

GERMANO LOPES VINHA

**SOBREVIVÊNCIA, COMPORTAMENTO LOCOMOTOR, RESPIRAÇÃO,
ALIMENTAÇÃO E HISTOLOGIA DE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA:
NOCTUIDAE) MEDIADOS PELA DELTAMETRINA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para a obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientador: José Cola Zanuncio

Coorientadores: Rosa Angelica Plata Rueda
Luis Carlos Martínez

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2019**

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

T

V784s
2019
Vinha, Germano Lopes, 1991-
Sobrevivência, comportamento locomotor, respiração,
alimentação e histologia de *Spodoptera frugiperda*
(Lepidoptera: Noctuidae) mediados pela deltametrina / Germano
Lopes Vinha. – Viçosa, MG, 2019.
24 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: José Cola Zanuncio.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 20-24.

1. Insetos nocivos. 2. Insetos - Comportamento. 3. Insetos -
Alimentos. 4. Histopatologia. 5. Intestinos. 6. Respiração.
7. Toxicidade. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.
II. Título.

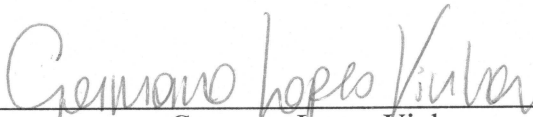
CDD 22. ed. 632.78

GERMANO LOPES VINHA

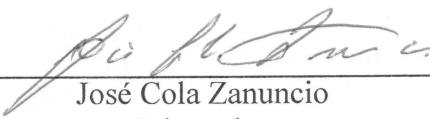
**SOBREVIVÊNCIA, COMPORTAMENTO LOCOMOTOR, RESPIRAÇÃO,
ALIMENTAÇÃO E HISTOLOGIA DE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA:
NOCTUIDAE) MEDIADOS PELA DELTAMETRINA**

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

APROVADA: 25 de julho de 2019



Germano Lopes Vinha
Autor



José Cola Zanuncio
Orientador

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Fitotecnia, Departamento de Entomologia e ao Laboratório de Ultraestrutura Celular do Departamento de Biologia Geral, pelo apoio à realização desta pesquisa.

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

Ao professor José Cola Zanuncio pela orientação e pelos importantes ensinamentos sobre escrita científica.

Ao professor José Eduardo Serrão por permitir a execução dos ensaios de histopatologia em seu laboratório e esclarecer minhas dúvidas durante a pesquisa.

A Dr^a. Rosa Angelica Plata Rueda e ao Dr. Luis Carlos Martínez pela coorientação, ajuda na escolha e elaboração do projeto, execução dos experimentos, análise dos dados e escrita. Muito obrigado a vocês pela atenção, amizade, disponibilidade em ajudar e conhecimentos compartilhados durante o Mestrado.

Ao Dr. Bruno Pandelo Brügger e ao professor José Antonio Saraiva Grossi pela disponibilidade em participar da minha banca de defesa e contribuírem com reflexões, críticas e melhorias para a dissertação.

A Gabriela Rolim pela parceria na criação de *Spodoptera frugiperda* e por compartilhar seus conhecimentos sobre tratamento e interpretação de dados.

Aos amigos do Laboratório de Controle Biológico de Insetos, Barbara Monteiro, Bruno Brügger, Carlos Henrique, Carlos Menezes, José Milton, Valdeir Celestino e Wiane Meloni pelo companheirismo, colaboração e divertidos bate-papos nas horas do café.

À minha família pela motivação e apoio.

RESUMO

VINHA, Germano Lopes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2019. **Sobrevivência, comportamento locomotor, respiração, alimentação e histologia de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) mediados pela deltametrina.** Orientador: José Cola Zanuncio. Coorientadores: Rosa Angelica Plata Rueda e Luis Carlos Martinez.

Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), praga agrícola polífaga, é controlada, principalmente, com inseticidas piretróides. A toxicidade, sobrevivência, respiração, comportamento locomotor, alimentação e histotologia do intestino médio de *S. frugiperda* exposta à deltametrina via ingestão foi avaliada. A deltametrina foi tóxica para lagartas de *S. frugiperda* ($CL_{50} = 0,49 \text{ mg mL}^{-1}$ e $CL_{90} = 1,21 \text{ mg mL}^{-1}$) com mortalidade de 2% para lagartas no controle e de 48% para aquelas expostas a CL_{50} desse inseticida. A deltametrina diminuiu a taxa respiratória de *S. frugiperda* até 3 h após a exposição, alterando respostas comportamentais, causando repelência e reduzindo o consumo de folhas de milho por esse inseto. A exposição à deltametrina causou alterações histopatológicas no intestino médio de lagartas de *S. frugiperda* com danos na matriz peritrófica e borda estriada, alta vacuolização citoplasmática, fragmentos celulares liberados no lúmen e secreção apócrina, comprometendo a digestão desse inseto. Os sintomas causados pela deltametrina em *S. frugiperda* estão relacionados ao modo de ação desse inseticida, que altera o funcionamento dos canais de sódio dos neurônios. A ingestão de deltametrina, além de afetar o sistema nervoso, desestruturou o intestino médio dessa praga, comprometendo a digestão e absorção de nutrientes. A deltametrina foi tóxica para lagartas de *S. frugiperda*, causando mortalidade, alteração do comportamento locomotor, redução da respiração e alimentação e danos irreversíveis no intestino médio. Esses efeitos reduzem o desenvolvimento e sobrevivência das lagartas de *S. frugiperda*.

Palavras-chave: Comportamento. Deterrência alimentar. Histopatologia. Intestino médio. Respiração. Toxicidade.

ABSTRACT

VINHA, Germano Lopes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2019. **Survivalship, locomotor activity, respiration, food consumption and histology in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), mediated by deltamethrin.** Adviser: José Cola Zanuncio. Co-advisers: Rosa Angelica Plata Rueda and Luis Carlos Martinez.

Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) is a polyphagous pest, mainly controlled with pyrethroid insecticides. Susceptibility, survivalship, respiration, locomotor activity, feeding behavior and midgut histopathology of *S. frugiperda* caterpillars exposed to deltamethrin via ingestion was evaluated. Deltamethrin was toxic to *S. frugiperda* ($LC_{50}=0.49 \text{ mg mL}^{-1}$ and $CL_{90}=1.21 \text{ mg mL}^{-1}$). The mortality of caterpillars was 2% in the control and those exposed to the LC_{50} of deltamethrin had 48% mortality. The ingestion of this insecticide decreased *S. frugiperda* respiratory rate up to 3 h after exposure, altering behavioral response, causing repellency and reduction of maize leaf consumption. Exposure to deltamethrin caused histological alterations in the midgut of *S. frugiperda* caterpillars, such as damage to the peritrophic matrix and striated border, high cytoplasmic vacuolization, cellular fragments release in the lumen and apocrine secretion, which compromise the digestion of this insect. The symptoms caused by deltamethrin in *S. frugiperda* were related to the insecticide mode of action, altering the sodium channels in the neurons. Deltamethrin intake, besides affecting the nervous system, caused disruptions in the midgut of *S. frugiperda*, compromising digestion and nutrient absorption. Deltamethrin was toxic to *S. frugiperda* caterpillars, causing mortality, locomotor activity alterations, respiration, feeding reduction, and irreversible damage to the midgut. These effects reduce *S. frugiperda* development and survivalship.

Keywords: Behavior. Feeding deterrency. Histopathology. Midgut. Respiration. Toxicity.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1 Insetos.....	8
2.2 Bioensaio de concentração-mortalidade.....	9
2.3 Bioensaio de tempo-mortalidade	9
2.4 Comportamento locomotor	9
2.5 Taxa de respiração	10
2.6 Efeito antialimentar	10
2.7 Histopatologia	10
2.8 Análise estatística.....	11
3 RESULTADOS	11
3.1 Bioensaio de concentração-mortalidade	11
3.2 Bioensaio de tempo-mortalidade	13
3.3 Comportamento locomotor	13
3.4 Taxa de respiração	14
3.5 Efeito antialimentar	15
3.6 Histopatologia	16
4 DISCUSSÃO	17
5 CONCLUSÃO.....	19
6 REFERÊNCIAS	20

1 INTRODUÇÃO

Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) é uma praga polífaga, danificando mais de 180 espécies de plantas no mundo (Barros et al., 2010; de Freitas Bueno et al., 2011; Montezano et al., 2018). A dispersão e alta capacidade reprodutiva de *S. frugiperda* favorecem a infestação em sistemas agrícolas com ocorrência de até oito gerações por ano (Martinelli et al., 2007). No Brasil, cultivos sucessivos de soja, milho e algodão formam sistemas agrícolas vulneráveis que favorecem o desenvolvimento de *S. frugiperda* ao longo do ano (Barros et al., 2010; de Freitas Bueno et al., 2011; Martinelli et al., 2007).

Programas sustentáveis de manejo integrado de pragas incluindo agentes de controle biológico vêm sendo implementados (Shields et al., 2019), porém possuem limitações em campo (Tavares et al., 2010; Michaud, 2018) e são pouco usados no manejo de *S. frugiperda* no Brasil. Plantas transgênicas expressando proteínas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) tem elevada especificidade para pragas alvo (Brookes & Barfoot, 2016), porém o aumento da área cultivada com essas plantas eleva a pressão de seleção e ocorrência de populações de *S. frugiperda* resistentes (Schneider et al., 2019). *Spodoptera frugiperda*, resistente à proteína Cry1F expressa por plantas de milho, foi relatada na Argentina, Brasil e Estados Unidos (Anderson et al., 2019). Bioinseticidas formulados a partir de Baculovirus *spodoptera* e Vírus de Poliedrose Nuclear (VPN) são seletivos para inimigos naturais, porém têm período residual no campo e virulência baixos além de ocorrência de resistência pelo inseto praga alvo (Fuxa & Richter, 1990). O uso de *Trichogramma* spp, parasitoide de ovos, possui limitações devido à taxa de até 40% de emigração por dia das fêmeas e a incompatibilidade desse inimigo natural com inseticidas aplicados no manejo das demais pragas do milho (Souza et al., 2014).

No Brasil, o controle químico é o método mais eficaz contra *S. frugiperda* com mais de 150 moléculas inseticidas usadas para seu controle, sendo os carbamatos, organofosforados e piretróides os mais comuns (Burtet et al., 2017). A deltametrina é um inseticida neurotóxico (Martínez et al., 2019b) atuando na membrana das células nervosas, alterando o funcionamento dos canais de sódio e interrompendo a transmissão de impulsos nervosos no axônio (Blomquist & Miller, 1986). Esse inseticida é eficaz no controle de pragas do milho (Beres et al., 2017), soja (Dow & Sparks, 1988) e algodão (Ahmad, 2004), além de ser usado no combate de pragas urbanas (Richards et al., 2017). O efeito biocida da deltametrina em insetos ocorre por contato e ingestão, sendo usada no controle de pragas Lepidoptera como *Neoleucinodes elegantalis* Guenée (Crambidae) (Silva et al., 2018), *Cnaphalocrocis*

medinalis Guenée (Pyralidae) (Yang et al., 2018) e Tuta absoluta Meyrich (Gelechiidae) (Zibae et al., 2017).

Inseticidas neurotóxicos causam efeitos subletais em órgãos não-alvo de insetos-praga (Fiaz et al., 2018a, 2018b; Martinez et al. 2018; 2019a) e de insetos benéficos (Catae et al., 2018; Santos-Júnior et al. 2019). O intestino médio é um órgão não-alvo dos inseticidas, e tem com funções a digestão e absorção de nutrientes (Dow, 1987; Azevedo et al., 2014), regeneração celular (Lehane & Billingsley, 2012), defesa contra patógenos (Terra et al., 2006) e desintoxicação de compostos xenobióticos (Fiaz et al., 2018a, Martínez et al., 2019a). Os efeitos de inseticidas no intestino médio, após ingestão, devem ser investigados, pois alterações nesse órgão afetam a fisiologia dos insetos (Fiaz et al., 2018b; Martínez et al., 2018).

Inseticidas podem induzir efeitos subletais e de longo prazo, ainda, pouco estudados (Plata-Rueda et al., 2019). A deltametrina, por apresentar um amplo espectro de ação e toxicidade para artrópodes (Badji et al., 2004), é um dos inseticidas mais usados no controle de insetos praga do milho (Duran et al., 2015), mas efeitos subletais na fisiologia de *S. frugiperda* devem ser melhor estudados. O objetivo foi avaliar os efeitos na sobrevivência, comportamento locomotor, respiração, alimentação e digestão de *S. frugiperda* mediados pela deltametrina.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Insetos

Lagartas de *S. frugiperda* foram obtidas da criação massal do laboratório de controle biológico de insetos da Universidade Federal de Viçosa (Viçosa, Minas Gerais, Brasil). Adultos de *S. frugiperda* foram alimentados com solução líquida (água + 10% de açúcar + 5% de ácido ascórbico) oferecida em algodão embebido. Após oviposição, ovos foram coletados a cada dois dias e transferidos para recipientes plásticos (1000 mL). Lagartas, recém eclodidas, de *S. frugiperda* foram mantidas em recipientes plásticos até o terceiro instar quando foram individualizadas em bandejas de PVC com 16 células (Advento do Brasil, Diadema, SP). Essas lagartas foram alimentadas com dieta artificial composta por feijão vermelho, lêvedo de cerveja, gérmen de trigo, proteína de soja, caseína, ágar, ácido ascórbico, ácido sórbico, nipagin (metilparabeno), formol 40%, água destilada e solução vitamínica (niacinamida, pantoenato de cálcio, tiamina, riboflavina, piridoxina, ácido fólico, biotina e inositol). Indivíduos de *S. frugiperda*, nos diferentes estágios de desenvolvimento foram mantidos em sala com $25 \pm 1^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de U. R. e 12:12 h (L:D) de fotoperíodo.

2.2 Bioensaio de concentração-mortalidade

O inseticida deltametrina (Decis[®]; 25 g i.a. L⁻¹; Bayer Vapi Private Limited – Plot, São Paulo, SP, Brasil) foi diluído em água destilada, obtendo-se seis concentrações (0,39; 0,78; 1,56; 3,12; 6,25; 12,5 mg mL⁻¹) para avaliar a toxicidade (aguda ou crônica) e determinar os pontos toxicológicos relevantes, seguindo a relação concentração–mortalidade e as concentrações letais (CL) com esse inseticida. Água destilada foi usada no controle. Cada solução (1 µL) foi aplicada sob 1 g de dieta artificial. Trinta lagartas de terceiro instar de *S. frugiperda* foram individualizadas em placas de Petri (90 × 15 mm) e utilizadas por concentração, com 3 repetições. O número de lagartas mortas foi contabilizado em intervalos de 12 h por cinco dias após exposição à deltametrina.

2.3 Bioensaio de tempo-mortalidade

Lagartas de terceiro instar de *S. frugiperda* foram individualizadas em placas de Petri e expostas às concentrações letais (CL₂₅, CL₅₀, CL₇₅ e CL₉₀) de deltametrina determinadas pelo bioensaio de concentração–mortalidade, além do controle com água destilada. Os procedimentos da exposição e condições dos insetos seguiram os mesmos descritos para os bioensaios de concentração–mortalidade. Trinta lagartas foram usadas para determinar o tempo letal de cada concentração da deltametrina em delineamento inteiramente casualizado. O número de insetos mortos foi registrado a cada 12 h por cinco dias.

2.4 Comportamento locomotor

Lagartas de *S. frugiperda* foram individualizadas por arena composta por uma placa de Petri (90 × 15 mm) com disco de papel de filtro (Whatman no. 1) recobrimdo o fundo da mesma. As paredes internas das placas de Petri foram cobertas com politetrafluoretileno (Dupont[®], Barueri, SP, Brasil) para evitar a fuga de insetos. Bioensaios de resposta comportamental foram realizados em arenas com metade tratada com 250 µL de deltametrina (CL₅₀ ou CL₉₀), ou água destilada para o controle. Uma lagarta de *S. frugiperda* foi liberada no centro da arena com a metade tratada com inseticida (no papel filtro) e mantida por 10 min. Vinte insetos foram usados por concentração letal em delineamento inteiramente casualizado. A atividade locomotora de cada inseto na arena foi gravada com filmadora digital (XL1 3CCD NTSC, Canon, Lake Success, NY, EUA) equipado com Lente de vídeo 16× (ZoomXL 5.5-88 mm, Canon). A distância percorrida e o tempo de parada dos insetos em cada metade da placa de Petri foram registrados com sistema de rastreamento de vídeo (ViewPoint LifeSciences, Montreal, Quebec, Canadá). Insetos que gastaram <1 s ou 50% do

tempo na metade da superfície tratada da arena com inseticida foram considerados repelidos ou irritados, respectivamente (Plata-Rueda et al., 2018).

2.5 Taxa de respiração

Bioensaios de taxa de respiração foram conduzidos por 3 h em lagartas de *S. frugiperda* após exposição a deltametrina (CL₅₀ e CL₉₀), de acordo com os procedimentos da seção 2.2 e aqueles tratados com água destilada utilizados como controle. A produção de dióxido de carbono (CO₂) ($\mu\text{L de CO}_2 \text{ h}^{-1}/\text{inseto}$) foi medida com respirômetro do tipo Analisador de CO₂ TR3C (Sable System International, Las Vegas, EUA) (Plata-Rueda et al., 2017). Três lagartas de *S. frugiperda* foram colocadas por câmara respirométrica (25 mL) conectada a um sistema fechado. A produção de CO₂ foi medida por 12 h a $27 \pm 2^\circ\text{C}$ após a aclimação dos insetos. O gás oxigênio comprimido (99,99% puro) foi passado através da câmara a um fluxo de 100 mL min^{-1} por um período de 2 min. para quantificar o CO₂ produzido na câmara. Este fluxo de ar força as moléculas de CO₂ produzidas a passarem por um leitor de infravermelho acoplado ao sistema, permitindo uma medição contínua do CO₂ produzido pelos insetos em cada câmara. Lagartas de *S. frugiperda*, antes e depois do experimento, foram pesadas em balança analítica (Sartorius BP 210D, Göttingen, Alemanha). Quinze repetições foram usadas por tratamento (CL₅₀ e CL₉₀) e no controle em delineamento inteiramente casualizado.

2.6 Efeito antialimentar

Lagartas de terceiro instar de *S. frugiperda* foram individualizadas em placas de Petri com uma seção de folha de milho ($20 \times 20 \text{ mm}$) tratada com as CL₅₀ e CL₉₀ do inseticida ou água destilada no controle, com oito repetições por tratamento. A exposição das lagartas a folha de milho tratada durou 3 h e, após isto, as folhas foram fotografadas com câmera fotográfica digital (D40, 18D55 mm, Nikon Corporation, Tóquio, Japão) com foco macro de 15 cm, luz natural e fluorescente (SB-700 Nikon Corporation, Japão). As imagens foram analisadas com o software de análise digital UTHSCSA Image Tool v. 2.0 (Universidade Do Texas, Austin, TX). A área consumida por lagarta foi medida em mm^2 com pixels baseados no histograma RGB (vermelho, 700 nm; verde, 546,1 nm; azul, 435,8 nm).

2.7 Histopatologia

Dez lagartas de terceiro instar de *A. gemmatilis* foram expostas a CL₅₀ de deltametrina via ingestão, além do controle, por 3, 6, 12 e 24 horas. Os insetos foram crioplanados a -4°C , dissecados em solução salina para insetos ($0,1 \text{ M NaCl} + 0,1 \text{ M KH}_2\text{PO}_4 + 0,1 \text{ M}$

Na_2HPO_4) e transferidos para solução fixadora de Zamboni (Stefanini et al., 1967) por 12 h à 5°C. As amostras foram desidratadas em série crescentes de etanol (70, 80, 90 e 95%) e embebidas em historesina Leica (Leica Biosystem Nussloch GmbH, Wetzlar, Germany). A seguir, seções com 3 μm de espessura foram obtidas, coradas com hematoxilina e eosina e analisadas em microscópio de luz Olympus BX-60 (Olympus Corporation, Tokyo, Japan).

2.8 Análise estatística

Os dados de concentração–mortalidade foram submetidos à análise probit, gerando uma curva concentração–mortalidade (Finney, 1964). Os dados de tempo–mortalidade foram submetidos à análise de sobrevivência usando o estimador Kaplan–Meier (log–rank test) através do software Origin Pro v. 9.1. (OriginLab Corporation, 2013). Dados das lagartas que sobreviveram até o final do experimento foram tratados como censurados. O comportamento locomotor, taxa de respiração e efeito antialimentar foram submetidos à análise de variância (one–way ANOVA). As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey (HSD) em nível de significância de 5%. Dados do comportamento locomotor, taxa de respiração e efeito antialimentar foram transformados para satisfazer suposições de normalidade e homocedasticidade. Dados dos bioensaios de toxicidade, comportamento locomotor, taxa de respiração e efeito antialimentar foram analisados usando o SAS para Windows v. 9.0. (SAS Institute, 2002).

3 RESULTADOS

3.1 Bioensaio de concentração-mortalidade

O modelo de concentração–mortalidade utilizado foi adequado ($P > 0,05$), confirmando a toxicidade da deltametrina para *S. frugiperda* e permitindo estimar os parâmetros toxicológicos (Tabela 1; Figura 1). A mortalidade no grupo controle foi menor que 1%.

Tabela 1. Número de insetos testados (Num.), concentrações letais (CL) e estimada (CE), intervalo de confiança (IC) e valor de P (χ^2) da deltametrina contra lagartas de 3° instar de *Spodoptera frugiperda* obtida a partir da análise probit (df= 5, slope \pm EP= 6,364 \pm 0,78, intercepto= 3,519)

Num.	CL	CE (mg mL ⁻¹)	IC 95%	χ^2
90	CL ₂₅	2,858	2,459–3,167	1,58 (0,902)
90	CL ₅₀	3,588	3,251–3,909	
90	CL ₇₅	4,504	4,128–5,026	
90	CL ₉₀	5,653	5,061–6,690	

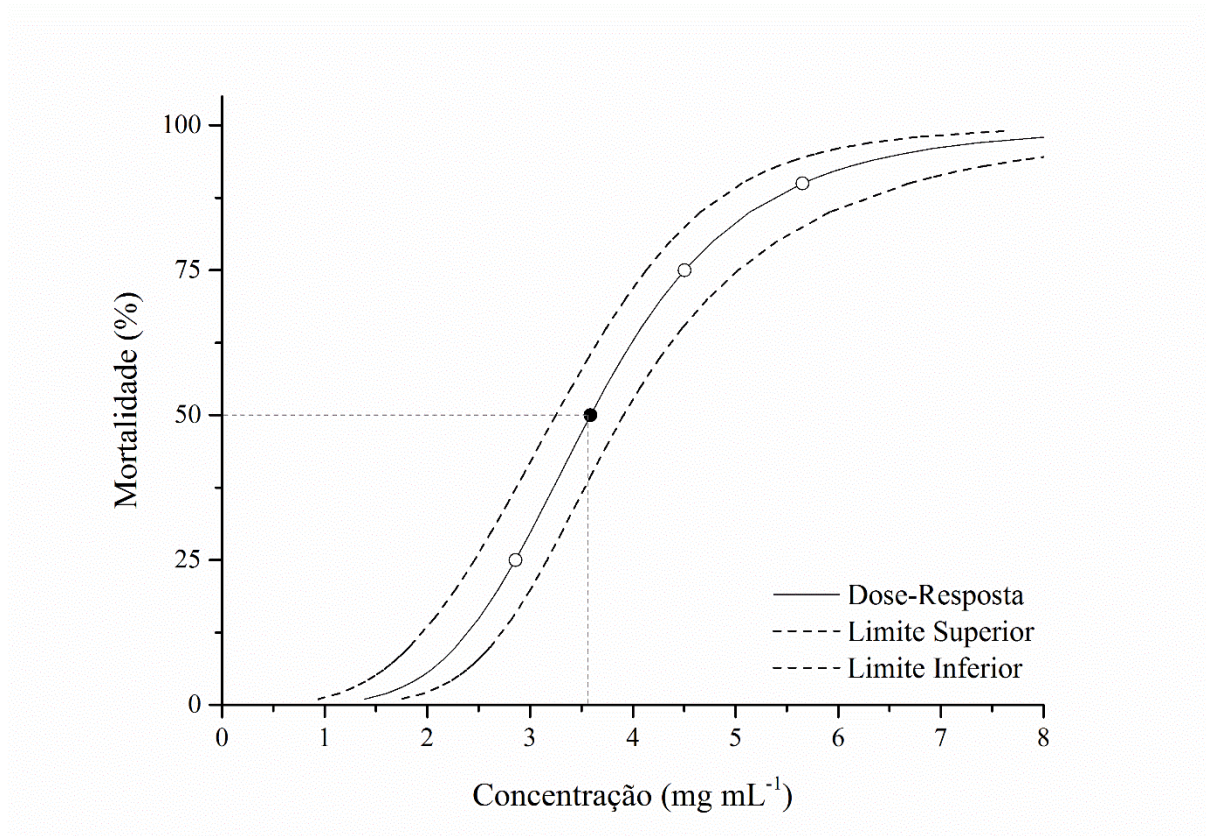


Figura 1. Curva de mortalidade de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) expostas à diferentes concentrações letais de deltametrina. Ponto preto representa a concentração letal (CL₅₀) estimada pela análise probit. Linhas pontilhadas delimitam os intervalos de confiança de 95%.

3.2 Bioensaio de tempo-mortalidade

A sobrevivência de lagartas de *S. frugiperda* expostas às concentrações letais de deltametrina diferiu durante as 120 h de avaliação (teste de log-rank $\chi^2 = 64,55$, g.l. = 4, $P < 0,001$), com 100% no controle, 50% com a CL_{25} e 0% com as CL_{75} e CL_{90} (Figura 2).

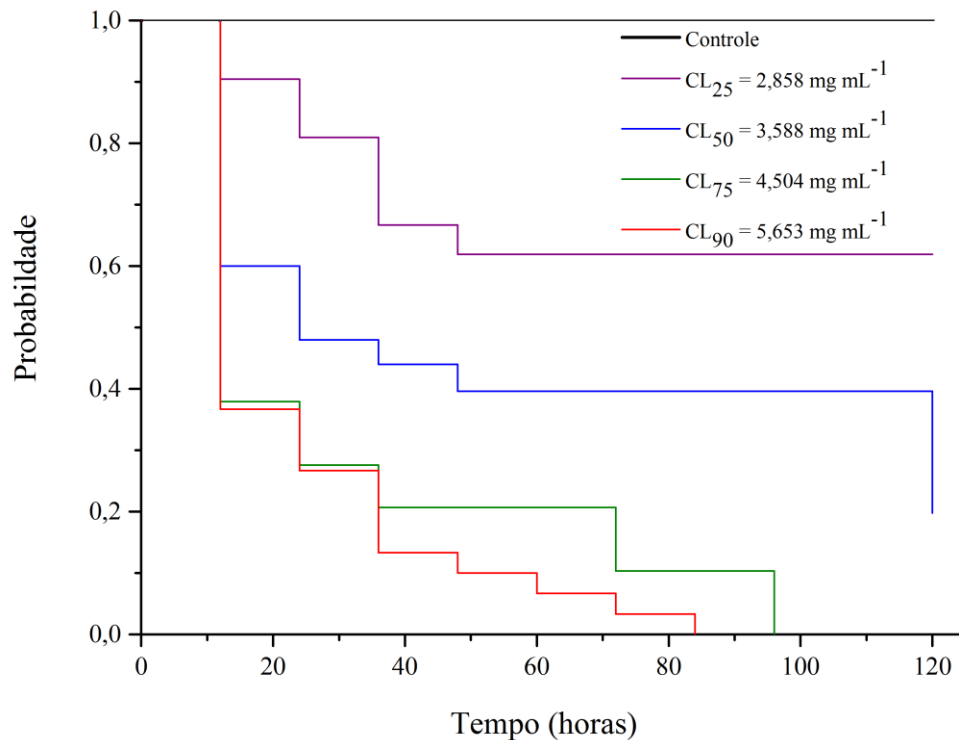


Figura 2. Curvas de sobrevivência de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) expostas a diferentes concentrações letais de deltametrina submetidas a análise de sobrevivência utilizando Teste de log-rank dos estimadores de Kaplan-Meier (log-rank $\chi^2 = 64,55$; $P < 0,001$).

3.3 Comportamento locomotor

O Comportamento locomotor de lagartas de *S. frugiperda* em arenas semi-tratadas (Figura 3) diferiu entre o controle e as concentrações letais (CL_{50} e CL_{90}) de deltametrina. O tempo parado foi maior no controle com 358 ± 41 s seguido das CL_{90} com 224 ± 26 s e CL_{50} com 219 ± 27 s ($F_{2,23} = 1,59$, $P < 0,021$). A distância percorrida foi maior no controle com 377 ± 44 cm seguido pela CL_{90} com 256 ± 67 cm e CL_{50} com 154 ± 39 cm ($F_{2,23} = 1,53$, $P < 0,022$) (Figura 4).

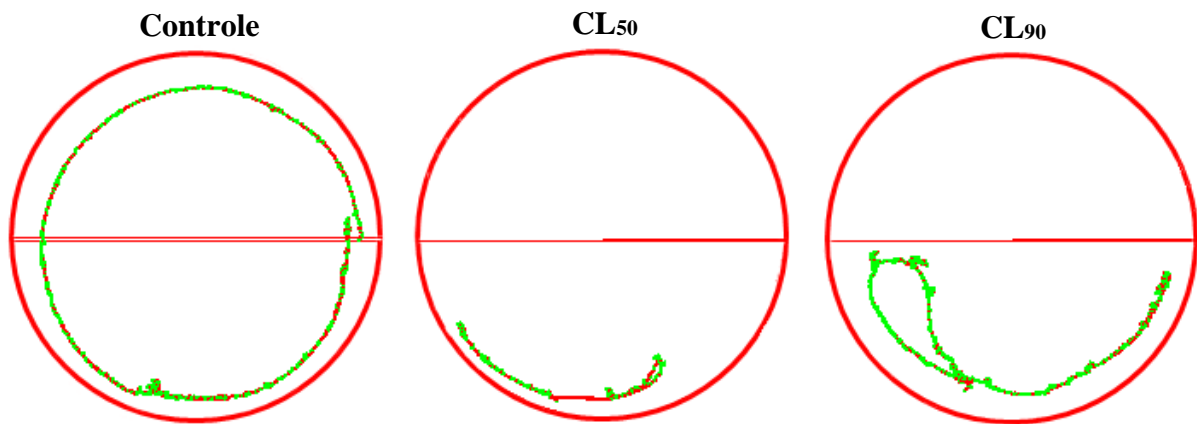


Figura 3. Faixas representativas mostrando a atividade de caminhada de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) durante um período de 10 min em arenas de papel de filtro meio impregnadas com deltametrina (metade superior de cada arena). Faixas vermelhas representa caminhada em alta velocidade; faixas verdes indicam baixa velocidade.

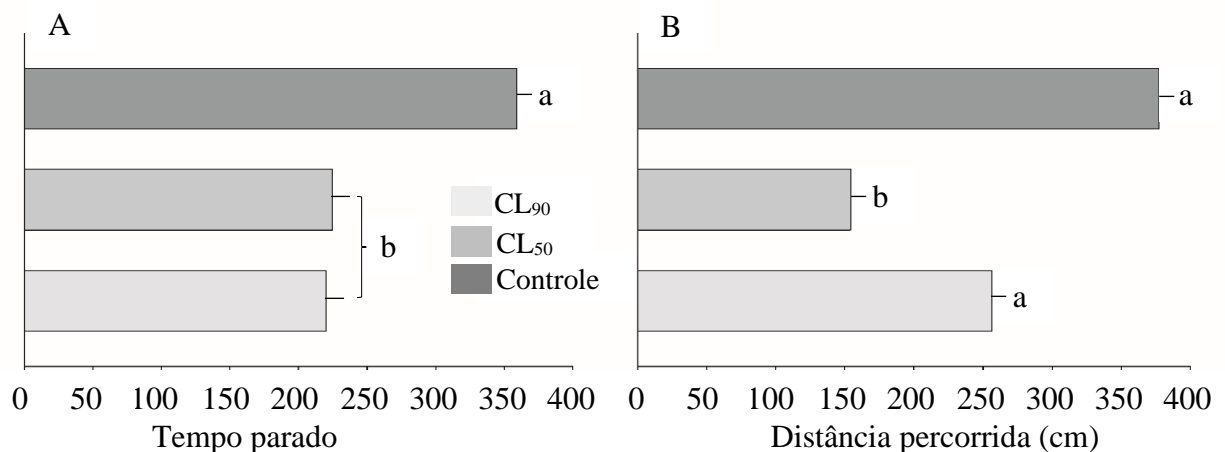


Figura 4. Tempo parado (A) e distância percorrida (B) (média \pm EP) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) submetidas à deltametrina (valores estimados de controle, CL₅₀ e CL₉₀) por 10 minutos. Os tratamentos (média \pm SEM) diferem em $P < 0,05$ (separação de médias pelo teste de Tukey).

3.4 Taxa de respiração

A taxa respiratória (μL de CO_2 h^{-1} /inseto) de lagartas de *S. frugiperda* do controle foi maior que a daquelas expostas às CL₅₀ e CL₉₀ de deltametrina após 3h ($F_{2,14} = 39,39$, $P < 0,001$ (Figura 5)).

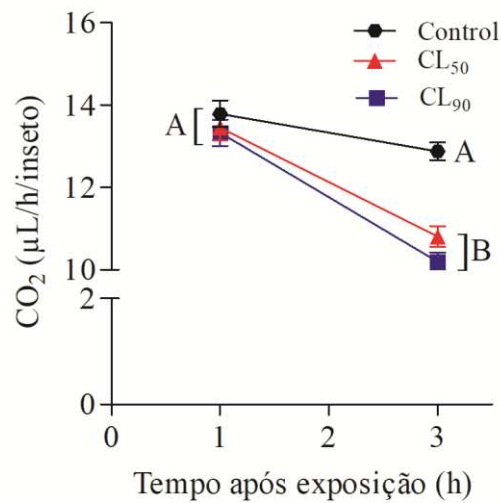


Figura 5. Taxa de respiração (média \pm SEM) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) expostas a deltametrina (controle, e valores estimados da CL₅₀ e CL₉₀) por 3 h. Os tratamentos (média \pm SEM) diferem em $P < 0,05$ (separação de médias pelo teste de Tukey).

3.5 Efeito antialimentar

A área foliar consumida por lagartas de *S. frugiperda* foi maior no controle (77.1 ± 19 mm²) que naquelas expostas as CL₉₀ (5.26 ± 2 mm²) e CL₅₀ (3.08 ± 1 mm²) ($F_{2,14} = 6,65$, $P < 0,001$; Figura 6).

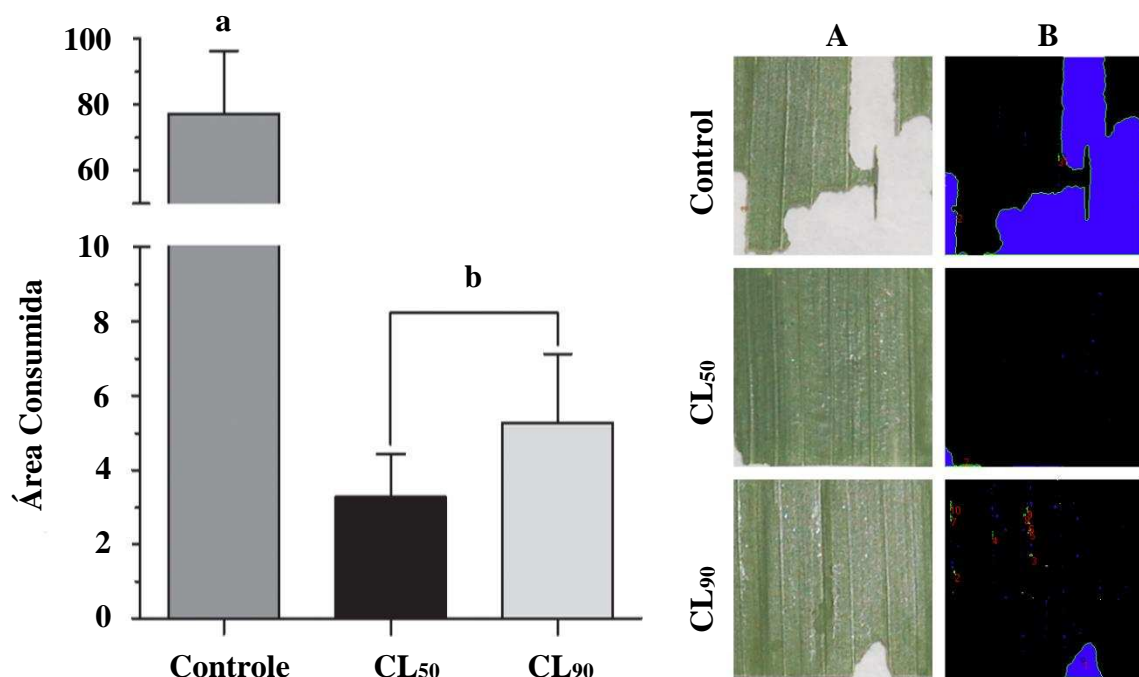


Figura 6. Consumo alimentar (média \pm EP) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) expostas à deltametrina por 3 h. Controle e valores estimados da

CL₅₀ e CL₉₀ diferem em $P < 0,05$ (separação de médias pelo teste de Tukey), A) consumo de folhas de milho tratadas em uma seção folhar de 20 × 20 mm, B) seção de 20 × 20 mm submetidas à binarização de cores (preto e azul) com identificação e quantificação das áreas consumidas.

3.6 Histopatologia

O epitélio do intestino médio de *S. frugiperda*, no controle, foi constituído por uma camada única de células digestivas e caliciformes. As células digestivas apresentaram citoplasma homogêneo e núcleo bem desenvolvido com predomínio de cromatina descondensada. A superfície apical dessas células teve borda estriada evidente e lúmen com matriz peritrófica bem desenvolvida (Figuras 7A, 7F). A superfície basal do epitélio estava revestida por camadas musculares (Figura 7K). Após três horas de exposição do inseto a CL₅₀ de deltametrina, o epitélio da superfície apical do intestino médio estava irregular e com vacuolização no citoplasma das células digestivas (Fig. 7B, 7G e 7L). Projeções do citoplasma em direção ao lúmen, alta vacuolização citoplasmática e secreção apócrina foram observadas após seis horas de exposição ao inseticida (Fig. 7C, 7H e 7M). Após 12 horas de exposição, houve fragmentação celular, vacuolização, núcleos com cromatina condensada, ausência de borda estriada e desorganização da matriz peritrófica (Figura 7D, 7I e 7N). Essas características foram semelhantes às observadas após 24 horas de exposição à deltametrina com fragmentos celulares no lúmen do intestino médio, ausência de borda estriada e completa desorganização da matriz peritrófica (Figuras 7E, 7J e 7O). As células caliciformes foram caracterizadas por cavidade revestida por borda estriada longa sem modificações nos insetos expostos a deltametrina (Figura 7H).

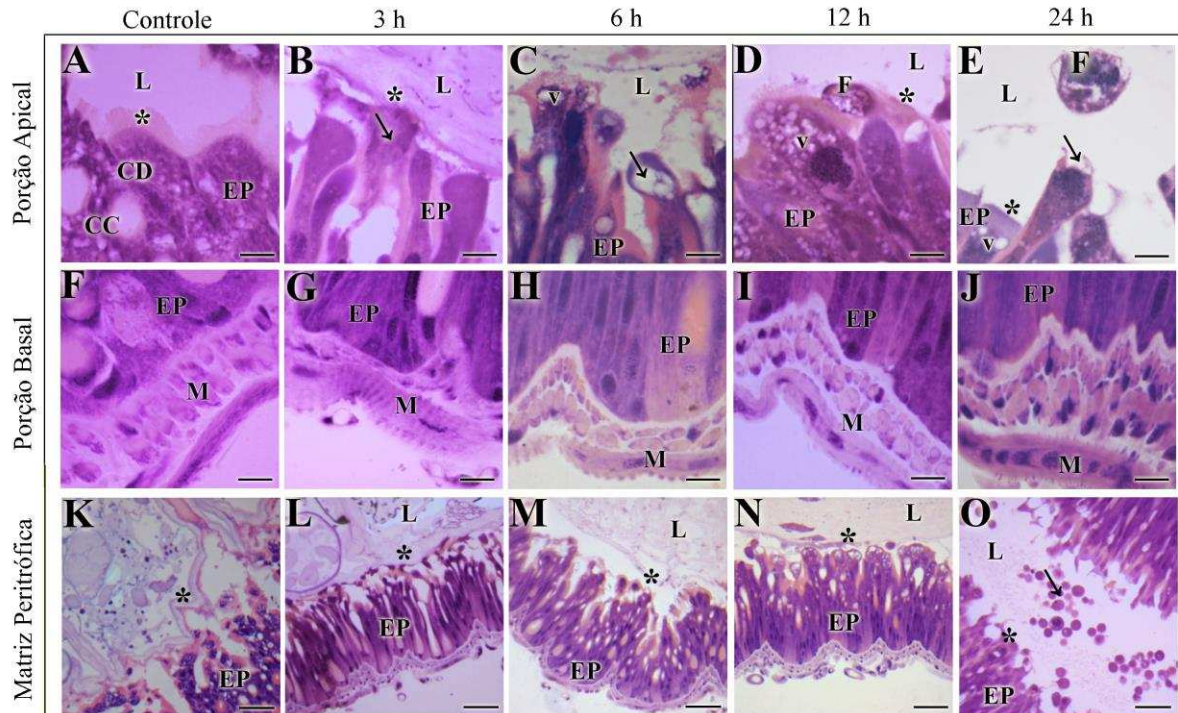


Figura 7. Alterações histológicas no intestino médio de lagartas de terceiro ínstar de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) submetidas a CL_{50} de deltametrina durante intervalos de 3, 6, 12 e 24 horas. Lumem (L); Epitêlio (EP); célula digestiva (CD); célula caliciforme (CC); músculo (M); vacúolo (v); fragmento celular (F); desorganização da borda estriada nas imagens A; B; D e E (*); desorganização da matriz peritrófica nas imagens K; L; M; N e O (*); protrusões celulares (→). Barra de escalas: Figuras A até J= 100 μ m; Figuras K até O= 20 μ m.

4 DISCUSSÃO

A deltametrina causa mortalidade e alterações no comportamento locomotor, respiração e digestão de *S. frugiperda*. Lagartas de *S. frugiperda* expostas a esse inseticida tiveram alteração da atividade locomotora e paralisia, sem sinais de recuperação. A suscetibilidade à deltametrina de outras Noctuidae pragas como *Chrysodeixis includens* Walker (Ramos et al., 2017), *Helicoverpa armigera* Hübner (Ahmad, 2004) e *Spodoptera litura* Fabricius (Peter & David, 1988) varia com o método de exposição (contato ou ingestão). A ingestão de deltametrina em concentrações reduzidas é suficiente para causar toxicidade a *S. frugiperda*.

A toxicidade da deltametrina à lagartas de *S. frugiperda* mostrou intenso efeito via ingestão [$CL_{50} = 3,58$ (3,25–3,90) mg mL^{-1}] concentração dependente, como relatado para *Blaptostethus pallescens* Poppius (Hemiptera: Anthocoridae), *Chrysodeixis includens* Walker (Lepidoptera: Noctuidae) e *Podisus nigrispinus* Dallas (Heteroptera: Pentatomidae) (Ramos et al., 2017; Martínez et al., 2019a). A toxicidade e sintomas causados em *S. frugiperda* estão

relacionados ao modo de ação da deltametrina, com efeitos nos canais de sódio dos neurônios, comum em insetos (Blomquist & Miller, 1986).

Variações na sobrevivência de *S. frugiperda*, mostrada pela análise do tempo–mortalidade, entre as concentrações letais de deltametrina com longos períodos de exposição para matar esse inseto pode afetar a velocidade de atuação desse inseticida sobre o inseto e na proteção das culturas (Martínez et al., 2014). Alguns inseticidas param a alimentação antes dos insetos-alvo morrerem e a ação rápida pode ser essencial na proteção da cultura do milho (Sena et al., 2003; Burtet et al., 2017). A deltametrina e outros piretroides reduzem danos por insetos na cultura do milho como por *Helicoverpa zea* Boddie (Lepidoptera: Noctuidae) (Usmani & Knowles, 2001), *Ostrinia nubilalis* Hübner (Lepidoptera: Crambidae) (Saladini et al., 2008) e *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) (Vélez et al., 2017).

A redução do tempo parado e da distância percorrida por *S. frugiperda* causada pela deltametrina mostra efeito no comportamento locomotor desse inseto, devido a ação de compostos tóxicos no sistema nervoso, estimulando ou inibindo a mobilidade de insetos (Blomquist & Miller, 1986). Respostas comportamentais de insetos expostos a inseticidas (Kongmee et al., 2012; Huang et al., 2014; Plata-Rueda et al., 2018) podem afetar o reconhecimento do substrato, influenciando na orientação olfatória e no forrageio (Zeng et al., 2017). Alterações no comportamento locomotor por doses subletais de deltametrina foram relatadas para *Anopheles harrisoni*, *Anopheles minimus* Meigan (Diptera: Culicidae) (Kongmee et al., 2012), *Grapholita molestant* Busk (Lepidoptera: Tortricidae) (Huang et al., 2014), *Sitophilus granarius* e *S. zeamais* Linnaeus (Coleoptera: Curculionidae) (Vélez et al., 2017). Reações comportamentais do inseto para evitar a intoxicação direta por inseticidas incluem a repelência (evasão sem contato prévio com o inseticida) e irritabilidade (evasão após breve contato com o inseticida) (Plata-Rueda et al., 2019a; 2019b). A ausência de caminamento de *S. frugiperda* nas arenas com metade da superfície tratada com o inseticida sugere que as lagartas evitam o contato direto com a deltametrina.

A redução da taxa respiratória após exposição a deltametrina desequilibra a fisiologia de lagartas de *S. frugiperda* (Plata-Rueda et al., 2019a; 2019b) como relatado para *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) exposta ao tebufenozide (Fiaz et al., 2018b). A diminuição da taxa respiratória pode ser devido à menor necessidade de oxigênio devido aos menores níveis de caminamento (Plata-Rueda et al., 2018; Fiaz et al., 2018b). A redução de oxigênio tem sido relacionada com a ruptura da fosforilação oxidativa e processos respiratórios causados pela deltametrina (Corrêa et al., 2014).

A diminuição do consumo de folhas de milho tratadas com as CL_{50} e CL_{90} de deltametrina sugere efeito antialimentar, provavelmente, por ação neurotóxica da deltametrina (Martínez et al., 2019b) causando paralisia (Martínez et al., 2014; 2019b) e, conseqüentemente, cessação da alimentação. A rápida intoxicação de *S. frugiperda*, após exposição à deltametrina, pode reduzir os danos causados nas plantas, semelhante ao relatado para adultos de *Popillia japonica* Newman (Coleoptera: Scarabaeidae) expostos a folhas de *Tilia cordata* Mill. (Malvales: Malvaceae) tratadas com deltametrina, com consumo de alimento reduzido em 96,8% (Baumler & Potter, 2007).

Mudanças histológicas características de degeneração celular, como vacuolização citoplasmática, fragmentação celular e desorganização da matriz peritrófica se devem ao efeito da deltametrina no intestino médio de *S. frugiperda*, mesmo em períodos curtos de tempo (Soderlund & Bloomquist, 1989) como relatado para *Podisus nigrispinus* Dallas exposto a permetrina (Martínez et al., 2018). Degeneração celular no intestino médio foi relatada para outros insetos como *A. gemmatilis* exposta ao tebufenozide (Fiaz et al., 2018b) e *Ceraeochrysa claveri* Navás (Neuroptera: Chrysopidae) à azadiractina (Scudeler & Dos Santos, 2016). Os efeitos histológicos causados pela deltametrina no intestino médio de *S. frugiperda* danificaram a borda estriada das células digestivas e a matriz peritrófica, importante, pois a primeira aumenta a superfície celular para o transporte de substâncias (Santos et al., 2018) e a segunda atua como barreira física contra danos mecânicos, entrada de patógenos e controle da digestão (Terra et al., 2006). Danos nessas estruturas mediadas pela deltametrina sugerem redução da absorção de água e nutrientes por lagartas de *S. frugiperda*, conseqüentemente comprometendo o processo de digestão.

A deltametrina é tóxica causando elevada mortalidade, reduzindo a sobrevivência e alterando o comportamento, a respiração e a digestão de lagartas de *S. frugiperda*. Altas concentrações de deltametrina, causaram efeito antialimentar nessa praga. A deltametrina causa alterações histopatológicas irreversíveis no intestino médio de *S. frugiperda*, com desestruturação da matriz peritrófica, borda estriada e protruções celulares comprometendo digestão e absorção de nutrientes. Os efeitos da deltametrina em *S. frugiperda* impediram o desenvolvimento e a sobrevivência desse inseto.

5 CONCLUSÃO

Deltrametrina foi tóxica para lagartas de *S. frugiperda*, alterando a sobrevivência, comportamento locomotor, respiração e alimentação, com danos irreversíveis no intestino médio de *S. frugiperda*.

6 REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. Potentiation/antagonism of deltamethrin and cypermethrins with organophosphate insecticides in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 80, n. 1, p. 31–42. 2004.
- ANDERSON, J.A.; ELLSWORTH, P.C.; FARIA, J.C.; HEAD, G.P.; OWEN, M.D.K.; PILCHER, C.D.; SHELTON, A.M.; MEISSLE, M. Genetically engineered crops: importance of diversified integrated pest management for agricultural sustainability. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 7, n. 24, doi: 10.3389/fbioe.2019.00024. 2019.
- AZEVEDO, D.O.; NEVES, C.A.; MALLET, J.R.D.S.; GONÇALVES, T.C.M.; ZANUNCIO, J.C.; SERRÃO, J.E. Notes on midgut ultrastructure of *Cimex hemipterus* (Hemiptera: Cimicidae). **Journal of Medical Entomology**, v. 46, n. 3, p. 435–441. 2014.
- BADJI, C.A.; GUEDES, R.N.C.; SILVA, A.A.; ARAÚJO, R.A. Impact of deltamethrin on arthropods in maize under conventional and no-tillage cultivation. **Crop Protection**, v. 23, n. 11, p. 1031–1039. 2004.
- BALDWIN, K.M.; HAKIM, R.S.; LOEB, M.J.; SADRUD-DIN, S.Y. Midgut Development. In: LEHANE, M.; BILLINGSLEY, P. **Biology of the insect midgut**. Ed. 1°. Londres: Chapman & Hall, 1996.
- BARROS, E.M.; TORRES, J.B.; RUBERSON, J.R.; OLIVEIRA, M.D. Development of *Spodoptera frugiperda* on different hosts and damage to reproductive structures in cotton. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 137, n. 3, p. 237–245. 2010.
- 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**, v. 100, n. 2, p. 451–458. 2007.
- BERES, P.K.; KUCHARCZYK, H.; GORSKI, D. Effects of insecticides used against the European corn borer on thrips abundance on maize. **Plant Protection Science**, v. 53, n. 1, p. 44–49. 2017.
- BROOKES, G.; BARFOOT, P. Global income and production impacts of using GM crop technology 1996-2014. **GM Crops Food**, v. 7, n. 1, p. 38–77. 2016.
- BURTET, L.M.; BERNARDI, O.; MELO, A.A.; PES, M.P.; STRAHL, T.T.; GUEDES, J.V. Managing fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), with Bt maize and insecticides in southern Brazil. **Pest Management Science**, v. 73, n. 1, p. 2569–2577. 2017.
- CATAE, A.F.; ROAT, T.C.; PRATAVIEIRA, M.; DA SILVA MENEGASSO, A.R.; PALMA, M.S.; MALASPINA, O. Exposure to a sublethal concentration of imidacloprid and the side effects on target and nontarget organs of *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). **Ecotoxicology**, v. 27, n. 2, p. 109–121. 2018.

- CORRÊA A.S.; TOMÉ H.V.V.; BRAGA L.S.; MARTINS G.F.; DE OLIVEIRA L.O.; GUEDES R.N.C. Are mitochondrial lineages, mitochondrial lysis and respiration rate associated with phosphine susceptibility in the maize weevil *Sitophilus zeamais*? **Annals of Applied Biology**, v. 165, n. 1, p. 137–146. 2014.
- DE FREITAS BUENO, R.C.O.; DE FREITAS BUENO, A.; MOSCARDI, F.; POSTALI PARRA, J.R.; HOFFMANN-CAMPO, C.B. Lepidopteran larva consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. **Pest Management Science**, v. 67, n. 1, p. 170–174. 2011.
- DOW, J.A. Insect midgut function. In: EVANS, P.D.; WIGGLESWORTH, V.B. **Advances in Insect Physiology**, Ed. Elsevier, 1987. p. 187–328.
- DOW, P.F.; SPARKS, T.C. Relative toxicity and ester hydrolysis of pyrethroids in the soybean looper and tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 81, n. 4, p. 1014–1018. 1988.
- DURAN, R.E., KILIC, S., COSKUN, Y., 2015. Response of maize (*Zea mays* L. *saccharata* Sturt) to different concentration treatments of deltamethrin. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 124, n. 1, p. 15–20. 2015.
- FAIAZ, 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 gemmatilis* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. **Chemosphere**, v. 212, n. 1, p. 337–345. 2018b.
- FAIAZ, M., MARTÍNEZ, L.C., DA SILVA COSTA, M., 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 gemmatilis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Ecotoxicology Environmental Safety**, v. 156, n. 1, p. 1–8. 2018a.
- FINNEY, D.J. **Probit Analysis**. 2. Ed. Cambridge: University Press, 1964.
- FUXA, J.R.; RICHTER, A.R. Response of nuclear polyhedrosis virus-resistant *Spodoptera frugiperda* larvae to other pathogens and to chemical insecticides. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 55, n. 2, p. 272–277. 1990.
- HUANG, J.; GUT, L.J.; GRIESHOP, M. Development of a new attract-and-kill technology for oriental fruit moth control using insecticide impregnated fabric. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 154, n. 2, p. 102–109. 2014.
- KONGMEE, M.; BOONYUAN, W.; ACHEE, N.L.; PRABARIPAL, A.; LERDTHUSNEE, K.; CHAREONVIRIYAPHAP, T. Irritant and repellent responses of *Anopheles harrisoni* and *Anopheles minimus* upon exposure to bifenthrin or deltamethrin using an excite-repелency system and a live host. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v. 28, n. 1, p. 20–29. 2012.
- MARTINELLI, S.; CLARK, P.L.; ZUCCHI, M.I.; SILVA-FILHO, M.C.; FOSTER, J.E.; OMOTO, C. Genetic structure and molecular variability of *Spodoptera frugiperda*

- (Lepidoptera: Noctuidae) collected in maize and cotton fields in Brazil. **Bulletin of Entomological Research**, v. 97, n. 3, p. 225–231. 2007.
- MARTÍNEZ LC.; PLATA-RUEDA A.; ZANUNCIO JC.; SERRÃO JE. Comparative toxicity of six insecticides on the Rhinoceros beetle (Coleoptera: Scarabaeidae). **Florida Entomologist**, v. 97, n. 3, p. 1056–1062. 2014.
- MARTÍNEZ, L.C.; PLATA-RUEDA, A.; NEVES, G.D.S.; GONÇALVES, W.G.; ZANUNCIO, J.C.; BOZDOĞAN, H.; SERRÃO, J.E. Permethrin induces histological and cytological changes in the midgut of the predatory bug, *Podisus nigrispinus*. **Chemosphere**, v. 112, n. 1, p. 629–637. 2018.
- MARTÍNEZ, L.C.; PLATA-RUEDA, A.; GONÇALVES, W.G.; FREIRE, A.F.P.A.; ZANUNCIO, J.C.; BOZDOĞAN, H.; SERRÃO, J.E. Toxicity and cytotoxicity of the insecticide imidacloprid in the midgut of the predatory bug, *Podisus nigrispinus*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 167, n. 1, p. 69–75. 2019a.
- MARTÍNEZ, L.C.; PLATA-RUEDA, A.; RODRÍGUEZ-DIMATÉ, F.A.; CAMPOS, J.M.; SANTOS JÚNIOR, V.C.D.; ROLIM, G.D.S.; SERRÃO, J.E. Exposure to insecticides reduces populations of *Rhynchophorus palmarum* in oil palm plantations with Bud Rot disease. **Insects**, v. 10, n. 4, p. 1–2. 2019b.
- MICHAUD, J.P. Problems inherent to augmentation of natural enemies in open agriculture. **Neotropical Entomology**, v. 47, n. 2, p. 161–170. 2018.
- MONTEZANO, D.G.; SOSA-GÓMEZ, D.R.; ROQUE-SPECHT, V.F.; SOUSA-SILVEIRA J.C.; PAULA-MORAES S.V.; PETERSON J.A.; HUNT, T.E. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, n. 2, p. 286–300. 2018.
- Originlab Corporation, 2013. OriginPro v. 9.0.0 SR2 b87. Originlab Corporation. Originlab Corporation, Northampton, MA. (<http://www.OriginLab.com>).
- PETER, C.; DAVID, B.V. Residual toxicity of some insecticides on groundnut to the first and third instar larvae of *Spodoptera litura* F. (Lepidoptera: Noctuidae). **International Journal of Pest Management**, v. 34, n. 1, p. 24–26. 1988.
- PLATA-RUEDA, A.; MARTÍNEZ, L.C.; COSTA, N.C.R.; ZANUNCIO, J.C.; DE SENA FERNANDES, M.E.; SERRÃO, J.E.; FERNANDES, F.L. Chlorantraniliprole-mediated effects on survival, walking abilities, and respiration in the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 172, n. 1, p. 53–58. 2019a.
- PLATA-RUEDA, A.; MARTÍNEZ, L.C.; DA SILVA, B.K.R.; ZANUNCIO, J.C.; FERNANDES, M.E.D.S.; GUEDES, R.N.C.; FERNANDES, F.L. Exposure to cyantraniliprole causes mortality and disturbs behavioral and respiratory responses in the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). **Pest Management Science**, v. 75, n. 1, p. 2236–2241. 2019b.

- 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**, v. 156, n. 1, p. 263–270. 2018.
- PLATA-RUEDA, A.; MARTÍNEZ, L.C.; DOS SANTOS, M.H.; 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**, v. 7, n. 1, 146406. 2017.
- RAMOS, R.S.; SEDIYAMA, C.S.; QUEIROZ, E.A.; COSTA, T.L.; ARAÚJO, T.A.; PICANÇO, M.C. Toxicity of insecticides to *Chrysodeixis includens* and their direct and indirect effects on the predator *Blaptostethus pallescens*. **Journal of Applied Entomology**, v. 141, n.1, p. 677–689. 2017.
- RICHARDS, S.L.; VOLKAN, J.K.; BALANAY, J.A.G.; VANDOCK, K. Evaluation of bifenthrin and deltamethrin barrier sprays for mosquito control in eastern north Carolina. **Journal of Medical Entomology**, v. 54, n. 6, p. 1659–1665. 2017.
- SALADINI, M.A.; BLANDINO, M.; REYNERI, A.; ALMA, A. Impact of insecticide treatments on *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Lepidoptera: Crambidae) and their influence on the mycotoxin contamination of maize kernels. **Pest Management Science**, v. 64, n. 1, p. 1170–1178. 2008.
- SANTOS, H.P.; GUTIÉRREZ, Y.; OLIVEIRA, E.E.; SERRÃO, J.E. Sublethal dose of deltamethrin damage the midgut cells of the mayfly *Callibaetis radiatus* (Ephemeroptera: Baetidae). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 2, p. 1418–1427. 2018.
- SANTOS-JUNIOR, V.C.; MARTINEZ, L.C.; PLATA-RUEDA, A.; BOZDOGAN, H.; ZANUNCIO, J.C.; SERRÃO, J.E. Exposure to spinosad induces histopathological and cytotoxic effects on the salivary complex of the non-target predator *Podisus nigrispinus*. **Chemosphere**, v. 225, n. 1, p. 688–695. 2019.
- SAS Institute, 2002. The SAS System for Windows, release 9.0. SAS Institute, Cary, N.C.. (<http://www.sas.com>).
- SCHNEIDER, A.M.; GONTIJO, L.M.; COSTA, L.L. Impact of Bt sweet corn on Lepidoptera pests in Midwestern Brazil. **Scientia Agricola**, v. 73, n. 3, p. 214–219. 2019.
- SCUDELER, E.L.; GARCIA, A.S.G.; PADOVANI, C.R.; PINHEIRO, P.F.F.; SANTOS, D.C. Cytotoxic effects of neem oil in the midgut of the predator *Ceraeochrysa claveri*. **Micron**, v. 80, n. 1, p. 96–111. 2016.
- SENA, JR. D.G.; PINTO, F.A.C.; QUEIROZ, D.M.; VIANA, P.A. Fall armyworm damaged maize plant identification using digital images. **Biosystems Engineering**, v. 85, n. 4, p. 449–454. 2003.

- SHIELDS, M.W.; JOHNSON, A.C.; PANDEY, S.; CULLEN, R.; GONZÁLEZ-CHANG, M.; WRATTEN, S.D.; GURR, G.M. History, current situation and challenges for conservation biological control. **Biological Control**, v. 131, n. 1, p. 25–35. 2019.
- SILVA, R.S.; ARCANJO, L.P.; SOARES, J.R.S.; FERREIRA, D.O.; SERRÃO, J.E.; MARTINS, J.C.; COSTA, A.H.; PICANÇO, M.C. Insecticide toxicity to the borer *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae): developmental and egg-laying effects. **Neotropical Entomology**, v. 47, n. 2, p. 318–325. 2018.
- SODERLUND, D.M.; BLOOMQUIST, J.R. Neurotoxic actions of pyrethroid insecticides. **Annual Review of Entomology**, v. 34, n. 1, p. 77–96. 1989.
- SOUZA, J.R.; CARVALHO, G.A.; MOURA, A.P.; COUTO, M.H.; MAIA, J.B. Toxicity of some insecticides used in maize crop on *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera, Trichogrammatidae) immature stages. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 74, n. 2, p. 234–239. 2014.
- TAVARES, W.S.; COSTA, M.A.; CRUZ, I.; SILVEIRA, R.D.; SERRÃO, J.E.; ZANUNCIO, J.C. Selective effects of natural synthetic insecticides on mortality of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its predator *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae). **Journal of Environmental Science and Health**, v. 45, n. 6, p. 557–561. 2010.
- TERRA, W.R.; COSTA, R.H.; FERREIRA, C. Plasma membranes from insect mifgut cells. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, n. 2, p. 255–269. 2006.
- USMANI, K.A.; KNOWLES, C.O. Toxicity of pyrethroids and effect of synergists to larval and adult *Helicoverpa zea*, *Spodoptera frugiperda*, and *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 94, n. 4, p. 868–873. 2001.
- VÉLEZ, M.; BARBOSA, W.F.; QUINTERO, J.; CHEDIAK, M.; GUEDES, R.N.C. Deltamethrin and spinosad mediated survival, activity and avoidance of the grain weevils *Sitophilus granarius* and *S. zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 74, n. 1, p. 56–65. 2017.
- YANG, Y.J.; WANG, C.Y.; XU, H.X.; LU, Z.X.. Sublethal effects of four insecticides on folding and spinning behavior in the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera Pyralidae). **Pest Management Science**, v. 74, n. 1, p. 658–664. 2018.
- ZENG, R.; YU, X.; TAN, X.; YE, S.; DING, Z. Deltamethrin affects the expression of voltage-gated calcium channel $\alpha 1$ subunits and the locomotion, egg-laying, foraging behavior of *Caenorhabditis elegans*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 138, n. 1, p. 84–90. 2017.
- ZIBAEI, I.; MAHMOOD, K.; ESMAEILI, M.; BANDANI, A.R.; KRISTENSEN. Organophosphate and pyrethroid resistances in the tomato leaf mine *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) from Iran. **Journal of Applied Entomology**, v. 142, n. 1, p. 181–191. 2017