacional do ácaro ocorreu em laranja Hamlin, demonstrando que essa variedade pode ser uma alternativa para o manejo de *P. citri* nas regiões com alta incidência da praga. Cabe salientar, no entanto, que apesar de ser menos favorável ao ácaro, o cultivo exclusivo dessa variedade pode ser economicamente inviável, devido a menor qualidade do suco produzido e a necessidade de escalonamento da colheita e de cultivo de outras variedades nas propriedades. Por outro lado, laranja Valência e limoeiro Siciliano proporcionaram maior desenvolvimento e reprodução do ácaro quando comparados as laranjeiras Pera, Natal e Hamlin e tangerineira Ponkan, indicando que esses hospedeiros podem contribuir para o aumento populacional do ácaro. Além disso, em áreas de produção de laranja Valência e limoeiro Siciliano o manejo de *P. citri* deve ser mais rigoroso com monitoramento mais frequente para detecção inicial da praga.

Além dos diferentes níveis de suscetibilidade das plantas cítricas hospedeiras, o aumento na abundância populacional do ácaro *P. citri* está associado, entre outros fatores, ao efeito repelente/dispersão (aspecto observado pelo maior número de ácaros aprisionados na barreira de algodão e pelo menor número de puncturas de alimentação e de ovos depositados pelas fêmeas nas áreas tratadas) proporcionados pelos inseticidas piretroides, a insensibilidade dos diferentes estádios de desenvolvimento dos ácaros aos inseticidas neonicotinoides e ao efeito hormese (caracterizado pelo aumento na fecundidade das fêmeas expostas principalmente aos inseticidas piretroides deltamethrin e lambda-cyhalothrin e o neonicotinoide imidacloprid). Por outro lado, o inseticida esfenvalerate proporcionou menor taxa de sobrevivência dos estádios imaturos (principalmente de larva e protoninfa) e efeito repelente em fêmeas do ácaro, mas não ocasionou aumento significativo dos parâmetros demográficos de *P. citri*, demonstrando que, entre os piretroides avaliados, esse inseticida na

concentração recomendada para o manejo de insetos-praga dos citros oferece menor probabilidade de ocorrência de surtos populacionais *P. citri*. Por sua vez, o neonicotinoide thiamethoxam não alterou significativamente os parâmetros biológicos, comportamentais e demográficos do ácaro na concentração testada, indicando que a ocorrência de surtos populacionais de *P. citri* após a aplicação do inseticida pode estar associado a concentração ou melhoria na qualidade das plantas hospedeiras ao longo das gerações do ácaro.

Além de favorecer o aumento populacional do ácaro fitófago *P. citri*, os inseticidas piretroides e neonicotinoides afetam negativamente a sobrevivência e/ou reprodução de *I. zuluagai*, um dos principais ácaros predadores encontrados em cítricos. Entre os inseticidas avaliados, os piretroides ocasionaram os maiores impactos nos parâmetros populacionais do ácaro, demonstrando que o uso desses produtos no manejo de insetos-praga reduz os níveis populacionais e afeta o controle biológico exercido pelo predador. Por outro lado, os neonicotinoides imidacloprid e thiamethoxam não afetaram significativamente a sobrevivência de *I. zuluagai*, mas reduziram levemente a capacidade reprodutiva das fêmeas em condições laboratoriais. No entanto, em campo, é provável, que esses efeitos subletais sejam menores do que os observados no presente estudo.

Diante do aumento na abundância e na frequência de surtos populacionais do ácaro *P. citri* após a aplicação de inseticidas piretroides e neonicotinoides e dos impactos ocasionados sobre o predador *I. zuluagai* proporcionado principalmente pelos inseticidas piretroides, novas alternativas de manejo foram investigadas como tática adicional de controle de *P. citri*. Os resultados demonstraram que o uso de biopesticidas à base de azadirachtin, annonin e matrine apresentaram alta atividade contra *P. citri* e pode ser uma importante alternativa para substituir ou utilizar em rotação com os atuais acaricidas sintéticos nos programas de manejo integrado de pragas dos citros.