

**FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA
MESTRADO PROFISSIONAL EM
CONTROLE DE DOENÇAS E PRAGAS DOS CITRUS**

ALOISIO DE PADUA MENDES DA COSTA

Alterações bioecológicas associadas ao aumento populacional de *Brevipalpus yothersi* Baker (Acari: Tenuipalpidae) e *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) após aplicação de inseticidas em citros

Dissertação apresentada ao Fundo de Defesa da Citricultura como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Fitossanidade

Orientador: Dr. Odimar Zanuzo Zanardi

Coorientador: Dr. Marcelo Pedreira de Miranda

**Araraquara
Novembro 2018**

ALOISIO DE PADUA MENDES DA COSTA

Alterações bioecológicas associadas ao aumento populacional de *Brevipalpus yothersi* Baker (Acari: Tenuipalpidae) e *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) após a aplicação de inseticidas em citros

Dissertação apresentada ao Fundo de Defesa da Citricultura como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Fitossanidade

Orientador: Dr. Odimar Zanuzo Zanardi

Coorientador: Dr. Marcelo Pedreira de Miranda

**Araraquara
Novembro 2018**

ALOISIO DE PADUA MENDES DA COSTA

Dissertação apresentada ao Fundo de Defesa da Citricultura - Fundecitrus, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Fitossanidade.

Araraquara, 12 de novembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Alécio Souza Moreira
Embrapa Mandioca e Fruticultura - EMBRAPA, Cruz das Almas/BA



Dr. Daniel Junior de Andrade
Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal/SP.



Dr. Odimar Zanuzo Zanardi (Orientador)
Fundo de Defesa da Citricultura - FUNDECITRUS, Araraquara/SP

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Moacir (*in memoriam*) e Antônia pela educação e exemplo de vida.
A minha esposa Vera e ao meu filho Bruno pelo amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Ao Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus), seus pesquisadores e professores pela oportunidade e atenção a mim dedicada durante o mestrado.

Ao meu orientador Odimar Zanuzo Zanardi a quem dedico agradecimento especial pelo apoio, dedicação e por auxiliar na execução do trabalho.

À secretária de pós-graduação do Mastercitrus Amanda Cristina Gonçalves de Oliveira pela paciência e apoio durante o mestrado.

Aos funcionários do Fundecitrus, Renato de Freitas e Rômulo Igor de Carvalho pela ajuda na realização dos experimentos.

À empresa Bayer CropScience S/A, a qual sou funcionário, pelo apoio e oportunidade de fazer o mestrado.

Ao professor Dr. Daniel Junior de Andrade da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" campus de Jaboticabal, São Paulo, por disponibilizar a estrutura e equipamentos e contribuir na execução do trabalho.

À doutoranda Jaqueline Franciosi Della Vechia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" campus de Jaboticabal, São Paulo, por fornecer espécimes do ácaro da leprose e auxiliar na execução do trabalho.

Aos colegas de mestrados pelo companheirismo e pela oportunidade de difusão de informações.

A todos que de alguma forma ou de outra contribuíram para a realização do mestrado, os meus sinceros agradecimentos.

Alterações bioecológicas associadas ao aumento populacional de *Brevipalpus yothersi* Baker (Acari: Tenuipalpidae) e *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) após a aplicação de inseticidas em citros

Autor: Aloisio de Padua Mendes da Costa

Orientador: Odimar Zanuzo Zanardi

Coorientador: Marcelo Pedreira de Miranda

Resumo:

O controle químico constitui a principal tática de supressão populacional de insetos praga que causam danos as plantas cítricas. Apesar da alta eficácia, o intenso uso desses compostos pode alterar não somente a densidade e a dinâmica populacional dos insetos alvos, mas também pode favorecer o aumento populacional de ácaros fitófagos que habitam/colonizam as plantas cítricas. Aumento na população de ácaros após aplicações de inseticidas para o controle de insetos praga tem sido observado nos últimos anos para *Brevipalpus yothersi* Baker (Acari: Tenuipalpidae) vetor do *Citrus leprosis virus* e *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae). Apesar do crescimento populacional ter sido observado em campo, os efeitos desses inseticidas sobre esses ácaros ainda não foram investigados. Portanto, este estudo teve como objetivo investigar, em condições laboratoriais, as alterações bioecológicas associadas ao aumento populacional de *B. yothersi* e *P. citri* após a aplicação de bifentrina, dimetoato e flupiradifurone. Os resultados indicaram que ambas as espécies de ácaros e estágios de desenvolvimento foram sensíveis aos inseticidas bifentrina, dimetoato e flupiradifurone, sendo os níveis de sensibilidade dependentes da concentração e do estágio de desenvolvimento expostos aos inseticidas. Entre os estágios de desenvolvimento testados, as ninfas de *B. yothersi* e *P. citri* foram de 1,31 a 2,14 vezes mais sensíveis aos inseticidas do que fêmeas adultas. Apesar da alta sensibilidade, fêmeas de *B. yothersi* e *P. citri* tratadas com a CL₁₀ (concentração necessária para matar 10% da população) de bifentrina produziram cerca de 28,0% mais ovos do que as fêmeas controle. No entanto, fêmeas de *B. yothersi* e *P. citri* tratadas com a CL₅₀ de bifentrina produziram 36,0 e 30,9% menos ovos do que as fêmeas controle, respectivamente. A aplicação de diferentes concentrações de dimetoato não induziu aumento significativo na fecundidade de *B. yothersi* e *P. citri*. Da mesma forma, nenhum aumento significativo na fecundidade foi observado em fêmeas de *B. yothersi* tratadas com diferentes concentrações de flupiradifurone. Entretanto, fêmeas de *P. citri* expostas a CL₂₀ de flupiradifurone produziram 13,3% mais ovos do que as fêmeas controle. A aplicação de flupiradifurone nas concentrações correspondentes as CL₄₀ e CL₅₀ reduziu em 14,6 e 28,4% o número de ovos depositados pelas fêmeas de *P. citri*, respectivamente. Além de aumento na capacidade reprodutiva, bifentrina também alterou a preferência de oviposição das fêmeas de *B. yothersi* e *P. citri*. O menor número de ovos foi observado nas superfícies tratadas com as CL₄₀ e CL₅₀ de bifentrina. Portanto, o aumento na fecundidade (efeito hormese) e a redução na preferência de oviposição das fêmeas foram as principais alterações bioecológicas associadas ao aumento populacional de *B. yothersi* e *P. citri* após aplicação de bifentrina. Flupiradifurone também induziu efeito hormese para *P. citri*, enquanto que, dimetoato não proporcionou aumento populacional de *B. yothersi* e *P. citri*. Portanto, bifentrina e flupiradifurone devem ser utilizados com cautela, evitando períodos de alta incidência de *B. yothersi* e/ou *P. citri* nos pomares cítricos.

Palavras-chave: Ácaro da leprose dos citros, ácaro purpúreo, aumento populacional, reprodução, preferência de oviposição

**Bioecological changes associated with the population increase of
Brevipalpus yothersi Baker (Acari: Tenuipalpidae) and *Panonychus citri*
(McGregor) (Acari: Tetranychidae) after insecticide sprayings on citrus**

Author: Aloisio de Padua Mendes da Costa

Advisor: Odimar Zanuzo Zanardi

Co-advisor: Marcelo Pedreira de Miranda

Abstract

Chemical control constitutes the main tactic of population suppression of pest insects that cause damage to citrus trees. Although the high efficacy, the overuse of these compounds can alter not only the population density and dynamics of target insects, but also can favor the population of phytophagous mites that inhabit/colonize citrus trees. An increase in mite population after insecticide applications for the control of pest insects has been observed in recent years for *Brevipalpus yothersi* Baker (Acari: Tenuipalpidae) vector of *Citrus leprosis virus* and *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae). Although population growth has been observed in the field, the effects of insecticides on these mites have not been investigated yet. Thus, in this study, the bioecological changes associated with the population increase of *B. yothersi* and *P. citri* after application of bifenthrin, dimethoate, and flupyradifurone were investigated under laboratory conditions. The results indicated that both mite species and development stages were sensitive to bifenthrin, dimethoate, and flupyradifurone insecticides, with the sensitivity levels dependent on concentration and mite development stage exposed to insecticides. Among the development stages tested, the *B. yothersi* and *P. citri* nymphs were from 1.31 to 2.14-fold more sensitive to insecticides than the adult females. Despite the high sensitivity, *B. yothersi* and *P. citri* females treated with bifenthrin CL₁₀ (concentration required to kill 10% of population) produced around 28.0% more eggs than the control females. However, *B. yothersi* and *P. citri* females treated with the LC₅₀ of bifenthrin produced 36.0 and 30.9% fewer eggs than control females, respectively. The application of different concentrations of dimethoate did not induce a significant increase in the fecundity of *B. yothersi* and *P. citri*. Likewise, no significant increase in fecundity was observed in *B. yothersi* females treated with different concentrations of flupyradifurone. However, *P. citri* females exposed to CL₂₀ of flupyradifurone produced 13.3% more eggs than the control females. The application of flupyradifurone at concentrations corresponding to CL₄₀ and LC₅₀ reduced the number of eggs laid by *P. citri* females in 14.6 and 28.4%, respectively. In addition to increased reproductive capacity, bifenthrin also altered the oviposition preference of *B. yothersi* and *P. citri* females. The lowest number of eggs was observed to the surfaces treated with the CL₄₀ and LC₅₀ of bifenthrin. Therefore, the increase in fecundity (hormesis effect) and the reduction in the oviposition preference of females were the main bioecological changes associated with the population increase of *B. yothersi* and *P. citri* after application of bifenthrin. Flupyradifurone also induced hormesis effect for *P. citri*, whereas dimethoate does not provide a population increase of *B. yothersi* and *P. citri*. Therefore, bifenthrin and flupyradifurone should be used with caution, avoiding periods of the high incidence of *B. yothersi* and/or *P. citri* in citrus groves.

Keywords: Citrus leprosis mite, citrus red mite, population increase, reproduction, oviposition preference

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Fecundidade média diária de *Brevipalpus yothersi* e *Panonychus citri* expostas aos resíduos de bifentrina, dimetoato e flupiradifurone. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente (GLM com distribuição quase-Poisson, seguido por *post hoc* do teste de Tukey; $P < 0,05$)..... 19
- Figura 2.** Preferência de oviposição de fêmeas de *Brevipalpus yothersi* e *Panonychus citri* expostas aos inseticidas bifentrina, dimetoato e flupiradifurone. Médias seguidas pela mesma letra em cada concentração não diferem significativamente (GLM com distribuição quase-Poisson, seguido por *post hoc* do teste *t*; $P < 0,05$).....21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estimativa das concentrações letais (CLs) e do intervalo de confiança (IC a 95% de probabilidade de erro) de inseticidas para ninfas de <i>Brevipalpus yothersi</i> e <i>Panonychus citri</i> , sete dias após a exposição dos ácaros aos inseticidas.	15
Tabela 2. Estimativa das concentrações letais (CLs) e do intervalo de confiança (IC a 95% de probabilidade de erro) de inseticidas para fêmeas adultas de <i>Brevipalpus yothersi</i> e <i>Panonychus citri</i> , sete dias após a exposição dos ácaros aos inseticidas.	16
Tabela 3. Sensibilidade diferencial de <i>Brevipalpus yothersi</i> e <i>Panonychus citri</i> aos inseticidas bifentrina, dimetoato e flupiradifurone com base na estimativa da concentrações letais médias (CL ₅₀) estimadas aos sete dias de exposição dos ácaros aos inseticidas.	17

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1 Ácaros	9
2.2 Inseticidas	10
2.3 Bioensaios	10
2.3.1 Sensibilidade de ninfas e fêmeas adultas de <i>Brevipalpus yothersi</i> e <i>Panonychus citri</i> aos inseticidas	10
2.3.2 Efeito de inseticidas na reprodução de <i>Brevipalpus yothersi</i> e <i>Panonychus citri</i>	11
2.3.3 Efeito de inseticidas na preferência de oviposição das fêmeas de <i>Brevipalpus yothersi</i> e <i>Panonychus citri</i>	12
2.4 Delineamento experimental e análise dos dados	13
3 RESULTADOS	14
3.1 Sensibilidade de ninfas e adultos de <i>Brevipalpus yothersi</i> e <i>Panonychus citri</i> aos inseticidas	14
3.2 Efeito de inseticidas na fecundidade de <i>Brevipalpus yothersi</i> e <i>Panonychus citri</i>	18
3.3 Efeito de inseticidas na preferência de oviposição das fêmeas de <i>Brevipalpus yothersi</i> e <i>Panonychus citri</i>	20
4 DISCUSSÃO	22
5 CONCLUSÕES	27
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

A citricultura brasileira é de grande importância socioeconômica para o Brasil. O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de suco de laranja, com 398,35 milhões de caixas de 40,8 kg de laranja produzidos em 415.232 mil hectares (Fundo de Defesa da Citricultura, 2017), seguido por China, países da União Europeia, Estados Unidos, México, Egito e Turquia (FNP Consultoria & Comércio, 2017; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017). No Brasil, a produção de citros está concentrada principalmente no estado de São Paulo e sudoeste do Triângulo Mineiro. No entanto, outros estados como Bahia, Minas Gerais, Pará, Paraná e Rio Grande do Sul também contribuem para a produção nacional da fruta (Lopes et al., 2011). Por ser uma atividade que exige grande quantidade de mão de obra, especialmente durante a colheita, a citricultura exerce papel fundamental na oferta de aproximadamente 200 mil empregos diretos e indiretos e na geração de riquezas nos 349 municípios que compõem o principal cinturão citrícola (Neves & Trombin, 2017). Em 2017, a citricultura brasileira também contribuiu com US\$ 6,5 bilhões de dólares no produto interno bruto (PIB) e arrecadou cerca de US\$ 180 milhões em impostos para o país (Fundo de Defesa da Citricultura, 2017).

Apesar da grande importância socioeconômica, o desempenho da citricultura, assim como de qualquer outra atividade agrícola, está sujeito às variações temporais. Até meados da primeira década do século XXI, a produção citrícola esteve em expansão e depois entrou em um período de transição com grandes desafios (Erpen et al., 2018). O consumo internacional de suco de laranja, destino de 70% da laranja produzida no Brasil, diminuiu cerca de 19,4%, o que representa uma redução de aproximadamente 60 milhões de caixas de laranja por ano (Neves & Trombin, 2016). A queda no consumo de laranja e derivados interferiu negativamente na balança comercial da fruta, devido ao aumento dos estoques de suco nas indústrias e redução das exportações e no valor da fruta pago aos produtores (Boteon et al., 2015). Devido à redução na rentabilidade da cultura, parte dos produtores reduziram o investimento nas propriedades citrícolas e, outros ainda, migraram da citricultura para o cultivo de cereais, cana-de-açúcar e seringueira (Okuma & Fukugauto, 2013). Atualmente, o Brasil responde por 34% da produção de laranja (United States Department of Agriculture, 2018) e por 76% do mercado mundial de suco de laranja, consolidando-se como o mais importante fornecedor global desse produto (Neves & Trombin, 2017).

Além das variações na conjuntura socioeconômica, a incidência de pragas e doenças também afetam o crescimento, a produção e a rentabilidade da cultura (Andrade et al., 2014). Desde a introdução dos citros no Brasil, novas doenças e pragas foram introduzidas das regiões de origem e de outras partes do mundo. Além das doenças e pragas introduzidas, outras de ocorrência local, também se adaptaram e passaram a causar danos na cultura. De acordo com Parra et al. (2003), os citros é a cultura que possui o maior número de espécies de artrópodes que habitam e/ou colonizam as plantas, mas poucas delas causam grandes prejuízos econômicos. No entanto, com a expansão das áreas de cultivo, reconhecimento dos organismos presentes nos agroecossistemas, intensificação dos sistemas de produção e do controle de pragas, houve importantes alterações no status das pragas. Insetos que danificavam flores e/ou folhas [*Heliothrips haemorrhoidalis* (Bouché), *Frankliniella insularis* (Franklin), *Frankliniella condei* John e *Frankliniella fluvicornis* Moulton (Thysanoptera: Thripidae), *Macrodactylus affinis* Cast., *Macrodactylus pumilio* Burm. e *Macrodactylus suturalis* Mann. (Coleoptera: Scarabaeidae) e *Melipona ruficrus* (Latr.) (Hymenoptera: Apidae)] e frutos [*Schistocerca flavofaciata* De Geer (Orthoptera: Cyrtacanthacridae)] (Fonseca & Autuori, 1933) passaram a ser consideradas pragas de importância secundária, não exigindo a adoção de táticas específicas para seu controle (Parra et al., 2003).

Entretanto, espécies que apenas utilizavam as plantas cítricas como habitat passaram a ser consideradas pragas potenciais e/ou ocasionais. Nesse grupo estão os besouros de raiz, principalmente do gênero *Naupactus* Dejean (Coleoptera: Curculionidae) (Guedes et al., 2002), as cochonilhas pardinha *Selenaspidus articulatus* (Morgan) (Hemiptera: Diaspididae) (Nakano, 1985), parlatória *Parlatoria cinerea* Hadden (Hemiptera: Diaspididae), parlatória preta *Parlatoria ziziphus* (Lucas) (Hemiptera: Diaspididae) (Gravena, 2005) e *Unaspis citri* (Comstock) (Hemiptera: Diaspididae) (Guirado et al., 2003) e os ácaros fitófagos *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae) (Vieira & Chiavegato, 1999), *Panonychus citri* McGregor (Acari: Tetranychidae), *Tetranychus mexicanus* McGregor (Acari: Tetranychidae) e *Eutetranychus banksi* McGregor (Acari: Tetranychidae) (Lira et al., 2015; Alves et al., 2018). Por sua vez, outras espécies passaram de pragas de importância secundária para pragas chaves da cultura. Neste grupo incluem o complexo de cigarrinhas da família Cicadellidae, subfamília Cicadellinae e tribo Proconiini responsáveis pela sucção de seiva e transmissão da bactéria restrita ao xilema *Xylella fastidiosa* Wells et al. (Xanthomonadales: Xanthomonadaceae) agente causal da clorose variegada dos citros (CVC) (Yamamoto et al., 2002; Redak et al., 2004; Miranda et al., 2009), o psilídeo asiático dos citros *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) vetor das bactérias limitadas ao floema '*Candidatus*

Liberibacter asiaticus e '*Ca. L. americanus*' associadas ao huanglongbing (HLB) (Coletta-Filho et al., 2004; Teixeira et al., 2005; Bové, 2006), o pulgão preto *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Hemiptera: Aphididae) vetor do *Citrus tristeza virus* (CTV) causador da tristeza dos citros (Bassanezi et al., 2003) e o ácaro *Brevipalpus yothersi* Baker (Acari: Tenuipalpidae) vetor do vírus da leprose dos citros (Bastianel et al., 2010; Beard et al., 2015; Sánchez-Velázquez et al., 2015).

Até a constatação dos agentes causais da CVC, do HLB e do CTV, os danos causados por cigarrinhas, *D. citri* e *T. citricida* estavam associados exclusivamente a sucção de seiva e injeção de toxinas, deformações nas folhas jovens, abscisão foliar (Hoy & Nguyen, 2001; Paiva, 2009), secamento de brotos e desenvolvimento do fungo saprofítico *Capnodium citri* Berk & Desm. (Capnodiales: Capnodiaceae) (Halbert & Manjunath, 2004; Michaud, 2004), responsável pela formação da fumagina sobre as plantas, reduzindo não somente a capacidade fotossintética das plantas, mas também o potencial produtivo e a longevidade da cultura (Parra et al., 2003; Chiaradia et al., 2008). Entretanto, com a confirmação de que as cigarrinhas, o psílideo e o pulgão preto estavam associados a transmissão dos agentes causais da CVC, do HLB e do CTV para as plantas cítricas, respectivamente, novas estratégias de manejo de pragas foram incorporadas e passaram a ser utilizadas nos sistemas de produção. Entre as estratégias, o plantio de mudas saudáveis produzidas em ambientes protegidos e certificados, remoção das fontes de inóculo e controle dos insetos vetores foram as primeiras medidas adotadas para reduzir os níveis populacionais das pragas e a disseminação dessas doenças nos pomares cítricos (Belasque Junior. et al., 2010; Miranda et al., 2017). Dentre as táticas de supressão populacional de insetos vetores, a aplicação de inseticidas de amplo espectro (especialmente piretroides, organofosforados e neonicotinoides) tem sido a mais utilizada pelos produtores para conter o avanço da CVC (Yamamoto et al., 2000; Yamamoto et al., 2002), do HLB (Belasque Junior. et al., 2010; Sétamou et al., 2010; Boina & Bloomquist, 2015; Miranda et al., 2016) e do CTV (Yamamoto et al., 2000) nos sistemas de produção de citros.

Após a detecção das bactérias associadas ao HLB, aplicações de inseticidas para o controle de *D. citri* aumentou em cerca de 600% (Neves et al., 2011), passando de 2 a 4 para até 25 aplicações anuais (Belasque Júnior. et al., 2010). Apesar do controle químico ser uma tática indispensável para o manejo de *D. citri* e de outros insetos praga, o sucessivo uso de inseticidas pode reduzir os níveis populacionais dos inimigos naturais (Stark & Banks, 2003; Hall & Nguyen, 2010; Beloti et al., 2015; Morais et al., 2016; Zanardi et al., 2017) e acelerar o processo de seleção de populações de insetos que são resistentes aos ingredientes ativos

(Tiwari et al., 2011; Tiwari et al., 2012; Pardo et al., 2018). Além disso, o intenso uso desses compostos também pode favorecer a ressurgência e/ou ocorrência de surtos populacionais de pragas não alvo como ácaros fitófagos (Dutcher, 2007; Szczepaniec et al., 2011; Cordeiro et al., 2013; Guedes et al., 2016; Zanardi et al., 2018), o que aumenta os custos de produção e reduz a eficácia do método e a sustentabilidade ambiental do sistema (Croft, 1990). No Brasil, aumento nos níveis populacionais de ácaros praga após sucessivas aplicações de inseticidas piretroides e noenicotinoides tem sido observado em pomares comerciais de citros (Yamamoto & Zanardi, 2013; Zanardi et al., 2018). Entre os ácaros, *B. yothersi* e *P. citri* tem sido as espécies mais importantes e que demandam aplicações específicas de acaricidas para o controle.

O ácaro da leprose *B. yothersi* é uma espécie cosmopolita com ampla gama de plantas hospedeiras (Maia & Oliveira, 2005). Os adultos são de tamanho diminuto (medindo cerca de 0,3 mm de comprimento por 0,07 mm de largura), de coloração avermelhada e com a presença de manchas escuras na parte dorsal do idiossoma. As fêmeas depositam seus ovos preferencialmente em locais protegidos como fendas, partículas e poeira, frutos com lesões de verrugose e pequenas depressões (Bassanezi, 2018). Os ovos são de formato elíptico, de coloração alaranjado com 0,10 mm de comprimento e 0,06 mm de largura. O período de incubação dos ovos varia de 7,5 a 10,4 dias sob temperatura de 23 °C (Amaral, 2016), quando ocorre a eclosão das larvas que são de coloração alaranjada com três pares de pernas (Bassanezi, 2018). A duração do estágio imaturo varia de 21,8 a 24,0 dias, dependendo da temperatura, umidade relativa do ar, variedade e qualidade da planta hospedeira (Amaral et al., 2018). Ao emergirem, as fêmeas passam por um período de pré-oviposição de varia de 2,7 a 3,5 dias a 23 °C (Amaral et al., 2018). Em citros, as fêmeas depositam cerca de 21,0 ovos durante os 25 dias de sua longevidade (Amaral et al., 2018).

Tanto as formas jovens como os adultos colonizam as folhas, ramos e frutos das plantas cítricas. Apesar dos danos diretos serem desprezíveis, este ácaro é vetor do *Citrus leprosis virus* (Childers & Rodrigues, 2011; Beard et al., 2015; Roy et al., 2015; Sánchez-Velázquez et al., 2015), um vírus não-sistêmico que infecta ramos, folhas e frutos das plantas (Oomen, 1982). Ninfas e adultos são capazes de adquirir e transmitir o vírus para as plantas durante o processo de alimentação (Kitajima et al., 1972; Bastianel et al., 2006). Os sintomas da doença são caracterizados por lesões locais nos frutos, folhas e ramos. Em geral, os sintomas tornam-se visíveis a partir do décimo sétimo dia após a infecção do tecido vegetal (Chiavegato & Salibe, 1984). Nas folhas, as lesões formam manchas cloróticas, arredondadas, de 1 a 3 cm de diâmetro, tanto na face adaxial como na face abaxial, com ou sem centro

necrótico e com formação de goma no centro. Essas lesões aparecem com maior frequência próximo às nervuras e, quando em grande quantidade, provocam a queda das folhas (Locali et al., 2003). Nos frutos verdes, a princípio, as lesões são amareladas e, posteriormente, se tornam necróticas, marrons, lisas ou ligeiramente deprimidas, mais ou menos circulares, com 5 a 12 mm de diâmetro, com presença ocasional de rachaduras no centro e circundada por um halo amarelado (Bastianel et al., 2006; Bastianel et al., 2010). A medida que os frutos amadurecem, as lesões se tornam mais escuras e deprimidas e, dependendo da quantidade de lesões, principalmente próximas ao pedúnculo, provocam a queda prematura dos frutos. Nos ramos, as lesões iniciais são circulares e amareladas e, com o tempo, se tornam corticosas, salientes, acinzentadas, pardas ou mesmo avermelhadas. À medida que as lesões se coalescem nos ramos, a casca se rompe, ficando com aspecto de descamação que, ao atingir grandes áreas, provocam o secamento e morte dos ramos (Rossetti, 2001) e das plantas jovens (Bassanezi et al., 2002; Locali et al., 2003).

Apesar de ser um dos problemas fitossanitários mais antigos, a leprose dos citros ainda é considerada uma das doenças mais importantes da citricultura, tanto pelos danos provocados à cultura como pelo montante de recursos destinados para o seu controle. Após a sua constatação, em 1931, no município de Sorocaba, São Paulo (Bitancourt, 1934), a doença foi disseminada para as demais regiões do Estado e, com o passar dos anos e mudanças nas regiões de cultivo, a doença também foi lentamente espalhando para as novas regiões de plantio. Atualmente, a leprose pode ser constatada em todas as regiões produtoras de citros do estado de São Paulo, mas com menor incidência nas regiões Sul e Sudoeste e maior no centro, Norte e Noroeste (Bassanezi et al., 2014), provavelmente devido ao clima e aos períodos prolongados de estiagem que favorecem o aumento populacional do ácaro vetor (Bassanezi et al., 2002). Tanto a flutuação como a densidade populacional do ácaro da leprose podem ser influenciadas principalmente pelas estações do ano, condições climáticas, processos fenológicos das plantas e/ou interferências durante o cultivo, como colheita, poda e raleio de frutos (Bazzo, 2016) e uso incorreto de pesticidas (Vechia et al., 2018). Além disso, os níveis populacionais de *B. yothersi* nos frutos de laranja-doce tendem a ser maiores no período de 70 a 150 dias após o florescimento, com picos nos meses de janeiro e fevereiro. Nos ramos, os maiores níveis de infestação ocorrem preferencialmente durante os meses de agosto/setembro e a partir de março quando ocorre o processo de maturação dos frutos. Nas folhas, os níveis populacionais do ácaro têm sido relativamente baixos durante todo o ano (Rodrigues, 2000).

Além do ácaro da leprose, *P. citri* também tem sido considerado um dos principais ácaros tetraniquídeos dos citros (Gotoh et al., 2003; Lei et al., 2004; Kasap, 2009). Este ácaro

é originário da região sudeste da Ásia de onde se espalhou para quase todas as regiões produtoras de citros do mundo (Gotoh et al., 2003; Lei et al., 2004; Osakabe et al., 2005; Parra et al., 2005; Kasap, 2009). *P. citri* também possui mais de 110 plantas hospedeiras, incluindo roseira, plantas ornamentais, diversas olerícolas, amendoeira, mamoneira, macieira, pessegueiro, pereira, mamoeiro, videira, cafeeiro e citros (Migeon & Dorkeld 2018). As fêmeas do ácaro apresentam idiossoma de formato oval, volumoso, com aproximadamente 0,5 mm de comprimento, de coloração vermelho-púrpura, com longas setas dorsais inseridas em protuberâncias (Oliveira & Pattaro, 2008). O macho é de tamanho menor, de coloração mais clara e com o idiossoma mais afilado. Os ovos são de coloração vermelha, arredondados, achatados na parte superior e possuem um prolongamento que emerge do polo superior. O período de incubação dos ovos é de seis a sete dias a 25 °C (Kasap, 2009). Após este período, eclodem as larvas que são arredondadas, de coloração vermelha pálida com três pares de pernas. Nos estádios subsequentes (protoninfa e deutoninfa) as ninfas apresentam coloração escura com quatro pares de pernas. Nas fases de protocrisálida, deutocrisálida e teliocrisálida, o ácaro imobiliza-se para efetuar a ecdise. Cada estágio ninfal dura em média dois dias a 25 °C. O período ovo-adulto é de aproximadamente 12 dias (Kasap, 2009). O período de pré-oviposição é de aproximadamente um dia. A fecundidade média é de 50 ovos, com taxa de oviposição diária de 2,5 ovos (Oliveira & Pattaro, 2008). A longevidade média dos machos e das fêmeas é de 13 e 15 dias, respectivamente.

Tanto as formas imaturas quanto os adultos atacam as folhas, ramos e frutos. Os danos causados pelo ácaro são facilmente detectados pelos sintomas visualizados nas estruturas atacadas. No local do ataque do ácaro formam pontuações descoloridas, devido à morte das células, também conhecidas como “mosqueamento”. No estado de São Paulo, os maiores níveis populacionais do ácaro são observados durante os períodos secos e de temperaturas mais amenas (Rodrigues & Oliveira, 2005; Oliveira & Pattaro, 2008). Plantas altamente infestadas pelo ácaro podem apresentar queda de folhas e frutos e morte dos ponteiros devido não somente as injúrias causadas pelo ácaro durante o processo de alimentação, mas também pelo aumento nas taxas respiratória e de produção de etileno, o que diminui o potencial fotossintético, a produtividade e o vigor das plantas (Kranz et al., 1977). No Brasil, *P. citri* era considerado uma praga de importância secundária, mas nos últimos anos, sua população vem aumentando consideravelmente, exigindo muitas vezes, aplicações adicionais de acaricidas para seu controle (Yamamoto & Zanardi, 2013; Ribeiro et al., 2014; Alves et al., 2018).

Apesar dos fatores responsáveis pelo aumento populacional de *B. yothersi* e *P. citri* nos pomares cítricos serem pouco conhecidos, acredita-se que o uso intensivo de inseticidas

para o controle de insetos praga (especialmente *D. citri*) possa estar contribuindo para o crescimento populacional desses ácaros. Surtos populacionais de ácaros praga após aplicações de inseticidas tem sido frequentemente observados em diferentes culturas e agroecossistemas. Em citros, os primeiros casos de surtos populacionais de ácaros fitófagos foram registrados após a utilização dos primeiros piretroides sintéticos para o controle de insetos praga em Taiwan (Wu & Tao, 1977) e Califórnia (Jones & Parrella, 1984). Mais tarde, surtos de ácaros tetraniquídeos também foram relatados após pulverizações de inseticidas piretroides para o controle de *Frankliniella bispinosa* (Morgan) e *Frankliniella kellyae* Sakimura (Thysanoptera: Thripidae) em pomares de lima ácida ‘Tahiti’ [*Citrus latifolia* Tanaka (Sapindales: Rutaceae)] no sul da Flórida (Childers & Abou-Setta, 1999). Pulverizações de imidacloprido para o controle de *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Hemiptera: Aphididae) também proporcionou aumento populacional de ácaros em pomares de citros de Porto Rico (Gottwald et al., 2002) e da Califórnia (Grafton-Cardwell et al., 2008). Além dos citros, surtos populacionais de ácaros tetraniquídeos também foram observados em algodoeiro (Barros et al., 2007; Smith et al., 2013), soja (Costamagna et al., 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 & Kruschik, 2007) e árvores ornamentais urbanas (Raupp et al., 2004; Szczepaniec et al., 2011; Szczepaniec & Raupp, 2013; Prado et al., 2014).

Inicialmente, os surtos populacionais de ácaros fitófagos estavam associados a mortalidade dos inimigos naturais pelos inseticidas (Bartlett, 1968; Trichilo & Wilson, 1993; Childers & Abou-Setta, 1999; Yamamoto & Parra, 2005) e resistência dos ácaros aos acaricidas (Omoto et al., 2000). No entanto, estudos adicionais mostraram que outros mecanismos também podem estar envolvidos na ocorrência de surtos populacionais de ácaros fitófagos após aplicação de inseticidas. Entre os mecanismos, a melhoria nas condições nutricionais ou fisiológicas das plantas hospedeiras (trofobiose) proporcionada pelos inseticidas aplicados sistemicamente (Szczepaniec et al., 2013), insensibilidade dos ácaros aos inseticidas (Szczepaniec et al., 2011), aumento na dispersão e/ou repelência (Barros et al., 2007), alterações no comportamento de alimentação e oviposição (Hall & Thacker, 1993) e efeito hormese (James & Price, 2002; Guedes et al., 2009; Cordeiro et al., 2013; Cutler, 2013; Guedes & Cutler, 2014; Zanardi et al., 2018) tem sido os fatores determinantes para explicar os casos de surtos populacionais de ácaros após a aplicação de inseticidas. Hormese é um fenômeno caracterizado pelo comportamento bifásico na curva concentração-resposta, que implica ao organismo exposto a um determinado agente estressor, duas respostas biológicas, sendo uma estimulante e outra inibitória (Calabrese, 2004; Guedes et al., 2009; Kendig et al.,

2010; Cordeiro et al., 2013; Cutler, 2013; Guedes & Cutler, 2014). Este efeito foi relatado pela primeira vez em 1943, quando Southam & Ehrlich (1943) verificaram uma resposta bifásica em diferentes linhagens de fungos tratados com extratos de cedro vermelho [*Cedrela fissilis* Vell. (Sapindales: Meliaceae)]. A partir desta constatação, estudos envolvendo efeito hormese também foram realizados em diferentes organismos, incluindo efeito de produtos sintéticos e de origem botânica sobre fungos, bactérias, nematoides, insetos e ácaros praga e inimigos naturais de importância agrícola (Castagnoli et al., 2005; Calabrese & Blain, 2009; Kendig et al., 2010; Cordeiro et al., 2013; Barati & Hejazi, 2015; Zhan et al., 2015), radiação ionizante e estresse calórico para o tratamento de doenças em humanos e animais (Mattson & Cheng, 2006; Rattan et al., 2009; Crump et al., 2012) e antibióticos para aumentar a capacidade de multiplicação de bactérias pela indústria farmacêutica (Kendig et al., 2010).

Apesar dos mecanismos associados ao aumento populacional de ácaros após aplicações de inseticidas ter sido bem estudado para diversos organismos e inseticidas, poucos estudos foram realizados para demonstrar os efeitos dos inseticidas recomendados para o manejo de pragas dos citros sobre as alterações bioecológicas de *B. yothersi* e *P. citri* (Alves et al., 2018; Zanardi et al., 2018). Portanto, objetivou-se com este estudo, avaliar em condições laboratoriais, os efeitos de dois inseticidas amplamente utilizados para o manejo populacional de *D. citri* (bifentrina e dimetoato) e um inseticida recentemente registrado para o controle do psilídeo sobre os parâmetros bioecológicos associados ao aumento populacional de *B. yothersi* e *P. citri*. Os resultados deste estudo poderão contribuir não somente para o entendimento dos efeitos desses inseticidas sobre a densidade e dinâmica populacional de *B. yothersi* e *P. citri*, mas também para auxiliar na definição de futuras estratégias de manejo que visam reduzir os níveis populacionais e os danos causados pelos ácaros nos sistemas de produção de citros.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Ácaros

Para todos os bioensaios foram utilizados espécimes de *B. yotheri* e de *P. citri* provenientes de colônias mantidas por mais de 6 e 2 anos, respectivamente, em sala climatizada [temperatura de 25 ± 2 °C, umidade relativa do ar (UR) de $60 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 14L: 10E horas]. A colônia de *B. yotheri* foi fornecida pelo Laboratório de Acarologia do Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (FCAV/Unesp), Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Para o estabelecimento da colônia, espécimes de *B. yotheri* foram coletados em frutos de laranjeira-doce 'Pera' [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck (Sapindales: Rutaceae)] enxertadas sobre limoeiro 'Cravo' [*Citrus limonia* Osbeck (Sapindales: Rutaceae)] em um pomar experimental mantidos sem aplicação de agrotóxicos por aproximadamente 12 meses antes da coleta dos ácaros. Os ácaros foram criados sobre frutos de laranjeira-doce 'Pera' parcialmente revestidos com parafina para reduzir o processo de desidratação dos frutos. Além disso, uma área de aproximadamente 10 cm² foi mantido sem parafina e circundado com cola entomológica (Tree Tanglefoot[®] Insect Barrier, The Scotts Company LLC, Oxford, England) para evitar a fuga dos ácaros (Chiavegato, 1986). Os frutos utilizados na criação de *B. yotheri* foram substituídos a cada 21 dias ou quando iniciavam o processo de desidratação. Para isso, as áreas sem parafina dos frutos com ácaros foram colocadas em contato com as áreas sem parafina dos frutos sem ácaro para permitir a migração voluntária dos espécimes.

Para *P. citri*, a colônia foi estabelecida a partir de espécimes coletados em plantas de laranjeira-doce 'Pera' enxertadas sobre limoeiro 'Cravo' cultivadas em casa de vegetação no Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus), Araraquara, São Paulo, Brasil. Para criação do ácaro, folhas maduras de laranjeira-doce 'Pera' foram colocadas com a face adaxial voltada para cima sobre uma camada de espuma umedecida com água destilada em bandejas plásticas (60 × 40 × 10 cm de comprimento, largura e altura, respectivamente) seguindo o mesmo procedimento descrito por Ribeiro et al. (2014). Tiras de algodão hidrófilo umedecido foram colocadas nas bordas das folhas para manutenção da sua turgescência e impedir a fuga dos ácaros. As folhas foram substituídas a cada sete dias. Para isso, folhas maduras de laranjeira-

doce ‘Pera’ com ácaros foram cortadas (3 a 4 cm²) e colocadas sobre as folhas novas para facilitar a migração voluntária dos ácaros.

2.2 Inseticidas

Para os bioensaios foram utilizados três inseticidas comerciais registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (Agrofit, 2018) e autorizados pelo sistema de produção integrada dos citros (PCitrus) para o manejo de *D. citri* na cultura (<http://www.fundecitrus.com.br/listapic>). Os inseticidas, concentração de campo [em miligramas de ingrediente ativo por litro de água (mg L⁻¹)], produto comercial, mecanismo de ação e subgrupo químico (Sparks & Nauen, 2015; Insecticide Resistance Action Committee, 2018) utilizados foram: bifentrina 15 mg L⁻¹ (Talstar 100 EC, FMC Química do Brasil Ltda., Campinas, São Paulo, Brasil), modulador dos canais de sódio (3A); dimetoato 600 mg L⁻¹ (Agritoato 400 EC, Nufarm Indústria Química e Farmacêutica S.A., Maracanaú, Ceará, Brasil), inibidor da acetilcolinesterase (1B); flupiradifurone 50 mg L⁻¹ (Sivanto Prime 200 SL, Bayer CropScience S.A., São Paulo, São Paulo, Brasil), modulador dos receptores nicotínicos da acetilcolina (nAChRs) (4D). Água destilada foi utilizada como tratamento controle.

2.3 Bioensaios

Estudos preliminares foram realizados para estimar a amplitude de concentrações capazes de induzir mortalidade de 0 (zero) a 100% de cada espécie e estágio de desenvolvimento dos ácaros. Posteriormente, os níveis de sensibilidade de cada espécie e estágio de desenvolvimento dos ácaros determinados utilizando diferentes concentrações de cada inseticida. Todos os bioensaios foram realizados em sala climatizada com temperatura de 25 ± 2 °C, UR de 60 ± 10% e fotoperíodo de 14L: 10E horas.

2.3.1 Sensibilidade de ninfas e fêmeas adultas de *Brevipalpus yothersi* e *Panonychus citri* aos inseticidas

Para avaliar a sensibilidade de ninfas e fêmeas adultas de *B. yothersi* e *P. citri* aos inseticidas, folhas de laranja-doce ‘Pera’ foram pulverizadas com 2 mL de solução de uma das concentrações em torre de Potter (Burkard Scientific Ltda., Uxbridge, Reino Unido)

ajustada à pressão de $0,703 \text{ kg cm}^{-2}$, propiciando uma deposição de $1,8 \pm 0,1 \text{ mg}$ de resíduo fresco por cm^2 de folha. Para ambas as espécies de ácaro, os inseticidas foram testados nas concentrações correspondentes a 6,25; 12,5; 25; 50; 100; 200 e 400% da concentração de campo recomendada para o manejo de pragas dos citros (item 2.2). Após a pulverização, as folhas foram mantidas em sala climatizada por três horas para a secagem dos resíduos. Decorrido esse período, unidades experimentais (5 cm de diâmetro) foram delimitadas com cola entomológica ou discos de algodão hidrófilo colocados sobre a face adaxial das folhas e utilizado como barreira para contenção das ninfas ou fêmeas adultas de *B. yothersi* ou *P. citri*, respectivamente. As folhas foram colocadas sobre uma camada de espuma umedecida com água destilada em bandejas plásticas ($29 \times 21 \times 6 \text{ cm}$ de comprimento, largura e altura, respectivamente). Feito isso, 10 ninfas (~ 72 horas de idade) ou fêmeas adultas (~ 48 horas de idade) de *B. yothersi* ou *P. citri* foram transferidas da colônia mantida em laboratório para cada unidade experimental. Para cada nível de tratamento (concentração) e estágio de desenvolvimento dos ácaros (ninfas ou fêmeas adultas) foram utilizadas 10 repetições e o bioensaio foi repetido três vezes ao longo do tempo. As unidades experimentais foram mantidas em sala climatizada conforme descrito no item 2.3. A mortalidade de ninfas ou fêmeas adultas foi avaliada a cada 24 horas durante sete dias, utilizando um estereomicroscópio binocular (Carl Zeiss do Brasil Ltda., Jurubatuba, São Paulo, Brasil) com aumento de 40x. Foram consideradas mortas as ninfas ou fêmeas adultas que não apresentavam reação ao toque de um pincel fino. As ninfas ou fêmeas adultas de *B. yothersi* ou *P. citri* que ficaram aprisionadas na cola entomológica ou nos discos de algodão hidrófilo não foram utilizadas nas análises. Com base nos dados de mortalidade de ninfas ou fêmeas adultas em cada tratamento, as CL_{10} , CL_{20} , CL_{30} , CL_{40} , CL_{50} , CL_{60} , CL_{70} e CL_{80} (concentração capaz de causar mortalidade de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80% da população testada, respectivamente) foram estimadas para cada espécie e estágio de desenvolvimento dos ácaros.

2.3.2 Efeito de inseticidas na reprodução de *Brevipalpus yothersi* e *Panonychus citri*

Para avaliar o efeito dos inseticidas na reprodução das fêmeas de *B. yothersi* e *P. citri*, folhas de laranjeira-doce 'Valência' foram pulverizadas com 2 mL de solução em torre de Potter utilizando uma das CL_{10} , CL_{20} , CL_{30} , CL_{40} e CL_{50} previamente estimadas para fêmeas adultas (item 3.3.1). Após a pulverização, as folhas foram mantidas por três horas em sala

climatizada para secagem dos resíduos. Decorrido esse período, unidades experimentais foram feitas conforme descrito no item 3.3.1. Feito isso, 10 fêmeas recém-emergidas (~ 24 horas de idade) de *B. yothersi* ou *P. citri* foram transferidas da colônia mantida em laboratório para cada unidade experimental. Para cada tratamento (CL) e espécie de ácaro foram utilizadas 10 repetições e o bioensaio foi repetido três vezes ao longo do tempo. A mortalidade e o número de ovos depositados pelas fêmeas em cada unidade experimental foram avaliados a cada 24 horas por sete dias, utilizando um estereomicroscópio binocular com aumento de 40x. Fêmeas que não apresentaram reação ao toque de um pincel fino foram consideradas mortas. A capacidade reprodutiva das fêmeas de *B. yothersi* e *P. citri* foi determinada com base na razão do número total de ovos depositados pelas fêmeas e o número de fêmeas vivas obtidos em cada unidade experimental durante todo o período de avaliação. As fêmeas que ficaram aprisionadas na cola entomológica ou na barreira de algodão não foram consideradas nas análises.

2.3.3 Efeito de inseticidas na preferência de oviposição de fêmeas de *Brevipalpus yothersi* e *Panonychus citri*

O efeito dos inseticidas na preferência de oviposição das fêmeas de *B. yothersi* ou *P. citri* foi avaliada em condições laboratoriais utilizando o método descrito por Antonious & Snyder (2015). Para isso, discos de folhas de laranjeira-doce 'Pera' de 5 cm de diâmetro foram utilizados como substrato para aplicação dos tratamentos. Feito isso, uma linha foi demarcada no centro de cada disco foliar, dividindo-o em duas seções simétricas. Além disso, duas linhas paralelas foram demarcadas lateralmente a uma distância de 2 mm da linha central. Uma das seções do disco foliar foi pulverizada com 2 mL de solução de uma das CL₁₀, CL₂₀, CL₃₀, CL₄₀ e CL₅₀ estimadas previamente (item 2.3.1), enquanto que, a outra seção foi pulverizada com 2 mL de água destilada e utilizada como tratamento controle. A seção localizada entre as duas linhas laterais não recebeu nenhum tratamento. Após a aplicação, os discos foliares foram mantidos em sala climatizada por três horas para a secagem dos resíduos. Decorrido este período, unidades experimentais foram feitas conforme descrito no item 2.3.1. Feito isso, 10 fêmeas de *B. yothersi* ou *P. citri* (48–72 horas de idade) foram liberadas no centro e sobre a linha central dos discos foliares. Para cada tratamento e espécie de ácaro foram utilizadas 10 repetições. O número de ovos depositados em cada seção dos discos foliares foram contados 48 horas após a liberação das fêmeas. Os ovos depositados entre as linhas laterais foram desconsiderados das análises. Com base no número de ovos

depositados em cada seção dos discos foliares, a preferência de oviposição de cada espécie de ácaro foi determinada.

2.4 Delineamento experimental e análise dos dados

Todos os bioensaios foram realizados utilizando delineamento inteiramente aleatorizado. Para estimativa das concentrações letais (CLs) 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). Os dados de proporção (mortalidade de fêmeas adultas – bioensaio 2.3.2) e de contagem (número de ovos depositados pelas fêmeas sobreviventes – bioensaio 2.3.2) foram analisados utilizando modelos lineares generalizados (GLM) (Nelder & Wedderburn, 1972) com distribuição do tipo quase-binomial e quase-Poisson, respectivamente. A verificação da qualidade do ajuste foi feita pelo gráfico meio-normal de probabilidades com envelope de simulação (Demétrio et al., 2014). Quando houve diferença significativa entre os tratamentos, comparações múltiplas (teste de Tukey, $P < 0,05$) foram feitas por meio da função “*glht*” do pacote “*multcomp*” com ajuste dos valores de P . Para análise dos dados de preferência de oviposição dos ácaros (bioensaio 2.3.3), o número de ovos depositados pelas fêmeas em cada seção da arena foi transformado em porcentagem e os dados originais analisados por meio de GLM com distribuição do tipo quase-Poisson e as médias comparadas pelo teste t ($P < 0,05$). Todas as análises foram realizadas no software estatístico “*R*”, versão 3.3.4 (R Development Core Team, 2018).

3 RESULTADOS

3.1 Sensibilidade de ninfas e adultos de *Brevipalpus yothersi* e *Panonychus citri* aos inseticidas

Os resultados indicaram que ambas as espécies de ácaros (*B. yothersi* e *P. citri*) e estágios de desenvolvimento (ninfas e fêmeas adultas) foram sensíveis aos inseticidas bifentrina, dimetoato e flupiradifurone, sendo os níveis de sensibilidade dependentes da concentração e do estágio de desenvolvimento dos ácaros expostos aos inseticidas (Tabela 1 e 2). A estimativa das concentrações letais (CLs) dos inseticidas bifentrina e flupiradifurone indicou que as concentrações de campo recomendadas para o manejo de *D. citri* (15 e 50 mg L⁻¹) induziram mortalidade de 45 a 55% das ninfas de *B. yothersi* e *P. citri* (Tabela 1). Entretanto, a utilização de dimetoato na concentração de campo (600 mg L⁻¹) proporcionou mortalidade de aproximadamente 50 e 70% das ninfas de *B. yothersi* e *P. citri*, respectivamente (Tabela 1). Em fêmeas adultas, a aplicação de bifentrina e flupiradifurone nas concentrações de campo causou mortalidade de 40 a 50% dos ácaros (Tabela 2). Por outro lado, a aplicação de dimetoato na concentração de 600 mg L⁻¹ (concentração de campo) proporcionou mortalidade de 40 a 55% das fêmeas de *B. yothersi* e *P. citri*, respectivamente (Tabela 2). Considerando os níveis de sensibilidade entre os estágios de desenvolvimento testados, as ninfas de *B. yothersi* e *P. citri* foram de 1,31 a 2,14 vezes mais sensíveis aos inseticidas do que fêmeas adultas (Tabela 3).

Tabela 1. Estimativa das concentrações letais (CLs) e do intervalo de confiança (IC a 95% de probabilidade de erro) de inseticidas para ninfas de *Brevipalpus yotheresi* e *Panonychus citri*, sete dias após a exposição dos ácaros aos resíduos.

Mortalidade (%)	Concentração letal [CLs (IC) (em mg L ⁻¹)]														
	Bifentrina				Dimetoato				Flupiradifurone						
	<i>Brevipalpus yotheresi</i>	<i>Panonychus citri</i>	<i>Brevipalpus yotheresi</i>	<i>Panonychus citri</i>	<i>Brevipalpus yotheresi</i>	<i>Panonychus citri</i>	<i>Brevipalpus yotheresi</i>	<i>Panonychus citri</i>	<i>Brevipalpus yotheresi</i>	<i>Panonychus citri</i>	<i>Brevipalpus yotheresi</i>	<i>Panonychus citri</i>			
10	1,9 (0,9-3,2)	3,9 (1,7-6,0)	87,1 (60,4-115,3)	54,9 (23,8-100,4)	8,6 (6,0-11,3)	6,9 (3,0-11,8)	3,8 (2,1-5,7)	6,8 (2,9-8,0)	160,2 (121,9-199,0)	91,5 (40,3-156,2)	15,8 (12,2-19,6)	15,3 (9,0-21,3)			
20	6,2 (3,8-8,6)	7,4 (4,3-9,9)	248,4 (200,0-298,6)	132,3 (62,6-216,4)	24,6 (19,9-29,4)	21,5 (14,0-31,5)	9,4 (6,4-12,4)	9,2 (6,0-12,2)	361,5 (300,8-428,4)	181,2 (93,1-289,3)	35,8 (30,0-42,3)	32,8 (22,5-40,6)			
30	13,9 (10,2-17,8)	11,4 (8,0-14,9)	513,2 (433,1-610,9)	243,1 (135,0-386,0)	50,9 (43,1-60,5)	45,5 (35,1-52,6)	20,6 (16,0-26,0)	14,1 (10,5-18,6)	728,7 (612,2-887,1)	326,3 (193,4-527,1)	72,4 (60,9-88,1)	61,9 (50,1-73,4)			
40	31,3 (24,7-40,6)	17,7 (13,5-24,3)	1060,0 (872,2-1344,0)	446,9 (277,3-759,7)	105,4 (86,9-133,6)	88,8 (70,4-113,9)	51,0 (39,5-71,4)	23,0 (17,5-34,6)	1645,0 (1302,0-2215,0)	645,9 (406,5-1118,0)	163,7 (129,7-220,4)	139,1 (108,5-165,2)			
¹ N	2085	2091	2100	2088	2097	2100	<i>Slope</i> ± EP	1,49 ± 0,17	($< 0,0001$)	1,66 ± 0,13	($< 0,0001$)	1,98 ± 0,27	($< 0,0001$)	0,0001	0,0001
χ^2	2,90	8,95	0,70	9,70	6,85	1,40	(Valor de P)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
g.l.	5	5	5	5	5	5	χ^2	2,90	8,95	0,70	9,70	6,85	1,40	5	5
² h	0,58	1,79	0,14	1,94	1,37	0,28	² h	0,58	1,79	0,14	1,94	1,37	0,28	0,58	0,28

¹N: número de ácaros testados; χ^2 : Teste de qui-quadrado de Pearson; g.l.: graus de liberdade; ²h: fator de heterogeneidade.

Tabela 2. Estimativa das concentrações letais (CLs) e do intervalo de confiança (IC a 95% de probabilidade de erro) de inseticidas para fêmeas adultas de *Brevipalpus yothersi* e *Panonychus citri*, sete dias após a exposição dos ácaros aos resíduos.

Mortalidade (%)	Concentração letal [CLs (IC) (em mg L ⁻¹)]									
	Bifentrina		Dimetoato				Flupiradifurone			
	<i>Brevipalpus yothersi</i>	<i>Panonychus citri</i>	<i>Brevipalpus yothersi</i>	<i>Panonychus citri</i>	<i>Brevipalpus yothersi</i>	<i>Panonychus citri</i>	<i>Brevipalpus yothersi</i>	<i>Panonychus citri</i>		
10	3,3 (1,7-5,0)	2,8 (1,9-3,8)	137,0 (93,6-181,7)	68,6 (37,5-106,2)	9,8 (6,5-13,2)	6,5 (2,6-11,9)				
20	5,9 (3,6-8,2)	5,7 (4,3-7,2)	255,0 (193,9-316,4)	137,5 (86,1-195,3)	19,6 (14,8-24,6)	15,0 (7,6-24,0)				
30	9,1 (6,2-11,7)	9,5 (7,6-11,5)	399,2 (322,3-480,2)	227,1 (155,0-306,2)	32,5 (26,1-39,4)	27,3 (15,9-40,5)				
40	13,0 (9,8-16,0)	14,6 (12,0-17,6)	585,4 (487,0-700,6)	348,5 (353,2-454,9)	50,1 (41,4-60,5)	45,6 (29,5-64,6)				
50	18,2 (14,7-21,9)	21,8 (18,0-26,9)	837,3 (699,7-1021,0)	520,2 (394,6-668,8)	74,9 (61,9-92,8)	73,7 (51,1-102,6)				
60	25,5 (21,2-31,0)	32,6 (26,5-42,0)	1198,0 (985,0-1518,0)	776,4 (602,6-1003,0)	112,1 (90,6-145,4)	119,1 (85,3-169,2)				
70	36,7 (30,3-46,9)	50,1 (39,2-68,9)	1756,0 (1399,0-2357,0)	1192,0 (924,8-1587,0)	172,5 (134,1-239,0)	198,8 (141,6-301,3)				
80	55,9 (44,2-79,0)	83,0 (61,4-124,3)	2749,0 (2084,0-3989,0)	1968,0 (1486,0-2778,0)	285,6 (209,8-432,4)	362,4 (245,6-617,2)				
¹ N	2100	2097	2091	2079	2100	2094				
<i>Slope</i> ± EP	1,5 ± 0,17	<	1,66 ± 0,13	1,98 ± 0,27	<	1,63 ± 0,19	<			
(Valor de <i>P</i>)	0,0001	(< 0,0001)	(< 0,0001)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001			
χ^2	3,75	4,35	4,90	9,80	8,30	9,55				
g.l.	5	5	5	5	5	5				
² h	0,75	0,87	0,98	1,96	1,66	1,91				

¹N: número de ácaros testados; χ^2 : Teste de qui-quadrado de Pearson; g.l.: graus de liberdade; ²h: fator de heterogeneidade.

Tabela 3. Sensibilidade diferencial de *Brevipalpus yothersi* e *Panonychus citri* aos inseticidas bifentrina, dimetoato e flupiradifurone com base na estimativa da concentração letal média (CL₅₀) estimada após sete dias de exposição dos ácaros aos resíduos.

Inseticida	Espécie	Estágio de desenvolvimento	N ¹	Slope ± EP (valor de P)	CL ₅₀ (IC) ²	χ ²	g.l. ³	H ⁴	RS ⁵
Bifentrina	<i>Brevipalpus yothersi</i>	Ninfa	2085	1,49 ± 0,17 (< 0,0001)	13,9 (10,2-17,8)	2,30	4	0,58	1,31
		Adulto	2100	1,45 ± 0,13 (< 0,0001)	18,2 (14,7-21,9)	3,00	4	0,75	-
	<i>Panonychus citri</i>	Ninfa	2091	2,77 ± 0,37 (< 0,0001)	11,4 (8,0-14,9)	7,16	4	1,79	1,91
		Adulto	2097	1,73 ± 0,22 (< 0,0001)	21,8 (18,0-26,9)	3,48	4	0,87	-
Dimetoato	<i>Brevipalpus yothersi</i>	Ninfa	2100	1,66 ± 0,13 (< 0,0001)	513,2 (433,1-610,9)	3,92	4	0,98	1,63
		Adulto	2096	1,63 ± 0,15 (< 0,0001)	837,3 (699,7-1021,0)	0,54	4	0,14	-
	<i>Panonychus citri</i>	Ninfa	2088	1,98 ± 0,27 (< 0,0001)	243,1 (135,0-386,0)	7,86	4	1,96	2,14
		Adulto	2079	1,46 ± 0,14 (< 0,0001)	520,2 (394,6-668,8)	7,77	4	1,94	-
Flupiradifurone	<i>Brevipalpus yothersi</i>	Ninfa	2097	1,66 ± 0,13 (< 0,0001)	50,9 (43,1-60,5)	5,46	4	1,37	1,47
		Adulto	2100	1,45 ± 0,13 (< 0,0001)	74,9 (61,9-92,8)	6,68	4	1,66	-
	<i>Panonychus citri</i>	Ninfa	2100	1,63 ± 0,19 (< 0,0001)	45,5 (35,1-52,6)	1,11	4	0,28	1,74
		Adulto	2094	1,22 ± 0,14 (< 0,0001)	73,7 (51,1-102,6)	7,65	4	1,91	-

¹N: número de ácaros testados; ²IC: intervalo de confiança a 95% de probabilidade de erro; ³χ²: Teste de qui-quadrado de Pearson; ⁴g.l.: graus de liberdade; ⁵h: fator de heterogeneidade; ⁶RS: razão de sensibilidade [RS = CL₅₀ do estágio adulto (- sensível)/CL₅₀ do estágio ninfa (+ sensível)].

3.2 Efeito de inseticidas na fecundidade de *Brevipalpus yothersi* e *Panonychus citri*

Para *B. yothersi*, um significativo efeito hormese foi observado em fêmeas expostas as baixas concentrações de bifentrina ($F = 37,000$; $g.l. = 6, 54$; $P < 0,0001$) (Figura 1A). A aplicação de bifentrina na concentração capaz de matar 10% das fêmeas ($CL_{10} = 3,3 \text{ mg L}^{-1}$, concentração equivalente a 22,0% da concentração de campo) proporcionou aumento de 28,6% na capacidade reprodutiva das fêmeas em relação ao tratamento controle (Figura 1A). No entanto, fêmeas expostas a $CL_{50} = 18,2 \text{ mg L}^{-1}$ (ou 121,3% da concentração de campo) produziram 36,0% menos ovos do que as fêmeas controle (Figura 1A). Por outro lado, dimetoato e flupiradifurone aplicados nas concentrações correspondentes as CL_{10} , CL_{20} , CL_{30} , CL_{40} e CL_{50} não induziram efeito hormese para fêmeas de *B. yothersi*. No entanto, redução na fecundidade de 13,3 a 28,0% foi observado em fêmeas expostas as concentrações correspondentes as CL_{40} e CL_{50} dos inseticidas dimetoato ($F = 9,427$; $g.l. = 6, 54$; $P < 0,0001$) (Figura 1B) e flupiradifurone ($F = 16,180$; $g.l. = 6, 54$; $P < 0,0001$) (Figuras 1C), diferindo daquelas expostas ao tratamento controle.

Da mesma forma, um significativo efeito hormese foi observado para fêmeas de *P. citri* expostas as menores concentrações de bifentrina ($F = 45,880$; $g.l. = 6, 54$; $P < 0,0001$) (Figura 1D). A aplicação de bifentrina na concentração de correspondente a $CL_{10} = 2,8 \text{ mg L}^{-1}$ ou 18,7% da concentração de campo) estimulou as fêmeas a aumentar sua capacidade reprodutiva em 28,2% em relação as fêmeas controle (Figura 1D). Entretanto, redução de 12,0 a 30,9% na fecundidade foi observada em fêmeas tratadas com bifentrina nas concentrações de 9,5, 14,6 e 21,8 mg L^{-1} correspondentes as CL_{30} , CL_{40} e CL_{50} ou 63,3, 97,3 e 145,3% da concentração de campo, respectivamente (Figura 1D). A aplicação de dimetoato nas concentrações capazes de matar 10, 20, 30, 40 e 50% das fêmeas não induziu efeito hormese para fêmeas de *P. citri* (Figura 1E). Além disso, fêmeas tratadas com dimetoato nas concentrações correspondentes a CL_{40} e CL_{50} reduziram em 17,3 e 42,8% o número de ovos depositados pelas fêmeas, diferindo das fêmeas expostas ao tratamento controle ($F = 45,020$; $g.l. = 6, 54$; $P < 0,0001$) (Figura 1 E). Um significativo efeito hormese também foi observado para fêmeas de *P. citri* tratadas com flupiradifurone ($F = 45,020$; $g.l. = 6, 54$; $P < 0,0001$) (Figura 1F). A maior fecundidade (13,3%) foi observada em fêmeas tratadas com flupiradifurone na concentração correspondente a 30,0% da concentração de campo ($CL_{20} = 15,0 \text{ mg L}^{-1}$) (Figura 1F). Entretanto, fêmeas tratadas com flupiradifurone nas concentrações correspondentes as CL_{40} e CL_{50} ou 91,2 e 147,4% da concentração de campo, produziram 14,6 e 28,4% menos ovos do que as fêmeas controle (Figura 1F).

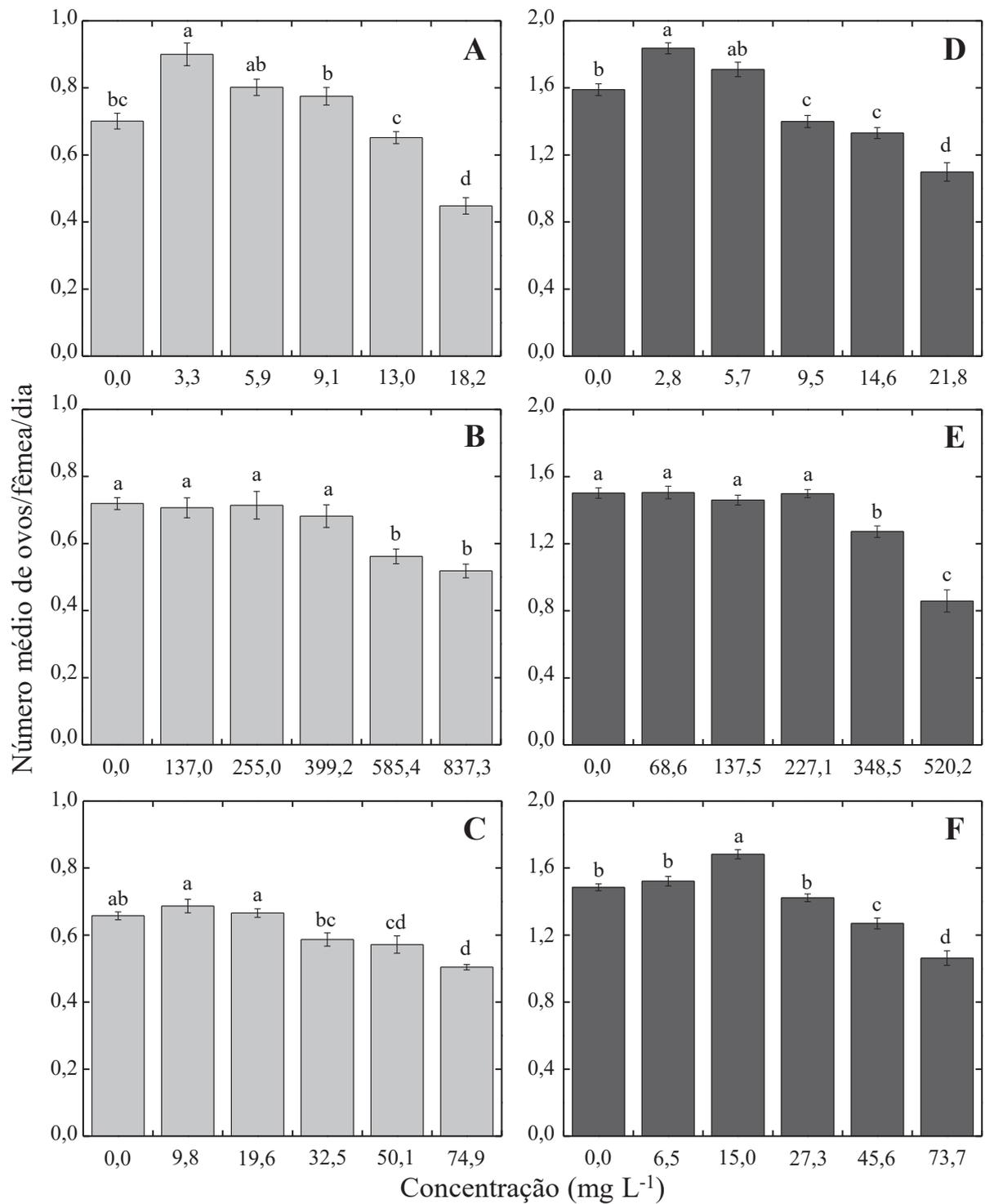


Figura 1. Fecundidade média diária de *Brevipalpus yothersi* (colunas em cinza claro) e *Panonychus citri* (colunas em cinza escura) expostas aos resíduos de bifentrina (A e D), dimetoato (B e E) e flupiradifurone (C e F). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente (GLM com distribuição quase-Poisson, seguido por *post hoc* do teste de Tukey; $P < 0,05$).

3.3 Efeito de inseticidas na preferência de oviposição de *Brevipalpus yothersi* e *Panonychus citri*

No bioensaio realizado para avaliar a preferência de oviposição, a aplicação de bifentrina nas concentrações correspondentes as CL₄₀ e CL₅₀ causaram uma redução significativa no número de ovos depositados pelas fêmeas de *B. yothersi* [$t = 2,06$; $g.l. = 1, 9$; $P < 0,0001$ (Figura 2A)] e *P. citri* [$t = 3,012$; $g.l. = 1, 9$; $P < 0,0001$ (Figura 2D)] sobre as superfícies tratadas. Por outro lado, nenhuma das concentrações de dimetoato e flupiradifurone testadas causaram alteração significativa no comportamento de oviposição das fêmeas de *B. yothersi* [$t = -0,331$; $g.l. = 1, 9$; $P = 0,4081$ (Figura 2B) e $t = -0,530$; $g.l. = 1, 9$; $P = 0,3632$ (Figura 2C)] e *P. citri* [$t = -0,997$; $g.l. = 1, 9$; $P = 0,6559$ (Figura 2E) e $t = -1,093$; $g.l. = 1, 9$; $P = 0,6743$ (Figura 2F)] e foram similares ao tratamento controle.

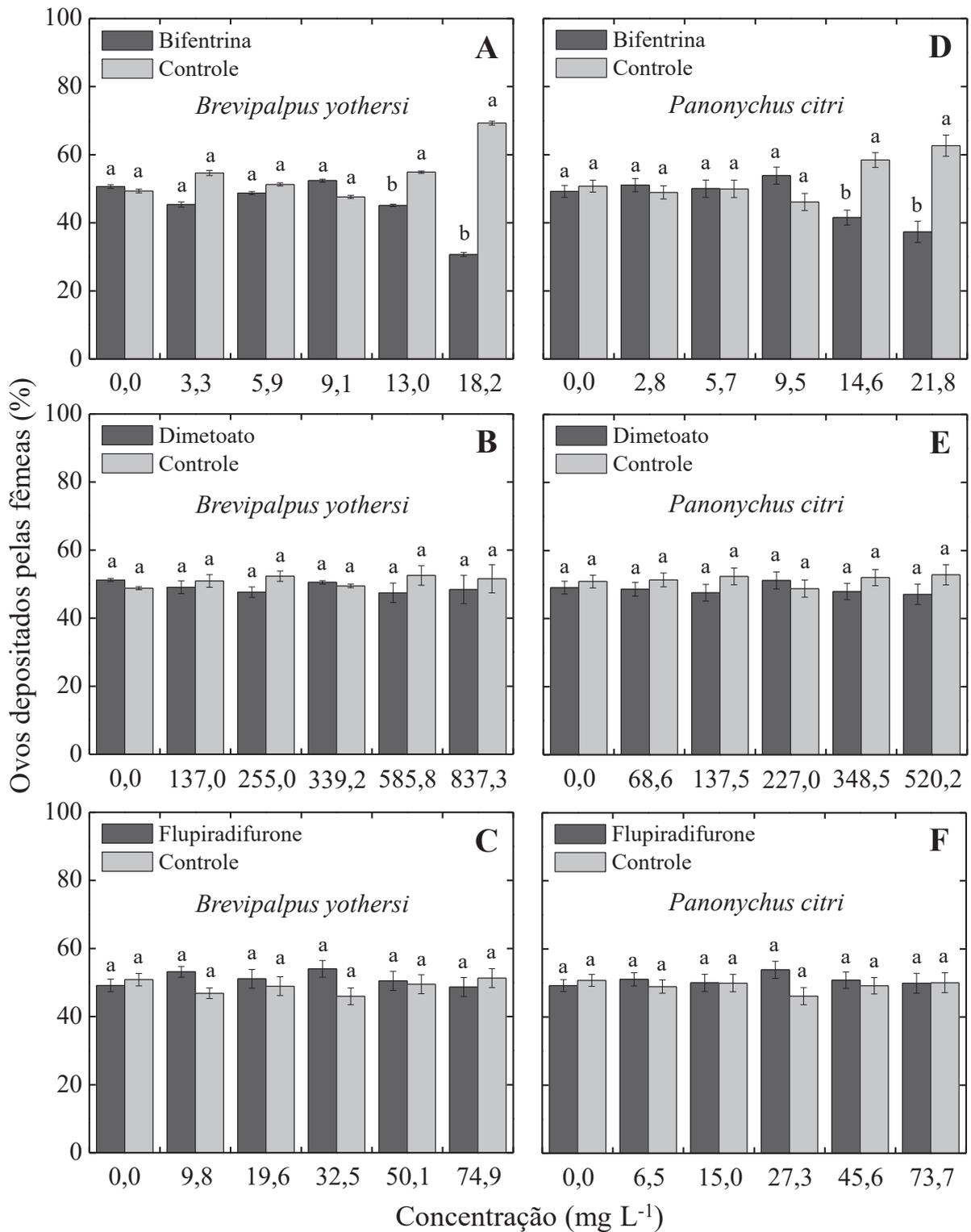


Figura 2. Preferência de oviposição de *Brevipalpus yothersi* e *Panonychus citri* quando fêmeas foram expostas aos resíduos de bifentrina (A e D), dimetoato (B e E) e flupiradifurone (C e F). Médias seguidas pela mesma letra em cada concentração não diferem significativamente (GLM com distribuição quase-Poisson, seguido por *post hoc* do teste *t*; $P < 0,05$).

4 DISCUSSÃO

O controle químico constitui a principal tática de supressão populacional de insetos praga que causam danos as plantas cítricas. Apesar da alta eficácia, o intenso uso desses compostos pode alterar não somente a densidade e a dinâmica populacional dos insetos que colonizam as plantas cítricas, mas também o equilíbrio e as relações ecológicas dos outros organismos que habitam os sistemas de produção citrícola. Neste estudo, as alterações bioecológicas associadas ao aumento populacional dos ácaros fitófagos *B. yothersi* e *P. citri* após a aplicação de inseticidas foram investigados em condições laboratoriais. Os resultados mostraram que aplicações de bifentrina visando o controle de *D. citri* podem favorecer a ocorrência de surtos populacionais de *B. yothersi* e *P. citri*. Da mesma forma, o sucessivo uso de flupiradifurone também pode estimular o crescimento populacional de *P. citri* e afetar negativamente os programas de manejo integrado de pragas nos pomares cítricos. Vale ressaltar que bifentrina é um inseticida que também possui atividade acaricida e, por isso, pode ser utilizado como alternativa aos tradicionais acaricidas para o manejo de ácaros praga. No entanto, a atividade acaricida deste inseticida é alcançada quando este composto é utilizado em concentrações que variam de 1 a 2 vezes e volume de calda de 3 a 4 vezes maiores àquelas utilizadas para o manejo de *D. citri* (Scapin & Ramos, 2017). Bifentrina é um piretroide que atua basicamente por contato e não possui ação sistêmica na planta. Por isso, este inseticida tem sido utilizado para o manejo de pragas que colonizam a parte externa da copa das plantas (ex.: *D. citri*), local onde há maior cobertura/deposição do produto durante a pulverização (Ramos et al., 2007). Por essas razões e pelo fato de *B. yothersi* e *P. citri* colonizarem folhas, ramos e frutos das plantas (incluindo àquelas localizadas no interior da copa), esses inseticidas têm sido pouco utilizados como acaricidas para o controle de ácaros praga.

Apesar de alguns estudos reportarem a baixa sensibilidade ou insensibilidade dos ácaros aos inseticidas como mecanismos para explicar o aumento populacional de ácaros fitófagos após a aplicação de inseticidas (Oliveira, 1998; Szczepaniec et al., 2011), os resultados deste estudo mostraram que ninfas e fêmeas adultas de *B. yothersi* e *P. citri* são sensíveis aos inseticidas bifentrina, dimetoato e flupiradifurone. Entre os estágios de desenvolvimento avaliados, as ninfas foram de 1,31 a 2,14 vezes mais sensíveis aos inseticidas bifentrina, dimetoato e flupiradifurone do que fêmeas adultas. Esses resultados corroboram os obtidos por Holland & Chapman (1994) e Oliveira (1998) que revelaram

maiores níveis de sensibilidade dos estádios iniciais de desenvolvimento (larva e protoninfas) de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) e *Oligonychus ilicis* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) aos inseticidas esfenvalerate e deltamethrin do que adultos. Da mesma forma, Zanardi et al. (2018) verificaram menor taxa de sobrevivência de larvas e protoninfas de *P. citri* tratadas com deltametrina, esfenvalerato e lambda-cihalotrina em relação a deutoninfas e fêmeas adultas. A maior sensibilidade de ninfas em relação aos adultos pode estar relacionada com as diferenças na constituição, conformação e grau de esclerotização da cutícula dos ácaros (Alberti & Coons, 1999). Moraes & Flechtmann (2008) relataram que os estádios iniciais de desenvolvimento dos ácaros possuem, em geral, menor grau de esclerotização da cutícula, o que constitui a primeira barreira de defesa dos ácaros contra agentes xenobióticos. Além disso, variações nos níveis de expressão de enzimas de detoxificação de inseticidas (esterases, glutatona S-transferase e citocromo P450) nos diferentes estádios de desenvolvimento também podem condicionar marcantes alterações não somente na capacidade de metabolização e excreção dos ingredientes ativos (Pasay et al., 2009), mas também nos níveis de sensibilidade dos ácaros aos inseticidas.

Apesar de *B. yothersi* e *P. citri* serem considerados sensíveis aos inseticidas, baixas concentrações de bifentrina e flupiradifurone podem estimular as fêmeas a aumentar sua capacidade reprodutiva (efeito hormese) e induzir surtos populacionais desses ácaros nos pomares. No presente estudo, a exposição de fêmeas de *B. yothersi* e *P. citri* ao inseticida bifentrina nas concentrações correspondentes a $CL_{10} = 3,3$ e $2,8 \text{ mg L}^{-1}$ ou 22,0 e 18,7% da concentração de campo proporcionou aumento de aproximadamente 28,0% no número de ovos depositados pelas fêmeas. Aumento na fecundidade de 13% também foi observado em fêmeas de *P. citri* expostas a $CL_{20} = 15,0 \text{ mg L}^{-1}$ de flupiradifurone (um inseticida pertencente ao grupo dos neonicotinoides). Similarmente, Jones & Parrella (1984) reportaram aumento significativo na fecundidade de *P. citri* expostas aos resíduos de permetrina aplicados na concentração de $8,3 \text{ mg L}^{-1}$. Em laboratório, Zanardi et al. (2018) verificaram que fêmeas de *P. citri* expostas aos resíduos de deltametrina ($8,0 \text{ mg L}^{-1}$) e lambda-cihalotrina ($10,0 \text{ mg L}^{-1}$) produziram cerca de 30% mais ovos do que as fêmeas controle. Além de *P. citri*, aumento na fecundidade de 10,0 a 35,0% também foi observado para outras espécies de ácaros tetraniquídeos após aplicação de inseticidas piretroides (Iftner & Hall, 1984; Oliveira, 1998) e neonicotinoides (James & Price, 2002; Szczepaniec et al., 2011; Szczepaniec & Raupp, 2013).

Embora os efeitos fisiológicos dos inseticidas piretroides no aumento da capacidade reprodutiva das fêmeas sejam desconhecidos, pois esses inseticidas não possuem atividade sistêmica, é provável que esses compostos atuam sobre o sistema nervoso central dos ácaros,

induzindo alterações fisiológicas que proporcionam aumento na capacidade de produção de óvulos pelas fêmeas (Wang et al., 2010). Por outro lado, inseticidas neonicotinoides também possuem atividade sistêmica e, por isso, podem induzir alterações no aparato reprodutivo das fêmeas e aumentar sua capacidade reprodutiva. Zeng & Wang (2010) verificaram um aumento significativo na produção de ovos e no conteúdo de vitelo (nutriente utilizado para alimentação do embrião durante o período de incubação dos ovos) quando fêmeas de *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval (Acari: Tetranychidae) foram tratadas com imidacloprido. De acordo com esses autores, o maior acúmulo de vitelo nos ovos pode acelerar o processo de desenvolvimento do embrião e aumentar a taxa de eclosão de larvas, contribuindo para o rápido crescimento populacional dos ácaros após a aplicação do produto. No entanto, estudos de fisiologia da reprodução devem ser realizados para elucidar os efeitos desses inseticidas sobre os mecanismos responsáveis pelo aumento na capacidade reprodutiva das fêmeas dos ácaros fitófagos.

Além de estimular a reprodução (efeito hormese), bifentrina também alterou o comportamento de oviposição das fêmeas *B. yothersi* e *P. citri*. O menor número de ovos foi observado nas superfícies foliares tratadas com as CL₄₀ e CL₅₀ do inseticida, demonstrando que as fêmeas foram capazes de detectar as áreas livres de resíduos para oviposição. Resultados similares foram obtidos por Alves et al. (2018) e Zanardi et al. (2018) em fêmeas de *P. citri* tratadas com deltametrina e lambda-cihalotrina. Da mesma forma, Bowie et al. (2001) verificaram menor número de ovos de *Panonychus ulmi* (Koch) (Acari: Tetranychidae) e *T. urticae* nas áreas tratadas com esfenvalerato. A redução na fecundidade nas áreas tratadas com inseticidas piretroides pode estar relacionada ao efeito “irritante” desses compostos, que induz aumento na mobilidade/dispersão e redução no processo de alimentação e oviposição dos ácaros (Hall, 1979; Iftner & Hall, 1986; Margolies & Kennedy, 1988; Holland et al., 1994; Bostanian & Racette, 1997; Zanardi et al., 2018).

Apesar dos piretroides induzirem alterações bioecológicas sobre ácaros praga, em citros, bifentrina tem sido uma das ferramentas mais utilizadas pelos citricultores para o controle de *D. citri* em pulverizações terrestres e a única alternativa para aplicações aéreas. No entanto, essas pulverizações são realizadas em velocidades maiores e concentrações e volumes de calda menores (Scapin & Ramos, 2017) do que àquelas necessárias para proporcionar efeito acaricida. Portanto, é provável que em pulverizações de bifentrina visando o controle de *D. citri*, uma menor quantidade do inseticida está sendo depositada no interior da copa das plantas e, com isso, induzindo hormese aos ácaros. Vale ressaltar que este estudo foi realizado em condições laboratoriais, onde os ácaros foram continuamente expostos aos

resíduos de bifentrina aplicados sobre a superfície foliar. Mesmo assim, ácaros tratados com a concentração correspondente à 22% da concentração recomendada para o manejo de *D. citri* induziu aumento de 28% na capacidade reprodutiva das fêmeas de *B. yothersi*. Além disso, este inseticida reduziu a preferência de oviposição de *B. yothersi* e *P. citri* quando fêmeas foram expostas aos resíduos, sugerindo que pulverizações deste inseticida estaria induzindo a movimentação dos ácaros das bordas para o interior da copa das plantas em busca de locais livres de resíduos para sobrevivência e reprodução.

Portanto, aplicações de bifentrina e flupiradifurone devem ser realizadas com cautela e, preferencialmente, durante os períodos de menor incidência de *B. yothersi* e/ou *P. citri*. De acordo com Silva et al. (2012), os maiores níveis populacionais de *P. citri* são observados durante os períodos de baixa umidade relativa do ar e temperaturas mais amenas. No entanto, *B. yothersi* pode ocorrer o ano todo, mas os maiores picos populacionais têm sido observados durante os períodos de estiagem (Rodrigues & Oliveira, 2005; Oliveira & Pattaro, 2008), quando as plantas apresentam estresse hídrico (Bassanezi, 2018). Períodos de seca prolongado também contribuem para a redução dos níveis populacionais de ninfas e adultos de *D. citri* (inseto praga alvo desses inseticidas) (Yamamoto et al., 2001), devido a menor taxa de emissão de brotos [estrutura preferencial para alimentação e reprodução de *D. citri* (Grafton-Cardwell et al., 2013; Hall et al., 2013)] e de ocorrência de fluxos vegetativos das plantas cítricas cultivadas sem irrigação. Por isso, durante os picos populacionais de *B. yothersi* e *P. citri*, dimetoato pode ser uma alternativa importante para reduzir não somente a população de *D. citri* e de outros insetos praga, mas também a densidade populacional de *B. yothersi* e *P. citri* residentes nos pomares. Esta recomendação é suportada por Alves et al. (2018) que reportaram redução na taxa de sobrevivência e nenhuma alteração no comportamento de oviposição e dispersão de *P. citri* quando fêmeas foram tratadas com dimetoato.

Vale ressaltar ainda que bifentrina e dimetoato possuem baixa seletividade aos inimigos naturais que atuam como agentes de controle biológico de importantes pragas dos citros (Sato et al., 2001), enquanto que, flupiradifurone é considerado mais seletivo e compatível com inimigos naturais. A redução dos inimigos naturais também pode contribuir para o aumento populacional de *B. yothersi* e *P. citri* nos pomares. Além disso, o sucessivo uso desses inseticidas também pode acelerar o processo de seleção de populações que são resistentes aos ingredientes ativos (Hirai et al., 1973) e reduzir a efetividade desses compostos na redução populacional dos ácaros. Portanto, o uso desses inseticidas em rotação com outros ingredientes ativos é uma alternativa para reduzir não somente o impacto sobre os agentes de controle biológico e os riscos de seleção de populações resistentes, mas também diminuir a

probabilidade de ocorrência de surtos populacionais de *B. yothersi* e *P. citri* e aumento nos custos de produção. Mesmo assim, estudos adicionais de campo também devem ser realizados para verificar os efeitos desses inseticidas sobre a densidade e dinâmica populacional de *B. yothersi* e *P. citri* e os impactos sobre o equilíbrio biológico e ecológico dos organismos que habitam o agroecossistema. Além disso, estudos que consideram outros inseticidas, a capacidade de penetração/deposição da calda inseticida e a movimentação dos ácaros na copa das plantas também devem ser realizados para auxiliar na definição de estratégias mais adequadas para aplicação desses compostos e manejo das pragas nos pomares cítricos.

5 CONCLUSÕES

- Os ácaros *B. yothersi* e *P. citri* são sensíveis aos inseticidas bifentrina, dimetoato e flupiradifurone;
- Ninfas de *B. yothersi* e *P. citri* são mais sensíveis aos inseticidas bifentrina, dimetoato e flupiradifurone do que fêmeas adultas;
- A aplicação de bifentrina na concentração de 3,3 e 2,8 mg L⁻¹ aumenta a capacidade reprodutiva das fêmeas de *B. yothersi* e *P. citri*, respectivamente;
- A aplicação de dimetoato não aumenta a fecundidade de *B. yothersi* e *P. citri*;
- A aplicação de flupiradifurone não induz aumento na fecundidade de *B. yothersi*;
- A aplicação de flupiradifurone na concentração de 15,0 mg L⁻¹ estimula as fêmeas de *P. citri* a aumentar sua capacidade reprodutiva;
- A aplicação de bifentrina nas concentrações superiores a 9,1 e 9,5 mg L⁻¹ reduz a preferência de oviposição das fêmeas de *B. yothersi* e *P. citri* nas superfícies tratadas, respectivamente;
- A aplicação de dimetoato e flupiradifurone nas concentrações correspondentes as CL₁₀, CL₂₀, CL₃₀, CL₄₀ e CL₅₀ não altera a preferência de oviposição das fêmeas de *B. yothersi* e *P. citri*.

REFERÊNCIAS

- Agrofit. 2018. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasil. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 14 jan. 2018.
- Alberti, G., Coons, L.B. 1999. Acari: mites: integument. In: Harrison, F.W., Foelix, R.F. (Eds.). **Microscopic anatomy of invertebrates, chelicerate Arthropoda 8C**. New York: Wiley-Liss. p. 681–714.
- Alves, E.B., Casarin, N.F.B., Omoto, C. 2018. Lethal and sublethal effects of pesticides used in Brazilian citrus groves on *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). **Arquivos do Instituto Biológico** 85:1–8.
- Amaral, I., Moraes, G.J., Melville, C.C., Andrade, D.J. 2018. Factors affecting prevailing population levels of *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae) in citrus areas affected by citrus leprosis in the State of Sao Paulo, Brazil. **Experimental and Applied Acarology** 74:395-402.
- Amaral, I. 2016. Biologia e tabela de vida de *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae) oriundos de diferentes regiões citrícolas do estado de São Paulo. 35 f. **Dissertação de Mestrado**. Jaboticabal, SP: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista.
- Andrade, D.J., Ferreira, M.C., Martinelli, N.M. 2014. **Aspectos da fitossanidade em citros**. São Paulo: Cultura Acadêmica. 265 p.
- Antonious, G.F., Snyder, J.C. 2015. Repellency and oviposition deterrence of wild tomato leaf extracts to spider mites, *Tetranychus urticae* Koch. **Journal of Environmental Science and Health, Part B** 50:667–673.
- Barati, R., Hejazi, M.J. 2015. Reproductive parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) affected by neonicotinoid insecticides. **Experimental and Applied Acarology** 66:481–489.
- Barros, R., Degrande, P.E., Soria, M.F., Ribeiro, J.S.F. 2007. Desequilíbrio biológico do ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae) após aplicações de inseticidas em algodoeiro. **Arquivos do Instituto Biológico** 74:171–174.
- Bartlett, B.R. 1968. 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** 61:297–303.
- Bassanezi, R.B. 2018. **Manual de leprose dos citros: medidas essenciais de controle**. Araraquara: Fundecitrus. 94 p.
- Bassanezi, R.B., Ayres, A.J., Massari, C.A., Belasque Júnior, J., Barbosa, J.C. 2014. Progressão e distribuição espacial das principais pragas dos citros. In: Andrade, D.J., Ferreira, M.C., Martinelli, N.M. (Org.). **Aspectos da fitossanidade em citros**. Jaboticabal: Cultura Acadêmica. p. 31–50.

- Bassanezi, R.B., Bergamin-Filho, A., Amorim, L., Gimenes-Fernandes, N., Gottwald, T.R., Bové, J.M. 2003. Spatial and temporal analyses of citrus sudden death as a tool to generate hypotheses concerning its etiology. **Phytopathology** 93:502–512.
- Bassanezi, R.B., Spósito, M.B., Yamamoto, P.T. 2002. Adeus à leprose. **Cultivar** 2:6–8.
- Bastianel, M., Freitas-Astúa, J., Kitajima, E.W., Machado, M.A. 2006. The citrus leprosis pathosystem. **Summa Phytopathologica** 32:211–220.
- Bastianel, M., Novelli, V.M., Kitajima, E.W., Kubo, K.S., Bassanezi, R.B., Machado, M.A., Freitas-Astua, J. 2010. Citrus leprosis: centennial of an unusual mite virus pathosystem. **Plant Disease** 94:284–292.
- Bazzo, A.M. 2016. Distribuição intraplanta do ácaro da leprose dos citros e adequação do volume de calda de acaricida para o seu controle. 38 f. **Dissertação de Mestrado**. Araraquara, SP: Fundo de Defesa da Citricultura.
- Beard, J.J., Ochoa, R., Braswell, W.E., Bauchan, G.R. 2015. *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) species complex (Acari: Tenuipalpidae) – a closer look. **Zootaxa** 3944:1–67.
- Beers, E.H., Brunner, J.F., Dunley, J.E., Doerr, M., Granger, K. 2005. Role of neonicotinyl insecticides in Washington apple integrated pest management. Part II. Nontarget effects on integrated mite control. **Journal of Insect Science** 5:1–10.
- Belasque Junior, J., Yamamoto, P.T., Miranda, M.P., Bassanezi, R.B., Ayres, A.J., Bové, J.M. 2010. Controle do Huanglongbing no estado de São Paulo, Brasil. **Citrus Research & Technology** 31:53–64.
- Beloti, V.H., Alves, G.R., Araújo, D.F.D., Picoli, M.M., Moral, R.A., Demétrio, C.G.B., Yamamoto, P.T. 2015. Lethal and sublethal effects of insecticides used on citrus, on the ectoparasitoid *Tamarixia radiata*. **PLoS ONE** 10:e0132128.
- Bitancourt, A.A. 1934. Relação das doenças e fungos parasitas observados na secção de Fitopatologia durante os anos de 1931 e 1932. **Arquivos do Instituto Biológico** 5:185–196.
- Boina, D.R., Bloomquist, J.R. 2015. Chemical control of the Asian citrus psyllid and of Huanglongbing disease in citrus. **Pest Management Science** 71:808–823.
- Bostanian, N.J., Racette, G. 1997. Residual toxicity of lambda-cyhalothrin on apple foliage to *Amblyseius fallacis* and the tarnished plant bug, *Lygus lineolaris*. **Phytoparasitica** 25:193–198.
- Boteon, M., Pagliuca, L.G., Palmieri, F.G., Sales, C.C.N., Ribeiro, R.G. 2015. Citros – Gestão sustentável. **Hortifruti Brasil** 145:10–20.
- Bové, J.M. 2006. Huanglongbing: a destructive, newly emerging, century-old disease of citrus. **Journal of Plant Pathology** 88:7–37.
- Bowie, M.H., Worner, S.P., Krips, O.E., Penman, D.R. 2001. 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** 25:311–319.

- Calabrese, E.J. 2004. Hormesis: from marginalization to mainstream. A case for hormesis as the default dose-response model in risk assessment. **Toxicology and Applied Pharmacology** 197:125–136.
- Calabrese, E.J., Blain, R.B. 2009. Hormesis and plant biology. **Environmental Pollution** 157:42–48.
- Castagnoli, M., Liguori, M., Simoni, S., Duso, C. 2005. Toxicity of some insecticides to *Tetranychus urticae*, *Neoseiulus californicus* and *Tydeus californicus*. **BioControl** 50:611–622.
- Chiaradia, L.A., Milanez, J.M., Smaniotto, M.A., Davila, F.M.R. 2008. Flutuação populacional e altura de captura de *Diaphorina citri* em pomar de citros. **Revista de Ciências Agroveterinárias** 7:157–159.
- Chiavegato, L.G. 1986. Biologia do ácaro *Brevipalpus phoenicis* em citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 21:813–816.
- Chiavegato, L.G., Salibe, A.A. 1984. Transmissibility of leprosis symptoms by *Brevipalpus phoenicis* to young citrus plants under laboratory conditions. **Proceedings...** Conference of the International Organization of Citrus Virologists 9:218–221.
- Childers, C.C., Abou-Setta, M.M. 1999. Yield reduction in ‘Tahiti’ lime from *Panonychus citri* feeding injury following different pesticide treatment regimens and impact on the associated predacious mites. **Experimental and Applied Acarology** 23:771–783.
- Childers, C.C., Rodrigues, J.C.V. 2011. An overview of *Brevipalpus* mites (Acari: Tenuipalpidae) and the plant viruses they transmit. **Zoosymposia** 6:180–192.
- Coletta-Filho, H.D., Targon, M.L.P.N., Takita, M.A., de Negri, J.D., Pompeu Junior, J., Machado, M.A. 2004. First report of the causal agent of huanglongbing (*Candidatus Liberibacter asiaticus*) in Brazil. **Plant Disease** 88:1382.
- Cordeiro, E.M.G., Moura, I.L.T., Fadini, M.A.M., Guedes, R.N.C. 2013. Beyond selectivity: are behavioral avoidance and hormesis likely causes of pyrethroid-induced outbreaks of the southern red mite *Oligonychus ilicis*? **Chemosphere** 93:1111–1116.
- Costamagna, A.S., Landis, D.A., Difonzo, D.C. 2007. Suppression of soybean aphid by generalist predators results in a trophic cascade in soybeans. **Ecological Applications** 17:441–451.
- Croft, B.A. 1990. **Arthropod biological control agents and pesticides**. New York: Wiley. 723 p.
- Crump, K.S., Dupont, P., Jiang, H., Shilnikova, N.S., Krewski, D., Zielinski, J.M. 2012. A meta-analysis of evidence for hormesis in animal radiation carcinogenesis, including a discussion of potential pitfalls in statistical analyses to detect hormesis. **Journal of Toxicology and Environment Health B Critical Reviews** 15:210–231.
- Cutler, G.C. 2013. Insects, insecticides and hormesis: evidence and considerations for study. **Dose-Response** 11:154–177.

Demétrio, C.G.B., Hinde, J., Moral, R.A. 2014. Models for overdispersed data in entomology. In: Ferreira, C.P., Godoy, W.A.C. (Ed.). **Ecological modelling applied to entomology**. Switzerland: Springer. p. 219–259.

Dutcher, J.D. 2007. A review of resurgence and replacement causing pest outbreaks in IPM. In: Ciancio, A., Mukerji, K.G. (Eds.). **General concepts in integrated pest and disease management**. Amsterdam: Springer. p. 27–43.

Erpen, L., Muniz, F.R., Moraes, T.S., Tavano, E.C.R. 2018. Análise do cultivo da laranja no Estado de São Paulo de 2001 a 2015. **Revista iPecege** 4:33–43.

FNP Consultoria & Comercio. 2017. Citros. In: _____. **Agrianual 2017**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: Informa Economics FNP. p. 233–262.

Fonseca, J.P., Autuori, M. 1933. Pragas dos citros. In: Andrade, E.N. (Ed.). **Manual de citricultura**: doenças-pragas e tratamentos. São Paulo: Chacaras e Quintaes. p. 79–171.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. **Crops**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 07 out. 2018.

Fundo de Defesa da Citricultura. 2017. **Inventário de árvores e estimativa de safra de laranja 2017/18 do cinturão citrícola de São Paulo e triângulo/sudoeste mineiro 2017/18**. Disponível em: <http://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/2017_12_05_Invent%C3%A1rio_e_Estimativa_do_Cinturao_Citricola_2017-2018.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2018.

Gotoh, T., Ishikawa, Y., Kitashima, Y. 2003. Life-history traits of the six *Panonychus* species from Japan (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology** 29:252–261.

Gottwald, T.R., Abreu-Rodriguez, E., Yokomi, R.K., Stansly, P.A., Riley, T.K. 2002. **Effects of chemical control of aphid vectors and of cross-protection on increase and spread of citrus tristeza virus**. Disponível em: <http://www.imok.ufl.edu/docs/pdf/entomology/Stansly_Ref_Gottwald02.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2017.

Grafton-Cardwell, E.E., Lee, J.E., Robillard, S.M., Gorden, J.M. 2008. Role of imidacloprid in integrated pest management of California citrus. **Journal of Economic Entomology** 101:451–460.

Grafton-Cardwell, E.E., Stelinski, L.L., Stansly, P.A. 2013. Biology and management of Asian citrus psyllid, vector of the huanglongbing pathogens. **Annual Review of Entomology** 58:413–432.

Gravena, S. 2005. **Manual prático de manejo ecológico de pragas dos citros**. Jaboticabal: Gravena. 372 p.

Guedes, R.N.C., Smagghe, G., Stark, J.D., Desneux, N. 2016. Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. **Annual Review of Entomology** 61:43–62.

Guedes, R.N.C., Magalhães, L.C., Cosme, L.V. 2009. Stimulatory sublethal response of a generalist predator to permethrin: hormesis, hormoligosis, or homeostatic regulation? **Journal of Economic Entomology** 102:170–176.

- Guedes, J.C., Parra, J.R.P., Yamamoto, P.T. 2002. Levantamento da ocorrência de curculionídeos-das-raízes dos citros nos estados de São Paulo e Minas Gerais. **Laranja** 23:307–320.
- Guirado, N., Ambrosano, E.J., Arévalo, R.A., Rossi, F., Mendes, P.C.D., Ambrosano, G.M.B. 2003. Controle da cochonilha escama-farinha em citros com o uso de óleos em pulverização. **Laranja** 24:329–335.
- Gupta, G., Krischik, V.A. 2007. Professional and consumer insecticides for the management of adult Japanese beetle on hybrid tea rose. **Journal of Economic Entomology** 100:830–837.
- Halbert, S.E., Manjunath, K.L. 2004. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. **Florida Entomologist** 87:330–353.
- Hall, D.G., Richardson, M.L., Ammar, E.D., Halbert, S.E. 2013. Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, vector of citrus huanglongbing disease. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 146:207–223.
- Hall, D.G., Nguyen, R. 2010. Toxicity of pesticides to *Tamarixia radiata*, a parasitoid of the Asian citrus psyllid. **BioControl** 55:601–611.
- Hall, F.R., Thacker, J.R.M. 1993. Laboratory studies on effects of three permethrin formulations on mortality, fecundity, feeding, and repellency of the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae). **Journal of Economic Entomology** 86:537–543.
- Hall, F.R. 1979. Effects of synthetic pyrethroids on major insect and mite pest of apple. **Journal of Economic Entomology** 72:441–446.
- Hardman, J.M., Franklin, J.L., Jensen, K.I.N., Moreau, D.L. 2006. Effects of pesticides on mite predators (Acari: Phytoseiidae) and colonization of apple trees by *Tetranychus urticae*. **Phytoparasitica** 34:449–462.
- Hirai, K., Miyata, T., Saito, T. 1973. Penetration of ³²P-dimethoate into organophosphate resistant and susceptible citrus red mite, *Panonychus citri* McGregor (Acarina: Tetranychidae). **Applied Entomology and Zoology** 8:183–190.
- Holland, J.M., Chapman, R.B. 1994. A comparison of the toxic and sub-lethal effects of fluvalinate and esfenvalerate on the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology** 18:3–22.
- Holland, J.M., Chapman, R.B., Penman, D.R. 1994. Effects of fluvalinate on two-spotted spider mite dispersal, fecundity and feeding. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 71:145–153.
- Hoy, M.A., Nguyen, R. 2001. Classical biological control of Asian citrus psylla. **Citrus Industry** 81:48–50.
- Iftner, D.C., Hall, F.R. 1984. The effects of fenvalerate and permethrin residues on *Tetranychus urticae* Koch fecundity and rate of development. **Journal of Agricultural Entomology** 1:191–200.

Iftner, D.C., Hall, F.R. 1986. The effects of fenvalerate and permethrin residues on *Tetranychus urticae* Koch fecundity and rate of development. **Journal of Agricultural Entomology** 1:191–200.

Insecticide Resistance Action Committee. 2018. **Mode of action classification: insecticide resistance management**. Disponível em: <<http://www.irac-online.org/modes-of-action>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

James, D.G., Price, T.S. 2002. Fecundity of twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) is increased by direct and systemic exposure to imidacloprid. **Journal of Economic Entomology** 27:151–156.

Jones, V.P., Parrella, M.P. 1984. The sublethal effects of selected insecticides on life table parameters of *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). **Canadian Entomologist** 116:1033–1040.

Kasap, I. 2009. 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** 33:593–600.

Kendig, E.L., Le, H.H., Belcher, S.M. 2010. Defining hormesis: evaluation of a complex concentration response phenomenon. **International Journal of Toxicology** 29:235–246.

Kitajima, E.W., Müller, G.W., Costa, A.S., Yuki, W. 1972. Short, rod-like particles associated with citrus leprosis. **Virology** 50:254–258.

Kranz, J., Schmutterer, H., Koch, W. 1977. **Diseases, pests and weeds in tropical crops**. John Wiley & Sons: Berlin. 666 p.

Lei, H.D., Hu, J.H., Li, H.J., Ran, C., Zhang, Q.B., Lin, B.M., Tian, W.H., Qian, K.M. 2004. Performances of the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acarina: Tetranychidae) on various citrus varieties. **Acta Entomologica Sinica** 47:607–611.

Lira, A.C.S., Zanardi, O.Z., Beloti, V.H., Bordini, G.P., Yamamoto, P.T., Parra, J.R.P., Carvalho, G.A. 2015. Lethal and sublethal impacts of acaricides on *Tamarixia radiata* (Hemiptera: Eulophidae), an important ectoparasitoid of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). **Journal of Economic Entomology** 108:2278–2288.

Locali, E.C., Freitas, A., Souza, A., Takita, M., Astúa, G., Antonioli, R., Kitajima, E., Machado, M. 2003. Development of a molecular tool for the diagnosis of leprosis, a major threat to citrus production in the Americas. **Plant Disease** 87:1317–1321.

Lopes, J.M.S., Déo, T.F.G., Andrade, B.J.M., Giroto, M., Felipe, A.L.S., Junior, C.E.I., Bueno, C.E.M.S., Silva, T.F., Lima, F.C.C. 2011. Importância econômica dos citros no Brasil. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia** 20:1–2.

Maia, O.M., Oliveira, C.A.L. 2005. Transmissibilidade do vírus da leprose de cercas-vivas, quebra-ventos e plantas invasoras para laranjeiras através de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes). **Bragantia** 64:417–422.

Margolies, D.C., Kennedy, G.G. 1988. Fenvalerate-induced aerial dispersal by the twospotted spider mite. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 46:233–240.

- Mattson, M.P., Cheng, A. 2006. Neurohormetic phytochemicals: low-dose toxins that induce adaptive neuronal stress responses. **Trends Neurosciences** 29:632–639.
- Michaud, J.P. 2004. Natural mortality of Asian citrus psyllid (Homoptera: Psyllidae) in central Florida. **Biological Control** 29:260–269.
- Migeon, A., Dorkeld, F. 2018. **Spider mites web: a comprehensive database for the Tetranychidae**. Disponível em: <<http://www.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb>>. Acesso em: 01 abr. 2017.
- Miranda, M.P., Volpe, H.X.L., Veiga, A.C.P., Zanardi, O.Z., Bassanezi, R.B., Andrade, D.J., Carmo-Sousa, M. 2017. Manejo de insetos e ácaros vetores fitopatógenos nos citros. **Informe Agropecuário** 38:1–25.
- Miranda, M.P., Yamamoto, P.T., Garcia, R.B., Lopes, J.P.A., Lopes, J.R.S. 2016. Thiamethoxam and imidacloprid drench applications on sweet orange nursery trees disrupt the feeding and settling behavior of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). **Pest Management Science** 72:1785–1793.
- Miranda, M.P., Lopes, J.R.S., Nascimento, A.S., Santos, J.L., Cavichioli, R.R. 2009. Levantamento populacional de cigarrinhas (Hemiptera: Cicadellidae) associadas à transmissão de *Xylella fastidiosa* em pomares cítricos do litoral norte da Bahia. **Neotropical Entomology** 38:827–833.
- Moraes, G.J., Flechtmann, C.H.W. 2008. **Manual de acarologia**: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. Ribeirão Preto: Holos. 308 p.
- Morais, M.R., Zanardi, O.Z., Rugno, G.R., Yamamoto, P.T. 2016. Impact of five insecticides used to control citrus pests on the parasitoid *Ageniaspis citricola* Longvinovskaya (Hymenoptera: Encyrtidae). **Ecotoxicology** 25:1011–1020.
- Nakano, O. 1985. Cochonilhas nos laranjais do Estado de São Paulo. **Agroquímica** 27:15–18.
- Nelder, J.A., Wedderburn, R.W.M. 1972. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society** 135:370–384.
- Neves, M.F., Trombin, V.G. 2017. **Anuário da citricultura 2017**. Disponível em: http://www.citrusbr.com/download/biblioteca/CitrusBR_Anuario_2017_alta.pdf. Acesso em: 07 out. 2018.
- Neves, M.F., Trombin, V.G. 2016. Série consumo de suco de laranja. **CitrusBR** 8:45–58.
- Neves, M.F., Trombin, V.G., Milan, P., Lopes, F.F., Cressoni, F., Kalaki, R. 2011. **O retrato da citricultura brasileira**. Ribeirão Preto: Markestrat Centro de Pesquisa e Projetos em Marketing e Estratégia. 71 p.
- Okuma, P., Fukugauto, R. 2013. A produção de citros segundo o produtor. **Revista Citricultura Atual** 93:22–24.
- Oliveira, C.A.L., Pattaro, F.C. 2008. Citros: manejo de ácaros fitófagos na cultura. In: Yamamoto, P.T. (Org.). **Manejo integrado de pragas dos citros**. Piracicaba: ESALQ/USP. p. 81–125.

- Oliveira, C.A.L. 1998. Efeito de deltametrina na biologia de *Oligonychus ilicis* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) em laboratório. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 27:459–467.
- Omoto, C., Alves, E.B., Ribeiro, P.C. 2000. Detecção e monitoramento da resistência de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae) ao dicofol. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 29:757–764.
- Oomen, P.A. 1982. Studies on population dynamics of the scarlet mite, *Brevipalpus phoenicis*, a pest of tea in Indonesia. **Medelingen Landbouwhogeschool** 82:1–88.
- Osakabe, M., Goka, K., Toda, S., Shintaku, T., Amano, H. 2005. Significance of habitat type for the genetic population structure of *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology** 36:25–40.
- Paiva, P.E.B. 2009. Distribuição espacial e temporal, inimigos naturais e tabela de vida ecológica de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) em citros em São Paulo. 64 p. **Tese de doutorado**. Piracicaba, SP. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo.
- Pardo, S., Martínez, A.M., Figueroa, J.I., Chavarrieta, J.M., Viñuela, E., Rebollar-Alviter, Á., Miranda, M.A., Valle, J., Pineda, S. 2018. Insecticide resistance of adults and nymphs of Asian citrus psyllid populations from Apatzingán Valley, Mexico. **Pest Management Science** 74:135–140.
- Parra, J.R.P., Oliveira, H.N., Pinto, A.S. 2005. **Pragas e insetos benéficos dos citros**. Piracicaba: Guia de Campo. 64 p.
- Parra, J.R.P., Oliveira, H.N., Pinto, S.N. 2003. **Guia ilustrado de pragas e insetos benéficos dos citros**. Piracicaba: ESALQ/USP. 140 p.
- Pasay, C., Arlian, L., Morgan, M., Gunning, R., Rossiter, L., Holt, D., Walton, S., Beckham, S., McCarthy, J. 2009. The effect of insecticide synergists on the response of scabies mites to pyrethroid acaricides. **PLoS Neglected Tropical Disease** 3:e354.
- Prado, J., Quesada, C., Sadof, C. 2014. Effects of pesticide application on arthropod pests of nursery-grown maples. **Journal of Economic Entomology** 107:708–717.
- Prischmann, D.A., James, D.G., Wright, L.C., Teneyck, R.D., Snyder, W.E. 2005. Effects of chlorpyrifos and sulfur on spider mites (Acari: Tetranychidae) and their natural enemies. **Biological Control** 33:324–334.
- R Development Core Team. 2018. **R: A language and environment for statistical computing**. Foundation for statistical computing, Vienna, Austria.
- Ramos, H.H., Yanai, K., Corrêa, I.M., Bassanezi, R.B., Garcia, L.C. 2007. Características da pulverização em citros em função do volume de calda aplicado com turbopulverizador. **Engenharia Agrícola** 27:56–65.
- Rattan, S.I.S., Fernandes, R.A., Demirovic, D., Dymek, B., Lima, C.F. 2009. Heat stress and hormetin-induced hormesis in human cells: effects on aging, wound healing, angiogenesis, and differentiation. **Dose-Response** 7:90–103.

- Raupp, M.J., Webb, R.E., Szczepaniec, A., Booth, D., Ahern, R. 2004. Incidence, abundance, and severity of mites on hemlocks following applications of imidacloprid. **Journal of Arboriculture** 30:108–113.
- Redak, A.R., Purcell, A.H., Lopes, J.R.S., Blua, M.J., Mizell III, R.F., Andersen, P.C. 2004. The biology of xylem fluid-feeding insect vectors of *Xylella fastidiosa* and their relation to disease epidemiology. **Annual Review of Entomology** 49:243–270.
- Ribeiro, L.P., Zanardi, O.Z., Vendramim, J.D., Yamamoto, P.T. 2014. Comparative toxicity of an acetogenin-based extract and commercial pesticides against citrus red mite. **Experimental and Applied Acarology** 64:87–98.
- Rodrigues, J.C.V., Oliveira, C.A.L. 2005. Ácaros fitófagos dos citros. In: Mattos Júnior, D., Negri, J.D., Pio, R.M., Pompeu Júnior, J. (Eds.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundag, p. 691–727.
- Rodrigues, J.C.V. 2000. Relações patógeno-vetor-planta no sistema leprose dos citros. 168 f. **Tese de Doutorado**. Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- Rossetti, V.V. 2001. **Manual ilustrado de doenças dos citros**. Piracicaba. Fealq/Fundecitrus. 219 p.
- Roy, A., Hartung, J.S., Schneider, W.L., Shao, J., León, M.G., Melzer, M.J., Beard, J.J., Otero-Colina, G., Bauchan, G.R., Ochoa, R., Brlansky, R.H. 2015. Role bending: complex relationships between viruses, hosts and vectors related to citrus leprosis, an emerging disease. **Phytopathology** 105:1013–1025.
- Sánchez-Velázquez, E.J., Santillán-Galicia, M.T., Novelli, V.M., Nunes, M.A., Mora-Aguilera, G., Valdez-Carrasco, J.M., Otero-Colina, G., Freitas-Astúa, J. 2015. Diversity and genetic variation among *Brevipalpus* populations from Brazil and Mexico. **PLoS ONE** 10:e0133861.
- SAS Institute. 2011. **Statistical analysis system: getting started with the SAS learning**. Version 9.2. Cary: SAS Institute.
- Sato, M.E., Raga, A., Cerávolo, L.C., Souza Filho, M.F., Rossi, A.C., Moraes, G.J. 2011. Effect of insecticides and fungicides on the interaction between members of the mite families Phytoseiidae and Stigmaeidae on citrus. **Experimental and Applied Acarology** 25:809–818.
- Scapin, M.S., Ramos, H.H. 2017. **Manual de tecnologia de aplicação em citros**. Araraquara: Fundecitrus. 27 p.
- Sétamou, M., Rodriguez, D., Saldana, R., Schwarzlose, G., Palrang, D., Nelson, S.D. 2010. Efficacy and uptake of soil-applied imidacloprid in the control of Asian citrus psyllid and a citrus leafminer, two foliar-feeding citrus pests. **Journal of Economic Entomology** 103:1711–1719.
- Silva, M.Z., Sato, M.E., Oliveira, C.A.L. 2012. Diversity and population dynamics of mites in citrus orchard. **Bragantia** 71:210–218.

- Smith, J.F., Catchot, A.L., Musser, F.R., Gore, J. 2013. Effects of aldicarb and neonicotinoid seed treatments on twospotted spider mite on cotton. **Journal of Economic Entomology** 106:807–815.
- Southam, C.M., Ehrlich, J. 1943. Effects of extracts of western red-cedar heartwood on certain wood-decaying fungi in culture. **Phytopathology** 33:517–524.
- Sparks, T.C., Nauen R. 2015. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 121:122–128.
- Stark, J.D., Banks, J.E. 2003. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual Review of Entomology** 48:505–519.
- Stavrínides, M.C., Mills, N.J. 2009. Demographic effects of pesticides on biological control of Pacific spider mite (*Tetranychus pacificus*) by the western predatory mite (*Galendromus occidentalis*). **Biological Control** 48:267–273.
- Szczepaniec, A., Raupp, M.J. 2013. Direct and indirect effects of imidacloprid on fecundity and abundance of *Eurytetranychus buxi* (Acari: Tetranychidae) on boxwoods. **Experimental and Applied Acarology** 59:307–318.
- Szczepaniec, A., Creary, S.F., Laskowski, K.L., Nyrop, J.P., Raupp, M.J. 2011. Neonicotinoid insecticide imidacloprid causes outbreaks of spider mites on elm trees in urban landscapes. **PLoS ONE** 6:e20018.
- Teixeira, D.C., Danet, L.J., Eveillard, S., Martins, E.C., Jesus Junior., W.C., Yamamoto, P.T., Lopes, S.A., Bassanezi, R.B., Ayres, A.J., Saillard, C., Bové, J.M. 2005. Citrus huanglongbing in São Paulo State, Brazil: PCR detection of the ‘*Candidatus*’ Liberibacter species associated with the disease. **Molecular and Cellular Probes** 19:173–179.
- Tiwari, S., Stelinski, L.L., Rogers, M.E. 2012. Biochemical basis of organophosphate and carbamate resistance in Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*. **Journal of Economic Entomology** 105:540–548.
- Tiwari, S., Mann, R.S., Rogers, M.E., Stelinski, L.L. 2011. Insecticide resistance in field populations of Asian citrus psyllid in Florida. **Pest Management Science** 67:1258–1268.
- Trichilo, R.J., Wilson, L.T. 1993. An ecosystem analysis of spider mite outbreaks: physiological stimulation or natural enemy suppression. **Experimental and Applied Acarology** 17:291–314.
- United States Department of Agriculture. 2018. **Citrus**. Disponível em: <https://www.nass.usda.gov/Statistics_by_State/Florida/Publications/Citrus/Citrus_Forecast/2017-18/cit0718.pdf>. Acesso em: 10 out. 2018.
- Vechia, J.F.D., Ferreira, M.C., Andrade, D.J. 2018. Interaction of spiroadiclofen with insecticides for the control of *Brevipalpus yothersi* in citrus. **Pest Management Science** 74:2438–2443.
- Vieira, M.R., Chiavegato, L.G. 1999. Biologia de *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae) em limão siciliano (*Citrus limon* Burm). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 28:27–33.

- Wang, L.P., Shen, J., Ge, L.Q., Wu, J.C., Yang, G.Q., Jahn, G.C. 2010. Insecticide-induced increase in the protein content of male accessory glands and its effect on the fecundity of females in the brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål (Hemiptera: Delphacidae). **Crop Protection** 29:1280–1285.
- Wu, K.C., Tao, C.C. 1977. Comparative study of spraying and painting insecticides against citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* (Phyllocnistidae: Lepidoptera). **Journal of Agricultural Research of China** 26:158–168.
- Yamamoto, P.T., Zanardi, O.Z. 2013. Atualização de manejo do ácaro purpúreo *Panonychus citri*. **Revista Citricultura Atual** 96:16–17.
- Yamamoto, P.T., Parra, J.R.P. 2005. Manejo integrado de praga dos citros. In: Mattos-Junior, D., Negri, J.R., Pio, R.M., Pompeu-Junior, J. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundag. p. 729–768.
- Yamamoto, P.T., Dalla-Pria-Júnior, W., Roberto, S.R., Felipe, M.R., Almeida, E.J., Freitas, É.P. 2002. Controle químico da cigarrinha em citros. **Laranja** 23:141–154.
- Yamamoto, P.T., Paiva, P.E.B., Gravena, S. 2001. Flutuação populacional de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) em pomares de citros na região Norte do Estado de São Paulo. **Neotropical Entomology** 30:165–170.
- Yamamoto, P.T., Roberto, S.R., Dalla-Pria-Junior, W. 2000. Inseticidas sistêmicos aplicados via tronco para controle de *Oncometopia facialis*, *Phyllocnistis citrella* e *Toxoptera citricida* em citros. **Scientia Agricola** 57:415–420.
- Zanardi, O.Z., Bordini, G.P., Franco, A.A., Jacob, C.R.O., Yamamoto, P.T. 2017. Sublethal effects of pyrethroid and neonicotinoid insecticides on *Iphiseiodes zuluagai* Denmark and Muma (Mesostigmata: Phytoseiidae). **Ecotoxicology** 26:1888–1898.
- Zanardi, O.Z., Bordini, G.P., Franco, A.A., Morais, M.R., Yamamoto, P.T. 2018. Spraying pyrethroid and neonicotinoid insecticides can induce outbreaks of *Panonychus citri* (Trombidiformes: Tetranychidae) in citrus groves. **Experimental and Applied Acarology** 76:339–354.
- Zeng, C.X., Wang, J.J. 2010. Influence of exposure to imidacloprid on survivorship, reproduction and vitellin content of the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus*. **Journal of Insect Science** 10:1–9.
- Zhan, Y., Fan, S., Zhang, M., Zalom, F. 2015. Modelling the effect of pyrethroid use intensity on mite population density for walnuts. **Pest Management Science** 71:159–164.