

**CARLOS HENRIQUE MARTINS DE MENEZES**

**REDUÇÃO DA ALIMENTAÇÃO, RESPIRAÇÃO E SOBREVIVÊNCIA DE  
*ANTICARSIA GEMMATALIS* (LEPIDOPTERA: EREBIIDAE) POR INSETICIDAS  
NEUROTÓXICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: José Cola Zanuncio

Coorientadores: Rosa Angelica Plata Rueda  
Luis Carlos Martínez Castrillón

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2019**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M543r  
2019 Menezes, Carlos Henrique Martins de, 1988-  
Redução da alimentação, respiração e sobrevivência de  
*Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Erebiidae) por inseticidas  
neurotóxicos / Carlos Henrique Martins de Menezes. – Viçosa,  
MG, 2019.

29 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: José Cola Zanuncio.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 24-29.

1. *Anticarsia gemmatalis* - Controle. 2. Lagarta-da-soja.  
3. Sobrevivência. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Entomologia. Programa de Pós-Graduação em  
Entomologia. II. Título.

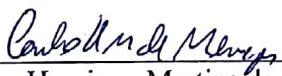
CDD 22. ed. 595.78

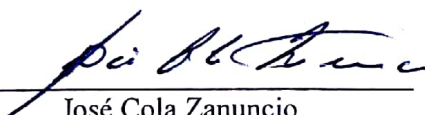
**CARLOS HENRIQUE MARTINS DE MENEZES**

**REDUÇÃO DA ALIMENTAÇÃO, RESPIRAÇÃO E SOBREVIVÊNCIA DE  
*ANTICARSIA GEMMATALIS* (LEPIDOPTERA: EREBIIDAE) POR INSETICIDAS  
NEUROTÓXICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 29 de julho de 2019.

  
\_\_\_\_\_  
Carlos Henrique Martins de Menezes  
Autor

  
\_\_\_\_\_  
José Cola Zanuncio  
Orientador

## RESUMO

MENEZES, Carlos Henrique Martins de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2019. **Redução da alimentação, respiração e sobrevivência de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Erebiidae) por inseticidas neurotóxicos.** Orientador: José Cola Zanuncio. Coorientadores: Luis Carlos Martinez Castrillón e Rosa Angelica Plata Rueda.

*Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebiidae) causa sérios danos na cultura de soja. Resistência a inseticidas, plantas transgênicas com Bt e ao vírus da poliedrose nuclear (VPN) foi relatada. Inseticidas neurotóxicos são usados no controle de *A. gemmatalis*. A abamectina ativa canais de cloro,  $\alpha$ -cipermetrina despolariza neurônios pelos canais de sódio, clorpirifós inibe a acetilcolinesterase e o tiametoxam atua nos receptores de acetilcolina. O objetivo foi avaliar os efeitos letais e subletais dos inseticidas  $\alpha$ -cipermetrina, abamectina, clorpirifós e tiametoxam em lagartas de *A. gemmatalis*. Concentrações letais ( $CL_{25}$ ,  $CL_{50}$ ,  $CL_{75}$  e  $CL_{90}$ ) desses inseticidas foram estimadas no bioensaio de concentração-mortalidade e usadas nos testes de tempo-mortalidade, taxa de respiração e efeito antialimentar em *A. gemmatalis*. O modelo de concentração-mortalidade foi adequado para estimar a concentração letal ( $CL_{50}$ ) para a  $\alpha$ -cipermetrina, abamectina, clorpirifós e tiametoxam. A sobrevivência de *A. gemmatalis* diferiu entre os inseticidas, sendo menor em clorpirifós. A abamectina e  $\alpha$ -cipermetrina diminuíram a taxa respiratória de *A. gemmatalis* devido a aumentarem o custo fisiológico para eliminar esses compostos. Tiametoxam causou o maior efeito antialimentar, comprometendo os processos de digestão e absorção de nutrientes e podendo ser uma alternativa para o controle desse inseto.

Palavras-chave: controle químico, lagarta da soja, sobrevivência, taxa de respiração, toxicidade.

## ABSTRACT

MENEZES, Carlos Henrique Martins de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2019. **Reduction of feeding, respiration and survival of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Erebiidae) by neurotoxic insecticides.** Adviser: José Cola Zanuncio. Co-advisers: Luis Carlos Martinez Castrillón and Rosa Angelica Plata Rueda.

*Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebiidae) can cause serious damage to the soybean crop. Resistance to transgenic plants with Bt and nuclear polyhedrosis virus has been reported. Neurotoxic insecticides are used in the control of *A. gemmatalis*. Abamectin activates chlorine channels,  $\alpha$ -cypermethrin depolarizes neurons through the sodium channels, chlorpyrifos inhibits acetylcholinesterase and thiamethoxam acts on acetylcholine receptors. The objective was to evaluate the lethal and sublethal effects of  $\alpha$ -cypermethrin, abamectin, chlorpyrifos and thiamethoxam insecticides on *A. gemmatalis* caterpillars. Lethal concentrations (LC<sub>25</sub>, LC<sub>50</sub>, LC<sub>75</sub> and LC<sub>90</sub>) of these insecticides were estimated in the concentration-mortality bioassay and used in the time-mortality, respiration rate and anti-feed effect tests in *A. gemmatalis*. The concentration-mortality model was adequate to estimate the lethal concentration (LC<sub>50</sub>) for  $\alpha$ -cypermethrin, abamectin, chlorpyrifos and thiamethoxam. The survival of *A. gemmatalis* differed among insecticides, being lower in chlorpyrifos. Abamectin and  $\alpha$ -Cypermethrin decreased the respiratory rate of *A. gemmatalis* because they increased the physiological cost to eliminate these compounds. Thiamethoxam caused the highest anti-feed effect, compromising the processes of digestion and absorption of nutrients and may be an alternative for the control of this insect.

Keywords: chemical control, respiration rate, soybean caterpillar, survival, toxicity.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>RESUMO.....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
<b>5.1</b>	<b>Insetos.....</b>	<b>13</b>
<b>5.2</b>	<b>Bioensaio de concentração-mortalidade .....</b>	<b>13</b>
<b>5.3</b>	<b>Bioensaio de tempo-mortalidade.....</b>	<b>14</b>
<b>5.4</b>	<b>Taxa de respiração.....</b>	<b>14</b>
<b>5.5</b>	<b>Efeito antialimentar.....</b>	<b>14</b>
<b>5.6</b>	<b>Análise estatística.....</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>16</b>
<b>6.1</b>	<b>Bioensaio de concentração-mortalidade.....</b>	<b>16</b>
<b>6.2</b>	<b>Bioensaio de tempo-mortalidade.....</b>	<b>17</b>
<b>6.3</b>	<b>Taxa de respiração.....</b>	<b>18</b>
<b>6.4</b>	<b>Efeito antialimentar.....</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>9</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>24</b>
<b>10</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>25</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

*Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) é a principal praga defolhadora da soja (*Glycine max* L.) no Brasil e ataca as folhas dessa planta, causando sérios danos econômicos se não for controlada (Panizzi, 2013; Carneiro et al., 2018; Fiaz et al., 2018b). *Anticarsia gemmatalis* ocorre dos Estados Unidos até a Argentina e ataca outras culturas como arroz amendoim e trigo (Rahman et al., 2007; Riffel et al., 2012). Novos produtos como óleos essenciais, são constantemente testados em *A. gemmatalis*, com o objetivo de melhorar o manejo integrado na cultura de soja (McPherson & Macrae, 2009; Krinski et al., 2018). No entanto, inseticidas ainda são o principal método usado para controlar *A. gemmatalis* (Navickiene et al., 2007).

O uso de inseticidas neurotóxicos é um método de controle muito comum utilizado em diversas culturas para reduzir danos causados por insetos (Oliveira et al., 2003). Inseticidas neurotóxicos como avermectinas, organofosforados, neonicotinoides e piretroides têm diferentes modos de ação e são registrados pela agência reguladora do meio ambiente dos Estados Unidos (EPA, Environmental Protection Agency) (EPA, 2019; Sparks et al., 2015).

A abamectina é um inseticida do grupo das avermectinas, derivada de compostos do fungo *Streptomyces avermitilis* durante o processo de fermentação e estimulam a liberação de ácido gama-aminobutírico (GABA), um neurotransmissor que ativa os canais de cloro, impedindo a contração muscular e que o inseto se alimente (Burg et al., 1979; López et al., 2010). Esse composto é registrado no Brasil contra ácaros, no entanto a resistência de outros organismos contra a abamectina vem sendo testada, como em *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae) (Ahmad & Gull, 2017).

Clorpirifos é um organofosforado que inibe a ação da acetilconinesterase, sendo usado para controlar pragas de famílias como *Scirtothrips aurantii* Faure (Thysanoptera: Thripidae) e *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) e sua toxicidade ainda é testada em outros insetos (Lin et al., 2018, Nepgen et al., 2018, Yu-yu et al., 2018).

Neonicotinoides atuam nos receptores de acetilcolina, causando paralisia e morte, e são mais tóxicos a insetos do que mamíferos (Tomizawa & Casida, 2005; Jovanov et al., 2014). O tiametoxam é um neonicotinoide sistêmico usado contra vários insetos pela sua

rápida absorção e transporte pelas partes da planta (Maienfisch et al., 2001; Macedo & Castro, 2011).

Piretroides como a alfa-cipermetrina são derivados de substâncias da planta *Chrysanthemum cinerariaefolium* e atuam nos canais de sódio do inseto por contato ou ingestão, induzindo a despolarização prolongada nos neurônios (Soderlund, 2012; Chrustek et al., 2018). A baixa toxicidade desses compostos para mamíferos e alta para insetos os torna mais seguros para uso na agricultura e amplamente usados em diversos tipos de pragas (Vais et al., 2001; Sparks, 2013).

O objetivo foi avaliar a alimentação, respiração e sobrevivência de *A. gemmatilis* após exposição dos inseticidas neurotóxicos  $\alpha$ -cipermetrina, abamectina, clorpirifós e tiametoxam e identificar possíveis compostos químicos para o controle de *A. gemmatilis*.

**Redução da alimentação, respiração e sobrevivência de *Anticarsia gemmatalis*  
(Lepidoptera: Erebiidae) por inseticidas neurotóxicos**

Carlos Henrique Martins de Menezes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Viçosa, 36570-900, Viçosa, Minas Gerais, Brasil; carloshmmenezes@hotmail.com

## 2 RESUMO

*Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebiidae) pode causar sérios danos na cultura de soja. Resistência a plantas transgênicas com Bt e ao vírus da poliedrose nuclear foi relatada, aumentando a importância de outros métodos para o manejo dessa praga. O objetivo foi avaliar os efeitos letais e subletais dos inseticidas  $\alpha$ -cipermetrina, abamectina, clorpirifós e tiametoxam em lagartas de *A. gemmatalis*. O modelo de concentração-mortalidade foi adequado para estimar as concentrações letais ( $CL_{25}$ ,  $CL_{50}$ ,  $CL_{75}$  e  $CL_{90}$ ) para a  $\alpha$ -cipermetrina, abamectina, clorpirifós e tiametoxam e usadas nos testes de tempo-mortalidade, taxa de respiração e efeito antialimentar em *A. gemmatalis*. A sobrevivência de *A. gemmatalis* diferiu entre os inseticidas, sendo menor em clorpirifós. A abamectina e  $\alpha$ -cipermetrina diminuíram a taxa respiratória de *A. gemmatalis* devido a aumentarem o custo fisiológico para eliminar esses compostos. Tiametoxam causou o maior efeito antialimentar, comprometendo os processos de digestão e absorção de nutrientes e podendo ser uma alternativa para o controle desse inseto.

Palavras-chave: controle químico, lagarta da soja, sobrevivência, taxa de respiração, toxicidade.

### 3 ABSTRACT

*Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebiidae) can cause serious damage to the soybean crop. Resistance to transgenic plants with Bt and nuclear polyhedrosis virus has been reported, increasing the importance of other methods for the management of this pest. The objective was to evaluate the lethal and sublethal effects of  $\alpha$ -cypermethrin, abamectin, chlorpyrifos and thiamethoxam insecticides on *A. gemmatalis* caterpillars. The concentration-mortality model was adequate to estimate lethal concentrations (LC25, LC50, LC75 and LC90) for  $\alpha$ -cypermethrin, abamectin, chlorpyrifos and thiamethoxam and used in the time-mortality, respiration rate and anti-food effect tests in *A. gemmatalis*. The survival of *A. gemmatalis* differed among insecticides, being lower in chlorpyrifos. Abamectin and  $\alpha$ -cypermethrin decreased the respiratory rate of *A. gemmatalis* due to increased physiological cost to eliminate these compounds. Thiamethoxam caused the highest anti-feed effect, compromising the processes of digestion and absorption of nutrients and may be an alternative for the control of this insect.

Key words: chemical control, respiration rate, soybean caterpillar, survival, toxicity.

## 4 INTRODUÇÃO

*Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebiidae) é a principal praga da soja (*Glycine max* L.) no Brasil (Fiaz et al., 2018b; Panizzi, 2013; Sosa-Gomes, 2004). Esse inseto ocorre dos Estados Unidos à Argentina em culturas como arroz, amendoim e trigo (Riffel et al., 2012; Rahman et al., 2007). *Anticarsia gemmatalis* se alimenta de folhas da soja com danos econômicos durante a fase vegetativa e reprodutiva dessa planta (Carneiro et al., 2018). Novos produtos, como óleos essenciais e *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bacillaceae)(Bt) são, constantemente, testados para o manejo das populações *A. gemmatalis* (Krinski et al., 2018; McPherson & Macrae, 2009). No entanto, populações desse inseto desenvolveram resistência a inseticidas, plantas transgênicas expressando proteínas Cry do *B. thuringiensis* e ao vírus da poliedrose nuclear (VPN) (Luz et al., 2019; Arthurs & Dara, 2018; Bates et al., 2005).

A infestação e disseminação de *A. gemmatalis* são altas, sendo este inseto controlado, principalmente, com inseticidas neurotóxicos, que atuam por contato e ingestão (Navickiene et al., 2007). Ingredientes ativos neurotóxicos como  $\alpha$ -cipermetrina, abamectina, clorpirifós e tiametoxam são registrados pela agência reguladora do meio ambiente dos Estados Unidos (EPA, Environmental Protection Agency) (EPA, 2019; Sparks et al., 2015). O piretroide  $\alpha$ -cipermetrina atua nas membranas axonais impedindo o fechamento dos canais de sódio (Soderlund, 2012; Athanassiou et al., 2004). A baixa toxicidade de piretroides para mamíferos os torna mais seguros para uso na agricultura (Sparks, 2013; Vais et al., 2001). A abamectina bloqueia a transmissão da atividade elétrica nas células nervosas dos insetos e age nos canais de cloro sensíveis ao ácido gama-aminobutírico (GABA) (Huang et al., 2011). Esse composto é registrado no Brasil contra ácaros e tóxico para *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae) (Ahmad & Gull, 2017). Clorpirifós inibe a acetilcolinesterase e é usado no controle de pragas, como *Scirtothrips aurantii* Faure (Thysanoptera: Thripidae) e *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae), *S. litura* e *Mythimna separata* Walker (Lepidoptera: Noctuidae) (Lin et al., 2018; Nepgen et al., 2018; Yu-yu et al., 2018). O tiametoxam é um neonicotinoide sistêmico com rápida absorção e transporte na planta, interferindo na transmissão de impulsos nervosos em insetos por ligação irreversível e específica aos receptores nicotínicos da acetilcolina (Martínez et al., 2019; Matsuda et al.,

2001). Esses inseticidas são adequados para programas de manejo integrado (MIP) de pragas da soja (Sparks, 2013).

Duzentos e quinze produtos são registrados para o controle de *A. gemmatalis* no Brasil (Agrofit, 2018). A toxicidade de e sobrevivência para essa espécie com compostos como a tebufenozide e o óleo essencial de *Piper aduncum* L. (Piperales: Piperaceae) foram estudadas (Fiaz et al., 2018a; Krinski et al., 2018).

O objetivo foi avaliar a alimentação, respiração e sobrevivência de *A. gemmatalis*, após exposição dos inseticidas neurotóxicos  $\alpha$ -cipermetrina, abamectina, clorpirifós e tiametoxam e identificar possíveis compostos químicos para o controle de *A. gemmatalis*.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Insetos

Lagartas de *A. gemmatalis* foram obtidas da criação massal do Laboratório de Controle Biológico de Insetos (LCBI) do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (BIOAGRO) da Universidade Federal de Viçosa em Viçosa, Minas Gerais, Brasil e mantidas a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $75 \pm 5\%$  de umidade relativa e fotofase de 12 horas. Essas lagartas foram alimentadas com dieta artificial constituída por 10 g de ágar, 15,6 g de levedura de cerveja, 25 g de gérmen de trigo, 25 g de proteína de soja, 31,2 g de feijão, 12,5 g de caseína, e 2,5 mL de solução de vitaminas (1,2% de ácido ascórbico, 0,03% pantotenato de cálcio, 0,015% de niacina, 0,008%, riboflavina, 0,004% de tiamina e 0,004% de HCl) (Greene et al., 1976). Grupos de vinte lagartas de *A. gemmatalis* foram colocados por pote de poliestireno ( $15 \times 9$  cm) até a pupação. A reposição de alimento e a assepsia dos potes foram realizadas a cada 48 horas. Lagartas de terceiro instar de *A. gemmatalis*, sem amputações ou malformações aparentes, foram utilizadas nos bioensaios.

### 5.2 Bioensaio de concentração-mortalidade

Os inseticidas neurotóxicos  $\alpha$ -cipermetrina (Fastac®), abamectina (Kraft®), clorpirifós (Lorsban®), e tiametoxam (Actara®), com diferentes modos de ação e que atuam por contato ou ingestão foram utilizados nos bioensaios. Esses inseticidas foram diluídos em 1 L de água destilada para obter as soluções estoque. Diluições em série a partir da dose referência foram realizadas para preparar seis concentrações de cada inseticida. A relação concentração-mortalidade das concentrações 0,062, 0,125, 0,25, 0,5, 1 g L<sup>-1</sup> e 2 g L<sup>-1</sup> foram usadas para se estimar as concentrações letais (CL<sub>25</sub>, CL<sub>50</sub>, CL<sub>75</sub> e CL<sub>90</sub>). Água destilada foi usada como controle. Cada solução inseticida (1  $\mu\text{L}$ ) foi aplicada com micropipeta em 1 g de dieta artificial. Trinta lagartas de terceiro instar de *A. gemmatalis* foram usadas por tratamento e individualizadas por concentração ou controle em placas de Petri ( $90 \times 15$  mm) em delineamento inteiramente casualizado. O número de lagartas mortas foi contabilizado após 24 e 48 horas da exposição aos inseticidas.

### 5.3 Bioensaio de tempo-mortalidade

Lagartas de *A. gemmatalis* foram individualizadas em placas de Petri (90 × 15 mm), conforme determinado no bioensaio de concentração-mortalidade e expostas às concentrações letais (CL<sub>25</sub>, CL<sub>50</sub>, CL<sub>75</sub> e CL<sub>90</sub>), além do controle com água destilada. Procedimentos de exposição, condições e número de insetos foram os mesmos descritos para o bioensaio de concentração-mortalidade. Trinta lagartas de terceiro instar foram usadas para as diferentes concentrações de cada inseticida em delineamento inteiramente casualizado. Os dados de insetos vivos foram mensurados a cada 8 h por 16 dias.

### 5.4 Taxa de respiração

Os bioensaios de respirometria foram conduzidos três horas após exposição de lagartas de terceiro instar aos inseticidas por ingestão de dieta artificial contaminada na concentração letal estimada (CL<sub>50</sub> e CL<sub>90</sub>), além do controle (Plata-Rueda et al., 2018). A produção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (μL de CO<sub>2</sub> h<sup>-1</sup>/inseto) foi medida com respirômetro do tipo Analisador de CO<sub>2</sub> TR3C (Sable System International, Las Vegas, EUA), utilizando a metodologia adaptada de estudos anteriores (Plata-Rueda et al., 2017). Três lagartas de terceiro instar de *A. gemmatalis* foram colocadas por câmara respirométrica (25 mL) conectadas a um sistema fechado. Após a aclimação dos insetos, a produção de CO<sub>2</sub> foi medida por 12 h a 27 ± 2 °C. Um fluxo de 100 mL min<sup>-1</sup> por um período de 2 min. foi passado através da câmara para quantificar o CO<sub>2</sub> produzido em cada uma e o gás oxigênio comprimido (99,99% puro). Este fluxo de ar força as moléculas de CO<sub>2</sub> produzidas a passar por um leitor de infravermelho acoplado ao sistema, o qual mede continuamente o CO<sub>2</sub> produzido pelos insetos dentro de cada câmara. Lagartas de *A. gemmatalis* foram pesadas em balança analítica (Sartorius BP 210D, Göttingen, Alemanha) antes e depois do experimento. Quinze repetições foram usadas por inseticida e controle em delineamento inteiramente casualizado.

### 5.5 Efeito antialimentar

Dez lagartas de terceiro instar de *A. gemmatalis*, não alimentadas por 24 h, foram individualizadas em placas de Petri com uma seção de folha de soja (20 × 20 mm) tratada

com cada concentrações letais ( $CL_{25}$ ,  $CL_{50}$ ,  $CL_{75}$  e  $CL_{90}$ ) dos inseticidas e água destilada utilizada no controle. Após exposição ao inseticida, imagens da área das folhas consumidas foram tomadas durante três horas usando uma câmera fotográfica digital (Olympus D-600L, Olympus America Inc., Melville, NY) fixada para um foco macro de 16 cm com luz natural e fluorescente (SB-700 Olympus D-600L, Olympus America Inc., Melville, NY). As imagens coletadas foram analisadas usando o software de análise digital QUANT v. 1.0.1 (Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil) e arquivadas em formato JPEG com resolução de 300 dpi. A área consumida por lagarta de *A. gemmatalis* foi medida ( $mm^2$ ) com pixels baseados no histograma RGB (vermelho, 700 nm; verde, 546,1 nm; e azul, 435,8 nm) e contrastando a área não consumida através da binarização da imagem colorida.

## 5.6 Análise estatística

Os dados de concentração-mortalidade foram submetidos à análise probit, gerando uma curva concentração-mortalidade (Finney, 1964), os de tempo-mortalidade à análise de sobrevivência com o estimador Kaplan-Meier (teste de log-rank) através do software Origin Pro v. 9.1. (OriginLab Corporation, 2013) e os das lagartas que sobreviveram até o final do experimento foram tratados como censurados. O efeito antialimentar e a taxa de respiração foram analisados por análise de variância (ANOVA). Médias entre tratamentos foram comparadas em nível de significância de 5% com o teste de Tukey. Dados do efeito antialimentar e taxa de respiração foram transformados por não terem atendido as pressuposições de normalidade e homocedasticidade. Dados dos bioensaios de toxicidade, efeito antialimentar e taxa de respiração foram analisados utilizando-se o SAS para Windows v. 9.0. (SAS Institute, 2002).

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Bioensaio de concentração-mortalidade

O modelo de concentração-mortalidade utilizado foi adequado ( $\chi^2$ ;  $P>0,05$ ) confirmando a toxicidade de cada inseticida para *A. gemmatalis* e permitindo se estimar os parâmetros toxicológicos desejados (Tabela 1). A concentração letal ( $CL_{50}$ ) da abamectina foi de 0,09 (0,07–0,12) g L<sup>-1</sup> e a do tiametoxam de 0,53 (0,42–0,67) g L<sup>-1</sup> sendo os mais tóxicos para lagartas de *A. gemmatalis* seguidos pelo clorpirifós com  $CL_{50}$ = 1,99 (1,46–2,65) g L<sup>-1</sup> e a  $\alpha$ -cipermetrina com  $CL_{50}$ = 3,50 (2,67–4,54) g L<sup>-1</sup>. A mortalidade de lagartas de *A. gemmatalis* foi < 1% no controle.

Tabela 1. Análise probit das concentrações letais (CL) e estimadas (CA) e intervalo de confiança (IC) de abamectina, alfa-cipermetrina, clorpirifós e tiametoxam em lagartas de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera, Erebiidae) (Lag.) após 48 h de exposição (g.l.= 5) aos inseticidas  $\alpha$ -cipermetrina, abamectina, clorpirifós e tiametoxam

Inseticidas	Lag.	CL	CA (g L <sup>-1</sup> )	IC a 95% (g L <sup>-1</sup> )	Slope ( $\pm$ DP)	$\chi^2$ (P-valor)
Abamectina	30	CL <sub>25</sub>	0,043	0,030–0,058	1,96( $\pm$ 0,25)	1,39(0,84)
	30	CL <sub>50</sub>	0,097	0,074–0,126		
	30	CL <sub>75</sub>	0,213	0,161–0,315		
	30	CL <sub>90</sub>	0,435	0,298–0,778		
$\alpha$ -cipermetrina	30	CL <sub>25</sub>	1,574	1,032–2,120	1,93( $\pm$ 0,25)	3,01(0,55)
	30	CL <sub>50</sub>	3,507	2,671–4,548		
	30	CL <sub>75</sub>	7,813	5,909–11,41		
	30	CL <sub>90</sub>	16,06	11,06–28,52		
Clorpirifós	30	CL <sub>25</sub>	0,810	0,487–1,139	1,72( $\pm$ 0,23)	4,96(0,29)
	30	CL <sub>50</sub>	1,998	1,469–2,650		
	30	CL <sub>75</sub>	4,927	3,633–7,521		
	30	CL <sub>90</sub>	11,10	7,316–21,57		
Tiametoxam	30	CL <sub>25</sub>	0,273	0,192–0,352	2,29( $\pm$ 0,285)	3,17(0,52)
	30	CL <sub>50</sub>	0,537	0,422–0,678		
	30	CL <sub>75</sub>	1,056	0,825–1,464		
	30	CL <sub>90</sub>	1,944	1,412–3,131		

### 6.2 Bioensaio de tempo-mortalidade

A sobrevivência de *A. gemmatalis* diferiu entre as concentrações dos inseticidas ( $\chi^2$ ,  $CL_{25}$ = 161.76,  $CL_{50}$ = 185.71,  $CL_{75}$ = 209.35,  $CL_{90}$ = 220.88;  $P<0.001$ ). O clorpirifós foi o composto mais tóxico, matando mais de 80% da população de *A. gemmatalis* em menos de 50

h após exposição em todas as concentrações. O tiametoxam causou mortalidade a partir de 200 h de exposição (Figura 1).

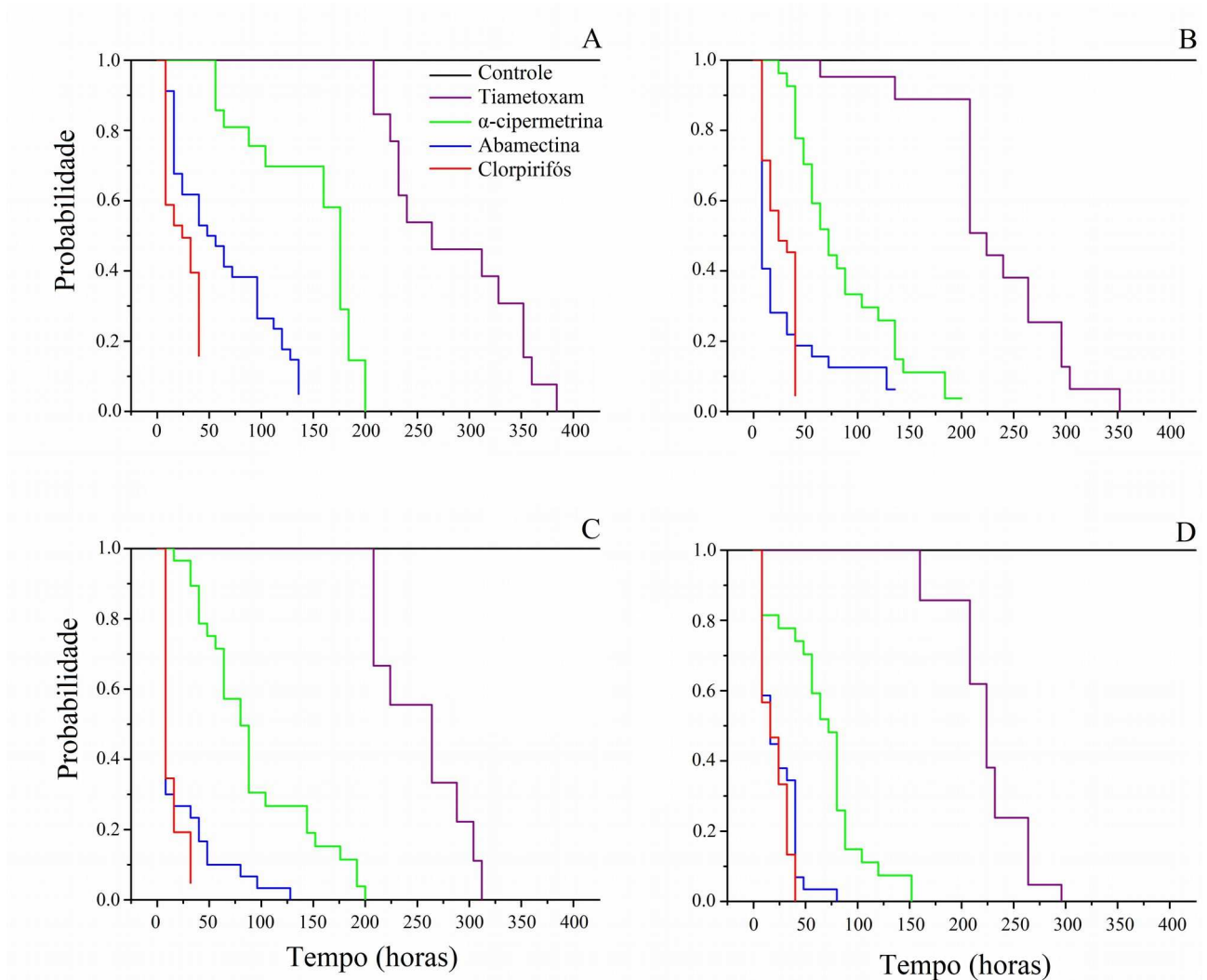


Figura 1: Tempo de sobrevivência de lagartas de terceiro instar de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera, Erebiidae) expostas a abamectina,  $\alpha$ -cipermetrina, clorpirifós e tiametoxam nas concentrações  $CL_{25}$  (A),  $CL_{50}$  (B),  $CL_{75}$  (C) e  $CL_{90}$  (D).

### 6.3 Taxa de respiração

A taxa de respiração ( $\mu\text{L CO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ inseto}^{-1}$ ) de lagartas de *A. gemmatalis* diferiu entre aquelas expostas a abamectina ( $F_{2,14} = 33,18$ ,  $P < 0,001$ ),  $\alpha$ -cipermetrina ( $F_{2,14} = 17,52$ ,  $P < 0,001$ ), clorpirifós ( $F_{2,14} = 94,84$ ,  $P < 0,001$ ) e tiametoxam ( $F_{2,14} = 79,05$ ,  $P < 0,001$ ) nas concentrações letais ( $CL_{50}$  e  $CL_{90}$ ) e diminuiu entre 1 e 3 h após a aplicação dos inseticidas (Figura 2).

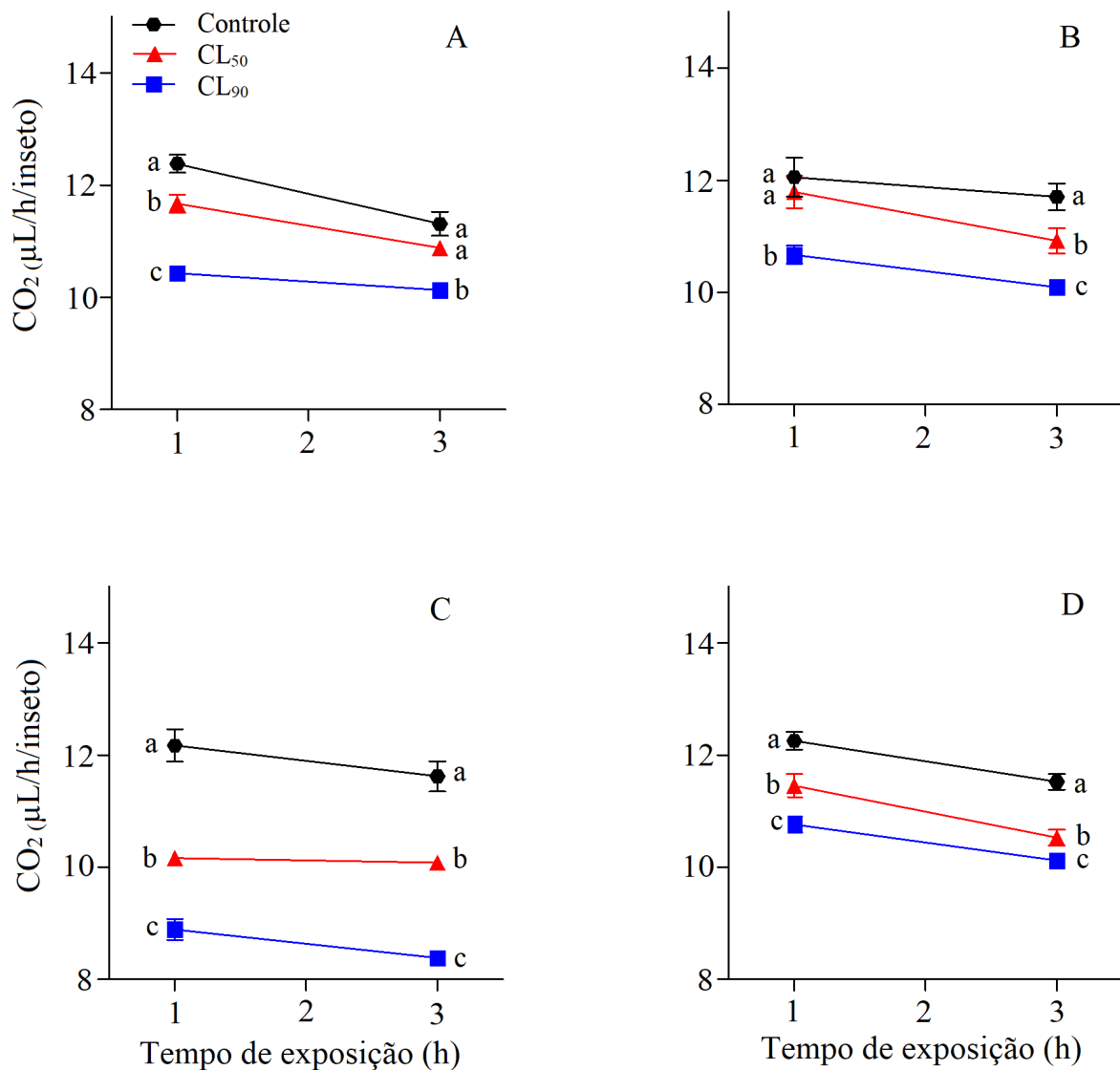


Figura 2: Taxas de respiração (Média  $\pm$  DP) de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera, Erebiidae) expostas a  $\alpha$ -cipermetrina (A), abamectina (B), clorpirifós (C) e tiametoxam (D), nas concentrações CL50 e CL90, após três horas. Médias com letras iguais não diferem significativamente (teste de Tukey,  $P < 0.05$ ).

#### 6.4 Efeito antialimentar

O efeito antialimentar em lagartas de *A. gemmatalis* diferiu entre aquelas expostas às concentrações CL<sub>25</sub> dos inseticidas ( $F_{4,9} = 8,6$ ,  $P < 0,001$ ), CL<sub>50</sub> ( $F_{4,9} = 7,87$ ,  $P < 0,001$ ), CL<sub>75</sub> ( $F_{4,9} = 16,12$ ,  $P < 0,001$ ), e CL<sub>90</sub> ( $F_{4,9} = 10,99$ ,  $P < 0,001$ ). O consumo de folhas tratadas com abamectina e  $\alpha$ -cipermetrina com a CL<sub>25</sub> foi semelhantes entre esses inseticidas e diferiu com o aumento da concentração (CL<sub>50</sub>, CL<sub>75</sub>, CL<sub>90</sub>). O consumo de folhas de soja, tratadas com as

diferentes concentrações de clorpirifós, variou de 100 a 150 mm<sup>2</sup>. Folhas tratadas com tiametoxam foram menos consumidas (Figura 3).

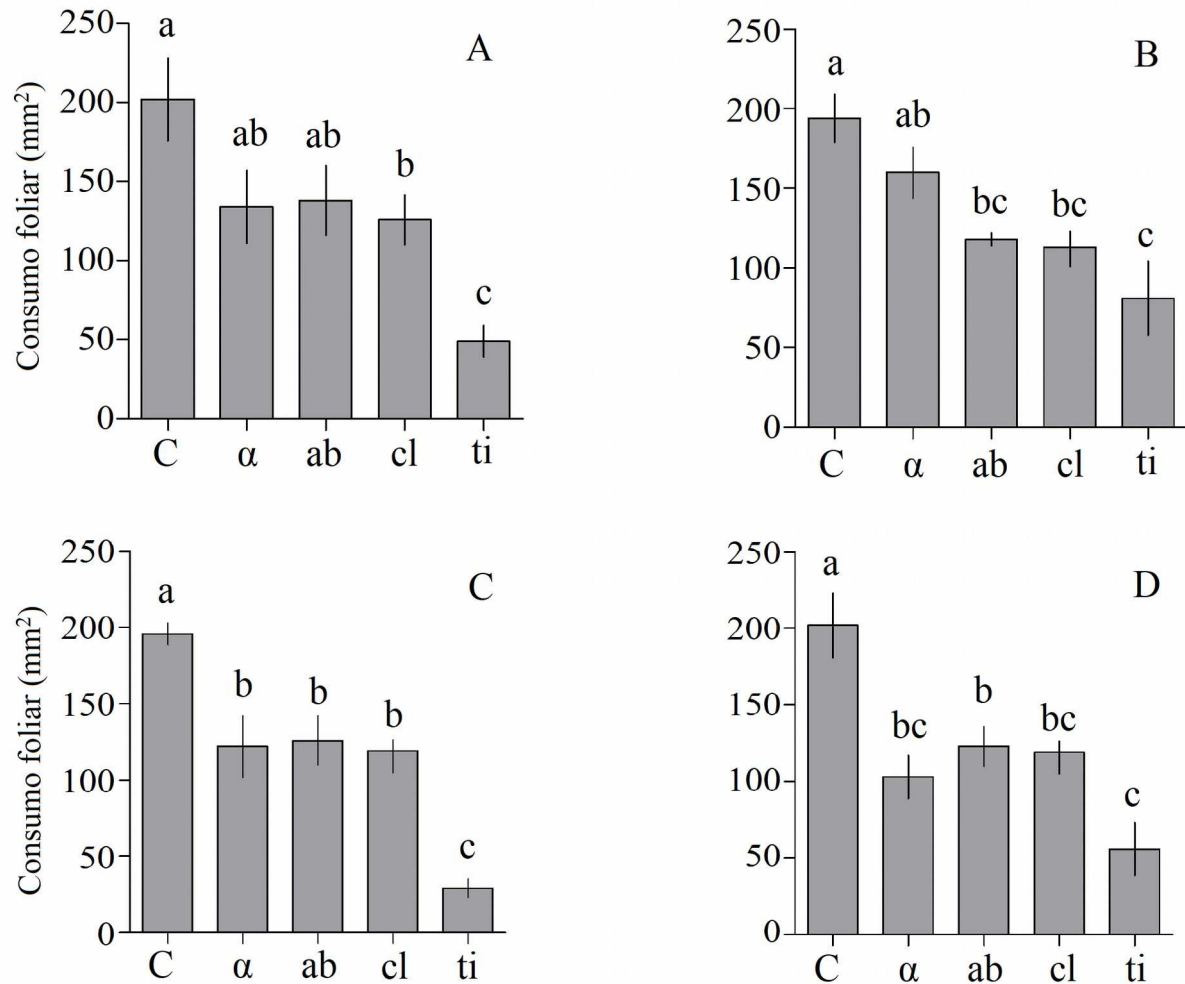


Figura 3: Consumo foliar médio (Média  $\pm$  DP) de folhas de soja por lagartas de terceiro instar de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera, Erebiidae) após três horas no controle (C), tratadas com  $\alpha$ -cipermetrina ( $\alpha$ ), abamectina (ab), clorpirifós (cl) e tiametoxam (ti) nas concentrações CL<sub>25</sub> (A), CL<sub>50</sub> (B), CL<sub>75</sub> (C) e CL<sub>90</sub> (D). Médias com letras iguais não diferem significativamente (teste de Tukey,  $P < 0.05$ ).

## 7 DISCUSSÃO

O efeito letal da  $\alpha$ -cipermetrina, abamectina, clorpirifós e tiametoxam contra *A. gemmatalis*, no bioensaio de concentração-mortalidade, mostrou ser a abamectina, o inseticida mais tóxico, devido a esse inseticida bloquear os sinais nervosos nos receptores GABA (Kary et al., 2018; Burg et al., 1979), causando paralisia no inseto em todas as concentrações avaliadas. A  $CL_{50}$ , estimada para a abamectina, foi semelhante à encontrada em *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) (Barati et al., 2018). A menor toxicidade dos tiametoxam, clorpirifós e  $\alpha$ -cipermetrina que a abamectina à *A. gemmatalis* se deve à susceptibilidade diferente desse inseto aos inseticidas, como relatado para *Strategus aloeus* (Linnaeus) (Coleoptera: Scarabaeidae) com os inseticidas espinosade, fipronil, imidacloprida, lambda-cialotrina, tiacloprido e tiametoxam (Martínez et al., 2014). O efeito tóxico da abamectina em *A. gemmatalis* pode ser devido à baixa atividade da oxidase de função mista neste inseto (Lietti et al., 2005). A inibição desta enzima aumenta a toxicidade da abamectina, como observado em *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) (Siqueira et al., 2001).

A redução da sobrevivência de *A. gemmatalis* exposta aos inseticidas se deve a maior penetração e ação desses compostos no sistema nervoso do inseto (Plata-Rueda et al., 2018). Células de insetos suscetíveis a compostos tóxicos possuem pouco tecido adiposo e produzem menos energia, diminuindo a capacidade de metabolização dos mesmos sem comprometer as funções fisiológicas desses organismos, como observado para *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) (Guedes et al., 2006). A maior sobrevivência de lagartas de *A. gemmatalis*, expostas ao tiametoxam, pode ser devido à eliminação rápida desse inseticida do organismo desse inseto, como em *H. armigera* (Fan & Shi, 2017). No entanto, esse resultado difere do relatado para outros insetos com o tiametoxam agindo rapidamente devido a ligação de metabólitos desse composto aos receptores nicotínicos da acetilcolina, em *Ferrisia dasyliirii* Cockerell (Hemiptera: Pseudococcidae) e *Tenuisvalvae notata* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) (Barbosa et al., 2018; Pisa et al., 2015).

A menor taxa respiratória de *A. gemmatalis* após três horas de exposição aos inseticidas se deve a redução da atividade muscular e paralisia causadas por esses compostos (Guedes et al., 2006; Slama & Miller, 1987). A respiração está ligada ao metabolismo do inseto e a redução da taxa respiratória compromete mecanismos de defesa contra substâncias

tóxicas (Fiaz et al., 2018b; Plata-Rueda et al., 2017; Correa et al., 2015), como relatado para *Megachile rotundata* F. (Hymenoptera: Megachilidae) e *Platynus assimilis* Paykull (Coleoptera: Carabidae) (Piccolomini et al., 2018; Kivimagi et al., 2013). Inseticidas reduzem a taxa de respiração por aumentarem o custo fisiológico e a realocação de energia para a eliminação desses compostos, como relatado para *Drosophila melanogaster* Meigen (Diptera; Drosophilidae), *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: Bostrichidae) e *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) (Plata-Rueda et al., 2018; Liu et al., 2015; Pimentel et al., 2007).

O menor consumo de alimento em relação ao controle, pelas lagartas expostas às folhas tratadas com abamectina e  $\alpha$ -cipermetrina, se deve ao aumento do fluxo de ions de cloreto e sódio, respectivamente, na junção neuromuscular dos insetos, causando paralisia e interrompendo os processos de ingestão e digestão (Soderlund, 2012; Ghanim & Ishaaya, 2011; López et al., 2010). O consumo semelhante de folhas tratadas com clorpirifós sugere que *A. gemmatalis* pode ter resistência a esse inseticida (Kranthi et al., 2002; Abot et al., 1996). Insetos tratados com clorpirifós por longos períodos de tempo podem desenvolver resistência a esse composto, como relatado para *Aleochara bilineata* Gyllenhal (Coleoptera: Staphylinidae) e *T. absoluta* (Bala et al., 2019; Cisneros et al., 2002). A ação neurotóxica do tiametoxam causa efeito inibitório dos músculos da faringe e do epitélio do intestino médio dos insetos, cessando a alimentação, como relatado para *Pieris brassicae* L. (Lepidoptera: Pieridae) e *Rhopalosiphum padi* L. (Hemiptera: Aphididae) (Ali et al., 2017; Daniels et al., 2009). Os efeitos tóxicos dos inseticidas em *A. gemmatalis* podem reduzir os danos por esse inseto na soja, semelhante ao encontrado em insetos pragas de outras culturas como *Popillia japonica* Newman (Coleoptera: Scarabaeidae) em folhas de *Tilia cordata*, tratadas com deltametrina (Baumler & Potter, 2007).

## 8 CONCLUSÃO

A toxicidade de *A. gemmatalis* foi maior com os inseticidas abamectina e tiametoxam e o período de sobrevivência desse inseto menor com o clorpirifós. Os inseticidas  $\alpha$ -cipermetrina e abamectina reduziram a taxa respiratória, comprometendo o metabolismo de *A. gemmatalis*. A sobrevivência de lagartas de *A. gemmatalis* foi mais longa com o tiametoxam, mas esse inseticida causou o maior efeito antialimentar, podendo ser uma alternativa para o manejo desse inseto.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os bioensaios confirmam a toxicidade de  $\alpha$ -cipermetrina, abamectina, clorpirifós e tiametoxam para *A. gemmatalis*, causando mortalidade, diminuição do metabolismo e alimentação desse inseto. Esse estudo contribui para o uso de compostos que possivelmente podem ser usados para o controle de *A. gemmatalis*. A confirmação da toxicidade desses inseticidas em campo deve ser realizada para elaboração de novas técnicas de manejo desse inseto.

## 10 REFERÊNCIAS

- Agrofit, Sistemas de agrotóxicos fitossanitários, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasil. Disponível em: [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em 29 de Novembro de 2018, 2018.
- Abot, A.R., Moscardi, F., Fuxa, J.R., Sosa-Gómez, D.R., Richter, A.R. Development of resistance by *Anticarsia gemmatalis* from Brazil and the United States to a Nuclear Polyhedrosis Virus under laboratory selection pressure. *Biological Control* 7: 126–130, 1996.
- Ahmad, M., Gull, S. Susceptibility of armyworm *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) to novel insecticides in Pakistan. *The Canadian Entomologist* 149: 649–661, 2017.
- Ali, S., Ullah, M.I., Arshad, M., Iftikhar, Y., Saqib, M., Afzal, M. Effect of botanicals and synthetic insecticides on *Pieris brassicae* (L., 1758) (Lepidoptera: Pieridae). *Turkish Journal of Entomology* 41: 275–284, 2017.
- Arthurs, S., Dara, S.K. Microbial biopesticides for invertebrate pests and their markets in the United States. *Journal of Invertebrate Pathology* 151: 1–9, 2018.
- Athanassiou, G.G., Papagregoriou, A.S., Buchelos, C.T. Insecticidal and residual effect of three pyrethroids against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) on stored wheat. *Journal of Stored Products Research* 40:289–297, 2004.
- Bala, I., Mukhtar, M.M., Saka, H.K., Abdullahi, N., Ibrahim, S.S. Determination of insecticide susceptibility of field populations of tomato leaf miner (*Tuta absoluta*) in Northern Nigeria. *Agriculture* 9: 1–13, 2019.
- Baumler, R.E., Potter, D.A. Knockdown, residual, and antifeedant activity of pyrethroids and home landscape bioinsecticides against japanese beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) on Linden foliage. *Journal of Economic Entomology* 100: 451–458, 2007.
- Barati, R., Hejazi, M.J., Mohammadi, S.A. Insecticide susceptibility in *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) and metabolic characterization of resistance to Diazinon. *Journal of Economic Entomology* 111: 1551–1557, 2018.
- Barbosa, P.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. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 147: 963–971, 2018.
- Bates, S.L., Zhao, J., Roush, R.T., Shelton, A.M. Insect resistance management in GM crops: past, present and future. *Nature Biotechnology* 23: 57–62, 2005.
- Burg, R.W., Miller, B.M., Baker, E.E., Birnbaum, J., Currie, S.A., Hartman, R., Kong, Y.L., Monaghan, R.L., Olson, G., Putter, I., Tunac, J.B., Wallick, H., Stapley, E.O., Oiwa, R.,

Omura, S. Avermectins, new family of potent anthelmintic agents: producing organism and fermentation. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 15: 361–367, 1979.

Carneiro, E., Silva, L.B., Silva, A.F., Lopes, G.N., Pavan, B.E., Rodrigues, R.H.F., Carvalhinho, D.T., Mielezrski, D.F. Lepidopteran pests associated with the soybean cultivars phenology. *Bioscience Journal* 34: 112–121, 2018.

Chrustek, A., Hołyńska-Iwan, I., Dziembowska, I., Bogusiewicz, J., Wróblewski, M., Cwynar, A., Olszewska-Słonina, D. Current research on the safety of pyrethroids used as insecticides. *Medicina* 54: 61. doi 10.3390/medicina54040061, 2018.

Cisneros, J., Goulson, D., Derwent, L.C., Penagos, D., I., Hernández, O., Williams, T. Toxic effects of spinosad on predatory insects. *Biological Control* 23: 156–163, 2002.

Correa, Y.D.C.G., Faroni, L.R., Haddi, K., Oliveira, E.E., Pereira, E.J.G. Locomotory and physiological responses induced by clove and cinnamon essential oils in the maize weevil *Sitophilus zeamais*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 125: 31–37, 2015.

Daniels, M., Bale, J.S., Newbury, H.J., Lind, R.J., Pritchard, J. A sublethal dose of thiamethoxam causes a reduction in xylem feeding by the bird cherry-oat aphid (*Rhopalosiphum padi*), which is associated with dehydration and reduced performance. *Journal of Insect Physiology* 55: 758–765, 2009.

EPA, Environmental Protection Agency: Pesticide Product and Label System. Disponível em: <https://www.epa.gov/safepestcontrol/search-registered-pesticide-products> (acessado em 17 de maio de 2019), 2019.

Fan, Y., Shi, X. Characterization of the metabolic transformation of thiamethoxam to clothianidin in *Helicoverpa armigera* larvae by SPE combined UPLC–MS/MS and its relationship with the toxicity of thiamethoxam to *Helicoverpa armigera* larvae. *Journal of Chromatography B* 1061: 349–355, 2017.

Fiaz, M., Martínez, L.C., Plata-Rueda, A., Gonçalves, W.G., Shareef, M., Zanuncio, J.C., Serrão, J.E. Toxicological and morphological effects of tebufenozide on *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Chemosphere* 212: 337–345, 2018a.

Fiaz, M., Martínez, L.C., Costa, M.S., Cossolin, J.F.S., Plata-Rueda, A., Gonçalves, W.G., Sant`Ana, A.E.G., Zanuncio, J.C., Serrão, J.E. Squamocin induce histological and ultrastructural changes in the midgut cells of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 156: 1–8, 2018b.

Finney, D.J. *Probit Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1964.

Ghanim, M., Ishaaya, I. Insecticides with novel modes of action mechanism and resistance management, in: Amiard-Triquet, C., Rainbow, P.S., Romeo, M. (eds), *Tolerance to Environmental Contaminants* p.385–408. CRC Press, Boca Raton, USA. 2011.

- Greene, G.L., Leppla, N.C., Dickerson, W.A. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. *Journal of Economic Entomology* 69: 487–488, 1976.
- Guedes, R.N.C., Oliveira, E.E., Guedes, N.M.P., Ribeiro, B., Serrao, J.E. Cost and mitigation of insecticide resistance in the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Physiological Entomology* 31: 30–38, 2006.
- Huang, J.F., Tian, M., Lv, C.J., Li, H.Y., Zhong, G.H. Preliminary studies on induction of apoptosis by abamectin in *Spodoptera frugiperda* (Sf9) cell line. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 100: 256–263, 2011.
- Jovanov, P., Guzsány, V., Franko, M., Lazić, S., Sakač, M., Milovanović, I., Nedeljković, N. Development of multiresidue DLLME and QUECHERS based LC–MS/MS method for determination of selected neonicotinoid insecticides in honey liqueur. *Food Research International* 55: 11–19, 2014.
- Kary, N.E., Sanatipour, Z., Mohammadi, D., Koppenhöfer, A.M. Developmental stage affects the interaction of *Steinernema carpocapsae* and abamectin for the control of *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera, Gelechiidae). *Biological Control* 122: 18–23, 2018.
- Kivimagi, I., Kuusik, A., Ploomi, A., Metspalu, L., Jogar, K., Williams, I.H., Silbul, I., Hiisaar, K., Luik, A., Mand, M. Gas exchange patterns in *Platynus assimilis* (Coleoptera: Carabidae): Respiratory failure induced by a pyrethroid. *European Journal of Entomology* 110: 47–54, 2013.
- Kranthi, K.R., Jadhav, D.R., Kranthi, S., Wanjari, R.R., Ali, S.S, Russell, D.A. Insecticide resistance in five major insect pests of cotton in India. *Crop Protection* 21: 449–460, 2002.
- Krinski, D., Foerster, L.A., Deschamps, C. Ovicidal effect of the essential oils from 18 Brazilian *Piper* species: controlling *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera, Erebidae) at the initial stage of development. *Acta Scientiarum Agronomy* 40: e35273. 2018.
- Lietti, M.M.M., Botto, E., Alzogaray, R.A. Insecticide resistance in Argentine populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Neotropical Entomology* 34: 113–119, 2005.
- Lin, X., Jiang, Y., Zhang, L., Cai, Y. Effects of insecticides chlorpyrifos, emamectin benzoate and fipronil on *Spodoptera litura* might be mediated by OBPs and CSPs. *Bulletin of Entomological Research* 108: 658–666, 2018.
- Liu, T., Li, L., Zhang, F., Wang, Y. Transcriptional inhibition of the *Catalase* gene in phosphine-induced oxidative stress in *Drosophila melanogaster*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 124: 1–7, 2015.
- López, J.D., Latheef, M.A., Hoffmann, W.C. Effect of emamectin benzoate on mortality, proboscis extension, gustation and reproduction of the corn earworm, *Helicoverpa zea*. *Journal of Insect Science* 10: 1101–1113, 2010.

- Luz, P.M.C., Specht, A., Paula-Moraes, S.V., Malaquias, J.V., Ferreira, L.F.M., Otanásio, P.N., Diniz, I.R. Owllet moths (Lepidoptera: Noctuoidea) associated with Bt and non-Bt soybean in the Brazilian savanna. *Brazilian Journal of Biology* 79: 248–256, 2019.
- Macedo, W.R., Castro, P.R.C. Thiamethoxam: Molecule moderator of growth, metabolism and production of spring wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 100: 299–304, 2011.
- Maienfisch, P., Huerlimann, H., Rindlisbacher, A., Gsell, L., Dettwiler, H., Haettenschwiler, J., Sieger, E., Walti, M. The discovery of thiamethoxam: a second-generation neonicotinoid. *Pest Management Science* 57: 165–176, 2001.
- Martínez, L.C., Plata-Rueda, A., Zanuncio, J.C., Serrão, J.E. Comparative toxicity of six insecticides on the rhinoceros beetle (Coleoptera: Scarabaeidae). *Florida Entomologist* 97: 1056–1062, 2014.
- Martínez, L.C., Plata-Rueda, A., Gonçalves, W.G., Freire, A.F.P.A., Zanuncio, J.C., Bozdogan, H., Serrão, J.E. Toxicity and cytotoxicity of the insecticide imidacloprid in the midgut of the predatory bug, *Podisus nigrispinus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 167: 69–75, 2019.
- Matsuda, K., Buckingham, S.D., Kleier, D., Rauh, J.J., Grauso, M., Sattelle, D.B. Neonicotinoids: insecticides acting on insect nicotinic acetylcholine receptors. *Trends in Pharmacological Sciences* 22: 573–580, 2001.
- McPherson, R.M., Macrae, T.C. Evaluation of transgenic soybean exhibiting high expression of a synthetic *Bacillus thuringiensis* cry1A transgene for suppressing lepidopteran population densities and crop injury. *Journal of Economic Entomology* 102: 1640–1648, 2009.
- Navickiene, H.M.D., Miranda, J.E., Bortoli, S.A., Kato, M.J., Bolzani, V.S., Furlan, M. Toxicity of extracts and isobutyl amides from *Piper tuberculatum*: potent compounds with potential for the control of the velvetbean caterpillar, *Anticarsia gemmatalis*. *Pest Management Science* 63: 399–403, 2007.
- Nepgen, E.S., Moore, S.D., Hill, M.P. Integrating chemical control with sterile insect releases in an integrated pest management programme for *Thaumatotibia leucotreta*. *Journal of Applied Entomology* 142: 421–427, 2018.
- Oliveira, C.N.D., Neves, P.M.O.J., Kawazoe, L.S. Compatibility between the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and insecticides used in coffee plantations. *Scientia Agricola* 60:663–667, 2003.
- Panizzi, A.R. History and contemporary perspectives of the integrated pest management of soybean in Brazil. *Neotropical Entomology* 42: 119–127, 2013.

Piccolomini, A.M., Whiten, S.R., Flenniken, M.L., O'Neill, K.M., Peterson, K.D. Acute toxicity of permethrin, deltamethrin, and etofenprox to the alfalfa leafcutting bee. *Journal of Economic Entomology* 111: 1001–1005, 2018.

Pimentel, M.A.G., Faroni, L.R.D., Tótola, M.R., Guedes, R.N.C. Phosphine resistance, respiration rate and fitness consequences in stored-product insects. *Pest Management Science* 63: 876–881, 2007.

Pisa, L.W., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L.P., Bonmatin, J.M., Downs, C.A., Goulson, D., Kreuzweiser, D.P., Krupke, C., Liess, M., McField, M., Morrissey, C.A., Noome, D.A., Settele, J., Simon-Delso, N., Stark, J.D., Van der Sluijs, J.P., Van Dyck, H., Wiemers, M. Effects of neonicotinoids and fipronil on non-target invertebrates. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 68–102, 2015.

Plata-Rueda, A., Campos, J.M., Rolim, G.S., Martínez, L.C., Dos Santos, M.H., Fernandes, F.L., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C. Terpenoid constituents of cinnamon and clove essential oils cause toxic effects and behavior repellency response on granary weevil, *Sitophilus granarius*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 156: 263–270, 2018.

Plata-Rueda, A., Martínez, L.C., Santos, M.H.D., Fernandes, F.L., Wilcken, C.F., Soares, M.A., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C. Insecticidal activity of garlic essential oil and their constituents against the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). *Scientific Reports* 7:46406. doi: 10.1038/srep46406, 2017.

Rahman, K., Bridges, W.C., Chapin, J.W., Thomas, J.S. Three cornered alfalfa hopper (Hemiptera: membracidae): seasonal occurrence, girdle distribution, and response to insecticide treatment on peanut in South Carolina. *Journal of Economic Entomology* 100: 1229–1240, 2007.

Riffel, C.T., Garcia, M.S., Santi, A.L., Basso, C.J., Della Flora, L.P., Cherubin, M.R., Eitelwein, M.T. Densidade amostral aplicada ao monitoramento georreferenciado de lagartas desfolhadoras na cultura da soja. *Ciência Rural* 42: 2112–2119, 2012.

SAS Institute, The SAS System for Windows, release 9.0. SAS Institute, Cary, N.C. (<http://www.sas.com>), 2002.

Siqueira, H.A.A., Guedes, R.N.C., Fragoso, D.B., Magalhães, L.C. Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *International Journal of Pest Management* 47: 247–251, 2001.

Slama, K., Miller, T.A. Insecticide poisoning: disturbing of a possible outonomic function in pupa of *Tenebrio molitor*. *Pesticide Biochemistry Physiology* 29: 25–34, 1987.

Soderlund, D.M. Molecular mechanisms of pyrethroid insecticide neurotoxicity: recent advances. *Archives of Toxicology* 86:165– 181, 2012.

Sosa-Gomes, D.R., 2004. Intraspecific variation and population structure of the velvetbean caterpillar, *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). *Genetics and Molecular Biology* 27: 378–384, 2004.

Sparks, T.C. Insecticide discovery: an evaluation and analysis. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 107: 8–17, 2013.

Sparks, T.C., Nauen, R. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 121: 122–128, 2015.

Tomizawa, M., Casida, J.E. Neonicotinoid insecticide toxicology: Mechanisms of selective action. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology* 45: 247–268, 2005.

Vais, H., Williamson, M.S., Devonshire, A.L., Usherwood P.N.R. The molecular interactions of pyrethroid insecticides with insect and mammalian sodium channels. *Pest Management Science* 57: 877–888, 2001.

Yu-yu, Z., Li, S., Shuai, L., Yi-ping, L., Xiang-li, X., Wei-ning, C., Yi, W., Jun-xiang, W. Insecticide resistance of the field populations of oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) in Shaanxi and Shanxi provinces of China. *Journal of Integrative Agriculture* 17: 1556–1562, 2018.