



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**INSETICIDAS BOTÂNICOS: VANTAGENS PARA O
PERCEVEJO PREDADOR *Podisus nigrispinus* E EFEITOS
LETAIS PARA *Spodoptera frugiperda***

ANA PAULA SANTANA LIMA

2020



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

ANA PAULA SANTANA LIMA

**INSETICIDAS BOTÂNICOS: VANTAGENS PARA O
PERCEVEJO PREDADOR *Podisus nigrispinus* E EFEITOS
LETAIS PARA *Spodoptera frugiperda***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

Orientador
Prof. Dr. Leandro Bacci

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2020

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

L732i Lima, Ana Paula Santana
Inseticidas botânicos : vantagens para o percevejo
predador *Podisus nigrispinus* e efeitos letais para *Spodoptera
frugiperda* / Ana Paula Santana Lima ; orientador Leandro
Bacci. – São Cristóvão, SE, 2020.
58 f. : il.

Dissertação (mestrado em Agricultura e Biodiversidade) -
Universidade Federal de Sergipe, 2020.

1. Agricultura. 2. Inseticidas vegetais. 3. Percevejo (Inseto).
4. Podisus. 5. Spodoptera frugiperda. 6. Plantas – Efeito dos
inseticidas. I. Bacci, Leandro, orient. II. Título.

CDU: 631:632.951

ANA PAULA SANTANA LIMA

**INSETICIDAS BOTÂNICOS: VANTAGENS PARA O PERCEVEJO PREDADOR
Podisus nigrispinus E EFEITOS LETAIS PARA *Spodoptera frugiperda***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

APROVADA em 07 de fevereiro de 2020.

Prof. Dr. Jefferson Elias da Silva
UFS

Prof. Dr. Paulo Fellipe Cristaldo
UFRPE

Prof. Dr. Leandro Bacci
UFS
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

*A todos que se dedicam à ciência no Brasil e
ao povo brasileiro.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela inspiração e força de vontade, que me fazem seguir em frente mesmo em momentos de adversidade.

À Universidade Federal de Sergipe (UFS) e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade (PPGAGRI), pela oportunidade de cursar o mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC), pelos recursos financeiros para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, professor Dr. Leandro Bacci, pelos auxílios à minha formação acadêmica e por sempre acreditar no meu potencial. À Prof^a. Dr^a. Ana Paula Albano Araújo, pela colaboração nas correções dos artigos científicos e pelos conhecimentos transmitidos.

Ao professor Genésio Tâmara Ribeiro, do Laboratório de Entomologia Florestal (LEFLO), pela parceria que tornou possível a realização desta dissertação. Agradeço a todos que fazem parte do LEFLO, principalmente à doutoranda Ítala, pelos ensinamentos e por sempre estar disposta a ajudar.

Aos meus pais, Basiliano e Maria do Carmo, por sempre me apoiarem, mesmo sem entender direito as atividades que realizo na Pós-Graduação. Vocês são minha base, meu porto seguro. Às minhas irmãs, Maria e Maria de Fátima, pelo carinho e pela compreensão nos momentos de ausência. Aos meus sobrinhos, Victor, Sthefany e ao pequeno Heitor, pelos momentos alegres que me proporcionam. Agradeço a todos os meus familiares, principalmente às minhas tias, Silvana e Josefa, e à minha avó, Helena.

Ao meu amado noivo, Alisson, que sempre me inspira a ser uma pessoa melhor. Obrigada por ser essa pessoa linda de tantas maneiras e que mesmo estando distante consegue tornar meus dias mais leves.

A todos que fazem parte do laboratório Clínica Fitossanitária, pela amizade e pelo auxílio com a execução dos experimentos. Obrigada, Ane, Jaci, Swamy, Natiele, Aline, Fernanda e Valfran. A todos os membros antigos do laboratório, Abraão, Alexandre, Morgana, Bruna, Carlisson e Ângela, pelos ensinamentos e pelo incentivo. Agradeço a Jefferson pela orientação e pelas correções na parte escrita. Muito obrigada, minha querida amiga Emile Dayara, por estar sempre ao meu lado nesses últimos anos e por dividir comigo a morada, boa parte das atividades acadêmicas e o gato, nosso peludo Toinho.

Aos amigos da Pós-Graduação, Crislaine, Luís Fernando, Ruan e José Carlos, pelo carinho e pela amizade desde a época da graduação.

À banca examinadora, pela disponibilidade e contribuição para esta dissertação.

BIOGRAFIA

ANA PAULA SANTANA LIMA, filha de Basiliano Pereira de Lima e Maria do Carmo Santana Lima, nasceu no dia 06 de março de 1996 em Itabaiana – Sergipe – Brasil.

No ano de 2013, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de Sergipe (UFS). Durante a graduação, foi bolsista de Iniciação Científica e Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, na área de Entomologia, sob a orientação do Prof. Dr. Leandro Bacci. Foi premiada durante o curso de graduação como Estudante de Engenharia Agrônômica do ano de 2017 e Aluna destaque no 8º e 9º Encontros de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da UFS pelos trabalhos apresentados. Em janeiro de 2018, concluiu a graduação.

Em março de 2018, ingressou no curso de mestrado em Agricultura e Biodiversidade, defendendo sua dissertação em fevereiro de 2020. Em novembro de 2018, foi aprovada em primeiro lugar para o doutorado em Agronomia (Proteção de Plantas) na Universidade Estadual Paulista (UNESP).

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO GERAL	5
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1. Inimigos naturais.....	6
2.2. <i>Podisus nigrispinus</i>	6
2.2.1. <i>Podisus nigrispinus</i> : predador de <i>Spodoptera frugiperda</i>	7
2.3. Impacto do uso de inseticidas sintéticos sobre inimigos naturais	7
2.3.1. Biologia.....	8
2.3.2. Crescimento populacional.....	9
2.3.3. Comportamento.....	9
2.4. Seletividade de inseticidas	10
2.5. Óleos essenciais e inimigos naturais	11
2.6. <i>Lippia sidoides</i>	11
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13
4. ARTIGO 1: VANTAGENS PARA UM INIMIGO NATURAL SOBRE DOSES SUBLETAIS DE INSETICIDAS BOTÂNICOS: VIDA LONGA E FÉRTIL	21
Resumo	21
Abstract.....	22
4.1. Introdução	23
4.2. Material e Métodos	24
4.2.1. Criação dos insetos	24
4.2.2. Obtenção dos compostos e análise química do óleo essencial	24
4.2.3. Bioensaios.....	24
4.2.3.1. Toxicidade	24
4.2.3.2. Parâmetros biológicos.....	25
4.2.3.3. Tabelas de vidas.....	25
4.2.3.4. Eficiência de predação da prole	25
4.2.4. Análises estatísticas	26
4.3. Resultados	26
4.3.1. Toxicidade.....	26
4.3.2. Desenvolvimento e longevidade	27
4.3.3. Massa.....	27
4.3.4. Parâmetros reprodutivos.....	27
4.3.5. Parâmetros demográficos	28
4.3.6. Capacidade de predação.....	28
4.4. Discussão	28
4.5. Referências Bibliográficas.....	31
Figuras e Tabelas	36
5. ARTIGO 2: ATIVIDADE INSETICIDA DE COMPOSTOS BOTÂNICOS CONTRA <i>Spodoptera frugiperda</i> E SELETIVIDADE AO PERCEVEJO 42 PREDADOR <i>Podisus nigrispinus</i>	42
Resumo	42
Abstract.....	43
5.1. Introdução	44
5.2. Material e Métodos	45

5.2.1. Insetos	45
5.2.2. Obtenção dos compostos e análise química do óleo essencial	45
5.2.3. Bioensaios	45
5.2.3.1. Toxicidade e seletividade.....	45
5.2.3.2. Tempo letal	46
5.2.3.3. Comportamento de <i>P. nigrispinus</i>	46
5.2.3.4.1. Caminhamento	46
5.2.3.4.2. Repelência/deterrência.....	47
5.2.4. Análises estatísticas	47
5.3. Resultados	47
5.3.1. Toxicidade e seletividade.....	47
5.3.2. Análise de sobrevivência.....	47
5.3.3. Comportamento.....	48
5.3.3.1. Caminhamento	48
5.3.3.2. Repelência/deterrência	48
5.4. Discussão	48
5.5. Referências Bibliográficas	50
Figuras e Tabelas	54
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura	Página
1	37
2	38
3	41

ARTIGO 2

Figura	Página
1	55
2	56
3	57

LISTA DE TABELAS**ARTIGO 1**

Tabela		Página
1	Toxicidade por aplicação tópica do inseticida deltametrina (DLM), do óleo essencial de <i>Lippia sidoides</i> (OE) e timol sobre ninfas de terceiro ínstar de <i>Podisus nigrispinus</i> , após 48 h de exposição.....	36
2	Parâmetros reprodutivos de <i>Podisus nigrispinus</i> após exposição do 3º ínstar a doses subletais (DL ₁₀ e DL ₃₀) de deltametrina (DLM), do óleo essencial de <i>Lippia sidoides</i> (OE) e do timol.....	39
3	Parâmetros da tabela de vida de <i>Podisus nigrispinus</i> expostos as doses subletais (DL ₁₀ e DL ₃₀) de deltametrina (DLM), do óleo essencial de <i>Lippia sidoides</i> (OE) e do timol	40

ARTIGO 2

Tabela		Página
1	Toxicidade por aplicação tópica do óleo essencial de <i>Lippia sidoides</i> (OE), timol e inseticida deltametrina (DLM) sobre ninfas de terceiro ínstar de <i>Podisus nigrispinus</i> e lagartas de terceiro ínstar de <i>Spodoptera frugiperda</i> , após 48 h de exposição	54

RESUMO

LIMA, Ana Paula Santana. **Inseticidas botânicos: vantagens para o percevejo predador *Podisus nigrispinus* e efeitos letais para *Spodoptera frugiperda***. São Cristóvão: UFS, 2020. 58p. (Dissertação – Mestrado em Agricultura e Biodiversidade).*

O percevejo predador *Podisus nigrispinus* é um importante agente de controle biológico que atua principalmente no controle de lagartas desfolhadoras, como *Spodoptera frugiperda*. O uso de inseticidas sintéticos para o controle de pragas pode causar impactos negativos em populações de *P. nigrispinus*. Dessa forma, a tendência atual é a adoção de programas de manejo de pragas que visam à preservação de inimigos naturais. Nesse contexto, os inseticidas botânicos podem ser uma alternativa aos inseticidas sintéticos. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos subletais do óleo essencial de *Lippia sidoides* e de seu composto majoritário timol sobre parâmetros biológicos e comportamentais do percevejo predador *P. nigrispinus*, bem como o potencial desses inseticidas em controlar *S. frugiperda*. No primeiro capítulo, foi avaliado o efeito de doses subletais dos compostos botânicos e do inseticida sintético deltametrina no desenvolvimento, na reprodução e nos parâmetros demográficos do percevejo predador. Os inseticidas botânicos apresentam toxicidade menor a *P. nigrispinus* que a deltametrina. De modo geral, os tratamentos prolongaram o desenvolvimento ninfal e reduziram o peso dos insetos adultos. Porém, não foram observados efeitos negativos na reprodução. Além disso, os compostos botânicos aumentaram a longevidade dos machos e o número de ovos/ninfas por fêmea, indicando possíveis efeitos de hormese. Não houve diferença entre os tratamentos para os parâmetros de tabela de vida, exceto para o R0, que foi maior para o timol em comparação com a deltametrina. No segundo capítulo, avaliamos a toxicidade dos compostos a *S. frugiperda* e *P. nigrispinus*, bem como seus efeitos no comportamento do predador. O óleo essencial e o timol foram tóxicos a *S. frugiperda* e seletivos ao inimigo natural. No entanto, o inseticida deltametrina causou efeito contrário, sendo mais tóxico para o predador, além de reduzir sua sobrevivência de forma mais rápida. A deltametrina e o timol alteraram o comportamento de caminamento de *P. nigrispinus*. Além disso, ninfas do percevejo predador passaram mais tempo do lado não tratado das arenas, indicando repelência/deterrência desse inseto a esses compostos. Os resultados obtidos ressaltam a seletividade do óleo essencial de *L. sidoides* e timol sobre o inimigo natural *P. nigrispinus* e, ao mesmo tempo, o potencial para controle da praga *S. frugiperda*.

Palavras-chave: Asopinae, Verbenaceae, compostos botânicos, seletividade, efeitos subletais.

* Comitê Orientador: Leandro Bacci – UFS (Orientador), Jefferson Elias da Silva (Coorientador) – UFS.

ABSTRACT

LIMA, Ana Paula Santana. **Botanical insecticides: advantages for the predatory stink bug *Podisus nigrispinus* and lethal effects for *Spodoptera frugiperda***. São Cristóvão: UFS, 2020. 58p. (Thesis - Master of Science in Agriculture and Biodiversity). *

The predatory insect *Podisus nigrispinus* is an important biological control agent which mainly acts in the control of defoliating caterpillars such as *Spodoptera frugiperda*. The use of synthetic insecticides for pest control can negatively impact populations of *P. nigrispinus*. Therefore, current trends are the adoption of pest management programs which aim to preserve natural enemies. Thus, botanical insecticides can be an alternative to synthetic insecticides. The objective of this study was to evaluate the sublethal effects of the *Lippia sidoides* essential oil and its major compound thymol on biological and behavioral parameters of the predatory insect *P. nigrispinus*, as well as the potential of these insecticides to control *S. frugiperda*. In the first chapter, the effect of sublethal doses of botanical compounds and the synthetic insecticide deltamethrin were evaluated in terms of their development, reproduction and demographic parameters of said predatory insect. Botanical insecticides presented less toxicity to *P. nigrispinus* than deltamethrin. As a whole, the treatments prolonged the nymph development and reduced the weight of the adult insects. However, no negative effects on reproduction were observed. Besides, botanical compounds increased male longevity and the number of eggs / nymphs per female, indicating possible hormesis effects. There was no difference between treatments for life table parameters, except for R0, which was higher for thymol compared to deltamethrin. In the second chapter we evaluated the toxicity of the compounds *S. frugiperda* and *P. nigrispinus* as well as their effects on predator behavior. The essential oil and thymol were toxic to *S. frugiperda* and selective to the natural enemy. Nevertheless, deltamethrin insecticide caused the opposite effect, being more toxic to the predator, by also reducing its survival more quickly. Deltamethrin and thymol altered the walking behavior of *P. nigrispinus*. Moreover, predatory insect nymphs spent more time on the untreated side of the arenas indicating repellency / deterrence of this insect to these compounds. Our results highlight the selectivity of the *L. sidoides* essential oil and thymol over the natural enemy *P. nigrispinus*, as well as the potential for *S. frugiperda* pest control.

Key-words: Asopinae, Verbenaceae, botanical compounds, selectivity, sublethal effects.

* Supervising Committee: Leandro Bacci – UFS (Orientador), Jefferson Elias da Silva (Coorientador) – UFS.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção agrícola sustentável depende de vários serviços ecossistêmicos, dentre eles o controle biológico de pragas pelos inimigos naturais (ex.: predadores e parasitoides) (OERKE, 2006). Esses organismos benéficos contribuem com a redução de populações de pragas em agroecossistemas (BUENO et al., 2017) e são responsáveis por cerca de 50-90% da mortalidade natural de pragas que ocorre no campo (BACCI et al., 2019; PIMENTEL, 2005). Nesse contexto, o controle biológico consiste em uma importante ferramenta para programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP) (CHIDAWANYIKA; MUDAVANHU; NYAMUKONDIWA, 2012).

O percevejo predador *Podisus nigrispinus* atua no controle de lagartas desfolhadoras de grande importância econômica, entre elas a lagarta do cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* (TORRES; ZANUNCIO; MOURA, 2006). No entanto, *P. nigrispinus* pode ser exposto a inseticidas sintéticos utilizados para o controle de pragas, o que pode causar efeitos letais e subletais a esse predador (MARTÍNEZ et al., 2018).

O controle biológico e o uso de inseticidas são duas importantes estratégias de manejo (LIU et al., 2016). O sucesso da integração dessas estratégias depende de uma avaliação completa dos efeitos dos inseticidas sobre esses agentes de controle biológico (WANUMEN et al., 2016). Desse modo, além dos efeitos letais causados por inseticidas, os efeitos subletais desses compostos devem também ser considerados (MAHDAVI et al., 2015). Assim, é crucial a avaliação dos impactos dessas substâncias na reprodução, na dinâmica populacional e no comportamento de indivíduos que sobrevivem à exposição a um agente tóxico na dose/concentração letal ou subletal (FRANÇA et al., 2017). Esses estudos permitem analisar a seletividade e a adequação de inseticidas sintéticos ou naturais ao MIP (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007).

Compostos botânicos, como óleos essenciais de plantas, podem ser uma alternativa aos inseticidas sintéticos por serem considerados tóxicos para insetos-praga (ISMAN, 2006), pouco tóxicos para mamíferos e geralmente compatíveis com programas de controle biológico (MOSSA, 2016). Estudos relatam que os óleos essenciais são seletivos a artrópodes benéficos, no entanto pode haver exceções (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007), o que exige, portanto, uma avaliação específica dos efeitos desses compostos em inimigos naturais.

Lippia sidoides (Verbenaceae) é uma planta nativa do Nordeste brasileiro, conhecida popularmente como alecrim-pimenta (CAVALCANTI et al., 2010). O óleo essencial dessa planta apresenta diversas propriedades biológicas e tem mostrado atividade no controle de pragas (BACCI et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2018; SANTOS et al., 2017). No entanto, não há relatos dos efeitos desse óleo essencial e de seu composto majoritário sobre populações de *P. nigrispinus*.

No primeiro capítulo desta dissertação, avaliamos a toxicidade e os efeitos de doses subletais do óleo essencial de *L. sidoides* e de seu composto timol no desenvolvimento, nos parâmetros reprodutivos, nos parâmetros demográficos e na eficiência de predação do percevejo predador *P. nigrispinus*. Já no segundo capítulo, por sua vez, foram avaliados a toxicidade dos compostos botânicos citados anteriormente contra o herbívoro *S. frugiperda* e o predador *P. nigrispinus*, bem como os efeitos comportamentais desses compostos sobre o percevejo predador. Em ambos os capítulos, os efeitos letais e subletais foram comparados com aqueles ocasionados pelo inseticida sintético deltametrina, comumente utilizado no controle de *S. frugiperda*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Inimigos naturais

O controle biológico de pragas consiste na regulação das populações desses organismos por meio de inimigos naturais, que reduzem a abundância daquelas, tornando-as menos prejudiciais (EILENBERG; HAJEK; LOMER, 2001). Inimigos naturais ou agentes de controle biológico são um componente importante para a produção agrícola sustentável (THOMSON; HOFFMANN, 2010) e, por meio do controle de insetos-praga, fornecem um dos principais serviços ecossistêmicos para a agricultura (MARTIN et al., 2013).

Os inimigos naturais são responsáveis por cerca de 50-90% da mortalidade natural de pragas que ocorre no campo (BACCI et al., 2019; PIMENTEL, 2005). Porém, é difícil estimar a grandeza econômica da contribuição desses indivíduos em programas de manejo de pragas. Nos Estados Unidos, por exemplo, estima-se que o valor desse serviço essencial gira em torno de \$4,49 bilhões anualmente (LOSEY; VAUGHN, 2006). Dessa forma, entender a importância desse serviço ecossistêmico ajuda a ampliar as táticas de conservação e aumento desses organismos (NARANJO; ELLSWORTH; FRISVOLD, 2015).

De acordo com Hajek (2004), o principal objetivo da relação entre inimigos naturais e pragas é que a morte destas ocorra o mais rápido possível, de modo a se evitar que maiores danos sejam causados aos cultivos. De forma geral, para ser considerado eficaz, o inimigo natural deve apresentar características como adaptabilidade às mudanças nas condições ambientais, alta capacidade de aumento populacional em relação ao hospedeiro/presa, alta capacidade de busca; sincronização sazonal com seu hospedeiro/presa e capacidade de sobreviver na ausência do hospedeiro/presa (SAMPAIO et al., 2009).

Os agentes usados no controle biológico estão distribuídos em uma série de grupos taxonômicos, sendo classificados como patógenos, parasitoides e predadores (BELLOWS; BELLOWS; DRIESCHE, 1996). Os entomopatógenos são microrganismos, como vírus, bactérias, fungos, protozoários e nematoides, que causam doenças em populações de insetos-praga (KACHHAWA, 2017). Parasitoides são organismos que completam o seu ciclo em um único hospedeiro que geralmente morre. Suas larvas exibem o hábito parasítico, e os adultos são de vida livre. A maioria dos parasitoides pertence à ordem Hymenoptera e Diptera (PARRA et al., 2002), como exemplos podem ser mencionadas as espécies *Cotesia flavipes*, *Trichogramma pretiosum*, *Telenomus podisi* e *Dexia rustica*. Predadores são indivíduos de vida livre que requerem um grande número de presas para completar o seu ciclo de vida e podem apresentar o comportamento predatório tanto na fase imatura quanto na fase adulta (PARRA et al., 2002). Estão presentes em várias ordens de insetos e, como exemplos de predadores, podem ser citadas as espécies *Orius insidiosus*, *Chrysoperla externa*, *Labidura riparia*, *Cycloneda sanguinea* e *Podisus nigrispinus*.

2.2 *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae)

O percevejo predador *Podisus nigrispinus* apresenta grande potencial para uso no Manejo Integrado de Pragas (MIP) (DE CASTRO et al., 2015) como agente de controle biológico em diferentes culturas (MEDEIROS et al., 2000). *Podisus nigrispinus* tem ampla distribuição na região Neotropical, apresenta hábito de predação generalista e ataca principalmente larvas de insetos das ordens Lepidoptera e Coleoptera (DE CLERCQ, 2000). Na ausência de presa, *P. nigrispinus* pode utilizar plantas como alimento (EVANGELISTA et al., 2004), sendo classificado como inseto zoofitófago devido ao seu hábito alimentar (COLL; GUERSHON, 2002).

Esse predador contribui para o controle de diversas pragas de importância econômica (TORRES; ZANUNCIO; MOURA, 2006). Entre os exemplos de pragas atacadas por *P. nigrispinus* em grandes culturas como soja, milho e algodão podem ser citadas as lagartas desfolhadoras *Anticarsia gemmantalis*, *Spodoptera frugiperda* e *Alabama argilacea*, respectivamente (BORTOLI et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2002). Esse predador pode reduzir

populações de *Plutella xylostella* (VACARI et al., 2013) e *Ascia monuste orseis* em Brássicas (PICANÇO et al., 1997) e *Tuta absoluta* em plantios de tomate (VIVAN et al., 2002). Além de culturas agrícolas, *P. nigrispinus* pode ser usado para o controle de pragas em cultivos florestais de eucalipto (TORRES; ZANUNCIO; MOURA, 2006).

O ciclo de vida de *P. nigrispinus* compreende as fases de ovo, ninfa e adulto. O período de incubação de ovos, o desenvolvimento ninfal e a longevidade de fêmeas de *P. nigrispinus* estão entre 5 a 6, 17 a 20 e 30 a 85 dias, respectivamente, sob temperatura de 25–27 °C, umidade relativa de 70–85% e fotoperíodo de 12 horas (TORRES; ZANUNCIO; MOURA, 2006). No entanto, os parâmetros de história de vida podem variar de acordo com o tipo de recurso, a temperatura, a exposição a pesticidas, entre outros fatores (DENEZ et al., 2014; GONTIJO et al., 2018; GRIGOLLI et al., 2017; PELUZIO et al., 2018; VACARI et al., 2014).

Adultos de *P. nigrispinus* apresentam dimorfismo sexual, de modo que as fêmeas são maiores e mais pesadas em comparação com os machos. As fêmeas podem atingir entre 10 e 12 milímetros de comprimento e pesar entre 45 e 140 mg, ao passo que os machos estão entre 8 a 10 milímetros e podem pesar de 35 a 100 mg (TORRES; ZANUNCIO; MOURA, 2006). Adicionalmente, a maturidade sexual ocorre por volta de 2 a 4 dias após a emergência para fêmeas, já os machos necessitam apenas de 1 a 2 dias (CARVALHO, et al., 1994).

A cópula tem longa duração e varia de 3,2 a 13 horas. Fêmeas de *P. nigrispinus* acasalam múltiplas vezes, garantindo o sucesso reprodutivo da espécie pela eficiência da transferência de espermatozoides (RODRIGUES et al., 2008). De acordo com Zanuncio et al. (2001), durante o período reprodutivo, a fêmea pode produzir de 260 a 501 ovos, em um período de oviposição de 18 a 28 dias, dependendo do tipo de presa consumida.

Após a eclosão dos ovos, as ninfas passam por cinco estádios. Os três primeiros ínstarés ninfais duram cerca de três dias cada, e o quarto e o quinto ínstarés duram em média quatro dias (BUENO et al., 2012). No primeiro ínstar, as ninfas têm hábito gregário, permanecendo próximo ao local de eclosão, a princípio não se alimentam de presas. Nos ínstarés seguintes, começa o forrageamento na área em busca de presas para sua alimentação (BUENO et al., 2012).

2.2.1. *Podisus nigrispinus*: predador de *Spodoptera frugiperda*

A lagarta do cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda*, é uma praga de importância econômica que tem sido relatada em diversas culturas, principalmente na cultura do milho (GALLO et al., 2002). Os danos causados por essa praga em lavouras de milho variam de 20% a 100% no Brasil (CRUZ et al., 1999). Esses danos são atribuídos a características biológicas de *S. frugiperda* como polifagia, alta dispersão na fase adulta, alta capacidade reprodutiva e capacidade de produzir várias gerações por ano (BARROS; TORRES; BUENO, 2010).

O controle de *S. frugiperda* geralmente é baseado na utilização de inseticidas. No entanto, essa praga tem desenvolvido resistência a diversas classes de inseticidas (CARVALHO et al., 2013; YU; NGUYEN; ABO-ELGHAR, 2003), o que gera a necessidade da integração de outras táticas de controle em seu manejo, como o controle biológico.

Várias espécies de inimigos naturais atuam no controle biológico de *S. frugiperda*, merecendo destaque o percevejo predador *P. nigrispinus*. Isso porque as espécies do gênero *Podisus* apresentam hábito generalista e são encontradas em diferentes agroecossistemas alimentando-se principalmente de lagartas desfolhadoras (BORTOLI et al., 2011; TORRES; ZANUNCIO; MOURA, 2006), inclusive de lagartas da família Noctuidae, como *S. frugiperda* (DE OLIVEIRA et al., 2004).

2.3. Impacto do uso de inseticidas sintéticos sobre inimigos naturais

A utilização de inseticidas sintéticos é a forma mais comum de controle de pragas (CHOWAŃSKI et al., 2014). Entre os benefícios relacionados ao uso dessas moléculas estão

o aumento da produção de alimentos, a redução de perdas na colheita e a prevenção de doenças humanas transmitidas por vetores (CARVALHO, 2017; SARWAR, 2015; WOJCIECHOWSKA; STEPNOWSKI; GO, 2016). Embora a utilização de inseticidas traga alguns benefícios relacionados ao controle de pragas, existem também muitos problemas associados ao seu uso abusivo, como resistência e ressurgência de populações de pragas, prejuízos à saúde humana e animal, além de efeitos negativos ao meio ambiente e a organismos benéficos, como insetos polinizadores e agentes de controle biológico (SARWAR, 2015).

O valioso trabalho de regulação de pragas fornecido pelos inimigos naturais pode ser comprometido em sistemas agrícolas devido à exposição a pesticidas que afetam sua sobrevivência (ROUBOS; RODRIGUEZ-SAONA; ISAACS, 2014). A utilização de inseticidas e o controle biológico são duas importantes estratégias de manejo (LIU et al., 2016), e a integração bem-sucedida dessas estratégias depende de uma avaliação completa dos efeitos dos inseticidas sobre os inimigos naturais das pragas (WANUMEN et al., 2016). Apesar de ser uma importante questão para o MIP, a compatibilidade entre esses métodos de controle nem sempre ocorre.

Inseticidas formulados para serem eficientes no controle de insetos-alvo podem afetar adversamente parasitoides e predadores, por causarem efeitos letais e subletais a esses organismos (GENTZ; MURDOCH; KING, 2010). Os inimigos naturais podem ser expostos a essas substâncias tóxicas no momento da aplicação, após o contato com a área pulverizada e pelo consumo de presas contaminadas (NDAKIDEMI; MTEI; NDAKIDEMI, 2016).

Tradicionalmente, a avaliação da segurança dos produtos químicos aos artrópodes benéficos é realizada pela estimativa de efeitos letais (FRANÇA et al., 2017). Por muito tempo, essa avaliação era largamente estudada apenas pela determinação de dose letal mediana (DL_{50}) ou concentração letal (CL_{50}). Era ainda examinada por meio da execução de testes de seletividade, baseada em valores de DL_{50} da praga e do inimigo natural (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007). No entanto, além da mortalidade causada diretamente por inseticidas, seus níveis subletais devem também ser considerados (MAHDAVI et al., 2015).

Atualmente, tem se dado muita atenção aos efeitos subletais dos inseticidas em agentes de controle biológico (MARTINOU; STAVRINIDES, 2015). Efeitos subletais são definidos como efeitos biológicos, fisiológicos, demográficos ou comportamentais em indivíduos ou populações que sobrevivem à exposição a um agente tóxico na dose/concentração letal ou subletal (FRANÇA et al., 2017). A capacidade de inimigos naturais sobreviverem à exposição de pesticidas pode afetar fortemente os serviços ao ecossistema, como a predação e o parasitoidismo (BOSTANIAN; AKALACH, 2004). Dessa forma, o estudo desses efeitos é essencial para se analisar a seletividade e a adequação dos pesticidas ao MIP (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007).

2.3.1 Biologia

Os inseticidas podem afetar negativamente os parâmetros biológicos de inimigos naturais, como desenvolvimento, longevidade e fecundidade (FERNANDES; BACCI; FERNANDES, 2010). De fato, o desenvolvimento de *P. nigrispinus* foi estendido em plantas de algodão tratadas com 2,0 mg de tiametoxam, que retardou o período ninfal em 5,9 dias em relação a plantas não tratadas (TORRES; SILVA-TORRES; BARROS, 2003). Para o predador *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) a exposição a CL_{30} do inseticida clorantroliprole resulta em aumento da duração da fase de pupa, do segundo e quarto ínstares (NAWAZ et al., 2017). Um dos motivos para o retardo do desenvolvimento dos estádios imaturos, ocasionado por pesticidas, pode ser devido ao maior gasto de energia com desintoxicação química (HANNIG; ZIEGLER; PAULA, 2009).

As altas fecundidade e longevidade de inimigos naturais contribuem para maximizar o sucesso reprodutivo durante seu ciclo de vida (PLOUVIER; WAJNBERG, 2018). No entanto,

baixas concentrações letais de abamectina afetam severamente a fecundidade e a longevidade de fêmeas tratadas do tripes predador *Scolothrips longicornis* (Thysanoptera: Thripidae), com aumento do período de pré-oviposição, redução do período de oviposição e do número de ovos por fêmea (PAKYARI; ENKEGAARD, 2015). Em outro estudo, imidacloprido e carbofurano reduziram a longevidade de machos e fêmeas de *Hippodamia undecimnotata* (Coleoptera: Coccinellidae), além de levar à redução do número de ovos produzidos (PAPACHRISTOS; MILONAS, 2008).

2.3.2 Crescimento populacional

Os efeitos de inseticidas em inimigos naturais a nível populacional têm sido enfatizados em comparação com a avaliação a nível individual (TALEBI; KAVOUSI; SABAH, 2008). Estudos de toxicologia demográfica podem ser realizados por meio de tabelas de vida de fertilidade, que fornecem uma medida do efeito dessas substâncias sobre a taxa de crescimento da população (FRANÇA et al., 2017). Tabelas de vida de fertilidade são construídas com a finalidade de avaliar o desenvolvimento, a fecundidade e a sobrevivência, sendo uma importante ferramenta para a compreensão da dinâmica populacional de uma espécie (SOUTHWOOD; HENDERSON, 2000).

Nesses estudos, a mortalidade e a reprodução são registradas diariamente, e esses dados são usados para gerar parâmetros de tabela de vida (STARK; BANKS, 2003). Os parâmetros de tabela de vida de fertilidade são: taxa reprodutiva líquida (R_0), que diz respeito ao número de fêmeas adicionadas por fêmea durante sua vida; duração de uma geração (T), ou seja, o tempo entre o nascimento dos pais e dos filhos; taxa intrínseca de crescimento populacional (r_m), que é a taxa de aumento populacional por unidade de tempo; razão finita de crescimento (λ), número de vezes em que a população se multiplica em uma unidade de tempo; e tempo para a população dobrar em número (TD) (KREBS, 1994).

Tais parâmetros de populações de inimigos naturais podem ser afetados por inseticidas (DE CASTRO et al., 2015; HE et al., 2018; RAHMANI; AZIMI; MOGHADASI, 2016). Isso foi observado para o predador *Ceraeochrysa cubana* (Neuroptera: Chrysopidae), que, apresentou redução na taxa reprodutiva líquida, razão finita de crescimento e da taxa intrínseca de aumento, além de um aumento no tempo para dobrar a população quando larvas de terceiro ínstar foram submetidas à pulverização dos inseticidas fosmete, imidacloprido e piriproxifeno (RUGNO et al., 2018). O inseticida regulador de crescimento diflubenzuron afetou negativamente esses mesmos parâmetros do percevejo predador *P. nigrispinus*, além de causar redução no período de incubação, viabilidade de ovos e número de ninfas por fêmea (DE CASTRO et al., 2012).

Para o parasitoide *Eretmocerus mundus* (Hymenoptera: Aphelinidae), foi observada drástica redução dos parâmetros demográficos devido à exposição ao inseticida espirotetramato, em especial para a taxa reprodutiva líquida (R_0), que apresentou uma redução maior que 50% em relação ao controle, alterando, desse modo, a dinâmica populacional dessa espécie (FRANCESENA et al., 2017). Inseticidas como imidacloprido e abamectina apresentam baixa compatibilidade com o predador *Cryptolaemus montrouzieri* (Coleoptera: Coccinellidae), visto que afetam negativamente seus parâmetros de crescimento populacional (KHANI; AHMADI; GHADAMYARI, 2012).

2.3.3 Comportamento

O comportamento abrange uma ampla gama de atividades que envolvem as relações que um inseto tem com indivíduos de sua própria espécie, com indivíduos de outras espécies e com o meio físico. Alterações comportamentais influenciam a sobrevivência e o sucesso reprodutivo dos insetos (MATTHEWS; MATTHEWS, 2010). Tais alterações podem ser ocasionadas por níveis de inseticidas que não causam mortalidade.

Na literatura, o número de estudos sobre efeitos comportamentais de pesticidas em inimigos naturais tem crescido nos últimos anos, porém ainda há muito a ser estudado sobre

esses efeitos (MARTINOU; SERAPHIDES; STAVRINIDES, 2014). Mudanças comportamentais podem ser observadas em inimigos naturais expostos a doses subletais de inseticidas, que provocam impactos negativos em sua mobilidade, orientação, alimentação, oviposição e aprendizagem (FERNANDES; BACCI; FERNANDES, 2010).

Inseticidas causam várias alterações nos movimentos dos artrópodes benéficos (FERNANDES; BACCI; FERNANDES, 2010). Deltametrina, metamidofós, espinosade e clorantniliprole, por exemplo, reduzem a atividade locomotora de ninfas do percevejo predador *Supputius cincticeps* (Hemiptera: Pentatomidae) (DE CASTRO et al., 2013), o que pode ser uma estratégia adaptativa que permite menor exposição desses insetos a resíduos tóxicos (CAMPOS et al., 2011). Essas alterações comportamentais na locomoção podem resultar em redução significativa na eficiência de captura da praga e acasalamento de inimigos naturais em áreas pulverizadas com pesticida (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007; HE et al., 2012).

Inimigos naturais gastam uma significativa parte de sua vida procurando por hospedeiros ou presas. Essa atividade é governada pelos sistemas sensorial e nervoso, os quais podem ser afetados por inseticidas com ação neurotóxica, prejudicando, assim, o comportamento de orientação desses insetos (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007). Pistas olfativas e visuais são necessárias para a busca de hospedeiro ou presa, no entanto o inseticida imidacloprido reduz a habilidade do parasitoide *Anagrus nilaparvatae* (Hymenoptera: Mymaridae) de perceber sinais de odor do hospedeiro e de plantas infestadas e, conseqüentemente, afeta a capacidade de forrageamento desse parasitoide (LIU et al., 2010). Doses subletais de pesticidas podem também afetar a escolha de presas por predadores generalistas, e isso devido a prejuízos ao seu sistema sensorial (PETCHARAD; KOŠULIĆ; MICHALKO, 2018).

Os inseticidas podem ainda interferir no comportamento alimentar dos inimigos naturais, levando à redução da alimentação que pode influenciar a taxa de parasitismo/predação (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007). Abamectina e diafentiurom reduzem a taxa de predação de *P. nigrispinus* (TORRES et al., 2002). Já *Andrallus spinidens* (Hemiptera: Pentatomidae) apresenta comportamento alimentar alterado, com aumento do tempo para consumir uma presa devido à redução da taxa de ataque e ao aumento do tempo de manuseio da presa, ocasionado pela exposição aos inseticidas diazinon, fenitrothion e clorpirifós (GHOLAMZADEHCHITGAR et al., 2014).

2.4 Seletividade de inseticidas

Bartlett (1964) definiu seletividade como a capacidade de um pesticida de preservar inimigos naturais enquanto controla a praga-alvo. A seletividade pode ser dividida em seletividade ecológica e fisiológica. A seletividade ecológica baseia-se no emprego de técnicas de utilização dos inseticidas que visam a minimizar a exposição de inimigos naturais a esses produtos. Já a seletividade fisiológica consiste no uso de inseticidas com baixa toxicidade para os inimigos naturais ou que sejam mais tóxicos para pragas do que para predadores e parasitoides (PEDIGO, 1999).

Para avaliar a seletividade dos inseticidas em inimigos naturais, pode-se utilizar as concentrações recomendadas para o controle de pragas, o que possibilita a avaliação dos efeitos desses produtos no momento da aplicação. Já o uso de subconcentrações possibilita a análise do impacto dos inseticidas quando estes forem decompostos no campo (SUINAGA et al., 1996). Essa informação permite definir o tempo necessário após a aplicação do inseticida para liberação de inimigos naturais na área de plantio e possibilita conhecer o impacto de resíduos do inseticida sobre populações de inimigos naturais (GONRING et al., 2003).

Alguns mecanismos estão envolvidos na seletividade de inseticidas a inimigos naturais. Pode haver diferenças na taxa de penetração de pesticidas no inseto, o que pode estar relacionado à composição química e à espessura da cutícula dos agentes de controle biológico (YU, 1988). Outra justificativa, que ocorre em alguns casos, é o maior tamanho do inimigo

natural em relação à praga, o que implica menor área específica e, dessa forma, menor exposição aos compostos. Além disso, a tolerância de inimigos naturais também pode estar associada a maiores taxas de metabolização do inseticida e/ou a alterações no local de ação dessas substâncias (YU, 1988).

2.5 Óleos essenciais e inimigos naturais

Nos últimos anos, tem crescido a busca por inseticidas eficientes para o controle de pragas e que apresentem baixa toxicidade para organismos não alvo, como inimigos naturais e polinizadores (SEIXAS et al., 2018). Inseticidas botânicos à base de óleos essenciais de plantas podem ser uma alternativa aos inseticidas sintéticos, por serem considerados tóxicos para insetos-praga (ISMÁN, 2006), pouco tóxicos para mamíferos e geralmente compatíveis com programas de controle biológico, pela seletividade aos inimigos naturais (MOSSA, 2016).

Os óleos essenciais são compostos provenientes do metabolismo secundário de plantas e exercem um importante papel para o sistema de defesa contra fungos, bactérias, vírus e insetos herbívoros (BAKKALI et al., 2008). São constituídos por complexas misturas de substâncias orgânicas, como terpenos e compostos fenólicos, e sua composição difere amplamente entre diferentes espécies de plantas (PAVELA; BENELLI, 2016).

Compostos botânicos são seguros para inimigos naturais quando não são tóxicos para predadores e parasitoides ou quando a dosagem requerida para matá-los é muito maior do que a requerida para matar a praga-alvo (KOUL, 2016). Estudos sugerem que os óleos essenciais são seletivos a artrópodes não alvo. Os óleos essenciais de *Origanum vulgare* e *Thymus vulgaris*, que são eficientes para o controle de *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae), são altamente seletivos ao parasitoide *Trissolcus basalís* (Hymenoptera: Platygastridae) e não afetam seu comportamento (WERDIN GONZÁLEZ et al., 2013). Já o óleo essencial de *Corymbia citriodora* apresenta toxicidade para a lagarta *Ascia monuste* (Lepidoptera: Pieridae) e é seletivo à formiga predadora *Solenopsis saevissima* (Hymenoptera: Formicidae) (RIBEIRO et al., 2018).

Apesar de serem considerados seletivos aos inimigos naturais, os óleos essenciais nem sempre são seguros para esses organismos. Efeitos negativos de óleos essenciais contra inimigos naturais também têm sido reportados. O óleo essencial de *Zingiber officinale* foi prejudicial ao parasitoide *Trichogramma galloi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), reduzindo a longevidade das fêmeas, a emergência e a taxa de parasitismo (PARREIRA et al., 2018). Óleos essenciais de *Mentha pulegium*, *Mentha piperita*, *Ocimum basilicum* e *Citrus sinensis* foram eficazes para o controle de afídeos em casa de vegetação, no entanto foram igualmente ou mais tóxicos para seus predadores coccinelídeos, *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) e *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae), não sendo compatíveis com programas de MIP (KIMBARIS et al., 2010). Diante disso, a avaliação dos riscos para organismos não alvo é necessária, visto que óleos essenciais com atividade inseticida representam uma importante ferramenta para o manejo de pragas e podem servir como precursores para síntese de novos ingredientes ativos (CASTILHOS; GRÜTZMACHER; COATS, 2018).

2.6 *Lippia sidoides*

A família Verbenaceae é composta por cerca de 100 gêneros e 3151 espécies, distribuídas principalmente na região tropical e subtropical (ROY; SULTANA; RAHMAN, 2016). O gênero *Lippia* é o segundo maior dessa família e possui aproximadamente 200 espécies de ervas, arbustos e árvores de pequeno porte, distribuídas principalmente na América Central, em regiões tropicais da África, na América do Norte, na América do Sul e na Austrália (PASCUAL et al., 2001; TERBLANCHÉ; KORNELIUS, 1996).

A espécie *Lippia sidoides* Cham. (Verbenaceae), é uma planta aromática encontrada na região da Caatinga do Nordeste brasileiro, conhecida popularmente como alecrim-pimenta

(CAVALCANTI et al., 2010). As folhas de *L. sidoides* são usadas na medicina popular para o tratamento contra acne, feridas, infecções de pele, e suas infusões são utilizadas para tratamento de rinite alérgica, infecções bucais e de garganta (MARTINS et al., 2003). O óleo essencial possui alto valor econômico, pois é muito utilizado na indústria cosmética para produção de cremes, perfumes, loções e desodorantes (BOTELHO et al., 2007).

O óleo essencial de *L. sidoides* apresenta diversas propriedades biológicas, como atividade anti-inflamatória, bactericida, fungicida, acaricida e inseticida (BACCI et al., 2015; BATISTA et al., 2013; CASTRO et al., 2011; SOARES et al., 2016; VERAS et al., 2012). As atividades biológicas têm sido atribuídas ao composto majoritário timol, que, quando isolado, exibe atividade semelhante à do óleo essencial (VERAS et al., 2012). As folhas de alecrim-pimenta podem conter até 4,5% de óleo essencial rico em timol, que é responsável pelo cheiro característico da espécie (MATOS, 2002).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACCI, L. et al. Natural mortality factors of tomato leafminer *Tuta absoluta* in open-field tomato crops in the South America. **Pest Management Science**, v. 75, p. 736-743, 2019.
- BACCI, L. et al. Toxicity, behavior impairment, and repellence of essential oils from pepper-rosmarin and patchouli to termites. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 156, n. 1, p. 66–76, 2015.
- BAKKALI, F. et al. Biological effects of essential oils - A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446–475, 2008.
- BARROS, E. M.; TORRES, J. B.; BUENO, A. F. Oviposição, desenvolvimento e reprodução de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes hospedeiros de importância econômica. **Neotropical Entomology**, v. 39, n. 6, p. 996–1001, 2010.
- BARTLETT, B. R. Integration of chemical and biological control. In: DE BACH. P. (Ed.). **Biological Control of insect pests and weeds**. 1. ed. London: Chapman & Hall. 1964. p. 489-511.
- BATISTA, R. S. D. A. et al. Atividade antifúngica de alecrim-pimenta (*Lippia sidoides* Cham.) sobre *Candida* spp. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 34, n. 1, p. 40–49, 2013.
- BELLOWS, T. S.; BELLOWS, T. S.; DRIESCHE, R. VAN (EDS.). **Biological control**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- BORTOLI, S. A. et al. Comparative biology and production costs of *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) when fed different types of prey. **Biological Control**, v. 58, n. 2, p. 127–132, 2011.
- BOSTANIAN, N. J.; AKALACH, M. The contact toxicity of indoxacarb and five other insecticides to *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) and *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae), beneficials used in the greenhouse industry. **Pest Management Science**, v. 60, n. 12, p. 1231–1236, 2004.
- BOTELHO, M. A. et al. Antimicrobial activity of the essential oil from *Lippia sidoides*, carvacrol and thymol against oral pathogens. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 40, n. 3, p. 349–356, 2007.
- BUENO, A. DE F. et al. Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research and field recommendation. **Ciência Rural**, v. 47, n. 6, 2017.
- BUENO, A. F. et al. Inimigos naturais das pragas da soja. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Eds.). **Soja - Manejo Integrado de Insetos e outros Artrópodes-Praga**. Londrina: Embrapa Soja, 2012. p. 493–629.
- CAMPOS, M. R. et al. Insecticide selectivity and behavioral response of the earwig *Doru luteipes*. **Crop Protection**, v. 30, n. 12, p. 1535–1540, 2011.
- CARVALHO, F. P. Pesticides, environment, and food safety. **Food and Energy Security**, v. 6, n. 2, p. 48–60, 2017.
- CARVALHO, R. A. et al. Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. **PLoS ONE**, v. 8, n. 4,

2013.

CARVALHO, R. D. S., VILELA, E. F., BORGES, M., ZANUNCIO, J. C. Caracterização morfológica da glândula do feromônio sexual do predador *Podisus nigrispinus* (Dallas). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 23, n. 1, p. 142–147, 1994.

CASTILHOS, R. V.; GRÜTZMACHER, A. D.; COATS, J. R. Acute toxicity and sublethal effects of terpenoids and essential oils on the predator *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae). **Neotropical Entomology**, v. 47, n. 2, p. 311–317, 2018.

CASTRO, C. E. et al. Antimicrobial activity of *Lippia sidoides* Cham. (Verbenaceae) essential oil against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. **Rev. bras. plantas med.**, p. 293–297, 2011.

CAVALCANTI, S. C. H. et al. Composition and acaricidal activity of *Lippia sidoides* essential oil against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). **Bioresource Technology**, v. 101, n. 2, p. 829–832, 2010.

CHIDAWANYIKA, F.; MUDAVANHU, P.; NYAMUKONDIWA, C. Biologically based methods for pest management in agriculture under changing climates: Challenges and future directions. **Insects**, v. 3, n. 4, p. 1171–1189, 2012.

CHOWAŃSKI, S. et al. Synthetic insecticides - Is there an alternative? **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 23, n. 2, p. 291–302, 2014.

COLL, M.; GUERSHON, M. Omnivory in terrestrial arthropods: Mixing plant and prey diets. **Annual review of entomology**, v. 47, p. 267–297, 2002.

CRUZ, I. et al. Damage of *Spodoptera frugiperda* (Smith) in different maize genotypes cultivated in soil under three levels of aluminium saturation. **International Journal of Pest Management**, v. 45, n. 4, p. 293–296, 1999.

DE CASTRO, A. A. et al. Demographic parameters of the insecticide-exposed predator *Podisus nigrispinus*: Implications for IPM. **BioControl**, v. 60, n. 2, p. 231–239, 2015.

DE CASTRO, A. A. et al. Effect of the insect growth regulator diflubenzuron on the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). **Ecotoxicology**, v. 21, n. 1, p. 96–103, 2012.

DE CASTRO, A. A. et al. Survival and behavior of the insecticide-exposed predators *Podisus nigrispinus* and *Supputius cincticeps* (Heteroptera: Pentatomidae). **Chemosphere**, v. 93, n. 6, p. 1043–1050, 2013.

DE CLERCQ, P. Predaceous stinkbugs (Pentatomidae: Asopinae). In: SCHAEFER, C. W.; PANIZZI, A. R. (Eds.). **Heteroptera of Economic Importance**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 737–789.

DE OLIVEIRA, H. N. et al. Desenvolvimento do predador *Podisus nigrispinus* alimentado com *Spodoptera frugiperda* e *Tenebrio molitor*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 10, p. 947–951, 2004.

DENEZ, M. D. et al. Biological parameters of *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) fed with different soybean insect pests. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 107, n. 5, p. 967–974, 2014.

DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J.-M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 52, n. 1, p. 81–106, 2007.

EILENBERG, J.; HAJEK, A.; LOMER, C. Suggestions for unifying the terminology in biological control. **BioControl**, v. 46, n. 4, p. 387–400, 2001.

EVANGELISTA, W. S. et al. Fitofagia de *Podisus nigrispinus* em algodoeiro e plantas daninhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 5, p. 413–420, 2004.

FERNANDES, F. L.; BACCI, L.; FERNANDES, M. . Impact and selectivity of insecticides to predators and parasitoids. **EntomoBrasilis**, v. 3, n. 1, p. 1–10, 2010.

FRANÇA, S. M. DE et al. The sublethal effects of insecticides in insects. In: SHIELDS, V. D. C. (Ed.). . **Biological control of pest and vector insects**. Towson: InTech, 2017. p. 23–39.

FRANCESENA, N. et al. Side effects of spirotetramat on pupae and adults of a Neotropical strain of *Eretmocerus mundus* (Hymenoptera: Aphelinidae): Effects on the life parameters and demography. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 21, p. 17719–17730, 2017.

GALLO, D. . et al. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: Fealq, 2002.

GENTZ, M. C.; MURDOCH, G.; KING, G. F. Tandem use of selective insecticides and natural enemies for effective, reduced-risk pest management. **Biological Control**, v. 52, n. 3, p. 208–215, 2010.

GHOLAMZADEHCHITGAR, M. et al. Sublethal effects of diazinon, fenitrothion and chlorpyrifos on the functional response of predatory bug, *Andrallus spinidens* Fabricius (Hem.: Pentatomidae) in the laboratory conditions. **Journal of King Saud University - Science**, v. 26, n. 2, p. 113–118, 2014.

GONRING, A. H. R. et al. Seletividade de inseticidas a *Podisus rostralis* (Stal) (Heteroptera: Pentatomidae) predador de lagartas desfolhadoras de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 27, p. 263–268, 2003.

GONTIJO, P. C. et al. Non-target impacts of soybean insecticidal seed treatments on the life history and behavior of *Podisus nigrispinus*, a predator of fall armyworm. **Chemosphere**, v. 191, p. 342–349, 2018.

GRIGOLLI, J. F. J. et al. Phytophagy of the predator *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) fed on prey and Brassicaceae. **Brazilian Journal of Biology**, n. 0, p. 703–709, 2017.

HAJEK, A. E. **Natural Enemies: An Introduction to Biological Control**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

HANNIG, G. T.; ZIEGLER, M.; PAULA, G. M. Feeding cessation effects of chlorantraniliprole, a new anthranilic diamide insecticide, in comparison with several insecticides in distinct chemical classes and mode-of-action groups. **Pest Management Science**, v. 65, n. 9, p. 969–974, 2009.

HE, F. et al. Effects of insect growth-regulator insecticides on the immature stages of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 164, n. August, p. 665–674, 2018.

- HE, Y. et al. Lethal effect of imidacloprid on the coccinellid predator *Serangium japonicum* and sublethal effects on predator voracity and on functional response to the whitefly *Bemisia tabaci*. **Ecotoxicology**, v. 21, n. 5, p. 1291–1300, 2012.
- ISMAN, M. B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. **Annual Review of Entomology**, v. 51, n. 1, p. 45–66, 2006.
- KACHHAWA, C. D. Microorganisms as a biopesticides. **Journal of Entomology and Zoology Studies JEZS**, v. 468, n. 53, p. 468–473, 2017.
- KHANI, A.; AHMADI, F.; GHADAMYARI, M. Side effects of imidacloprid and abamectin on the mealybug destroyer, *Cryptolaemus montrouzieri*. **Trakia Journal of Sciences**, v. 10, n. 3, p. 30–35, 2012.
- KIMBARIS, A. C. et al. Toxicity of plant essential oil vapours to aphid pests and their coccinellid predators. **Biocontrol Science and Technology**, v. 20, n. 4, p. 411–422, 2010.
- KOUL, O. **The handbook of naturally occurring insecticidal toxins**. Wallingford: CABI, 2016.
- KREBS, C. J. **Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance**. 4. ed. New York: Harper Collins College Publishers, 1994.
- LIU, F. et al. Effects of imidacloprid on the orientation behavior and parasitizing capacity of *Anagrus nilaparvatae*, an egg parasitoid of *Nilaparvata lugens*. **BioControl**, v. 55, n. 4, p. 473–483, 2010.
- LIU, Y. et al. Toxicity of nine insecticides on four natural enemies of *Spodoptera exigua*. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1–9, 2016.
- LOSEY, J. E.; VAUGHN, M. The economic value of ecological services provided by insects. **BioScience**, v. 56, n. 4, p. 311–323, 2006.
- MAHDAVI, V. et al. Lethal and demographic impact of chlorpyrifos and spinosad on the ectoparasitoid *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae). **Neotropical Entomology**, v. 44, n. 6, p. 626–633, 2015.
- MARTIN, E. A. et al. Natural enemy interactions constrain pest control in complex agricultural landscapes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 14, p. 5534–5539, 2013.
- MARTÍNEZ, L. C. et al. Permethrin induces histological and cytological changes in the midgut of the predatory bug, *Podisus nigrispinus*. **Chemosphere**, v. 212, p. 629–637, 2018.
- MARTINO, A. F.; SERAPHIDES, N.; STAVRINIDES, M. C. Lethal and behavioral effects of pesticides on the insect predator *Macrolophus pygmaeus*. **Chemosphere**, v. 96, p. 167–173, 2014.
- MARTINO, A. F.; STAVRINIDES, M. C. Effects of sublethal concentrations of insecticides on the functional response of two mirid generalist predators. **PLoS ONE**, v. 10, n. 12, p. 1–10, 2015.
- MARTINS, E. R. et al. **Plantas medicinais**. Viçosa: Editora UFV, 2003.

- MATOS, F. J. DE A. **Farmácias vivas: Sistema de utilização de plantas medicinais projetado para pequenas comunidades**. Fortaleza: Editora UFC, 2002.
- MATTHEWS, R. W.; MATTHEWS, J. R. (EDS.). **Insect Behavior**. 2. ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010.
- MEDEIROS, R. S. et al. Age-dependent fecundity and life-fertility tables for *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Het., Pentatomidae). **Journal of Applied Entomology**, v. 124, n. 7–8, p. 319–324, 2000.
- MOSSA, A. T. H. Green Pesticides: Essential oils as biopesticides in insect-pest management. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 9, n. 5, p. 354–378, 2016.
- NARANJO, S. E.; ELLSWORTH, P. C.; FRISVOLD, G. B. Economic value of biological control in Integrated Pest Management of managed plant systems. **Annual Review of Entomology**, v. 60, n. 1, p. 621–645, 2015.
- NAWAZ, M. et al. Toxicity and sublethal effects of chlorantraniliprole on the development and fecundity of a non-specific predator, the multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis* (Pallas). **Chemosphere**, v. 178, p. 496–503, 2017.
- NDAKIDEMI, B.; MTEI, K.; NDAKIDEMI, P. A. Impacts of synthetic and botanical pesticides on beneficial insects. **Agricultural Sciences**, v. 7, n. June, p. 364–372, 2016.
- OLIVEIRA, J. E. M. DE et al. Biologia de *Podisus nigrispinus* predando lagartas de *Alabama argillacea* em campo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 7–14, 2002.
- OERKE, E. C. Crop losses to pests. **Journal of Agricultural Science**, v. 144, n. 1, p. 31–43, 2006.
- PAKYARI, H.; ENKEGAARD, A. Sublethal and transgenerational effects of abamectin on the biological performance of the predatory thrips *Scolothrips longicornis* (Thysanoptera: Thripidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 2, p. 559–565, 2015.
- PAPACHRISTOS, D. P.; MILONAS, P. G. Adverse effects of soil applied insecticides on the predatory coccinellid *Hippodamia undecimnotata* (Coleoptera: Coccinellidae). **Biological Control**, v. 47, n. 1, p. 77–81, 2008.
- PARRA, J. R. P. et al. Controle Biológico: Terminologia. In: PARRA, J. R. P. et al. (Eds.). **Controle Biológico no Brasil, Parasitóides e Predadores**. 1. ed. São Paulo: Editora Manole, 2002. p. 635.
- PARREIRA, D. S. et al. Essential oils cause detrimental effects on biological parameters of *Trichogramma galloi* immatures. **Journal of Pest Science**, v. 91, n. 2, p. 887–895, 2018.
- PASCUAL, M. E. et al. *Lippia*: Traditional uses, chemistry and pharmacology: A review. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 76, n. 3, p. 201–214, 2001.
- PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 12, p. 1000–1007, 2016.
- PEDIGO, L. P. **Entomology and pest management**. 3. ed. Upper saddle river: Prentice Hall, 1999.

- PELUZIO, R. J. E. et al. Does diet of prey affect life table parameters of the predator *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae)? **Florida Entomologist**, v. 101, n. 1, p. 40–43, 2018.
- PETCHARAD, B.; KOŠULIČ, O.; MICHALKO, R. Insecticides alter prey choice of potential biocontrol agent *Philodromus cespitum* (Araneae, Philodromidae). **Chemosphere**, v. 202, p. 491–497, 2018.
- PICANÇO, M. et al. Seletividade de inseticidas a *Podisus nigrispinus* predador de *Ascia monuste orseis*. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 32, n. 4, p. 369–372, 1997.
- PIMENTEL, D. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. **Integrated Pest Management**, v. 3, p. 47–71, 2005.
- PISA, L. W. et al. Effects of neonicotinoids and fipronil on non-target invertebrates. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 1, p. 68–102, 2014.
- PLOUVIER, W. N.; WAJNBERG, E. Improving the efficiency of augmentative biological control with arthropod natural enemies: A modeling approach. **Biological Control**, v. 125, n. November 2017, p. 121–130, 2018.
- RAHMANI, S.; AZIMI, S.; MOGHADASI, M. LC₃₀ effects of thiamethoxam and pirimicarb, on population parameters and biological characteristics of *Macrolophus pygmaeus* (Hemiptera: Miridae). **Arthropods**, v. 5, n. 2, p. 44–55, 2016.
- RIBEIRO, A. V. et al. Selection of an essential oil from *Corymbia* and *Eucalyptus* plants against *Ascia monuste* and its selectivity to two non-target organisms. **Crop Protection**, v. 110, p. 207–213, 2018.
- RODRIGUES, A. R. S. et al. Spermatogenesis, changes in reproductive structures, and time constraint associated with insemination in *Podisus nigrispinus*. **Journal of Insect Physiology**, v. 54, n. 12, p. 1543–1551, 2008.
- ROUBOS, C. R.; RODRIGUEZ-SAONA, C.; ISAACS, R. Mitigating the effects of insecticides on arthropod biological control at field and landscape scales. **Biological Control**, v. 75, p. 28–38, 2014.
- ROY, T. R.; SULTANA, R. S.; RAHMAN, A. H. M. M. Taxonomic study and medicinal uses of Verbenaceae family of Rajshahi District, Bangladesh. **Journal of Progressive Research in Biology**, v. 3, n. 1, p. 160–172, 2016.
- RUGNO, G. R. R. et al. Lethal and sublethal toxicity of insecticides to the Lacewing *Ceraeochrysa cubana*. **Neotropical Entomology**, 2018.
- SAMPAIO, M. V. et al. **Biological control of insect pests in the tropics**. Oxford: Eolss Publishers Co., 2009.
- SANTOS, A. A. et al. Sub-Lethal effects of essential oil of *Lippia sidoides* on drywood termite *Cryptotermes brevis* (Blattodea: Termitoidea). **Ecotoxicology Environmental Safety**, v. 145, p. 436–441, 2017.
- SARWAR, M. The killer chemicals as controller of agriculture insect pests: The conventional insecticides. **International Journal of Chemical and Biomolecular Science**, v. 1, n. 3, p. 141–147, 2015.

- SEIXAS, P. T. L. et al. Bioactivity of essential oils from *Artemisia* against *Diaphania hyalinata* and its selectivity to beneficial insects. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 6, p. 519–525, 2018.
- SOARES, A. M. DOS S. et al. Assessment of different *Lippia sidoides* genotypes regarding their acaricidal activity against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. **Brazilian Journal of Veterinary Parasitology**, v. 25, n. 4, p. 401–406, 2016.
- SOUTHWOOD, T. R. E.; HENDERSON, P. A. **Ecological Methods**. 3. ed. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2000.
- STARK, J. D.; BANKS, J. E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 48, n. 1, p. 505–519, 2003.
- SUINAGA, F. A. et al. Seletividade fisiológica de inseticidas a *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Heteroptera: Pentatomidae) predador de lagartas desfolhadoras de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 20, n. 3, p. 407–414, 1996.
- TALEBI, K.; KAVOUSI, A.; SABAHI, Q. Impacts of pesticides on arthropod biological control agents. **Pest Technology**, v. 2, n. 2, p. 87–97, 2008.
- TERBLANCHÉ, F. C.; KORNELIUS, G. Essential oil constituents of the genus *Lippia* (verbenaceae) - a literature review. **Journal of Essential Oil Research**, v. 8, n. 5, p. 471–485, 1996.
- THOMSON, L. J.; HOFFMANN, A. A. Natural enemy responses and pest control: Importance of local vegetation. **Biological Control**, v. 52, n. 2, p. 160–166, 2010.
- TORRES, J.; ZANUNCIO, J. C.; MOURA, M. A. The predatory stinkbug *Podisus nigrispinus*: Biology, ecology and augmentative releases for lepidoperan larval control in *Eucalyptus* forests in Brazil. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v. 1, n. 015, 2006.
- TORRES, J. B. et al. Compatibilidade de inseticidas e acaricidas com o percevejo predador *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera : Pentatomidae) em algodoeiro. **Neotropical Entomology**, v. 31, p. 311–317, 2002.
- TORRES, J. B.; SILVA-TORRES, C. S. A.; BARROS, R. Relative effects of the insecticide thiamethoxam on the predator *Podisus nigrispinus* and the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* in nectaried and nectariless cotton. **Pest Management Science**, v. 59, n. 3, p. 315–323, 2003.
- VACARI, A. M. et al. Comparison of eggs, larvae, and pupae of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) as prey for *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 106, n. 2, p. 235–242, 2013.
- VACARI, A. M. et al. Effect of egg rearing temperature and storage time on the biological characteristics of the predatory stink bug *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 107, n. 1, p. 178–183, 2014.
- VERAS, H. et al. Topical anti inflammatory activity of essential oil of *Lippia sidoides* Cham : Possible mechanism of action. **Phytotherapy Research**, v. 27, n. 2, p. 179–185, 2012.
- VIVAN, L. M. et al. Comportamento de predação e conversão alimentar de *Podisus nigrispinus* sobre a traça-do-tomateiro. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 37, n. 5, p.

581–587, 2002.

WANUMEN, A. C. et al. Residual acute toxicity of some modern insecticides toward two mirid predators of tomato pests. **Journal of Economic Entomology**, v. 109, n. 3, p. 1079–1085, 2016.

WERDIN GONZÁLEZ, J. O. et al. Lethal and sublethal effects of four essential oils on the egg parasitoids *Trissolcus basalis*. **Chemosphere**, v. 92, n. 5, p. 608–615, 2013.

WOJCIECHOWSKA, M.; STEPNOWSKI, P.; GO, M. The use of insecticides to control insect pests. **Invertebrate Survival Journal**, v. 13, p. 210–220, 2016.

YU, S. J. Selectivity of insecticides to the sSpined soldier bug (Heteroptera: Pentatomidae) and its lepidopterous prey. **Journal of Economic Entomology**, v. 81, n. 1, p. 119–122, 1988.

YU, S. J.; NGUYEN, S. N.; ABO-ELGHAR, G. E. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 77, n. 1, p. 1–11, 2003.

ZANUNCIO, J. C. et al. Nymphal development and reproduction of *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) fed with combinations of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) pupae and *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) larvae. **Biocontrol Science and Technology**, v. 11, n. 3, p. 331–337, 2001.

ZANUNCIO, J. C. et al. Toxic effects of the neem oil (*Azadirachta indica*) formulation on the stink bug predator, *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). **Scientific Reports**, v. 6, n. May, p. 1–8, 2016.

4. ARTIGO 1

VANTAGENS PARA UM INIMIGO NATURAL SOBRE DOSES SUBLETAIS DE INSETICIDAS BOTÂNICOS: VIDA LONGA E FÉRTIL

Periódico a ser submetido: *Ecotoxicology and Environmental Safety*

RESUMO

A avaliação dos impactos de inseticidas (sintéticos ou naturais) é crucial para a manutenção de populações de inimigos naturais, como *Podisus nigrispinus*, importante predador de lagartas desfolhadoras em sistemas agrícolas e florestais. Nesse contexto, o presente estudo avaliou os efeitos de doses subletais do óleo essencial de *Lippia sidoides*, do seu composto majoritário timol e do inseticida sintético deltametrina na sobrevivência, nos parâmetros biológicos e no crescimento populacional de *P. nigrispinus*. Para isso, ninfas de terceiro ínstar foram expostas a DLs 10 e 30 dos compostos. O inseticida deltametrina foi 24.721 e 8.930 vezes mais tóxico ao percevejo predador que o OE de *L. sidoides* e timol, respectivamente. Todos os tratamentos prolongaram a duração do terceiro ínstar ninfal. Houve redução do peso de insetos, machos e fêmeas, expostos à DL₃₀ do óleo essencial e da deltametrina. Os compostos botânicos na DL₃₀ promoveram aumento na longevidade dos machos. Além disso, foi observado um aumento significativo do número de ovos e de ninfas/fêmea nas coortes submetidas aos compostos botânicos quando comparadas aos demais tratamentos. No entanto, não houve diferenças entre as médias dos parâmetros de tabela de vida, exceto para a taxa reprodutiva líquida (R₀), que foi maior para timol em comparação com a deltametrina. Os resultados indicam que os inseticidas botânicos de *L. sidoides* podem ser mais seguros para o predador *P. nigrispinus* do que o inseticida deltametrina, além de promoverem possíveis efeitos de hormese.

Palavras-chave: Efeitos subletais, tabela de vida, Asopinae, *Lippia sidoides*, timol.

ABSTRACT**Título: ADVANTAGES FOR A NATURAL ENEMY ON SUBLETHAL DOSES OF BOTANIC INSECTICIDES: LONG AND FERTILE LIFE**

Assessing the impacts of either synthetic or natural insecticides is crucial for maintaining populations of natural enemies such as *Podisus nigrispinus*, an important predator of defoliating caterpillars in agricultural and forestry systems. Therefore, the present study evaluated the effects of sublethal doses of the *Lippia sidoides* essential oil, its major compound thymol and the synthetic insecticide deltamethrin on survival, biological parameters and population growth of *P. nigrispinus*. In order to do so, third instar nymphs were exposed to DLs 10 and 30 of the compounds. The insecticide deltamethrin was 24,721 and 8,930 times more toxic to predatory insect than the OE of *L. sidoides* and thymol, in that order. All treatments prolonged the duration of the third nymphal instar. There was reduction in the weight of insects, both males and females, exposed to DL₃₀ of essential oil and deltamethrin. The botanical compounds in DL₃₀ promoted an increase in male longevity. Besides, a significant increase in the number of eggs and nymphs / female was observed in the cohorts submitted to botanical compounds when compared to the other treatments. Nevertheless, there were no differences in the averages of the life table parameters, except for the net reproductive rate (R₀), which was higher for thymol compared to deltamethrin. Our results indicate that the botanical insecticides of *L. sidoides* may be safer for the *P. nigrispinus* predator than the insecticide deltamethrin, in addition to promoting possible hormesis effects.

Keywords: Sublethal effects, life table, Asopinae, *Lippia sidoides*, thymol.

4.1. Introdução

O impacto da diversidade de espécies sobre a manutenção dos serviços ecossistêmicos tem sido alvo de vários estudos nas últimas décadas. Nos agroecossistemas, espécies de inimigos naturais (ex. predadores e parasitoides) exercem importante controle biológico natural (MARTIN et al., 2013) por regularem o tamanho das populações de herbívoros pragas (BUENO et al., 2017). No entanto, a simplificação dos habitats para a implantação de monoculturas de larga escala, assim como a utilização de insumos como pesticidas, tem causado um declínio na biodiversidade local, incluindo a redução de inimigos naturais (MEEHAN et al., 2011; RUSCH et al., 2016). Tais mudanças levam a uma maior ineficácia no controle de pragas agrícolas, com maiores chances de ocorrência de surtos populacionais (MEEHAN et al., 2011).

Embora os inseticidas sintéticos possam ser eficazes no controle de insetos-praga, seu uso inadequado pode resultar em problemas ecológicos por resultarem, entre outros aspectos, em efeitos negativos nas populações de organismos não alvo de controle (PISA et al., 2014; DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007). Vários estudos têm apontado os inseticidas botânicos à base de óleos essenciais de plantas como possíveis alternativas aos inseticidas sintéticos, uma vez que são eficientes para o controle de pragas (MELO et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018; SANTOS et al., 2017), pouco tóxicos para mamíferos e seletivos aos inimigos naturais (RIBEIRO et al., 2018; WERDIN GONZÁLEZ et al., 2013). No entanto, a utilização de qualquer inseticida, seja sintético ou natural, deve considerar as consequências das doses recebidas pelos insetos. Doses mais baixas, que não causam letalidade aos indivíduos, podem ocasionar efeitos subletais desejáveis para os organismos alvo de controle, por reduzirem aspectos como fecundidade, longevidade e comportamento (HE et al., 2013; WEI et al., 2018). Por outro lado, doses mais baixas podem também resultar em efeitos alternativos via mecanismos de hormese, alterando positivamente parâmetros de sobrevivência e reprodução (MARGUS et al., 2019; SIAL et al., 2018). Tal efeito de hormese pode ser desejável ou não, dependendo do organismo em questão (ex. herbívoro x inimigos naturais).

Programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP) podem se basear conjuntamente no uso do controle químico (ex. inseticidas botânicos) e biológico (ex. predadores) como medidas para promover um controle mais efetivo e sustentável. No Brasil, o percevejo predador *Podisus nigrispinus* (DALLAS, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) é muito utilizado em programas de MIP por realizar o controle biológico de lagartas desfolhadoras em diversos cultivos agrícolas (ex. algodão, soja, milho) (TORRES et al., 2006) e florestais (ZANUNCIO et al., 2016). Apesar da eficiência de *P. nigrispinus*, o uso de pesticidas muitas vezes é necessário nas monoculturas, o que pode causar impactos negativos sobre esse predador (MARTÍNEZ et al., 2018). Por sua vez, os óleos essenciais de espécies do gênero *Lippia* têm mostrado intensa atividade biológica contra pragas, incluindo lagartas desfolhadoras (CHAUHAN; SRIVASTAVA, 2017; MELO et al., 2018; NEGRINI et al., 2019; NICULAU et al., 2013). O óleo essencial de *Lippia sidoides* Cham. (Verbenaceae), planta aromática encontrada na região da Caatinga do Nordeste brasileiro (CAVALCANTI et al., 2010), apresenta diversas propriedades biológicas, incluindo atividade inseticida para diversas pragas (BACCI et al., 2015; BATISTA et al., 2013; CASTRO et al., 2011; SOARES et al., 2016; VERAS et al., 2012). As atividades biológicas desse óleo têm sido atribuídas ao composto majoritário timol, que, quando isolado, exibe atividade semelhante ao óleo essencial (VERAS et al., 2012).

Neste estudo, avaliamos a toxicidade e os efeitos subletais (ex. desenvolvimento, parâmetros reprodutivos, parâmetros demográficos e eficiência de predação) do óleo essencial de *L. sidoides* e do seu composto majoritário (timol) sobre o percevejo predador *P. nigrispinus*.

4.2. Materiais e métodos

4.2.1. Criação dos insetos

Os insetos utilizados nos bioensaios foram provenientes de criação mantida no laboratório de Entomologia Florestal da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, Brasil. A criação foi mantida em sala climatizada ($25 \pm 0,5$ °C, UR $70 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12h).

Os adultos de *P. nigrispinus* foram criados em gaiolas teladas de 60 x 40 x 40 cm, alimentados com pupas da presa alternativa *Tenebrio molitor* (L., 1758) (Coleoptera: Tenebrionidae). As posturas depositadas pelas fêmeas nas gaiolas foram coletadas com algodão no dia da oviposição e transferidas para placas de Petri (Global Trade Technology, Monte Alto, SP, Brasil) (9 x 1,5 cm) contendo algodão umedecido com água destilada. Após a eclosão, as ninfas permaneceram nessas placas e foram alimentadas com pupas de *T. molitor* até a fase adulta, quando foram transferidas para as gaiolas.

Larvas e adultos do hospedeiro alternativo, *T. molitor*, foram mantidas em bandejas plásticas (24 x 20 x 15 cm) revestidas ao fundo com papel sulfite branco para a realização das posturas. Como alimento foi utilizado farelo de trigo.

4.2.2. Obtenção dos compostos e análise química do óleo essencial

O óleo essencial foi obtido das folhas de *Lippia sidoides* (Verbenaceae) por arraste, pela empresa PRONAT (Horizonte, Ceará, Brasil). Para identificação e quantificação dos compostos, foi realizada análise química do óleo essencial (para detalhes ver OLIVEIRA et al., 2017; SANTOS et al., 2017). O timol, constituinte em maior proporção no óleo essencial, foi adquirido da empresa SIGMA-ALDRICH. Um inseticida comercial à base de deltametrina (Decis® 25 EC, 25 g i.a./L, concentrado emulsionável, Bayer S.A.®, Gujarat, Índia) foi utilizado como controle positivo.

4.2.3. Bioensaios

Foram realizados bioensaios de toxicidade com ninfas de terceiro ínstar de *P. nigrispinus* a fim de determinar as doses letais (DLs) dos tratamentos: inseticida à base de deltametrina (DLM), óleo essencial de *L. sidoides* (OE) e composto majoritário timol. Para avaliação dos efeitos dos tratamentos no desenvolvimento, na reprodução e na tabela de vida, foram utilizadas as DLs 10 e 30 de cada tratamento. Para cada tratamento, foram utilizadas duas coortes distintas (para cada DL aplicada). O mesmo procedimento foi realizado para o controle ($n = 8$). A eficiência de predação da prole dos indivíduos expostos também foi avaliada.

4.2.3.1. Toxicidade

Os bioensaios para determinação das doses letais foram realizadas em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições por tratamento. Cada unidade experimental foi composta por um grupo de 10 ninfas de terceiro ínstar de *P. nigrispinus*. As ninfas foram colocadas em placa de Petri (Global Trade Technology, Monte Alto, SP, Brasil) (9 x 1,5 cm) contendo um algodão úmido na tampa. Pupas de *T. molitor* foram fornecidas *ad libitum* para alimentação dos indivíduos. Inicialmente, foi determinada a massa média dos insetos pela pesagem de 30 ninfas, individualmente, em balança analítica de precisão com 0,01 mg de sensibilidade (Shimadzu, AUW220D).

Testes preliminares foram realizados com três doses (1, 5 e 10 µg por mg de inseto) de cada um dos tratamentos. Posteriormente, doses intermediárias foram utilizadas para traçar as curvas de dose-mortalidade. Para diluição da deltametrina, óleo essencial de *L. sidoides* e timol, foi utilizado acetona como solvente (Panreac, UV-IR-HPLC-GPC PAIACS, 99,9%). Os tratamentos foram aplicados topicamente (0,5 µl) na região protorácica de cada inseto com o auxílio de uma microseringa (Hamilton®, Reno, NV, USA). Para facilitar a aplicação, as

ninfas foram mantidas em freezer (Electrolux®, Curitiba, PR, Brasil) por 90 s a fim de reduzir sua atividade. O solvente acetona foi utilizado como controle. Testes preliminares indicaram que o solvente e o procedimento para redução da atividade não afetaram a sobrevivência e a atividade das ninfas.

As placas contendo as ninfas tratadas foram acondicionadas em estufa incubadora tipo B.O.D. (Biotech®, Piracicaba, SP, Brasil) sob temperatura de $25 \pm 0,5$ °C, umidade relativa $70 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12 h. As avaliações da mortalidade dos insetos foram realizadas 48 h após a montagem dos bioensaios. Foram considerados mortos os indivíduos que se mantiveram imóveis e não responderam aos estímulos feitos com pincel.

4.2.3.2. Parâmetros biológicos

Para avaliar os efeitos subletais dos tratamentos nos parâmetros biológicos (desenvolvimento, massa e reprodução) de *P. nigrispinus*, ninfas de terceiro ínstar foram tratadas topicamente com 0,5 µl das doses necessárias para causar 10 e 30% de mortalidade (DL_{10} e DL_{30}) de cada tratamento. O controle consistiu em ninfas tratadas apenas com o solvente acetona. A partir da criação, foram estabelecidas oito coortes, com dez repetições cada, sendo cada repetição composta por 18 indivíduos, totalizando 180 indivíduos por coorte (tratamento). Cada ninfa foi acondicionada individualmente em placa de Petri (9 x 1,5 cm) contendo algodão úmido na tampa. As placas foram mantidas em sala climatizada ($25 \pm 0,5$ °C, UR $70 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12 h). Pupas de *T. molitor* foram fornecidas *ad libitum* para alimentação dos indivíduos. Diariamente foram avaliadas a mortalidade e a duração de cada ínstar.

Ao atingirem a fase adulta, indivíduos de *P. nigrispinus* foram sexados e pesados. Os machos e as fêmeas foram mantidos isolados por três dias até a maturidade sexual. Posteriormente, dez casais provenientes de cada um dos tratamentos foram separados em potes de 500 mL e alimentados *ad libitum* com pupas de *T. molitor*. Os percevejos foram monitorados diariamente até a morte de todos os indivíduos. Foram registrados: i) os períodos de pré-oviposição, oviposição e pós-oviposição, ii) a longevidade de machos e fêmeas, iii) os números de ovos e ninfas por fêmea, de massa de ovos por fêmea e de ovos e ninfas por massa de ovos, iv) o período de incubação dos ovos e a v) a viabilidade dos ovos.

4.2.3.3. Tabelas de vida

A partir dos dados de sobrevivência e reprodução de *P. nigrispinus* expostos às DLs dos tratamentos, foram calculados os parâmetros de tabelas de vida de fertilidade: x = idade média dos insetos, considerada desde a fase de ovo, lx = taxa de sobrevivência (taxa de sobrevivência a partir da idade zero ao início da idade x), mx = fertilidade específica (número de fêmeas produzidas por fêmea sobrevivente no intervalo da idade x); $lx.mx$ = número total de fêmeas nascidas na idade x .

Para construção das tabelas de vida de fertilidade, foram calculados: a taxa reprodutiva líquida (R_0) (número de fêmeas adicionadas por fêmea durante sua vida), o tempo médio de geração (T) (tempo entre o nascimento dos pais e dos filhos), a taxa intrínseca de crescimento (rm) (taxa de aumento populacional por unidade de tempo), a razão finita de crescimento (λ) e o tempo necessário para a população duplicar em número (TD) (KREBS, 1994). Os parâmetros foram calculados pelas seguintes equações:

$$R_0 = \sum(lx \cdot mx)$$

$$T = (\sum x \cdot lx \cdot mx) / (\sum lx \cdot mx)$$

$$rm = \ln(R_0) / T$$

$$\lambda = e^{rm}$$

$$TD = \ln(2) / rm$$

4.2.3.4. Eficiência de predação da prole

Neste bioensaio, foi avaliado o consumo diário de presas por ninfas de terceiro ínstar de *P. nigrispinus* provenientes dos casais utilizados nos bioensaios de tabela de vida. Os insetos foram transferidos individualmente para potes plásticos de 500 mL, contendo cinco larvas de terceiro ínstar de *S. frugiperda* e folha de milho ($\cong 15\text{cm}^2$) como alimento para as ninfas. As folhas de milho foram coladas no fundo dos potes com fita dupla-face para evitar o enrolamento. Larvas e folhas foram trocadas a cada 24 h. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 10 repetições, sendo cada repetição composta por cinco indivíduos, totalizando 50 indivíduos por tratamento. Os recipientes foram mantidos em sala climatizada ($25 \pm 0,5$ °C, UR 70 ± 10 % e fotoperíodo de 12 h). As avaliações das larvas predadas foram realizadas diariamente por três dias. As larvas foram consideradas predadas quando apresentavam lesões no tegumento, falta de mobilidade e conteúdo corporal total ou parcialmente sugado pelo predador. Foi realizado um controle adicional na ausência do predador, utilizando a mesma metodologia, para corrigir a mortalidade causada por canibalismo.

4.2.4. Análises estatísticas

Os dados de mortalidade, obtidos nos bioensaios de toxicidade, foram submetidos à análise de Probit para determinação das curvas de dose-mortalidade de cada tratamento, utilizando o procedimento PROC PROBIT (SAS Institute, 2008). Foram obtidas curvas com probabilidade de aceitação da hipótese de nulidade (de que os dados possuem distribuição de Probit) maior que 0,05 pelo teste χ^2 . A partir das curvas, foram obtidas as doses letais (DL₁₀, DL₃₀, DL₅₀ e DL₉₀) e seus respectivos intervalos de confiança a 95% de probabilidade (IC₉₅).

Os parâmetros biológicos de desenvolvimento e massa foram submetidos à análise de variância seguida pelo teste de Dunnett ($P < 0,05$) para verificar diferenças entre os tratamentos com o controle, utilizando-se o procedimento PROC GLM, com Dunnett (SAS Institute Inc, 2008). Para verificar diferenças entre as doses (DL₁₀ e DL₃₀), dentro dos tratamentos, os dados foram submetidos à análise de variância seguida pelo teste de t pareado ($P < 0,05$), utilizando-se o procedimento PROC GLM, com Ttest (SAS Institute Inc, 2008). Os parâmetros reprodutivos foram submetidos à análise de variância seguida pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), utilizando-se o procedimento PROC GLM, com Tukey (SAS Institute Inc, 2008).

Os parâmetros da tabela de vida foram estimados utilizando a técnica de Jackknife no programa estatístico SAS (Maia et al., 2000). Esses dados foram submetidos à análise de variância seguida pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), utilizando-se o procedimento PROC GLM, com Tukey (SAS Institute Inc 2008).

Os dados de mortalidade dos tratamentos e do controle do teste de eficiência de predação foram corrigidos em relação à mortalidade no controle sem predador usando a fórmula de Abbott (1925). Esses dados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o procedimento PROC GLM (SAS Institute Inc, 2008).

4.3. Resultados

4.3.1. Toxicidade

O inseticida comercial organossintético deltametrina (DLM) e os inseticidas botânicos – o óleo essencial de *L. sidoides* (OE) e seu composto majoritário timol – foram tóxicos ao percevejo predador *P. nigrispinus*. As doses necessárias desses compostos para causar 50% de mortalidade da população variou de $1,15 \times 10^{-3}$ a $28,43 \text{ mg g}^{-1}$ (Tabela 1).

O OE de *L. sidoides* foi o menos tóxico a *P. nigrispinus*, seguido pelo seu majoritário timol (DL₅₀ = $10,27 \text{ mg g}^{-1}$). O organossintético deltametrina foi 24.721 e 8.930 vezes mais tóxico ao percevejo predador que o OE de *L. sidoides* e timol, respectivamente (Tabela 1). Esse padrão se manteve para as doses subletais (DL₁₀ DL₃₀) e para a dose considerada padrão de controle (DL₉₀) (Tabela 1).

4.3.2. Desenvolvimento e longevidade

Não foram verificadas diferenças no tempo de desenvolvimento de cada fase das coortes de *P. nigrispinus* que foram preparadas para receber as duas doses dos tratamentos, considerando-se as fases de ovo ($F_{3;72} = 0,19$; $P = 0,900$), 1º ($F_{3;72} = 1,13$; $P = 0,344$) e 2º ($F_{3;72} = 1,58$; $P = 0,202$) ínstars, antes da aplicação dos tratamentos. Esses estádios tiveram uma duração média de $5,03 \pm 0,06$; $3,05 \pm 0,010$ e $3,15 \pm 0,015$ dias, respectivamente (Fig. 1A).

A duração do 3º e 4º ínstars de *P. nigrispinus* variou entre os tratamentos (3º ínstar: $F_{3;72} = 93,21$; $P < 0,001$ e 4º ínstar: $F_{3;72} = 40,09$; $P < 0,001$), com as doses (3º ínstar: $F_{1;72} = 14,29$; $P < 0,001$ e 4º ínstar: $F_{1;72} = 13,28$; $P < 0,001$) e com a interação entre tratamentos x doses (3º ínstar: $F_{3;72} = 3,35$; $P = 0,024$ e 4º ínstar: $F_{3;72} = 4,01$; $P = 0,011$). Todos os compostos aumentaram a duração do 3º ínstar, independentemente da dose aplicada (Fig. 1B). Na média, os tratamentos aumentaram 1,14 dias a duração do 3º ínstar em relação ao controle. A duração do 4º ínstar de ninfas sobre exposição do inseticida deltametrina não diferiu do controle, e somente os inseticidas botânicos aumentaram a duração do ínstar (Fig. 1C). A dose letal de deltametrina e do timol necessária para matar 30% da população de *P. nigrispinus* proporcionou um maior aumento na duração dos 3º e 4º ínstars, respectivamente, em relação à menor dose aplicada (DL_{10}) (Fig. 1B-C).

A duração do 5º e o total da fase imatura (de ovo ao 5º ínstar) de *P. nigrispinus* variaram entre os tratamentos (5º ínstar: $F_{3;72} = 15,82$; $P < 0,001$ e total: $F_{3;72} = 52,15$; $P < 0,001$). Não foram verificadas diferenças entre as doses (5º ínstar: $F_{3;72} = 1,16$; $P = 0,286$ e total: $F_{3;72} = 2,2$; $P = 0,143$) e com a interação entre tratamentos x doses (5º ínstar: $F_{3;72} = 1,89$; $P = 0,138$ e total: $F_{3;72} = 2,95$; $P = 0,061$). Somente os inseticidas botânicos aumentaram a duração do 5º ínstar (Fig. 1D). No geral, o OE de *L. sidoides* aumentou 2 dias e a deltametrina e o timol aumentaram 1,5 dias a duração total da fase imatura (Fig. 1E).

Não houve efeito dos tratamentos ($F_{3;72} = 1,72$; $P = 0,170$), das doses ($F_{1;72} = 0,01$; $P = 0,937$) e da interação entre tratamentos x doses ($F_{3;72} = 0,001$; $P = 0,999$) na longevidade de fêmeas de *P. nigrispinus* (Fig. 1F). Na média, as fêmeas viveram $36,2 \pm 1,5$ dias (Fig. 1F). A longevidade de machos do percevejo predador variou entre os tratamentos ($F_{3;72} = 9,78$; $P < 0,001$). Não foram verificadas diferenças entre as doses ($F_{1;72} = 3,01$; $P = 0,087$) e interação entre tratamentos x doses ($F_{3;72} = 0,59$; $P = 0,625$). Houve aumento de 22,7 e 21 dias na longevidade dos machos de *P. nigrispinus* nos tratamentos com o OE de *L. sidoides* e o timol, respectivamente (Fig. 1F).

4.3.3. Massa

A massa de fêmeas e machos de *P. nigrispinus* variou entre os tratamentos (fêmea: $F_{3;72} = 12,93$; $P < 0,001$ e macho: $F_{3;72} = 27,67$; $P < 0,001$) e as doses (fêmea: $F_{3;72} = 8,93$; $P = 0,004$ e macho: $F_{3;72} = 9,14$; $P = 0,004$). A massa de fêmeas variou com a interação entre tratamentos x doses ($F_{3;72} = 3,95$; $P = 0,012$). Não houve interação entre tratamentos x doses na massa de machos ($F_{3;72} = 1,55$; $P = 0,208$). Todos os compostos diminuíram a massa de fêmeas (Fig. 2A) e machos (Fig. 2B) na maior dose aplicada (DL_{30}). Em média, nesta dose, os tratamentos reduziram 12% e 11% a massa de fêmeas e machos, respectivamente (Fig. 2A-B). As DL_{30} de deltametrina e do OE de *L. sidoides* necessárias causaram maior redução na massa de fêmeas e machos em relação à menor dose aplicada (DL_{10}) (Fig. 2A-B).

4.3.4. Parâmetros reprodutivos

Não foram verificadas diferenças ($P < 0,05$) entre as doses e a interação entre tratamentos x doses para todos os parâmetros reprodutivos de *P. nigrispinus* avaliados. Dessa forma, os efeitos dos tratamentos foram avaliados com a média das duas doses (DL_{10} e DL_{30}) ($n = 20$) (Tabela 2). A duração do período de oviposição ($F_{3;72} = 4,18$; $P = 0,009$), o número de ovos por fêmea ($F_{3;72} = 8,04$; $P < 0,001$), a massa de ovos ($F_{3;72} = 7,82$; $P < 0,001$) e de ninfas por fêmea ($F_{3;72} = 6,55$; $P < 0,001$) de *P. nigrispinus* variaram entre os tratamentos. Os

demais parâmetros reprodutivos não modificaram com a aplicação dos compostos ($P > 0,05$) (Tabela 2). As fêmeas permaneceram mais tempo ovipositando quando tratadas com os inseticidas botânicos (OE de *L. sidoides* e timol) ($33,7 \pm 2,4$ dias) se comparado com aquelas que foram expostas ao composto deltametrina ($22,4 \pm 2,0$) (Tabela 2).

Os inseticidas botânicos aumentaram o número de ovos por fêmea. Fêmeas expostas ao OE de *L. sidoides* e ao timol ovopositaram 36% e 29% mais quando comparadas ao controle, respectivamente. O mesmo padrão foi observado com o número de massa de ovos por fêmea, com aumento de 6,3 e 6,8 massas nos tratamentos com OE de *L. sidoides* e o timol, respectivamente (Tabela 2). O OE de *L. sidoides* propiciou ainda maior número de ninfas por fêmea (aumento de 39%). Já o inseticida organossintético deltametrina não alterou os parâmetros reprodutivos de *P. nigrispinus* (Tabela 2).

4.3.5. Parâmetros demográficos

Não foram verificadas diferenças ($P < 0,05$) entre as doses e a interação entre tratamentos x doses para todos os parâmetros da tabela de vida de *P. nigrispinus*. Dessa forma, os efeitos dos tratamentos foram avaliados com a média das duas doses (DL₁₀ e DL₃₀) ($n = 20$) (Tabela 3 e Fig. 3).

A taxa reprodutiva líquida (R_0) de *P. nigrispinus* variou entre os tratamentos ($F_{3;72} = 5,93$; $P = 0,001$). O inseticida botânico timol aumentou a taxa reprodutiva líquida de *P. nigrispinus*, se comparado à coorte que foi exposta ao inseticida deltametrina (Tabela 3). Os demais parâmetros demográficos não modificaram com a aplicação dos compostos (Tabela 3). A taxa de sobrevivência (lx) de *P. nigrispinus* e a fertilidade específica (mx) foram superiores nos insetos expostos aos bioinseticidas - OE de *L. sidoides* (Fig. 3C) e timol (Fig. 3D). Esses compostos causaram picos no número de fêmeas produzidas por fêmea por dia ao longo de toda a sua longevidade, mesmo com a taxa de sobrevivência baixa, entre o 55° ao 75° dia (Fig. 3C-D). O inseticida deltametrina não afetou significativamente esses parâmetros, sendo semelhante ao controle até o 40° dia de longevidade (Fig. 3A-B), causando redução na fertilidade específica após esse período (Fig. 3B).

4.3.6. Capacidade de predação

Não houve efeito dos tratamentos ($F_{3;72} = 0,20$; $P = 0,893$), das doses ($F_{1;72} = 0,10$; $P = 0,758$) e da interação entre tratamentos x doses ($F_{3;72} = 0,51$; $P = 0,676$) na capacidade de predação de ninfas de 3° ínstar de *P. nigrispinus*. O número médio de larvas de 3° ínstar de *S. frugiperda* predadas, no período de três dias, por ninfas *P. nigrispinus* (prole dos casais utilizados no bioensaio de tabela de vida), foi de $6,4 \pm 0,06$.

4.4. Discussão

O uso de inseticidas não seletivos aos inimigos naturais pode comprometer o sucesso dos programas de manejo de pragas. Aqui demonstramos que os compostos botânicos de *L. sidoides* apresentam toxicidade sobre *P. nigrispinus* muito mais reduzida do que o inseticida organossintético deltametrina. As doses subletais de ambos os tipos de inseticidas aumentaram a duração dos estágios imaturos desse percevejo predador. No entanto, os compostos de *L. sidoides* promoveram hormese sobre *P. nigrispinus*, ou seja, um efeito positivo sobre seus parâmetros reprodutivos e demográficos.

Diversas classes de pesticidas sintéticos têm apresentado alta toxicidade ao percevejo predador *P. nigrispinus* (DE CASTRO et al., 2012, 2013, 2015; GONTIJO et al., 2018; MARTÍNEZ et al., 2019; ZANUNCIO et al., 2018). O inseticida deltametrina, que pertence à classe dos piretroides, é amplamente utilizado para o controle de pragas em diversas culturas, mesmo se considerando sua elevada toxicidade a organismos não alvo, provavelmente resultante do amplo espectro de ação dele (DE CASTRO et al., 2013; GARZÓN et al., 2015; MEILIN et al., 2012). Neste estudo, o óleo essencial de *L. sidoides* e o timol foram 24.721 e

8.930 vezes, respectivamente, menos tóxicos a *P. nigrispinus* do que o inseticida deltametrina. Outros estudos também têm demonstrado menor toxicidade dos óleos essenciais de plantas e seus compostos a artrópodes benéficos, quando comparado aos inseticidas convencionais (RIBEIRO et al., 2018; SANTOS et al., 2018; TURCHEN et al., 2016; WERDIN GONZÁLEZ et al., 2013). A baixa toxicidade de compostos botânicos pode estar relacionada à redução de sua penetração através da cutícula e à rápida desintoxicação enzimática pelo inseto, como já reportado para *P. nigrispinus* quando exposto aos constituintes do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (BRÜGGER et al., 2019).

Insetos-praga e inimigos naturais podem ser expostos a doses subletais de inseticidas em campo. Isso ocorre devido à ação de fatores bióticos (ex. degradação microbiana e vegetal) e abióticos (ex. luz solar, chuva ou temperatura) que podem alterar a dose do pesticida ao qual o inseto é exposto (LALOUETTE et al., 2016). Doses subletais podem ocasionar diferentes efeitos na fisiologia e no comportamento dos insetos (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007). Aqui verificamos que, após a exposição às doses subletais de todos os tratamentos, houve um prolongamento da duração do 3º ínstar de *P. nigrispinus* em relação ao controle. Ninfas tratadas possivelmente alteram seu balanço energético, destinando mais energia para desintoxicação do que para desenvolvimento (XU et al., 2016). Isso poderia explicar o fato de o desenvolvimento ninfal das coortes tratadas apresentarem maior duração do que o observado para as do grupo controle.

Embora a deltametrina não tenha alterado a duração dos 4º e 5º ínstars, estes foram prolongados nas coortes tratadas com os compostos botânicos. A duração total da fase imatura foi aumentada com a exposição a todos os tratamentos. De forma geral, o aumento do tempo de desenvolvimento de estágios imaturos pode aumentar a exposição de insetos aos fatores de mortalidade natural, como o clima e outros agentes de controle biológico (BESERRA et al., 2009). No entanto, tal efeito negativo poderia ser mais prejudicial aos herbívoros do que aos inimigos naturais, devido ao fato de estes últimos apresentarem, em geral, maior atividade, capacidade de fuga e luta (REYNOLDS et al., 2009). Adicionalmente, eles poderiam exercer por mais tempo a atividade de predação sobre as pragas. Essa suposição poderia ser aceita considerando-se o fato de que não houve redução na capacidade de predação de *P. nigrispinus* sobre o efeito de todos os tratamentos aplicados. Adicionalmente, os inseticidas botânicos também aumentaram a longevidade média dos machos e de alguns indivíduos fêmeas. À medida que a população reduziu ao longo do tempo, algumas fêmeas, de idade já avançada, continuaram apresentando alta fecundidade específica. Esse aumento na longevidade e na capacidade reprodutiva poderia promover em campo maiores taxas de acasalamento. Assim, os inseticidas botânicos em baixas doses poderiam influenciar positivamente o controle biológico exercido pelo predador *P. nigrispinus*.

Por outro lado, de forma geral, houve redução da massa corporal de adultos machos e fêmeas de *P. nigrispinus* sob efeito dos tratamentos. Uma maior massa corporal está relacionada a um aumento no fitness dos insetos (LYYTINEN; LINDSTRÖM; MAPPES, 2008), uma vez que consiste em uma importante característica na avaliação da qualidade dos parceiros durante o acasalamento, devido à relação entre tamanho corporal da fêmea e sua fecundidade. Machos de *P. nigrispinus* mal nutridos, por exemplo, preferem fêmeas maiores, já que fêmeas bem nutridas e de maior massa corporal geralmente produzem maior número de ovos e ninfas (PEREIRA et al., 2016). No entanto, apesar da redução da massa dos adultos, neste estudo não foram observados efeitos negativos na reprodução de *P. nigrispinus*.

Estudos de tabela de vida são considerados muito efetivos na avaliação dos efeitos de inseticidas na dinâmica populacional de insetos (STARK; BANKS, 2003; XU et al., 2016). Aqui verificamos que, mesmo após o estresse da exposição à deltametrina, as coortes de *P. nigrispinus* mantiveram os parâmetros reprodutivos semelhantes aos do controle. Os valores positivos de rm e R_0 ($<1,0$) observados nas doses subletais dos tratamentos indicam um potencial de crescimento populacional (DE CASTRO et al., 2012, 2015) de *P. nigrispinus* sob efeito de todos os compostos analisados. Embora não difiram do controle, as coortes de *P.*

nigrispinus sob efeito do timol mostraram maior taxa reprodutiva líquida do que aquelas sob efeito da deltametrina. Por outro lado, houve um aumento significativo do número de ovos e de ninfas/fêmea nas coortes submetidas aos compostos botânicos quando comparado aos demais tratamentos. Esses resultados sugerem um possível mecanismo de hormese resultante do efeito dos inseticidas botânicos.

Este estudo demonstra que os inseticidas botânicos de *L. sidoides* apresentam toxicidade baixa a *P. nigripinus*, quando comparado ao inseticida deltametrina. Apesar de a exposição de *P. nigripinus* às doses subletais de inseticidas botânicos e sintético prolongar o desenvolvimento das ninfas e reduzir o peso dos adultos, não houve efeito negativo na reprodução desse predador. Adicionalmente, os inseticidas botânicos podem tanto aumentar a longevidade como também a capacidade reprodutiva de *P. nigripinus*. Concluindo, os inseticidas botânicos de *L. sidoides* podem ser mais seguros para o predador *P. nigripinus* do que o inseticida deltametrina, além de promoverem possíveis efeitos de hormese.

4.5. Referências bibliográficas

- Abbott W.S., 1925. A Method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18, 265–267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>.
- Bacci, L., Lima, J.K.A., Araújo, A.P.A., Blank, A.F., Silva, I.M.A., Santos, A.A., Santos, A.C.C., Alves, P.B., Picanço, M.C., 2015. Toxicity, behavior impairment, and repellence of essential oils from pepper-rosmarin and patchouli to termites. *Entomol. Exp. Appl.* 156, 66–76. <https://doi.org/10.1111/eea.12317>.
- Batista, R. S. A., Silva, G.S., Machado, S.E.F., Vieira, K.V.M., 2013. Atividade antifúngica de alecrim-pimenta (*Lippia sidoides* Cham.) sobre *Candida* Spp. *Rev. AgroTec.* 34, 40–49. <https://doi.org/10.25066/agrotec.v34i1.20391>.
- Beserra, E.B., Fernandes, C.R.M., Silva, S.A.O., Silva, L.A, Santos, J.W., 2009. Efeitos da temperatura no ciclo de vida, exigências térmicas e estimativas do número de gerações anuais de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Iheringia, Sér. Zool.* 99, 142–148. <http://dx.doi.org/10.1590/S0073-47212009000200004>.
- Brügger, B.P., Martínez, L.C., Plata-Rueda, A., Castro, B.M.C., Soares, M.A., Wilcken, C.F., Carvalho, A.G., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C., 2019. Bioactivity of the *Cymbopogon citratus* (Poaceae) essential oil and its terpenoid constituents on the predatory bug, *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Sci. Rep.* 9, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44709-y>.
- Bueno, A.F., Carvalho, G.A., Santos, A.C., Sosa-Gómez, D.R., Silva, D. M., 2017. Pesticide selectivity to natural enemies: Challenges and constraints for research and field recommendation. *Cienc. Rural.* 47, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160829>.
- Castro, C.E., Ribeiro, J.M., Diniz, T.T., Almeida, A.C., Ferreira, L.C., Martins, E.R., Duarte, E.R., 2011. Antimicrobial activity of *Lippia sidoides* Cham. (Verbenaceae) essential oil against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Rev. bras. plantas med.* 13, 293–297. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-05722011000300007>.
- Cavalcanti, S.C., Niculau, E.S., Blank, A.F., Câmara, C.A., Araújo, I.N., Alves, P.B., 2010. Composition and acaricidal activity of *Lippia sidoides* essential oil against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *Bioresour. Technol.* 101, 829–832. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.053>.
- Chauhan, D., Srivastava, P., 2017. Feeding inhibitory activity of different medicinal plant oils against *Papilio demoleus* L. *J. Entomol. Zool. Stud.* 5, 631–635.
- de Castro, A.A., Corrêa, A.S., Legaspi, J.C., Guedes, R.N., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C., 2013. Survival and behavior of the insecticide-exposed predators *Podisus nigrispinus* and *Supputius cincticeps* (Heteroptera: Pentatomidae). *Chemosphere.* 93, 1043–1050. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.05.075>.
- de Castro, A.A., Lacerda, M.C., Zanuncio, T.V., Ramalho, F.S., Polanczyk, R.A., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C., 2012. Effect of the insect growth regulator diflubenzuron on the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Ecotoxicology.* 21, 96–103. <http://doi: 10.1007/s10646-011-0769-z>.

- de Castro, A.A., Poderoso, J.C.M., Ribeiro, R.C., Legaspi, J.C., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C., 2015. Demographic parameters of the insecticide-exposed predator *Podisus nigrispinus*: Implications for IPM. *BioControl*. 60, 231–239. [http://doi: 10.1007/s10646-011-0769-z](http://doi.org/10.1007/s10646-011-0769-z).
- Desneux, N., Decourtye, A., Delpuech, J.M., 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annu. Rev. Entomol.* 52, 81–106. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>.
- Garzón, A., Medina, P., Amor, F., Viñuela, E., Budia, F., 2015. Toxicity and sublethal effects of six insecticides to last instar larvae and adults of the biocontrol agents *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Adalia bipunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae). *Chemosphere*. 132, 87–93. [https://doi:10.1016/j.chemosphere.2015.03.016](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.03.016).
- Gontijo, P.C., Abbade Neto, D.O., Oliveira, R.L., Michaud, J.P., Carvalho, G.A., 2018. Non-target impacts of soybean insecticidal seed treatments on the life history and behavior of *Podisus nigrispinus*, a predator of fall armyworm. *Chemosphere*. 191, 342–49. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.062>.
- He, Y., Zhao, J., Zheng, Y., Weng, Q., Biondi, A., Desneux, N., Wu, K., 2013. Assessment of potential sublethal effects of various insecticides on key biological traits of the tobacco whitefly, *Bemisia tabaci*. *Int. J. Biol. Sci.* 9, 246–255. [https://doi: 10.7150/ijbs.5762](https://doi.org/10.7150/ijbs.5762).
- Krebs, C. J., 1994. *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. 4. ed. New York: Harper Collins College Publishers.
- Lalouette, L., Pottier, M.A., Wycke, M.A., Boitard, C., Bozzolan, F., Maria, A., Demondion, E., Chertemps, T., Lucas, P., Renault, D., Maibeche, M., Siaussat, D., 2016. Unexpected effects of sublethal doses of insecticide on the peripheral olfactory response and sexual behavior in a pest insect. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 3073–85. [https://doi: 10.1007/s11356-015-5923-3](https://doi.org/10.1007/s11356-015-5923-3).
- Lyytinen, A., Lindström, L., Mappes, J., 2008. Genetic variation in growth and development time under two selection regimes in *Leptinotarsa decemlineata*. *Entomol. Exp. Appl.* 27, 157–67. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00685.x>.
- Maia, A.H.N., Liuz, A.J.B., Campanhola, C., 2000. Statistical inference on associated fertility life table parameters using Jackknife technique: computational aspects. *J. Econ. Entomol.* 93, 511–518. <http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493-93.2.511>.
- Margus, A., Piironen, S., Lehmann, P., Tikka, S., Karvanen, J., Lindström, L., 2019. Sublethal pyrethroid insecticide exposure carries positive fitness effects over generations in a pest insect. *Sci. Rep.* 9, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47473-1>.
- Martin, E.A., Reineking, B., Seo B., Steffan-Dewenter, I. 2013. Natural enemy interactions constrain pest control in complex agricultural landscapes. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 5534–5539. <https://doi.org/10.1073/pnas.1215725110>.
- Martínez, L.C., Plata-Rueda, A., Gonçalves, W.G., Freire, A.F.P.A., Zanuncio, J.C., Bozdoğan, H., Serrão, J.E., 2019. Toxicity and cytotoxicity of the insecticide imidacloprid in the midgut of the predatory bug, *Podisus nigrispinus*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 167, 69–75. [https://doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.09.124](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.09.124).

- Martínez, L.C., Plata-Rueda, A., Neves, G.D.S., Gonçalves, W.G., Zanuncio, J.C., Bozdoğan, H., Serrão, J.E., 2018. Permethrin induces histological and cytological changes in the midgut of the predatory bug, *Podisus nigrispinus*. *Chemosphere*. 212, 629–37. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.134>.
- Meehan, T.D., Werling, B.P., Landis, D.A., Gratton, C., 2011. Agricultural landscape simplification and insecticide use in the midwestern United States. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 108, 11500–11505. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100751108>.
- Meilin, A., Y. Trisyono, A., Martono, E., Buchori, D., 2012. The effects of deltamethrin applied at sublethal concentrations on the adults of *Anagrus nilaparvatae* (Hymenoptera: Mymaridae). *J. Agric. Biol. Sci.* 7, 1032–1037.
- Melo, C.R., Picanço, M.C., Santos, A.A., Santos, I.B., Pimentel, M.F., Santos, A.C.C., Blank, A.F., Araújo, A.P.A., Cristaldo, P.F. Bacci, L., 2018. Toxicity of essential oils of *Lippia gracilis* chemotypes and their major compounds on *Diaphania hyalinata* and non-target species. *Crop. Prot.* 104, 47–51. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.013>.
- Negrini, M., Fidelis, E.G., Schurt, D.A., Silva, F.S., Pereira, R.S., Bizzo, H.R., 2019. Insecticidal activity of essential oils in controlling fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Arq. Inst. Biol.* 86, 1–9. <http://dx.doi.org/10.1590/1808-1657001112018>.
- Niculau, E.S., Alves, P.B., Nogueira, P.C.L., Moraes, V.R.S., Matos, A.P., Bernardo, A.R., Volante, A.C., Fernandes, J.B., Silva, M.F.G.F., Corrêa, A.G., Blank, A.F., Silva, A.C., Ribeiro, L.P., 2013. Atividade inseticida de óleos essenciais de *Pelargonium graveolens* l'Herit e *Lippia alba* (Mill) N. E. Brown sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Quim. Nova.* 36, 1391–1394. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422013000900020>.
- Oliveira, A.P., Santana, A.S., Santana, E.D.R., Lima, A.P.S., Faro, R.R.N., Nunes, R.S., Lima, A.D., Blank, A.F., Araújo, A.P.A., Cristaldo, P.F., Bacci, L., 2017. Nanoformulation prototype of the essential oil of *Lippia sidoides* and thymol to population management of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Ind. Crops Prod.* 107, 198–205. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.046>.
- Oliveira, A.P., Santos, A.A., Santana, A.S., Lima, A.P.S., Melo, C. R., Santana, E.D.R., Sampaio, T.S., Blank, A.F., Araújo, A.P.A., Cristaldo, P.F., Bacci, L., 2018. Essential oil of *Lippia sidoides* and its major compound thymol: Toxicity and walking response of populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Crop. Prot.* 112, 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.011.2016>.
- Pereira, A.I.A., Silva, R.B., Tavares, W.S., Malaquias, J.B., Zanuncio, J.C., 2017. Lightweight males of *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) neglect lightweight females due low reproductive fitness. *Braz. J. Biol.* 77, 267–276. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.11515>
- Reynolds, A.M., Sword, G.A., Simpson, S.J., Reynolds, D.R., 2009. Predator percolation, insect outbreaks, and phase polyphenism. *Curr. Biol.* 19, 20–24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2008.10.070>.
- Ribeiro, A.V., Farias, E.S., Santos, A.A., Filomeno, C.A., Santos, I.B., Barbosa, L.C.A., Picanço, M.C., 2018. Selection of an essential oil from *Corymbia* and *Eucalyptus* plants against *Ascia monuste* and its selectivity to two non-target organisms. *Crop Prot.* 110, 207–13. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.08.014>

- Rusch, A., Chaplin-Kramerc, R., Gardinere, M.M., Hawro, V., Holland, J., Landis, D., Thies, C., Tschardtke, T., Weisser, W.W., Winqvist, C., Woltz, M., Bommarco, R., 2016. Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 221, 198–204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.039>.
- Santos, A.A., Oliveira, B.M.S., Melo, C.R., Lima, A.P.S., Santana, E.D.R., Blank, A.F., Picanço, M.C., Araújo, A.P.A., Cristaldo, P.F., Bacci, L., 2017. Sub-Lethal effects of essential oil of *Lippia sidoides* on drywood termite *Cryptotermes brevis* (Blattodea : Termitoidea). *Ecotox. Environ. Safe.* 145, 436-441. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.057>.
- Santos, A.C.C., Cristaldo, P.F., Araújo, A.P.A., Melo, C.R., Lima, A.P.S., Santana, E.D.R., de Oliveira, B.M.S., Oliveira, J.W.S., Vieira, J.S., Blank, A.F., Bacci, L., 2018. *Apis mellifera* (Insecta: Hymenoptera) in the target of neonicotinoids: A one-way ticket? Bioinsecticides can be an alternative. *Ecotox. Environ. Safe.* 163, 28-36. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.048.2017>.
- SAS Institute, 2008. SAS/STAT 9.2 User's Guide.
- Sial, M.U., Zhao, Z., Zhang, L., Zhang, Y., Mao, L., Jiang, H., 2018. Evaluation of insecticides induced hormesis on the demographic parameters of *Myzus persicae* and expression changes of metabolic resistance detoxification genes. *Sci. Rep.* 8, 4–11. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-35076-1>.
- Soares, A.M.S., Penha, T.A., Araújo, S.A., Cruz, E.M.O., Blank, A.F., Costa-Junior, L.M., 2016. Assessment of different *Lippia sidoides* genotypes regarding their acaricidal activity against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Rev. Bras. Parasitol. Vet.* 25, 401–6. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-29612016087>.
- Stark, J.D., John, E.B., 2003., Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annu. Rev. Entomol.* 48, 505–19. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.48.091801.112621>.
- Torres, J.B., Zanuncio, J.C., Moura, M.A., 2006. The predatory stinkbug *Podisus nigrispinus*: Biology, ecology and augmentative releases for lepidoperan larval control in *Eucalyptus* forests in Brazil. *CAB Rev.* 1, 1-18. <https://doi: 10.1079/PAVSNNR20061015>.
- Turchen L.M., Piton, L.P., Dall'Oglio, E.L., Butnariu, A.R., Pereira, M.J., 2016. Toxicity of *Piper aduncum* (Piperaceae) essential oil against *Euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae) and non-effect on egg parasitoids. *Neotrop. Entomol.* 45, 604–611. <https://doi.org/10.1007/s13744-016-0409-7>.
- Veras, H.N., Araruna, M.K., Costa, J.G., Coutinho, H.D., Kerntopf, M.R., Botelho, M.A., Menezes, I.R., 2012. Topical anti inflammatory activity of essential oil of *Lippia sidoides* Cham : Possible mechanism of action. *Phyther. Res.* 27, 179–85. <https://doi: 10.1002/ptr.4695>.
- Wei, J., Zhang, L., Yang, S., Xie, B., An, S., Liang, G., 2018. Assessment of the lethal and sublethal effects by spinetoram on cotton bollworm. *PLoS One.* 13, 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204154>.

- Werdin González, J.O., Laumann, R.A., da Silveira, S., Moraes, M.C., Borges, M., Ferrero, A.A., 2013. Lethal and sublethal effects of four essential oils on the egg parasitoids *Trissolcus basalis*. *Chemosphere*. 92, 608–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.03.066>.
- Xu, C., Zhang, Z., Cui, K., Zhao, Y., Han, J., Liu, F., Mu, W., 2016. Effects of sublethal concentrations of cyantraniliprole on the development, fecundity and nutritional physiology of the black cutworm *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae). *PLoS One*. 11, 1–19. <http://doi:10.1371/journal.pone.0156555>.
- Zanuncio, J.C., Lacerda, M.C., Cruz, R.A., Brügger, B.P., Pereira, A.I.A., Wilcken, C.F., Serrão, J.E., Sedyama, C.S., 2018. Glyphosate-based herbicides toxicity on life history parameters of zoophytophagous *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 147, 245–50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.055>.
- Zanuncio, J.C., Mourão, S.A., Martínez, L.C., Wilcken, C.F., Ramalho, F.S., Plata-Rueda, A., Soares, M.A., Serrão, J.E., 2016. Toxic effects of the neem oil (*Azadirachta indica*) formulation on the stink bug predator, *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Sci. Rep.* 6, 1–8. <http://dx.doi.org/10.1038/srep30261>.

Tabela 1. Toxicidade por aplicação tópica do inseticida deltametrina (DLM), do óleo essencial de *Lippia sidoides* (OE) e timol sobre ninfas de terceiro ínstar de *Podisus nigrispinus*, após 48 h de exposição.

Tratamento	N^a	DL ₁₀ (IC 95%) (mg g ⁻¹)	DL ₃₀ (IC 95%) (mg g ⁻¹)	DL ₅₀ (IC 95%) (mg g ⁻¹)	DL ₉₀ (IC 95%) (mg g ⁻¹)	β^b	χ^2	P
Deltametrina (DLM)	442	2,30x10 ⁻⁴ (1,28x10 ⁻⁴ -3,47x10 ⁻⁴)	5,97x10 ⁻⁴ (4,04x10 ⁻⁴ -8,11x10 ⁻⁴)	1,15x10 ⁻³ (8,53x10 ⁻⁴ -1,53x10 ⁻³)	5,80x10 ⁻³ (4,07x10 ⁻³ -9,42x10 ⁻³)	1,82±0,19	2,22	0,72
Óleo essencial de <i>L. sidoides</i> (OE)	440	14,45 (11,07-17,17)	21,55 (18,39-24,17)	28,43 (25,51-31,38)	55,93 (48,28-69,81)	4,36±0,53	0,91	0,69
Timol	481	5,66 (3,26-7,28)	8,05 (5,74-9,49)	10,27 (8,37-11,54)	18,65 (16,33-24,05)	4,94±0,97	1,31	0,62

^a = número de insetos. ^b = inclinação da curva. ± erro padrão.

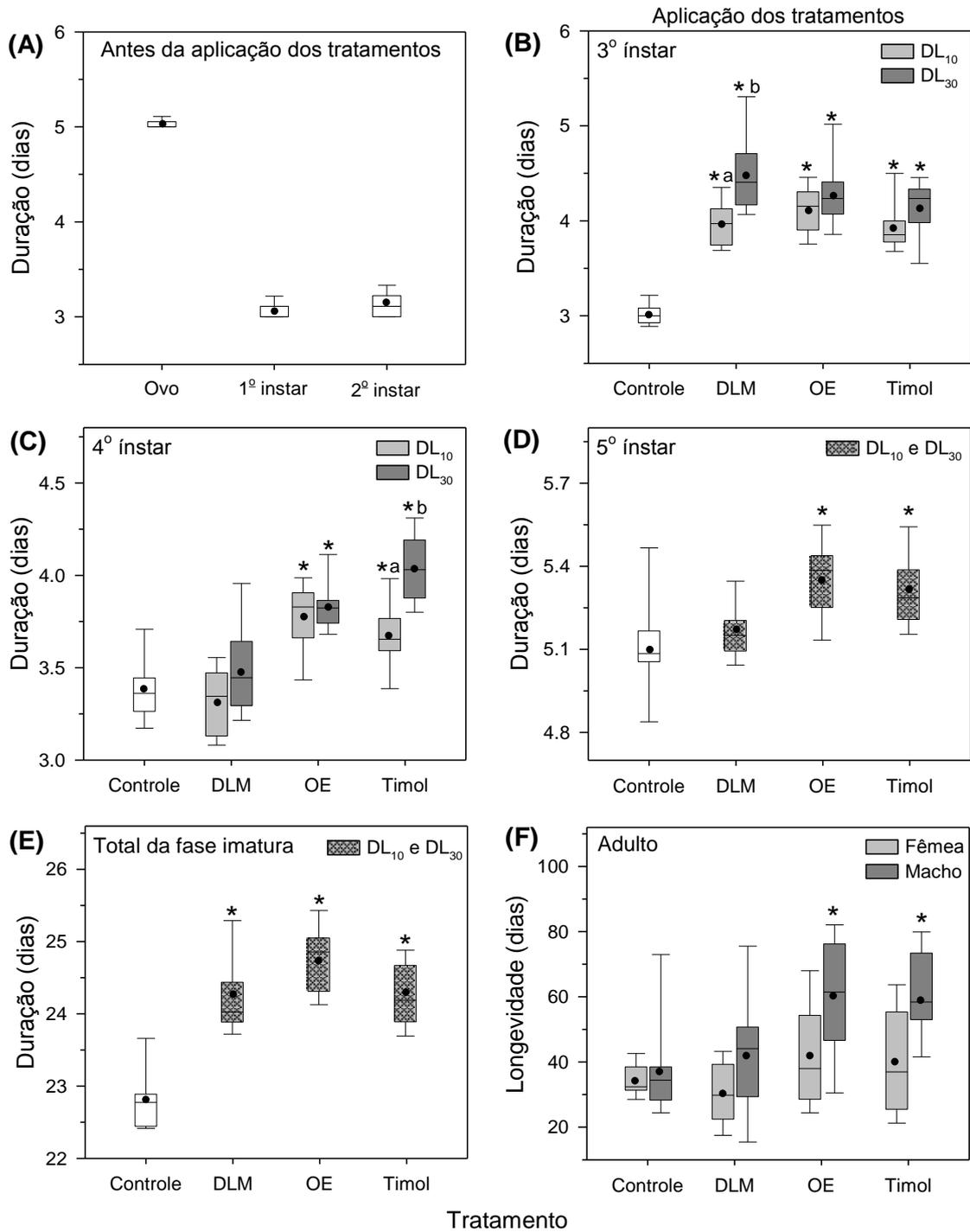


Figura 1. Duração das fases de ovo, 1^o, 2^o, 3^o, 4^o e 5^o ínstar e longevidades de adultos de *Podisus nigrispinus* (A-F), após exposição do 3^o ínstar a doses subletais (DL₁₀ e DL₃₀) de deltametrina (DLM), do óleo essencial de *Lippia sidoides* (OE) e timol. As linhas do erro representam os percentis 10 e 90 e as extremidades da caixa os percentis 25 e 75. A linha sólida dentro da caixa representa a mediana e o círculo preto a média. Médias seguidas por asterisco diferem do controle pelo teste de Dunnett a $P < 0,05$ e médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças entre as doses pelo teste de t pareado a $P < 0,05$.

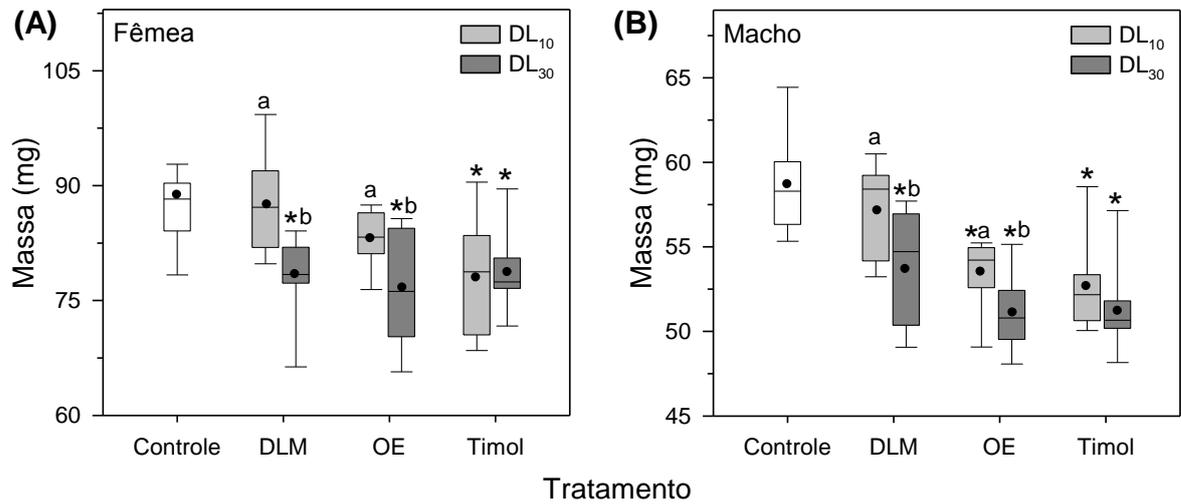


Figura 2. Massa de fêmeas (A) e machos (B) de *Podisus nigrispinus*, após exposição do 3º ínstar a doses subletais (DL₁₀ e DL₃₀) de deltametrina (DLM), do óleo essencial de *Lippia sidoides* (OE) e timol. As linhas do erro representam os percentis 10 e 90 e as extremidades da caixa os percentis 25 e 75. A linha sólida dentro da caixa representa a mediana e o círculo preto a média. Médias seguidas por asterisco diferem do controle pelo teste de Dunnett a $P < 0,05$ e médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças entre as doses pelo teste de t pareado a $P < 0,05$.

Tabela 2. Parâmetros reprodutivos de *Podisus nigrispinus* após exposição do 3º ínstar a doses subletais (DL₁₀ e DL₃₀) de deltametrina (DLM), do óleo essencial de *Lippia sidoides* (OE) e do timol.

Parâmetro reprodutivo	Tratamento ^a			
	Controle	DLM	OE	Timol
Período pré-oviposição (dias) ^{n.s.}	5,50±0,28	5,50±0,18	5,15±0,15	4,90±0,07
Período de oviposição (dias)	26,80±0,89 ab	22,35±1,95 b	34,60±3,29 a	32,85±3,65 a
Período pós-oviposição (dias) ^{n.s.}	1,70±0,29	2,25±0,33	1,55±0,41	1,70±0,30
Nº de ovos/fêmea	457,3±37,3 b	418,9±30,7 b	622,8±30,8 a	590,0±37,2 a
Nº de massa de ovos/fêmea	17,50±1,23 b	15,85±1,19 b	23,80±1,63 a	24,30±1,87 a
Nº de ovos/massa de ovos ^{n.s.}	25,98±0,97	26,76±0,80	26,91±0,83	25,19±1,11
Nº de ninfas/fêmea	381,2±41,8 bc	339,5±27,8 c	528,0±26,5 a	483,8±36,0 ab
Nº de ninfas/massa de ovos ^{n.s.}	20,45±1,71	21,78±1,03	22,91±0,90	21,12±1,43
Incubação dos ovos (dias) ^{n.s.}	4,99±0,01	5,00±0,001	5,01±0,01	4,99±0,01
Viabilidade de ovos (%) ^{n.s.}	78,12±5,55	81,01±2,28	84,98±1,78	83,23±3,75

^a Médias seguidas por mesma letra, na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a $P < 0,05$. n.s. não significativo a 5% de probabilidade. ± erro padrão da média ($n = 20$, DL₁₀ = DL₃₀).

Tabela 3. Parâmetros da tabela de vida de *Podisus nigrispinus* expostos as doses subletais (DL₁₀ e DL₃₀) de deltametrina (DLM), do óleo essencial de *Lippia sidoides* (OE) e do timol.

Parâmetro da tabela de vida	Tratamento ^a			
	Controle	DLM	OE	Timol
Taxa reprodutiva líquida (R_0) (prole/indivíduo)	209,1±17,1 ab	168,5±12,2 b	216,3±10,9 ab	255,8±16,3 a
Taxa intrínseca de crescimento (rm) (dia ⁻¹) ^{n.s.}	0,1431±0,0024	0,1372±0,0020	0,1393±0,0017	0,1444±0,0017
Razão finita e crescimento (λ) (dia ⁻¹) ^{n.s.}	1,1539±0,0028	1,1471±0,0023	1,1494±0,0019	1,1553±0,0020
Tempo médio de geração (T) (dia) ^{n.s.}	37,37±0,32	37,40±0,44	38,60±0,56	38,42±0,46
Tempo para a população dobrar de tamanho (TD) (dia) ^{n.s.}	4,84±0,08	5,05±0,07	4,98±0,06	4,80±0,06

^a Médias seguidas por mesma letra, na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a $P < 0,05$.
± erro padrão da média ($n = 20$, DL₁₀ = DL₃₀).

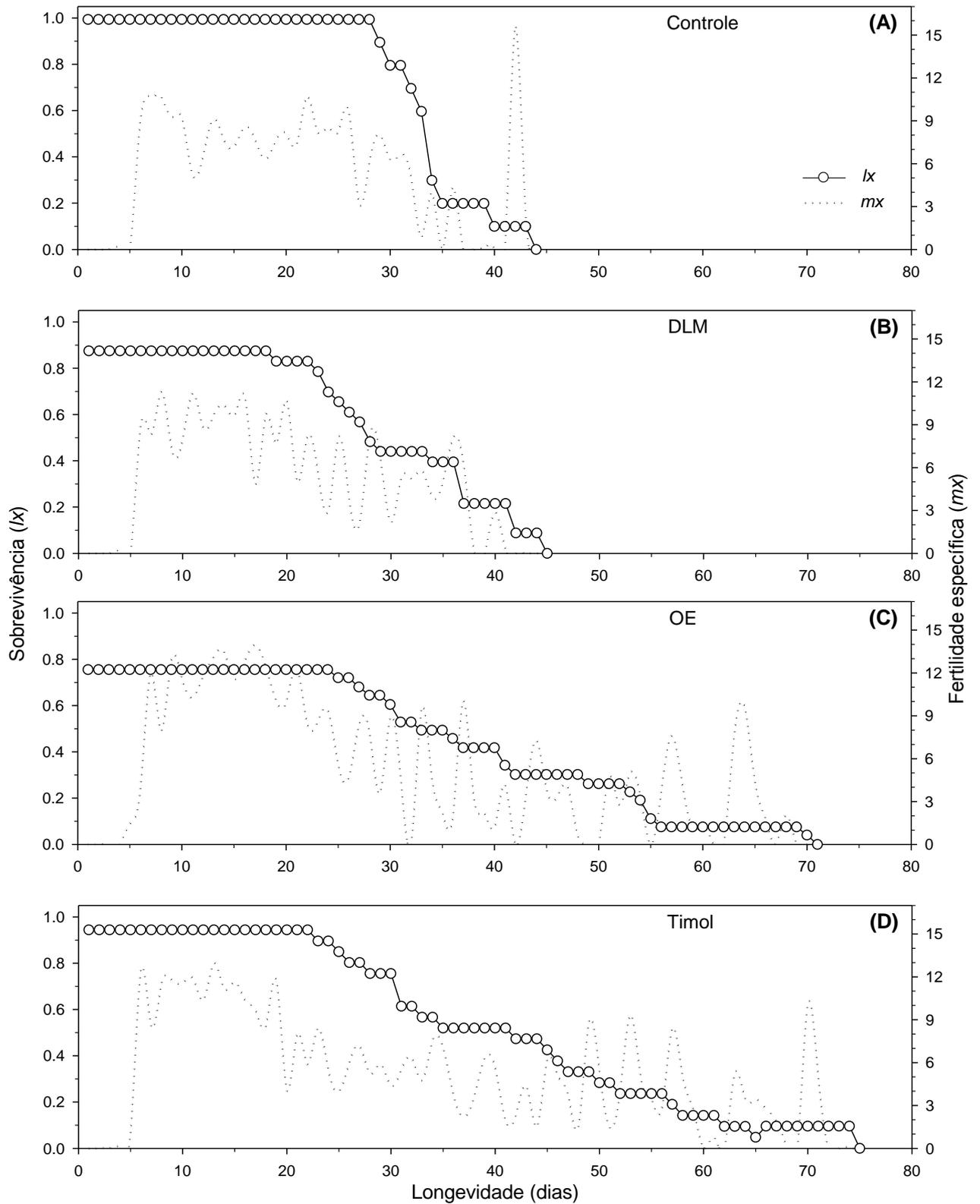


Figura 3. Taxa de sobrevivência (l_x) e fertilidade específica (m_x) de *Podisus nigrispinus* no controle (A) e expostos as doses subletais (DL₁₀ e DL₃₀) de deltametrina (DLM) (B), do óleo essencial de *Lippia sidoides* (OE) (C) e do timol (D).

5. ARTIGO 2

ATIVIDADE INSETICIDA DE COMPOSTOS BOTÂNICOS CONTRA *Spodoptera frugiperda* E SELETIVIDADE AO PERCEVEJO AO PREDADOR *Podisus nigrispinus*

Periódico a ser submetido: *Crop Protection*

RESUMO

O controle de pragas baseado exclusivamente na utilização de inseticidas organossintéticos pode ocasionar diversos problemas, incluindo a redução de populações de inimigos naturais. Desse modo, a utilização de inseticidas seletivos é fundamental para o controle eficiente de pragas. Neste estudo, avaliamos os efeitos letais do óleo essencial de *Lippia sidoides* e de seu composto majoritário timol sobre a lagarta do cartucho do milho *Spodoptera frugiperda*, bem como a seletividade e os efeitos comportamentais desses compostos a *Podisus nigrispinus*, importante predador de lagartas desfolhadoras. Os compostos botânicos foram mais seletivos ao predador que o inseticida deltametrina, que foi cerca de 2,7 vezes mais tóxico para *P. nigrispinus* do que para *S. frugiperda*. O inseticida deltametrina causou rápida mortalidade às ninfas de *P. nigrispinus* com $TL_{50} = 0,36$ h. Adicionalmente, a mortalidade dos indivíduos expostos a esse tratamento atingiu 100% em menos de três horas. Já o óleo essencial ($TL_{50} = 119$ h) e o timol ($TL_{50} = 93$ h) agiram de forma mais lenta sobre o predador. Ao contrário, para a praga, os compostos botânicos tiveram ação mais rápida do que o inseticida sintético. Ninfas expostas a deltametrina e timol apresentaram alterações comportamentais, já que houve aumento e redução na velocidade e na distância percorrida, respectivamente. Todos os insetos permaneceram mais tempo do lado não tratado das arenas. O presente estudo revela o potencial do óleo essencial de *L. sidoides* e timol para o controle da praga *S. frugiperda* e, ao mesmo tempo, a seletividade desses compostos sobre *P. nigrispinus*.

Palavras-chave: Asopinae, comportamento, controle alternativo, Verbenaceae.

ABSTRACT

Título: INSECTICIDE ACTIVITY OF BOTANIC COMPOUNDS AGAINST *Spodoptera frugiperda* AND SELECTIVITY TO THE PREDATORY STINK BUG *Podisus nigrispinus*

Pest control based exclusively on the use of organosynthetic insecticides might cause several problems, including the reduction of populations of natural enemies. Therefore, the use of selective insecticides is essential for efficient pest control. In this study, we evaluated the lethal effects of the *Lippia sidoides* essential oil and its major compound thymol on the corn cartridge caterpillar *Spodoptera frugiperda*, as well as the selectivity and behavioral effects of these compounds on *Podisus nigrispinus*, an important predator of defoliating caterpillars. The botanical compounds were more selective to the predator than the insecticide deltamethrin, which was about 2.7 times more toxic to *P. nigrispinus* than to *S. frugiperda*. The insecticide deltamethrin caused rapid mortality to the nymphs of *P. nigrispinus* with $TL_{50} = 0.36$ h. In addition, the mortality of individuals exposed to this treatment reached 100% in less than three hours. On the one hand, essential oil ($TL_{50} = 119$ h) and thymol ($TL_{50} = 93$ h) acted more slowly on the predator. On the other hand, for the pest, the botanical compounds had a faster action than the synthetic insecticide. Nymphs exposed to deltamethrin and thymol showed behavioral changes because there was an increase and reduction in speed and distance covered, respectively. All insects stayed longer on the untreated side of the arenas. The present study reveals the potential of *L. sidoides* essential oil and thymol for the control of the pest *S. frugiperda* as well as the selectivity of these compounds over *P. nigrispinus*.

Keywords: Asopinae, behavior, alternative control, Verbenaceae.

5.1. Introdução

A manutenção dos serviços ecossistêmicos é um aspecto fundamental para as decisões de manejo de pragas que visem a uma agricultura sustentável (BOMMARCO; KLEIJN; POTTS, 2013). Decisões de manejo que focam exclusivamente na redução das populações de pragas-alvo podem resultar na perda de espécies de inimigos naturais (ex. predadores e parasitoides), levando ao insucesso no controle de pragas (GUEDES et al., 2016). Diversos produtos eficazes no controle de pragas-alvo podem também agir reduzindo as populações de inimigos naturais, as quais ainda sofrem concomitantemente aos efeitos negativos da perda e simplificação da paisagem nos agroecossistemas (BARBOSA et al., 2018; RUSCH et al., 2016). No contexto de comunidades, espécies predadoras podem apresentar diferentes estratégias de ataque, levando a uma complementaridade de seus nichos (SNYDER, 2019; STRAUB; FINKE; SNYDER, 2008). Dessa forma, a perda ou redução das populações de uma ou mais espécies de inimigos naturais pode comprometer a eficiência do controle biológico de forma geral.

Programas de controle de pragas baseados no uso de inseticidas organossintéticos podem ocasionar diversos problemas [ex. resistência dos insetos-praga, contaminação ambiental] (SHAKEEL et al., 2017; ZHANG; ZEISS; GENG, 2015), incluindo a redução ou perda de populações de agentes de controle biológico, resultando na ressurgência de pragas ou no aumento de populações de pragas secundárias (RAHAMAN; ISLAM, 2018). Adicionalmente, doses subletais sobre as populações de inimigos naturais, além da mortalidade *per se*, podem ter efeitos similares na ineficácia do controle biológico. Diversos estudos têm demonstrado alterações de caminamento, orientação e capacidade de tomada de decisão de organismos benéficos sob efeito de pesticidas (DE CASTRO et al., 2013, 2018; RAMOS et al., 2018; SANTOS et al., 2018; WANG et al., 2016). Em vários países das Américas, por exemplo, a cultura de milho é frequentemente atacada pela lagarta desfolhadora *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), considerada praga-chave nesses locais. O controle dessa praga é realizado tanto com o uso de inseticidas sintéticos (incluindo piretroides, como a deltametrina, AGROFIT, 2019) como também através do controle biológico realizado por predadores (ex. *Podisus nigrispinus*, Hemiptera: Pentatomidae) (TORRES et al., 2006). No entanto, estudos têm demonstrado que a classe de inseticidas sintéticos recomendada para o controle de *S. frugiperda* pode causar efeitos adversos a esse inimigo natural, como alterações no comportamento, na biologia e na reprodução do crescimento populacional (DE CASTRO et al., 2013, 2015). Sendo assim, a adoção de programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP) que visem à utilização de inseticidas seletivos é fundamental (GUEDES et al., 2016) para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável.

Produtos naturais com baixa persistência e rápida degradação, como os óleos essenciais de plantas, são apontados como boas alternativas (ISMAN; GRIENEISEN, 2014), uma vez que podem ser mais seletivos aos organismos não alvo quando comparados aos inseticidas sintéticos (ISMAN, 2006; SANTOS et al., 2018; TOLEDO et al., 2019). Os óleos essenciais provenientes do metabolismo secundário de plantas mostram toxicidade a diversas pragas (MELO et al., 2018; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ; et al., 2019; SILVA et al., 2018) além de ação repelente/deterrente, reduzindo assim a oviposição ou a alimentação dos insetos herbívoros (MITHOFER; BOLAND, 2012). Alguns estudos têm demonstrado seletividade dos óleos essenciais de plantas em relação aos inimigos naturais, no entanto essa não é uma regra geral (PARREIRA et al., 2018), o que exige estudos específicos para cada sistema herbívoro-inimigo natural.

Lippia sidoides (Verbenaceae) é uma planta nativa do Nordeste brasileiro conhecida como alecrim-pimenta (CAVALCANTI et al., 2010). Seu óleo essencial apresenta uma ampla gama de propriedades biológicas e tem mostrado bioatividade no controle de pragas (BACCI et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2018; SANTOS et al., 2017).

Assim, nosso objetivo neste estudo foi avaliar a toxicidade do óleo essencial de *L. sidoides* e do seu composto majoritário timol contra o herbívoro *S. frugiperda* e o predador *P. nigrispinus*, bem como os efeitos comportamentais desses compostos sobre o percevejo predador. Em todos os casos, os efeitos letais e subletais foram comparados com aqueles ocasionados pelo inseticida sintético deltametrina, comumente utilizado no controle de *S. frugiperda*.

5.2. Material e métodos

5.2.1. Insetos

Os insetos utilizados nos bioensaios foram obtidos de criações (> 10 gerações) mantidas em salas climatizadas ($25 \pm 0,5^\circ\text{C}$, UR $70 \pm 10\%$, fotoperíodo de 12h) de laboratórios da Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão-SE ($10^\circ54' \text{ S}$, $37^\circ04' \text{ W}$, 7 m de altitude), Brasil.

Adultos de *P. nigrispinus* foram mantidos em gaiolas teladas de 60 x 40 x 40 cm e alimentados com pupas da presa alternativa *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). As posturas depositadas pelas fêmeas foram coletadas diariamente e transferidas para placas de Petri (9 x 1,5 cm) contendo algodão umedecido com água destilada. Após a eclosão, as ninfas foram alimentadas com pupas de *T. molitor* até a fase adulta, quando foram transferidas para as gaiolas.

Adultos de *S. frugiperda* foram mantidos em potes plásticos de 1L totalmente revestidos com papel sulfite (substrato de oviposição). O pote teve o fundo constituído por uma placa de Petri (14 x 1,5 cm) e a parte superior foi vedada com tecido tipo organza. Solução de mel a 10% foi fornecida para alimentação dos adultos. As posturas foram retiradas a cada dois dias e acondicionadas em recipientes plásticos de 120 mL até a eclosão das larvas. As larvas foram individualizadas em potes plásticos de 120 mL e alimentadas com dieta artificial (GREENE; LEPPLA; DICKERSON, 1976). As pupas obtidas foram acondicionadas em potes plásticos de 1L para a eclosão dos adultos.

5.2.2. Obtenção dos compostos e análise química do óleo essencial

O óleo essencial de folhas de *L. sidoides* (OE) foi obtido por arraste a vapor (PRONAT, Horizonte, Ceará, Brasil). Para identificação e quantificação dos compostos, foi realizada análise química do óleo essencial, conforme descrito em Oliveira et al. (2017) e Santos et al. (2017). O timol, constituinte em maior proporção no óleo essencial, foi adquirido da empresa SIGMA-ALDRICH. Inseticida comercial à base de deltametrina (DLM) (Decis® 25 EC, 25 g i.a./L, concentrado emulsionável, Bayer S.A.®, Gujarat, Índia) foi utilizado como controle positivo.

5.2.3. Bioensaios

5.2.3.1. Toxicidade e seletividade

Os bioensaios para determinação das doses letais foram conduzidos com grupos de dez ninfas de terceiro ínstar de *P. nigrispinus* ou dez larvas de terceiro ínstar de *S. frugiperda*.

Inicialmente, foi determinada a massa média dos insetos pela pesagem individual dos insetos ($N = 30$) em balança analítica de precisão (Shimadzu, AUW220D). Testes preliminares foram realizados com três doses (1, 5 e 10 μg das substâncias/ mg de inseto). Posteriormente, doses intermediárias foram utilizadas para traçar as curvas de dose-mortalidade.

Para diluição do óleo essencial de *L. sidoides*, timol e deltametrina, foi utilizado acetona (Panreac, UV-IR-HPLC-GPC PAIACS, 99,9%). Os tratamentos foram aplicados topicamente (0,5 μl) na região protorácica de cada inseto com o auxílio de uma microseringa (Hamilton®, Reno, NV, USA). O solvente acetona foi utilizado como controle. Para facilitar

a aplicação dos tratamentos, as ninfas de *P. nigrispinus* foram mantidas em freezer (Electrolux®, Curitiba, PR, Brasil) por 90 s. Testes preliminares mostraram que tal procedimento não interfere na sobrevivência e no comportamento das ninfas.

Após a aplicação dos tratamentos, as ninfas de *P. nigrispinus* foram colocadas em placa de Petri (Global Trade Technology, Monte Alto, SP, Brasil) (9 x 1,5 cm) contendo algodão úmido na tampa, e pupas de *T. molitor* foram fornecidas *ad libitum* para alimentação. Já as larvas de *S. frugiperda* tratadas foram acondicionadas em placas de cultura celular (Global Trade Technology, Monte Alto, SP, Brasil) (24 orifícios) contendo folha de milho ($\cong 6 \text{ cm}^2$) para alimentação, que foram forradas com papel filtro umedecido. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições por inseto e por tratamento.

As placas contendo ninfas ou larvas tratadas foram acondicionadas em estufa incubadora tipo B.O.D. (Biotech®, Piracicaba, SP, Brasil) ($25 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$, UR $70 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12h). As avaliações da mortalidade dos insetos foram realizadas 48 h após a montagem dos bioensaios. Foram considerados mortos os indivíduos que se mantiveram imóveis e não responderam aos estímulos feitos com pincel.

A seletividade foi avaliada comparando-se as doses letais necessárias para matar 50% das populações de *P. nigrispinus* e *S. frugiperda* através do cálculo do índice de seletividade diferencial (ISD).

5.2.3.2. Tempo letal

Para determinar as curvas de sobrevivência e o tempo letal para matar 50% da população (TL_{50}) de ninfas de terceiro ínstar de *P. nigrispinus* e larvas de terceiro ínstar de *S. frugiperda*, foram utilizadas as DL_{90} determinadas nos bioensaios de toxicidade para *S. frugiperda*. Os procedimentos foram semelhantes aos dos bioensaios de toxicidade (item 2.3.1), porém as larvas de *S. frugiperda* foram individualizadas em placa de Petri (6 x 1,5 cm) forradas com papel filtro umedecido, contendo folha de milho ($\cong 15 \text{ cm}^2$). Foram realizadas dez repetições por tratamento.

A mortalidade foi avaliada após 10 min., e posteriormente foram feitas avaliações com intervalos de 30 min. até 2 h. As avaliações subsequentes foram realizadas a cada 1 h, 2 h e 4 h até completar 6, 24 e 48 h, respectivamente, desde o início da aplicação dos tratamentos. Posteriormente, foram realizadas avaliações a cada 24 h até completar onze dias (264 h).

5.2.3.3. Comportamento de *P. nigrispinus*

Foram realizados bioensaios independentes para avaliar os comportamentos de caminhamento (distância percorrida e velocidade) e repelência/deterrência de ninfas de *P. nigrispinus* expostas aos compostos. No bioensaio de caminhamento, foram utilizadas as DL_{05} obtidas de cada tratamento para *S. frugiperda*. Em todos os casos, foram utilizadas dez repetições, sendo cada repetição constituída de três ninfas de terceiro ínstar de *P. nigrispinus*, totalizando 30 indivíduos por tratamento.

Em ambos os casos, o movimento dos indivíduos foi gravado por 10 min. utilizando uma câmera de vídeo (Panasonic SD5 Superdynamic - modelo WV-CP504), equipada com lente Spacecom (1/3" 3-8 mm) acoplada a um computador. Para avaliação do movimento, foi utilizado o software Ethovision XT (versão 8.5; Noldus Integration System, Sterling, VA). Os dados captados foram analisados utilizando o programa Studio 9 (Pinnacle Systems, Mountain View, CA).

5.2.3.3.1. Caminhamento

O bioensaio foi realizado em placas de Petri (Global Trade Technology) (9 x 1,5 cm) (120 arenas) forradas com papel filtro (Unifil). Foi realizada aplicação tópica de $0,5 \mu\text{L}$ dos tratamentos na DL_{05} na região protorácica de ninfas de terceiro ínstar de *P. nigrispinus*, com auxílio de microseringa (Hamilton®, Reno, NV, USA). O controle consistiu na aplicação do

solvente acetona. Foram avaliadas a distância percorrida (mm) e a velocidade de caminamento (mm s^{-1}) dos indivíduos tratados.

5.2.3.3.2. Repelência/deterrência

A repelência/deterrência dos tratamentos a ninfas de terceiro ínstar de *P. nigrispinus* foi avaliada em placas de Petri (Global Trade Technology) (9 x 1,5 cm) (90 arenas) com chance de escolha (metade tratada e metade não-tratada). O papel filtro (Unifil) utilizado para forrar as placas foi dividido simetricamente em duas áreas, sendo metade tratada com 0,2 mL das soluções dos compostos a 0,1% e a outra metade com 0,2 mL de acetona. Cada metade do papel filtro foi tratada individualmente e, após evaporação do solvente, foram fixadas com fita dupla-face no fundo das placas. Foi avaliado o tempo de permanência dos indivíduos nas áreas tratada e não-tratada das placas.

5.2.4. Análises estatísticas

Os dados de mortalidade de *S. frugiperda* e *P. nigrispinus* foram submetidos à análise de Probit para determinação das curvas de dose-mortalidade de cada tratamento, utilizando o procedimento PROC PROBIT (SAS Institute, 2008). Foram obtidas curvas com probabilidade de aceitação da hipótese de nulidade (de que os dados possuem distribuição de Probit) maior que 0,05 pelo teste χ^2 . A partir das curvas, foram obtidas as doses letais (DL_{50} e DL_{90}) e seus respectivos intervalos de confiança a 95% de probabilidade (IC_{95}). O índice de seletividade diferencial (ISD) para cada tratamento foi calculado usando a seguinte fórmula: $ISD = DL_{50}$ de *P. nigrispinus* / DL_{50} de *S. frugiperda*.

As análises de sobrevivência foram realizadas através de estimadores Kaplan-Meier pelo teste de Log-Rank (Sigmaplot, versão 12.5). A partir dessa análise, foram obtidas as curvas de sobrevivência e os tempos letais para causar a mortalidade em 50% dos indivíduos (TL_{50}) para cada tratamento, em ambas as espécies. As curvas foram comparadas pelo método de comparação múltipla de Holm-Sidak ao nível de significância de 0,05 (Sigmaplot, versão 12.5).

Os dados de comportamento, distância percorrida (mm), velocidade de caminamento (mm s^{-1}) e repelência/deterrência de *P. nigrispinus* entre os diferentes tratamentos foram analisados através de análise de variância seguida pelo teste de Tukey a $P < 0,05$ (PROC GLM com Tukey; SAS). O tempo de permanência dos indivíduos (%) nas áreas tratada e não-tratada entre os diferentes tratamentos foi analisado através do teste de t-pareado a $P < 0,05$ (PROC TTEST; SAS).

5.3. Resultados

5.3.1. Toxicidade e seletividade

O óleo essencial de *L. sidoides*, seu composto majoritário timol e o inseticida organossintético deltametrina foram tóxicos a ninfas do percevejo predador *P. nigrispinus* e a larvas de *S. frugiperda*. As doses desses tratamentos necessárias para causar 50% de mortalidade das populações variaram de $1,15 \times 10^{-3}$ a $28,43 \text{ mg g}^{-1}$ e $3,07 \times 10^{-3}$ a $4,91 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente (Tabela 1).

O inseticida deltametrina foi cerca de 2,7 vezes mais tóxico para *P. nigrispinus* do que para *S. frugiperda*. Já o óleo essencial de *L. sidoides* ($ISD=8,85$) e o timol ($ISD=2,09$) apresentaram padrão contrário, sendo seletivos a *P. nigrispinus* em relação a *S. frugiperda* (Tabela 1).

5.3.2. Análise de sobrevivência

A DL_{90} dos tratamentos reduziu significativamente a sobrevivência de ninfas de *P. nigrispinus* e larvas de *S. frugiperda* ao longo do tempo (*P. nigrispinus*: Teste de Log-rank: $\chi^2 = 498,02$; $P < 0,001$ e *S. frugiperda*: Teste de Log-rank: $\chi^2 = 323,14$; $P < 0,001$). Não houve

diferença entre as curvas de sobrevivência de *P. nigrispinus* e *S. frugiperda* expostos ao óleo essencial de *L. sidoides* e ao timol (Fig. 1A-B).

As ninfas de *P. nigrispinus* mostraram rápida redução da sobrevivência quando expostas ao composto deltametrina ($TL_{50} = 0,36$ h; $IC_{95\%} = 0,25-0,48$). Em menos de 3 h, todos os indivíduos morreram (Fig. 1A). Por outro lado, 25% e 18% das ninfas expostas ao óleo essencial de *L. sidoides* ($TL_{50} = 119$ h; $IC_{95\%} = 99-139$) e ao timol ($TL_{50} = 93$ h; $IC_{95\%} = 74-112$) sobreviveram até o final do experimento (Fig. 1A). Esse padrão se inverteu para larvas de *S. frugiperda*. Os inseticidas botânicos causaram rápida mortalidade (OE de *L. sidoides*: $TL_{50} = 7,7$ h; $IC_{95\%} = 1,5-13,8$; timol: $TL_{50} = 5,7$ h; $IC_{95\%} = 0-11,6$), e a deltametrina demorou mais para matar metade da população ($TL_{50} = 68$ h; $IC_{95\%} = 46-90$) (Fig. 1B).

5.3.3. Comportamento

5.3.3.1. Caminhamento

Foram observadas diferenças significativas na distância percorrida ($F_{3,36} = 26,25$; $P < 0,001$) e na velocidade de caminhamento ($F_{3,36} = 26,67$; $P < 0,001$) de ninfas de *P. nigrispinus* expostas à DL_{05} (estimada para *S. frugiperda*) dos tratamentos. Ninfas expostas à deltametrina aumentaram a distância percorrida e a velocidade de caminhamento (Fig 2 A-B). Por outro lado, ninfas expostas ao timol reduziram esses parâmetros se comparadas ao controle (Fig. A-B).

5.3.3.2. Repelência/deterrência

O tempo de permanência dos indivíduos em cada lado da arena foi significativamente afetado pelos compostos (Fig. 3). Não houve diferença entre os tratamentos em relação ao tempo de permanência das ninfas de *P. nigrispinus* no lado tratado ($F_{2,27}=2,79$; $P=0,079$). Em todos os tratamentos, os indivíduos permaneceram mais tempo do lado não-tratado, indicando repelência/deterrência das ninfas de *P. nigrispinus* a esses compostos (OE: $t=7,62$; timol: $t=5,77$ e DLM: $t=7,66$; $P<0,001$ e $g.l.=19$) (Fig. 3).

5.4. Discussão

A busca por inseticidas eficientes e seletivos é fundamental para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável que permita a manutenção dos serviços ecossistêmicos (ex. controle biológico natural). No presente estudo, mostramos que o óleo essencial de *L. sidoides* e o timol apresentaram seletividade ao percevejo predador *P. nigrispinus*, sendo mais tóxicos para a praga-alvo *S. frugiperda*. Por outro lado, o inseticida organossintético deltametrina mostrou efeitos contrários, apresentando maior toxicidade ao inimigo natural, além de causar rápida mortalidade e alterar o padrão de caminhamento desse organismo benéfico.

A seletividade fisiológica de um inseticida pode ser reconhecida quando ele causa maior mortalidade à praga-alvo do que ao seu inimigo natural (SILVA et al., 2016). Uma possível explicação para a seletividade dos compostos botânicos de *L. sidoides* ao percevejo predador pode estar relacionada à sua taxa de penetração no integumento (YU, 1988; SUINAGA et al., 1996). Insetos pentatomídeos apresentam maior espessura do exoesqueleto do que aqueles pertencentes à ordem Lepidoptera, em sua fase larval (YU, 1988). Como o OE e o timol podem apresentar rápida degradação ou evaporação no ambiente (PAVELA; SEDLÁK, 2018), teriam menos chances de agir sobre o percevejo *P. nigrispinus* do que sobre *S. frugiperda*. Por outro lado, o inseticida sintético deltametrina mostrou maior toxicidade ao percevejo predador do que ao herbívoro *S. frugiperda*, o que pode estar relacionado a diferenças na capacidade de metabolização e no sítio de ação desses compostos em relação às pragas (YU, 1988; SUINAGA et al., 1996).

Embora os inseticidas botânicos tenham apresentado menor toxicidade à *S. frugiperda* do que o inseticida deltametrina, a eficiência desses compostos naturais pode ser

potencializada por meio de nanoformulações. Em estudo realizado por Oliveira et al. (2017), as nanoformulações que continham 18% do ingrediente ativo já foram capazes de potencializar a ação desses compostos no controle do gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais*. Essa potencialização deve-se às propriedades das nanoformulações, como menor tamanho de partícula, liberação controlada e maior solubilidade (KAH; HOFMANN, 2014; OLIVEIRA et al., 2014).

Por outro lado, os inseticidas botânicos apresentaram menor tempo letal para causar 50% de mortalidade de *S. frugiperda* do que o inseticida deltametrina, mostrando elevado potencial para o controle dessa praga. O inimigo natural *P. nigrispinus*, por sua vez, não só se mostrou altamente sensível à deltametrina como também morreu muito mais rápido quando em contato com esse inseticida sintético. Em torno de 3 h, todos os insetos já estavam mortos. Por outro lado, o OE de *L. sidoides* e o timol apresentaram TL_{50} de 119 e 93 h, respectivamente. De Castro et al. (2013) encontraram uma TL_{50} igual a 24,6 h para ninfas de terceiro ínstar de *P. nigrispinus*, sob efeito do inseticida deltametrina em dose de campo. Esse tempo de mortalidade muito maior do que o observado no presente estudo deve-se provavelmente ao fato de a aplicação ter sido realizada, nesse caso, sob o substrato, ou seja, de forma indireta sobre *P. nigrispinus*.

A deltametrina também alterou o padrão de caminamento de *P. nigrispinus*, aumentando a distância percorrida e a velocidade. A ação neurotóxica desse inseticida, aumentando o tempo de abertura dos canais de sódio, leva à despolarização da membrana dos neurônios e, conseqüentemente, a sintomas hiperexcitatórios, o que pode explicar essa mudança comportamental (CHRUSTEK et al., 2018). Diversos outros estudos também relatam alterações comportamentais de insetos sob efeito de inseticidas com ação neurotóxica (CAMPOS et al., 2011; DE CASTRO et al., 2013, 2018; FREITAS et al., 2017; XIAO et al., 2017). Por sua vez, tanto a deltametrina quanto os inseticidas botânicos causaram efeito de repelência sobre *P. nigrispinus*. O comportamento de evitação dos tratamentos reduz a exposição dos insetos aos inseticidas, minimizando assim os efeitos negativos sobre eles (CAMPOS et al., 2011). Tal modificação comportamental pode ser positiva para o inimigo natural, pois, além de contribuir para a sobrevivência, permite também a busca por áreas não contaminadas (CAMPOS et al., 2011; DE CASTRO et al., 2013; DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007).

Concluindo, este estudo ressalta as vantagens dos inseticidas botânicos de *L. sidoides* sobre o inimigo natural *P. nigrispinus* e, ao mesmo tempo, o potencial para controle da praga *S. frugiperda*. A seletividade observada desses compostos em relação ao inseticida deltametrina destaca o potencial dos inseticidas botânicos na conservação de populações de *P. nigrispinus*, contribuindo com isso para programas de manejo que visem a ações mais sustentáveis.

5.5. Referências bibliográficas

- Agrofit. Consulta de Produtos Formulados. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 09 dez. 2019.
- Bacci, L., Lima, J.K.A., Araújo, A.P.A., Blank, A.F., Silva, I.M.A., Santos, A. A., Santos, A.C.C., Alves, P.B., Picanço, M.C., 2015. Toxicity, behavior impairment, and repellence of essential oils from pepper-rosmarin and patchouli to termites. *Entomol. Exp. Appl.* 156, 66-76. <https://doi.org/10.1111/eea.12317>.
- Barbosa, P.R.R., Oliveira, M.D., Barros, E.M., Michaud, J.P., Torres, J.B., 2018. Differential impacts of six insecticides on a mealybug and its coccinellid predator. *Ecotox. Environ. Safe.* 147, 963-971. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.021>.
- Bommarco, R., Kleijn, D., Potts, S.G., 2013. Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. *Trends Ecol. Evol.* 28, 230–238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>.
- Campos, M.R., Picanço, M.C., Martins, J.C., Tomaz, A.C., Guedes, R.N.C., 2011. Insecticide selectivity and behavioral response of the earwig *Doru luteipes*. *Crop. Prot.* 30, 1535–1540. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2011.08.013>.
- Carvalho, A.F.U., Melo, V.M.M., Craveiro, A.A., Machado, M.I.L., Bantim, M.B., Rabelo, E.F., 2003. Larvicidal activity of the essential oil from *Lippia sidoides* Cham. against *Aedes aegypti* Linn. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz.* 98, 569–571. <http://dx.doi.org/10.1590/S0074-02762003000400027>.
- Cavalcanti, S.C., Niculau, E.S., Blank, A.F., Câmara, C.A., Araújo, I.N., Alves, P.B., 2010. Composition and acaricidal activity of *Lippia sidoides* essential oil against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *Bioresour. Technol.* 101, 829–832. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.053>.
- Chrustek, A., Holyńska-Iwan, I., Dziembowska, I., Bogusiewicz, J., Wróblewski, M., Cwynar, A., Olszewska-Słonina, D., 2018. Current research on the safety of pyrethroids used as insecticides. *Medicina.* 54, 1–15. <https://doi: 10.3390/medicina54040061>.
- de Castro, A.A., Corrêa, A.S., Legaspi, J.C., Guedes, R.N., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C., 2013. Survival and behavior of the insecticide-exposed predators *Podisus nigrispinus* and *Supputius cincticeps* (Heteroptera: Pentatomidae). *Chemosphere.* 93, 1043–10050. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.05.075>.
- de Castro, A.A., Legaspi, J.C., Tavares, W.S., Meagher, R.L.Jr., Miller, N., Kanga, L., Haseeb, M., Serrão, J.E., Wilcken, C.F., Zanuncio, J.C., 2018. Lethal and behavioral effects of synthetic and organic insecticides on *Spodoptera exigua* and its predator *Podisus maculiventris*. *PLoS ONE.* 13, 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206789>.
- de Castro, A.A., Poderoso, J.C.M., Ribeiro, R.C., Legaspi, J.C., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C., 2015. Demographic parameters of the insecticide-exposed predator *Podisus nigrispinus*: Implications for IPM. *BioControl.* 60, 231–239. <https://doi.org/10.1007/s10526-014-9639-y>.

- Desneux, N., Decourtye, A., Delpuech, J.M., 2007. The Sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annu. Rev. Entomol.* 52, 81–106. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>.
- Freitas, C.D., Gontijo, L.M., Guedes, R.N.C., Chediak, M. 2017. Survival and locomotory behavior of earwigs after exposure to reduced-risk insecticides. *J. Econ. Entomol.* 110, 1576–82. <https://doi.org/10.1093/jee/tox137>.
- Greene, G. L., Leppla, N. C., Dickerson, W. A., 1976. Velvetbean caterpillar: A rearing procedure and artificial medium. *J. Econ. Entomol.* 69, 487–488. <https://doi.org/10.1093/jee/69.4.487>.
- Guedes, R.N., Smagghe, G., Stark, J.D., Desneux, N. 2016. Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. *Annu. Rev. Entomol.* 61, 43–62. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023646>.
- Isman, M.B., 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annu. Rev. Entomol.* 51, 45–66. <http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146>.
- Isman, M.B., Grieneisen M.L., 2014. Botanical insecticide research : Many publications, limited useful data. *Trends Plant. Sci.* 19, 140–45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2013.11.005>.
- Kah, M., Hofman, T., 2014. Nanopesticide research: Current trends and future priorities. *Environ. Int.* 63, 224–235. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.11.015>.
- Melo, C.R., Picanço, M.C., Santos, A.A., Santos, I.B., Pimentel, M.F., Santos, A.C.C., Blank, A.F., Araújo, A.P.A., Cristaldo, P.F. Bacci, L., 2018. Toxicity of essential oils of *Lippia gracilis* chemotypes and their major compounds on *Diaphania hyalinata* and non-target species. *Crop. Prot.* 104, 47–51. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.013>.
- Mithöfer, A., Boland, W., 2012. Plant defense against herbivores : Chemical aspects. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 63, 431–50. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103854>.
- Oliveira, A.P., Santana, A.S., Santana, E.D.R., Lima, A.P.S., Faro, R.R.N., Nunes, R.S., Lima, A.D., Blank, A.F., Araújo, A.P.A., Cristaldo, P.F., Bacci, L., 2017. Nanoformulation prototype of the essential oil of *Lippia sidoides* and thymol to population management of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Ind. Crops Prod.* 107, 198–205. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.046>.
- Oliveira, A.P., Santos, A.A., Santana, A.S., Lima, A.P.S., Melo, C. R., Santana, E.D.R., Sampaio, T.S., Blank, A.F., Araújo, A.P.A., Cristaldo, P.F., Bacci, L., 2018. Essential oil of *Lippia sidoides* and its major compound thymol: Toxicity and walking response of populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Crop. Prot.* 112, 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.011>.
- Oliveira, J.L., Campos, E.V.R., Bakshi, M., Abhilash, P.C., Fraceto, L.F., 2014. Application of nanotechnology for the encapsulation of botanical insecticides for sustainable agriculture: Prospects and promises. *Biotechnol. Adv.* 32, 1550–1561. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.10.010>.

- Parreira, D.S., Cruz, R.A., Zanuncio, J.C., Lemes, P.G., Rolim, G.S., Barbosa, L.R., Leite, G.L.D., Serrão, J.E., 2018. Essential oils cause detrimental effects on biological parameters of *Trichogramma galloi* immatures. *J. Pest Sci.* 91, 887–895. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0945-x>.
- Pavela, R., Sedlák, P., 2018. Post-Application temperature as a factor influencing the insecticidal activity of essential oil from *Thymus vulgaris*. *Ind. Crops. Prod.* 113, 46–49. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.021>.
- Rahaman, M. M., Islam, K. S., Jahan, M., 2018. Rice Farmers' knowledge of the risks of pesticide use in Bangladesh. *J. Health Pollut.* 8, 1-9. <https://doi:10.5696/2156-9614-8.20.181203>.
- Ramos, R.S., de Araújo, V.C.R., Pereira, R.R., Martins, J.C., Queiroz, O.S., Silva, R.S., Picanço, M.C., 2018. Investigation of the lethal and behavioral effects of commercial insecticides on the parasitoid wasp *Copidosoma truncatellum*. *Chemosphere.* 191, 770–778. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.113>.
- Rodríguez-González, Á., Álvarez-García, S., González-López, Ó., Silva, F.D., Casquero, P.A., 2019. Insecticidal properties of *Ocimum basilicum* and *Cymbopogon winterianus* against *Acanthoscelides obtectus*, insect pest of the common bean (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Insects.* 10, 1-14. <https://doi: 10.3390/insects10050151>.
- Rusch, A., Chaplin-Kramer, R., Gardiner, M.M., Hawro, V., Holland, J., Landis, D., Thies, C., Tschardtke, T., Weisser, W.W., Winqvist, C., Woltz, M., Bommarco, R., 2016. Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 221, 198–204. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.039>
- Santos, A.A., Oliveira, B.M.S., Melo, C.R., Lima, A.P.S., Santana, E.D.R., Blank, A.F., Picanço, M.C., Araújo, A.P.A., Cristaldo, P.F., Bacci, L., 2017. Sub-Lethal effects of essential oil of *Lippia sidoides* on drywood termite *Cryptotermes brevis* (Blattodea : Termitoidea). *Ecotox. Environ. Safe.* 145, 436-441. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.057>.
- Santos, A.C.C., Cristaldo, P.F., Araújo, A.P.A., Melo, C.R., Lima, A.P.S., Santana, E.D.R., de Oliveira, B.M.S., Oliveira, J.W.S., Vieira, J.S., Blank, A.F., Bacci, L., 2018. *Apis mellifera* (Insecta: Hymenoptera) in the target of neonicotinoids: A one-way ticket? Bioinsecticides can be an alternative. *Ecotox. Environ. Safe.* 163, 28-36. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.048>.
- SAS Institute, 2008. SAS/STAT 9.2 User's Guide.
- Shakeel, M., Farooq, M., Nasim, W., Akram, W., Khan, F.Z.A., Jaleel, W., Zhu, X., Yin, H., Li, S., Fahad, S., Hussain, S., Chauhan, B.S., Jin, F., 2017. Environment polluting conventional chemical control compared to an environmentally friendly IPM approach for control of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), in China: A Review. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 24, 14537-14550. <https://doi: 10.1007/s11356-017-8996-3>.
- Silva, I.M., Martins, G.F., Melo, C.R., Santana, A.S., Faro, R.R., Blank, A.F., Alves, P.B., Picanço, M.C., Cristaldo, P.F., Araújo, A.P.A., Bacci, L., 2018. Alternative control of

Aedes aegypti resistant to pyrethroids: lethal and sublethal effects of monoterpene bioinsecticides. *Pest. Manag. Sci.* 74, 1001–1012. <https://doi.org/10.1002/ps.4801>.

Silva, R. S., Tomaz, A. C., Lopes, M. C., Martins, J. C., Xavier, V. M., Picanço, M. C., 2016. Toxicity of botanical insecticides on *Diaphania hyalinata*, their selectivity for the predatory ant *Paratrechina* Sp., and Their potential phytotoxicity on pumpkin. *Int. J. Pest. Manage.* 62, 95–104. <https://doi.org/10.1002/ps.4801>.

Snyder, W.E., 2019. Give predators a complement : Conserving natural enemy biodiversity to improve biocontrol. *Biol. Control.* 135, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.04.017>.

Straub, C.S., Finke, D.L., Snyder, W.E., 2008. Are the conservation of natural enemy biodiversity and biological control compatible goals? *Biol. Control.* 45, 225–37. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.05.013>.

Suinaga, F. A., Picanço, M.C., Zanuncio, J.C., Bastos, C.S., 1996. Seletividade fisiológica de inseticidas a *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Heteroptera: Pentatomidae) predador de lagartas desfolhadoras de eucalipto. *Rev. Árvore.* 20, 407–414.

Toledo, P.F.S., Ferreira, T.P., Bastos, I.M.A.S., Rezende, S.M., Viteri Jumbo, L.O., Didonet, J., Andrade, B.S., Melo, T.S., Smagghe, G., Oliveira, E.E., Aguiar, R.W.S., 2019. Essential oil from negramina (*Siparuna guianensis*) plants controls aphids without impairing survival and predatory abilities of non-target ladybeetles. *Environ. Pollut.* 255, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113153>.

Torres, J.B., Zanuncio, J.C., Moura, M.A., 2006. The predatory stinkbug *Podisus nigrispinus*: biology, ecology and augmentative releases for lepidoperan larval control in *Eucalyptus* forests in Brazil. *CAB Rev.* 1, 1–18. <https://doi: 10.1079/PAVSNNR20061015>.

Wang, D., Lü, L., He, Y., Shi, Q., Wang, G., 2016. Ecology and behavior effects of insecticides on oviposition and host discrimination behavior in *Trichogramma chilonis* (Hymenoptera : Trichogrammatidae). 109, 1–8. <https://doi.org/10.1093/jee/tow220>.

Xiao, D., Tan, X., Wang, W., Zhang, F., Desneux, N., Wang, S., 2017. Modification of flight and locomotion performances, respiratory metabolism, and transcriptome expression in the lady beetle *Harmonia axyridis* through sublethal pesticide exposure. *Front. Physiol.* 8, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00033>.

Yu, S. J., 1988. Selectivity of insecticides to the spined soldier bug (Heteroptera: Pentatomidae) and its lepidopterous prey. *J. Econ. Entomol.* 81, 119–122. <https://doi.org/10.1093/jee/81.1.119>

Zhang, M., Zeiss, M.R., Geng, S., 2015. Agricultural pesticide use and food safety : California’s model. *J. Integr. Agric.* 14, 2340–2357. [http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61126-1](http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61126-1).

Tabela 1. Toxicidade por aplicação tópica do óleo essencial de *Lippia sidoides* (OE), timol e inseticida deltametrina (DLM) sobre ninfas de terceiro ínstar de *Podisus nigrispinus* e lagartas de terceiro ínstar de *Spodoptera frugiperda*, após 48 h de exposição.

Tratamento	N^a	DL ₀₅ (IC 95%) (mg g ⁻¹)	DL ₅₀ (IC 95%) (mg g ⁻¹)	DL ₉₀ (IC 95%) (mg g ⁻¹)	ISD ^b	β^c	χ^2	P
<i>Podisus nigrispinus</i>								
Óleo essencial de <i>L. sidoides</i> (OE)	440	-	28,43 (25,51-31,38)	55,93 (48,28-69,81)	8,85	4,36±0,53	0,91	0,69
Timol	481	-	10,27 (8,37-11,54)	18,65 (16,33-24,05)	2,09	4,94±0,97	1,31	0,62
Deltametrina (DLM)	442	-	1,15x10 ⁻³ (8,53x10 ⁻⁴ -1,53x10 ⁻³)	5,80x10 ⁻³ (4,07x10 ⁻³ -9,42x10 ⁻³)	0,37	1,82±0,19	2,22	0,72
<i>Spodoptera frugiperda</i>								
Óleo essencial de <i>L. sidoides</i> (OE)	353	1,55 (1,20-1,83)	3,21 (2,95-3,49)	5,66 (4,95-6,95)	-	5,22±0,65	2,67	0,64
Timol	451	1,56 (1,07-1,98)	4,91 (4,35-5,56)	12,01 (9,73-16,61)	-	3,30±0,40	2,27	0,80
Deltametrina (DLM)	513	8,65x10 ⁻⁴ (5,06x10 ⁻⁴ -1,20x10 ⁻³)	3,07x10 ⁻³ (2,58x10 ⁻³ -3,35x10 ⁻³)	8,26x10 ⁻³ (6,70x10 ⁻³ -1,13x10 ⁻²)	-	2,98±0,39	3,15	0,50

^a Número de insetos. ^b Índice de seletividade diferencial para o predador *P. nigrispinus* (DL₅₀ *P. nigrispinus*/ DL₅₀ *S. frugiperda*). ^c Inclinação da curva ± erro padrão.

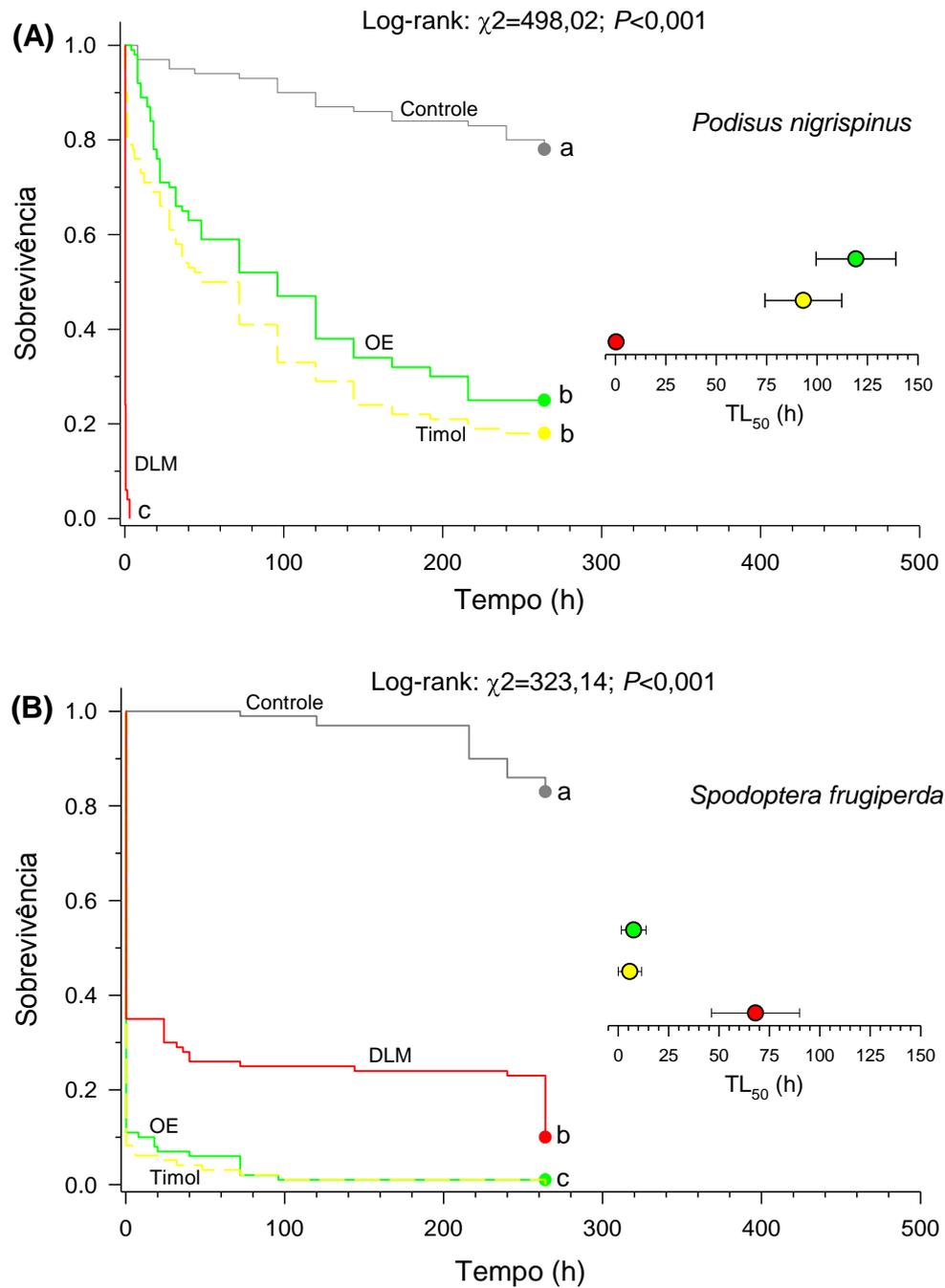


Figura 1. Curvas de sobrevivência e tempo letal (TL₅₀) (média \pm IC_{95%}) de *Podisus nigrispinus* (A) e *Spodoptera frugiperda* (B) expostos por contato a DL₉₀ (determinada para *S. frugiperda*) do óleo essencial de *Lippia sidoides* (OE), timol e deltametrina (DLM). Curvas de sobrevivência seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo método de Holm-Sidak (teste de Log-rank, $\alpha = 0,05$).

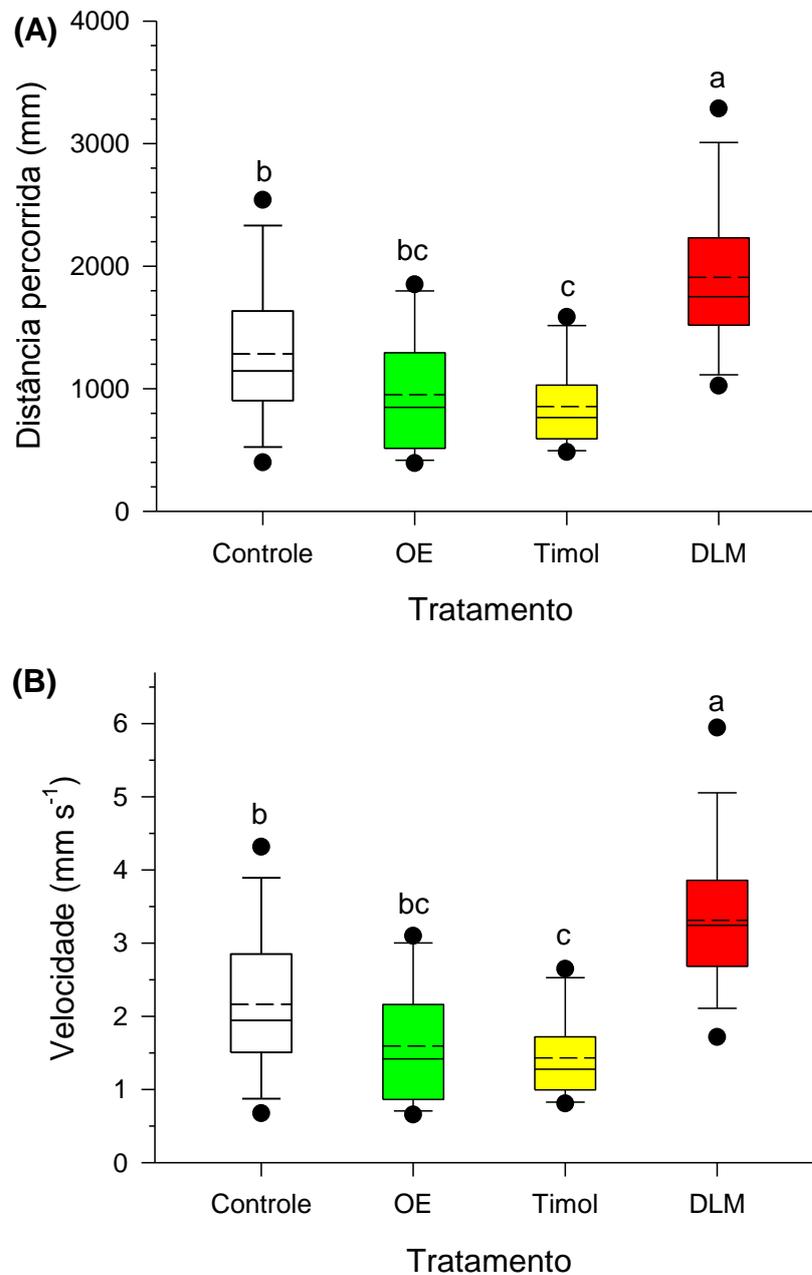


Figura 2. Distância percorrida (mm) (A) e velocidade de caminhada (mm s⁻¹) (B) de ninfas de terceiro ínstar de *Podisus nigrispinus* expostas por contato a DL₀₅ do óleo essencial de *Lippia sidoides* (OE), timol e deltametrina (DLM) (determinada para *S. frugiperda*) por 10 min. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Os círculos pretos representam os percentis 5 e 95, as linhas do erro os percentis 10 e 90 e as extremidades da caixa os percentis 25 e 75. A linha sólida e tracejada dentro da caixa representam a mediana e a média, respectivamente.

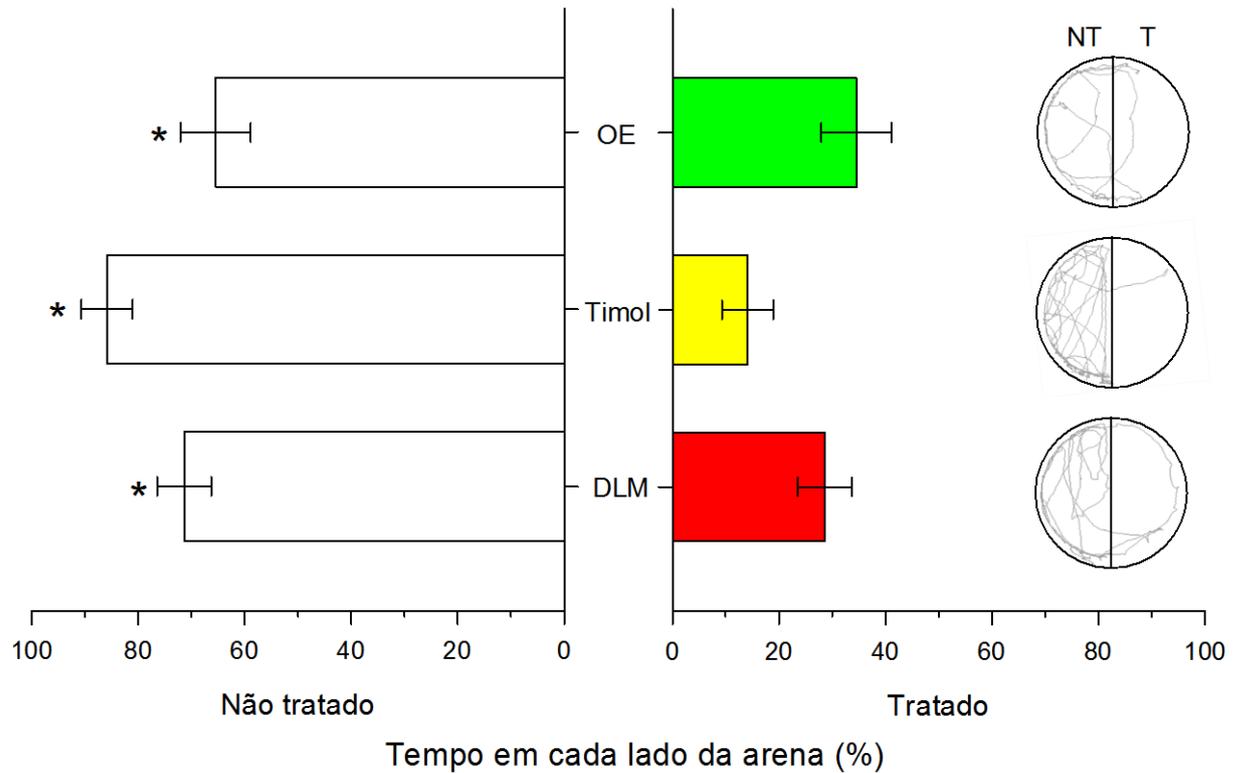


Figura 3. Repelência (%) (tempo em cada lado da arena) de *Podisus nigrispinus* exposto por contato a concentração de 0,1% do óleo essencial de *Lippia sidoides* (OE), timol e deltametrina (DLM). Barras seguidas por asterisco indicam diferença entre o tempo médio de permanência dos indivíduos nas áreas tratada e não-tratada das placas pelo teste de t pareado ($P < 0,05$). Os círculos divididos ao meio são as trilhas representativas do caminhamento de *P. nigrispinus* em cada lado da arena. NT = lado não tratado e T= lado tratado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo revela a compatibilidade do óleo essencial de *L. sidoides* e do timol com o percevejo predador *P. nigrispinus*. Além disso, os compostos botânicos são eficientes para o controle de *S. frugiperda*.

Diante disso, o óleo essencial de *L. sidoides* e o timol são promissores para síntese de novas moléculas inseticidas, podendo ser utilizados em programas de manejo de *S. frugiperda* que visem à conservação de *P. nigrispinus*.