



**IGOR GUIMARÃES CARVALHO**

**INFLUÊNCIA DE SUBDOSES DE INSETICIDAS EM  
PARÂMETROS DEMOGRÁFICOS DE *Spodoptera frugiperda*  
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

**LAVRAS-MG**

**2023**

**IGOR GUIMARÃES CARVALHO**

**INFLUÊNCIA DE SUBDOSES DE INSETICIDAS EM PARÂMETROS  
DEMOGRÁFICOS DE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

Monografia apresentada ao Departamento de Entomologia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Prof. Dr. Geraldo Andrade de Carvalho  
Orientador

M.Sc. Karolina Gomes de Figueiredo  
Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2023**

*Aos meus pais Wellington Raimundo e Andreia Guimarães pelo carinho, ensinamentos, compreensão dedicados ao longo desses anos, foram fundamental para minha formação.*

*Dedico*

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora pela sabedoria, discernimento, resiliência e empatia nos momentos difíceis e pela sabedoria proporcionada ao longo do curso.

Aos meus pais Wellington e Andréia pelo apoio, por nunca medirem esforços para me proporcionar as melhores oportunidades de estudos, abdicando muitas vezes de seus sonhos e objetivos, pelo carinho, conselhos e cuidados dedicados por todo esse tempo.

Aos meus avós Lázaro e Neuza, pelo carinho, preocupação e amor dedicados ao longo de todos esses anos.

Ao meu irmão Gustavo, que mesmo em meio as nossas diferenças, sempre esteve preocupado e pronto a me ajudar no que precisava.

A todos meus familiares pelos conselhos e apoio ao longo de toda minha vida.

Aos meus amigos de Curso, especialmente Bianca Abreu, Adriano Junqueira, Isadora Guedes, Arthur Nasser, Gabriel Moretti agradeço pelo companheirismo, amizade adquirida ao longo de 5 anos que levarei para o resto da minha vida.

Ao LEMIP (Laboratório de Ecotoxicologia e Manejo Integrado de Pragas), pelos ensinamentos adquiridos, oportunidade de realização de atividade vivencial e o TCC, as amizades construídas.

Aos integrantes do LEMIP Eliane Andrade (Léia), Vanessa Exteckoetter, Mariana de Souza, Alice dos Reis, Lívia Aparecida, Ana Flávia Fernandes, Júlia Assunção, Letícia Fernandes, Alexya e Alejandro Sandria.

Ao meu orientador professor Dr. Geraldo Andrade de Carvalho pela disponibilidade de ser meu orientador, pelos ensinamentos passados dentro e fora da sala de aula, sempre disposto a ajudar.

A minha coorientadora Karolina Gomes de Figueiredo, pelo empenho, disponibilidade e sempre pronta para ajudar, em tudo que fosse preciso, desde do TCC até trabalhos de disciplinas.

Ao meu amigo Marcos Henrique, pela amizade e companheirismo de longos anos.

A UFLA (Universidade Federal de Lavras) pelo ensino gratuito de qualidade fornecido ao longo desses 5 anos de graduação.

A CNPq, FAPEMIG e CAPES pelos recursos financeiros disponibilizados para realização do experimento.

A todos que ajudaram e contribuíram para minha formação, meus sinceros agradecimentos  
Muito obrigado.

## Resumo

Muitos são os fatores que contribuem para redução da produtividade do milho, dentre eles, insetos praga como as lagartas *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). O método mais utilizado para o controle dessa praga é o químico, por meio de inseticidas sintéticos, que geralmente causam desequilíbrio biológico e seleção de populações resistentes. O objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos subletais dos inseticidas Avatar<sup>®</sup> (indoxacarbe) e Lorsban<sup>®</sup> 480 BR (clorpirifós) sobre *S. frugiperda*, na concentração letal 25, por meio da análises dos parâmetros de tabela de vida. O controle foi formado apenas por lagartas tratadas com água . O experimento foi conduzido em laboratório, em delineamento inteiramente casualizado, com 100 repetições por tratamento, sendo cada uma formada por uma lagarta de segundo instar. Para aplicação dos tratamentos, as lagartas foram pulverizadas via torre de Potter Avaliou-se a longevidade dos insetos, duração dos períodos larval e pupal e fecundidade para cálculos de parâmetros demográficos da tabela de vida. As avaliações foram feitas à cada 24 horas até a morte do último indivíduo. Constatou-se que indoxacarbe prolongou o período de oviposição dos insetos e reduziu a taxa intrínseca de crescimento ( $r$ ), taxa finita de crescimento ( $\lambda$ ) e taxa de reprodução básica ( $R_0$ ). Referente ao tempo total de desenvolvimento, os inseticidas não afetaram esse parâmetro. Os resultados obtidos demonstraram que subdoses dos inseticidas avaliados causaram efeitos diferenciados em parâmetros biológicos da praga e, por isso, estudos nesse contexto devem ser mais explorados para obtenção de informações que permitam o aprimoramento de programas de manejo integrado de *S. frugiperda*, visto que doses menores em geral, causam menor impacto sobre os parâmetros biológicos reguladores do seu crescimento populacional.

**Palavras-chave:** Efeito subletal, hormese, lagarta-do-cartucho, milho, tabela de vida.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	3
2. OBJETIVOS .....	5
2.1 OBJETIVO GERAL .....	5
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO .....	5
3. HIPÓTESES .....	6
3.1 HIPÓTESE GERAL .....	6
3.2 HIPÓTESE ESPECÍFICAS .....	6
4. REFERENCIAL TEÓRICO .....	7
4.1 CULTURA DO MILHO ( <i>Zea mays</i> ) .....	7
4.2 LAGARTA-DO-CARTUCHO DO MILHO ( <i>S. frugiperda</i> ) .....	8
4.3 MÉTODOS DE CONTROLE .....	10
4.4 CARACTERÍSTICAS DOS INSETICIDAS UTILIZADOS .....	11
4.4.1 INDOXACARBE .....	11
4.4.2 CLORPIRIFÓS .....	12
5. MATERIAL E MÉTODOS .....	13
5.1 CRIAÇÃO DE <i>S. frugiperda</i> .....	13
5.2 INSETICIDAS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO .....	14
5.3 TABELA DE VIDA DE <i>S. frugiperda</i> TRATADAS COM INSETICIDAS .....	14
5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	15
6. RESULTADOS .....	18
6.1 EFEITOS DOS INSETICIDAS SOBRE O CICLO DE VIDA DE <i>S. frugiperda</i> .....	18
6.2 TAXA DE SOBREVIVÊNCIA E EXPECTATIVA DE VIDA <i>S. frugiperda</i> .....	19
6.3 PARÂMETROS REPRODUTIVOS .....	21
6.4 PARÂMETROS POPULACIONAIS .....	23
7. DISCUSSÃO .....	24
8. CONCLUSÃO .....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	29

## 1. INTRODUÇÃO

O milho é uma cultura de ampla plasticidade e possui extrema importância econômica e cultural, estando presente desde a agricultura familiar até grandes produtores (FERREIRA et al., 2022). A estimativa de colheita na safra 2023/2024 é de 119,4 milhões de toneladas (CONAB, 2023). Devido ao seu baixo custo, existe uma ampla oferta em todas as regiões do Brasil e elevada qualidade nutricional, seja no fornecimento de energia para os monogástricos, como fonte de fibra e carboidratos para os ruminantes (SCHELER; CAVICHIOLI, 2021).

Apesar da elevada importância dessa cultura no cenário nacional e internacional, é afetada por fatores abióticos e bióticos que contribuem para perdas em produtividade. Os principais fatores abióticos limitantes sobre a produtividade do milho são a radiação solar, temperatura e pluviosidade (MALDANER et al., 2014). Com relação aos fatores bióticos, tem-se as plantas daninhas, doenças, em especial as fúngicas e pragas. Dentre várias espécies que acometem essa cultura, destaca-se a lagarta de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) (MATTOS et al., 2021).

É durante a fase de lagarta que ocasiona os danos, visto que na fase adulta possuem hábito alimentar sugador/lambedor (OVERTON et al., 2021). O dano ocasionado pela fase jovem de *S. frugiperda* na cultura do milho ocorre nas folhas, com a raspagem do tecido foliar, e em instares mais avançados ocasiona perfurações, o que leva a redução da área fotossintética e por consequência afeta a produção de fotoassimilados e concomitantemente a produção, em altas populações pode atacar as espigas, consumindo os grãos (FERREIRA et al., 2022; FONSECA, 2019).

Alguns fatores que dificultam o controle de *S. frugiperda* é o fato de ser um inseto holometábolo (ovo, lagarta, pupa e adulto), permite modificações alimentares ao longo do ciclo da praga, assim como comportamental, o que garante uma maior adaptação ao ambiente. Além disso, esses podem sobreviver na lavoura de uma safra para outra na fase de pupa. Outra característica que favorece a sobrevivência de *S. frugiperda* no campo é que, durante a fase jovem encontra dentro do cartucho do milho, o que dificulta o seu contato com o inseticida aplicado (BIALOZOR et al., 2020; KUMAR et al., 2022). Ainda nesse mesmo âmbito, durante a fase adulta, por ser uma mariposa, através do voo consegue dispersar-se a longas distâncias desde a sua emergência até o local de reprodução, o que permite grande e rápida disseminação dessa praga (GUEDES et al., 2020).

Existem fatores ambientais que diminuem a incidência de *S. frugiperda*, como baixas temperaturas e umidade. No entanto, é em temperaturas elevadas e altos índices pluviométricos que garante a maior incidência de *S. frugiperda* a campo, o que coincide com

o calendário de plantio das culturas de interesse agrícola como o milho (DA SILVA PINHEIRO et al., 2021). Diante do exposto, e por se tratar de um inseto polífago, ou seja ataca outras culturas comerciais além do milho, *S. frugiperda* pode ser caracterizada como uma praga de sistema, devido seu amplo espectro de culturas atacadas e os prejuízos causados pelos seus danos, visto que a cultura do milho esta inserida em um sistema de cultivo, com rotações de culturas entre safra e safrinha e entre safras (ABBAS et al., 2022). O método de controle químico é o mais utilizado e explorado pelos produtores, pois apresenta alta eficiência e facilidade de uso. Apesar disso, é evidente os avanços dos casos de insetos resistentes a inseticidas, devido ao uso inadequado dos princípios ativos, o uso errôneo das moléculas químicas, leva a surtos de pragas secundárias e redução da eficiência dos produtos. Portanto, para alcançar a máxima eficiência de controle de *S. frugiperda*, é de suma importância combinar os métodos de controle, como o controle físico, cultural, genético, biológico e o controle químico. (GARAVAZI et al., 2020).

Devido a severidade do ataque e a complexidade de *S. frugiperda* como principal praga na cultura do milho, deve-se avaliar os parâmetros demográficos por meio de tabelas de vida por idade e estágio de lagartas de *S. frugiperda*, o que fornece ao produtor dados sobre a eficiência dos produtos, como as populações do inseto se comportam quando submetidas a moléculas de químicos, se as populações estão se tornando resistentes aos inseticidas e a partir dessas informações elucidar as consequências de uma aplicação falha.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar os efeitos letal e subletais dos inseticidas Avatar (indoxacarbe) e Lorsban 480 BR (clorpirifós), para *S. frugiperda* por meio de tabelas de vida por idade e estágio.

### **2.2 Objetivos específicos**

Avaliar a taxa de mortalidade de *S. frugiperda* quando submetida à aplicação de subdose dos inseticidas Lorsban e Avatar.

Avaliar os parâmetros demográficos e biológicos de *S. frugiperda* submetida à aplicação de doses subletais dos inseticidas Lorsban e Avatar

### **3. HIPÓTESES**

#### **3.1 Hipótese geral**

Os inseticidas Lorsban (clorpirifós) e Avatar (indoxacarbe) aplicados em subdose diminuem os parâmetros biológicos e demográficos de *S. frugiperda*.

#### **3.2 Hipóteses específicas**

Os inseticidas Lorsban (clorpirifós) e Avatar (indoxacarbe) causam mortalidade em lagartas de segundo instar de *S. frugiperda* quando aplicados em subdose.

A aplicação dos inseticidas Lorsban (clorpirifós) e Avatar (indoxacarbe) em subdose afetam negativamente os parâmetros demográficos e biológicos de *S. frugiperda*.

## 4.REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 4.1 A cultura do milho

O milho é uma cultura que possui uma grande versatilidade de cultivo, sendo cultivada por pequenos, médios e grandes produtores, com diferentes tipos de tecnologia, fertilidade do solo, maquinário e colheita. A cultura do milho é plantada de Norte a Sul do Brasil e apresenta uma boa adaptabilidade as variações climáticas, como diferentes altitudes e latitudes, em um país com dimensões continentais (ARTUZO et al., 2019; FERREIRA et al., 2019). A estimativa de produção para a safra 23/24 de 119,4 milhões de toneladas (CONAB, 2023).

O milho constitui a principal matéria prima para composição de ração animal, especialmente para a bovinocultura de leite, como a principal fonte de carboidratos, aliado à porcentagem de fibras proveniente da massa verde da planta, como o colmo e as folhas, o que confere uma excelente digestibilidade e auxilia na ruminação (SCHELER; CAVICHIOLI, 2021). Nesse mesmo aspecto, para os monogástricos (aves e suínos), é a principal fonte de energia, responsável por 55% do consumo nacional da produção, seja pelo preço e qualidade nutricional comparado com outras fontes (PRESTES et al., 2019). Além disso, o milho também é utilizado em outros segmentos da indústria, como produção de penicilina, xarope de glucose, produtos de limpeza, etanol (combustível), entre outros produtos derivados ou de seus subprodutos (GALON et al., 2021; SILVA et al., 2020).

O centro de origem do milho é na América do Norte, especialmente no México, onde iniciou-se a domesticação e utilização desse produto na alimentação dos nativos; porém, com a chegada dos europeus e o descobrimento das Américas, o milho expandiu-se para o mundo, tanto em consumo como em plantio, o que o torna uma *commodity* de ampla importância para o agronegócio brasileiro (DA SILVA et al., 2021; DA SILVA PINHEIRO et al., 2021).

Com o avanço da tecnologia e as modificações genéticas, obtiveram-se os híbridos de milho que apresentam características como maior uniformidade, o que facilita a colheita mecânica, maior resistência ao acamamento e quebra de plantas, inserção de genes de resistência a insetos e a herbicidas, que vieram a facilitar seu cultivo. No entanto, ainda existe as cultivares crioulas que não apresentam modificação genética em seu DNA, embora apresentem menor produtividade quando comparadas aos híbridos, essas são importantes fonte de variabilidade, amplamente utilizada em melhoramento para inserir alguma característica de interesse nos híbridos. (SILVEIRA et al., 2015; DA SILVA et al., 2021).

Com a grande extensão territorial de milho, essa cultura é acometida por fatores abióticos e bióticos. Dentre os fatores abióticos que afetam a produtividade da cultura do milho, tem-se temperatura, precipitação e fotoperíodo. No entanto, a exposição à radiação solar é a que mais interfere na produtividade, visto que esta contribui para 78,5% da produção, pois para ocorrer a transformação do CO<sub>2</sub> absorvido pela planta, em fotoassimilados é necessário a presença de luz. Portanto plantas com folhas mais eretas apresentam maior rendimento, visto que ocorre maior incidência de radiação solar em comparação com plantas de folhas arqueadas. A exigência da cultura em precipitação varia de 350 a 500 mm de água por ciclo ou safra (DA SILVA PINHEIRO et al., 2021; MALDANER et al., 2015).

Com relação aos fatores bióticos que acometem a cultura do milho, destacam-se as plantas daninhas, doenças e pragas. Referente às pragas, de modo geral, causam redução na produtividade que pode chegar até 80%, quando não são controladas (FERREIRA et al., 2019; MATTOS et al., 2021). Como uma das principais pragas a lagarta-do-cartucho *S. frugiperda*, praga polífaga com distribuição populacional em território nacional e mundial com elevado potencial de causar danos (WOJAHN et al., 2023; MAKGOBA et al., 2021).

#### **4.2 Lagarta-do-cartucho do milho (*S.frugiperda*)**

A *S. frugiperda* é um inseto pertencente a ordem Lepidoptera, família Noctuidae e gênero *Spodoptera*. Apresenta como centro de origem a América do Norte e Central e atualmente encontra-se em 109 países (DA SILVA ARAÚJO et al., 2019). Os danos ocasionados por ela no milho, ocorrem por meio de raspagem das folhas, que ocasiona redução da área de captação da radiação solar e,consequentemente, diminuição da capacidade fotossintética, o que pode levar a uma redução na produção de 15 a 40%. (DE MELO et al., 2011; ABBAS et al., 2022)

As folhas novas de milho ficam enroladas, em forma de funil e nesse local é onde as lagartas se alimentam e raspam as folhas novas, por esse motivo a *S.frugiperda* é popularmente conhecida como lagarta-do-cartucho. Quando essas folhas se expandem pode-se observar os danos da raspagem no limbo foliar. Além disso, quando estão dentro do verticilo as lagartas liberam excrementos resultante de sua alimentação que dificultam a penetração de inseticidas aplicados para seu controle (BIALOZOR et al., 2020).

A lagarta-do-cartucho é um inseto holometábolo (ovo, lagarta, pupa, adulto) possui seis instares larvais, sendo que a partir da evolução de cada instar ocorre o aumento da

capsula cefálica em 0,35; 0,45; 0,75; 1,3; 2,0 e 2,6 mm no último instar (HIGO; SASAKI; AMANO, 2022). Na fase de pupa, ocorre a interrupção da alimentação e entrando em diapausa, para ocorrer a metamorfose e emergir a mariposa (FONSECA, 2019; KUMAR et al., 2022). A lagarta, apresenta o hábito mastigador, enquanto os adultos (mariposas) são sugadores/ lambedores, alimenta-se de néctar. Portanto os danos ocorrem na fase de lagarta, que variam com o passar dos instares, sendo que quanto mais avançado o instar maior a severidade de danos. Em alta população, atacam a planta e ocasionam danos na ponta da espiga semelhante a *Helicoverpa. zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae); (OVERTON et al., 2021).

A identificação da lagarta-do-cartucho no campo, ocorre por meio de marcas características, como a presença de um Y invertido na cabeça e no último seguimento abdominal encontra-se quatro pontos que forma um quadrado, além de apresentar três listras longitudinais de coloração mais clara no dorso (JALDIN, 2023; KENIS et al., 2022). O adulto é uma mariposa, e o sexo pode ser identificado pela coloração das asas, em que o macho possui asas mais coloridas com uma mancha branca na ponta e no centro da asa anterior, enquanto que a fêmea, apresenta asas de coloração cinza escuro e possui o abdômen mais pronunciado em comparação com o macho (KENIS et al., 2022; SILVA, 2019).

Na fase adulta as fêmeas acasalam com mais de um macho, sendo que a maior porcentagem de oviposição ocorre nos primeiros cinco dias de deposição dos ovos. O ciclo de vida na fase adulta pode variar entre duas a três semanas; no entanto, o período de tempo de cada estágio é variável, pois a temperatura, disponibilidade e tipo de alimento e os predadores, podem influenciar no desenvolvimento do ciclo da *S. frugiperda*. Em condições ideais de temperatura 28°C e 65% de umidade relativa do ar, o ciclo ocorre em cerca de 30 dias de ovo até adulto (ABBAS et al., 2022; KENIS et al., 2022).

Os ovos possuem entre 0,3 a 0,4 mm de diâmetro e são depositados na parte adaxial das folhas, preferencialmente à noite, no terço médio e inferior da planta. A postura é feita em camadas recobertas com escamas, que sobrepõe uma à outra, sendo o mais comum duas camadas. Uma fêmea coloca entre 1500 a 2000 ovos por postura, porém esse número é variável de acordo com as condições ambientais que a praga se encontra. Em temperaturas em torno de 25°C, período de incubação é de aproximadamente três dias. Em temperaturas abaixo de 7°C, as lagartas param de se locomover (ABBAS et al., 2022; GUEDES et al., 2020; KUMAR et al., 2022).

A pupação de *S. frugiperda* geralmente ocorre no solo, a pupa apresenta coloração marrom-avermelhada, medindo por volta de 14 a 18 mm de comprimento e 4,5 mm de

largura e duração de oito a nove dias com temperatura ao redor de 30°C (MARRI et al., 2023; KALYAN et al., 2020). As condições climáticas influenciam amplamente a densidade demográfica e sobrevivência de *S. frugiperda*, principalmente com relação a exposição a baixas temperaturas e precipitações. Os maiores picos populacionais desta praga são encontrados em períodos chuvosos e em menores altitudes (KENIS et al., 2022), o que coincide com a época de plantio do milho.

Por ser uma praga com uma ampla gama de hospedeiros, ataca várias espécies pertencentes a 42 famílias. Plantas das famílias das Poaceae, Fabaceae, Solanaceae, Asteraceae, Rosaceae, Brassicaceae e Cyperaceae são as mais atacadas; assim, *S. frugiperda* passa a ser uma praga de sistema, ou seja, se não controlada no milho deixará de ser uma praga secundária em outras culturas, visto que sua população estará elevada no decorrer do cultivo agrícola (ABBAS et al., 2022). Visto o exposto e a dificuldade de manejo de *S. frugiperda*, é necessário adotar mais de um método de controle para obtenção de sucesso na regulação populacional desta praga em agroecossistemas.

#### **4.3 Métodos de controle de *S. frugiperda***

A utilização do manejo integrado de pragas (MIP), tem sido a melhor opção para o controle de *S. frugiperda*, por meio de métodos genéticos, biológicos e químicos, com o intuito de manter os níveis populacionais da praga abaixo do nível de dano econômico (GARAVAZI; PATRONI; DE CARVALHO BALIEIRO, 2020). Para maximizar o controle é fundamental a amostragem e a partir dos dados coletados verifica se foi atingido ou não o nível de controle. Nesse sentido a agricultura de precisão destaca-se como uma forma de monitorar a presença da praga, distribuição e intensidade de insetos nas áreas de produção, de formas rápida e precisa, o que facilita a amostragem e assertividade dos pontos mais atacados (RESENDE et al., 2020). Nesse mesmo aspecto, outro método de amostragem é por meio de feromônios sexuais que são colocados em armadilhas, os insetos são atraídos, contabilizados e é determinado se foi atingido o nível de controle; além disso, em áreas pequenas pode ser utilizado como um método controle (DE MELLO et al., 2011; VIANA et al., 2021).

Por outro âmbito, tem-se a manipulação genética na planta, conhecido como milho *Bt* com as proteínas Cry e Vip, que são genes (DNA) retirados da bactéria *Bacillus thuringiensis*. Cry ou Vip é introduzido por engenharia genética em planta de milho; assim ao se alimentarem das folhas contendo bactéria, a lagarta morre por septicemia. Essas proteínas ao atingirem o intestino (mesêntero), são ativadas em pH alcalino e transformadas em

endotoxinas, as quais ocasionam rupturas no trato digestivo do inseto (DE ARAÚJO et al., 2011; KNAAK et al., 2020). Devido ao uso indiscriminado desta tecnologia, sem a utilização de áreas de refúgio, tem ocorrido a seleção de populações resistentes da praga, que podem prejudicar ou mesmo tornar esta tecnologia ineficiente. (CORASSA et al., 2020; RESENDE et al., 2020).

Outro método utilizado é o controle biológico que procura preservar e utilizar os inimigos naturais, além de reduzir o uso de inseticidas. Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas em laboratórios a fim de se descobrir mais ferramentas de controle como o uso de vírus, bactérias, fungos, predadores e parasitoides. Como exemplo de parasitoide, *Trichogramma* spp. se destaca por ser uma microvespa que parasita os ovos de *S. frugiperda* e a partir desses geram mais descendentes do parasitoide (MARTINAZZO et al., 2007). Outra ferramenta importante são os baculovírus VPN (vírus de polimerase nuclear) que ocasiona uma infecção interna, interrupção na alimentação do inseto, geotropismo negativo e levando o inseto a morte (YOKOTA et al., 2021).

O controle químico é a ferramenta mais utilizada pelos produtores, sendo que as aplicações são feitas através do tratamento de sementes ou por pulverizações foliares (GARVAZI; PATRONI; DE CARVALHO BALIEIRO, 2020). Entretanto, devido à pressão de seleção, com a aplicação sempre do mesmo mecanismo de ação, tem-se induzido a seleção de populações resistentes. Uma das formas de solucionar esse problema é rotacionar mecanismos de ação, entre as aplicações, visto que um indivíduo que é resistente a uma molécula pode ser suscetível a outra e além disso, alternar medidas de controle também é uma alternativa viável (KHAN et al., 2020; MEINKE et al., 2021).

#### **4.4 Características de inseticidas utilizados**

##### **4.4.1 Avatar (indoxacarbe)**

Pertencente ao grupo químico das oxadiazinas, ingrediente ativo indoxacarbe, apresenta amplo espectro de ação e atua no sistema nervoso dos insetos, bloqueando os canais de sódio e interrompendo a passagem do impulso nervoso, o que causa a morte da lagarta por hipoeexcitação (paralisia) (STEFANELII; GARCIA; FORTI, 2020; REDA et al., 2019, MARDONZHONOVNA et al., 2022). Está na formulação concentrado emulsionável (EC)(DA SILVA OLIVEIRA et al., 2021). Quanto às características físico-químicas, apresenta log de Kow = 4,65, pressão de vapor menor que  $1,9 \times 10^{-10}$  mmHg a 25°C, baixa

solubilidade em água 0,2 mg/L a 20°C, ponto de fusão 88,1°C, massa molecular 527,8 g/mol e densidade de 1,44 g/cu a 20°C (PUBCHEM, 2023).

#### **4.4.2 Lorsban (clorpirifós)**

Pertencente ao grupo químico dos organofosforados, o ingrediente ativo clorpirifós atua no sistema nervoso dos insetos como antagonista da acetilcolinesterase, ou seja inibe a atuação da enzima, o que ocasiona impulsos sucessivos e o inseto morre por hiperexcitação (SCHWANTES et al., 2020; TORRES; POZO; DÍAZ, 2021, RUIZ DE ARCAUTE et al., 2012). A absorção deste composto pode ocorrer por via dérmica, respiratória ou ingestão, produto não tem ação sistêmica (RATHOD; GARG, 2017). A formulação deste produto é concentrado emulsionável (EC) (EL-NAHHAL; WHEIDI; EL- KURDI, 2016, MOORE et al., 2014). Quanto às características físico-químicas, tem-se Log de Kow = 4,96, solubilidade em água 1,4 mg/L at 25°C, massa molar 350,6g/mol, pressão de vapor  $2,02 \times 10^{-5}$  at 25° C, densidade  $1,4 \text{ g.cm}^{-3}$  e ponto de fusão de 42°C (PUBCHEM, 2023).

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Ecotoxicologia e Manejo Integrado de Pragas (LEMIP) do Departamento de Entomologia da Universidade Federal de Lavras, no período de novembro de 2022 a fevereiro de 2023. Todos os bioensaios foram conduzidos em ambiente climatizado à temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , umidade relativa de  $70 \pm 10\%$  e fotofase de 12 horas.

### 5.1 Criação de *S. frugiperda*

Para a execução dos experimentos foram utilizadas lagartas de *S. frugiperda* com 72 horas (segundo instar) alimentadas em dieta artificial e provenientes da segunda postura da criação mantida no laboratório. A dieta artificial foi constituída de ácido sórbico (1,65 g); ácido ascórbico (5,10 g); 4-hidroxibenzoato de metila (3,15 g); feijão Carioca (166,66 g); gérmen de trigo (79,20 g); levedo de cerveja (50,70 g); ágar (27,0 g); formaldeído (4,15 mL); solução inibidora de crescimento microbiano (4,15 mL) preparada a partir de ácido propanoico (18,0 mL), ácido fosfórico (43,0 mL) e água (540,0 mL) (GREENE; LEPPLA; DICKERSON, 1976 )

As etapas para composição da dieta foram levar o feijão ao fogo, para o cozimento em uma panela de pressão, com a adição de 1,5 litro de água, levando em média uma hora para o cozimento, posteriormente o feijão cozido com 750 mL de caldo proveniente do seu cozimento, e os demais ingredientes, (exceto o ágar) foram colocados no multiprocessador, produzindo um líquido ralo e, em seguida o líquido foi levado para uma panela juntamente com o ágar dissolvido em 750 mL de água destilada, por 30 minutos até que ocorresse um engrossamento do caldo. Ao final dessas etapas, este foi transferido para um tabuleiro de (27cm x 38cm x 6cm), ocorrendo o resfriamento e solidificação em temperatura ambiente ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Os adultos acondicionados em gaiolas de PVC de 25 cm de altura e 20 cm de diâmetro recobertos com papel sulfite para oviposição das fêmeas. Os adultos foram alimentados com solução aquosa de mel a 5%. Após 5 dias, os ovos foram recolhidos e passados para placas de Petri contendo um pedaço de dieta, a fim de servir como fonte de alimentação para as lagartas que eclodiram. As lagartas foram separadas em potes de plástico de 100 mL com um pedaço de dieta até a fase de pupa. As pupas foram colocadas em placas de Petri dentro de gaiolas de PVC recobertas internamente com papel sulfite que serviu de substrato para oviposição até que os adultos emergissem (PANIZZI; PARRA, 2009).

## 5.2 Inseticidas utilizados no experimento

Foram avaliados dois inseticidas registrados para a cultura do milho, um com alta e outro com média taxa de mortalidade para *S. frugiperda* apresentados na Tabela 1, com seus respectivos nomes comerciais e técnicos, grupos químicos, dosagens e fabricantes. Como tratamento controle foi utilizada água destilada.

**Tabela 1.** Nome comercial, ingrediente ativo, grupo químico, dose recomendada pelo fabricante e dose avaliada dos inseticidas nos bioensaios com *Spodoptera frugiperda*

Nome comercial	Ingrediente ativo	Grupo químico	Dose do inseticida (mL/ha)	Dose aplicada CL <sub>25</sub>	Fabricante
Avatar <sup>®</sup>	Indoxacarbe	Oxidiazina	150 a 180	0,67 mL/L	Corteva
Lorsban <sup>®</sup> 480 BR	Clorpirifós	Organofosforado	400 a 600	1,5 mL/L	FMC

## 5.3 Tabela de vida *S. frugiperda* tratadas com os inseticidas.

O experimento foi conduzido em laboratório, em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três tratamentos (2 inseticidas e a água como controle), e com 100 repetições sendo cada repetição composta por uma lagarta de segundo instar. A primeira aplicação em dose total e a segunda em ¼ da dose máxima de campo indicada pelo fabricante. Cada tratamento foi constituído pela diluição em água destilada dos inseticidas, na concentração de dose letal de 25, sendo o Lorsban (clorpirifós) a 0,66 mL/L e, Avatar (indoxacarbe) a 1,5 mL/L, pulverizado em torre de Potter ajustada para a aplicação de  $1,5 \pm 0,5$  mg de calda química.cm<sup>-2</sup> a uma pressão de 15 lb.pol<sup>-2</sup>, de acordo com a metodologia estabelecida pela International Organisation for Biological Control (IOBC). Após a aplicação dos tratamentos, as lagartas foram acondicionadas individualmente em tubos de vidro (8 cm x 1,5 cm), contendo uma fração de dieta artificial e vedado com um chumaço de algodão.

Para a determinação do tempo gasto para desenvolvimento larval e pupal, foi observada diariamente a mudança de instar, por meio do tamanho da lagarta ou visualização das cápsulas cefálicas descartadas, cada instar foi descrito pela sigla L1 (lagarta de primeiro instar), até atingir o L5 (lagarta de 5 instar). Foram avaliados o número e duração dos instares, sobrevivência larval e pupal e tempo total de desenvolvimento larval e pupal dos insetos, após a aplicação dos inseticidas. Para avaliar os efeitos subletais dos inseticidas sobre adultos

provenientes das lagartas tratadas, foi realizado a sexagem no estado de pupa e posteriormente foram separados 13 casais provenientes da aplicação do Avatar, 11 casais do Lorsbane 37 casais da água, para serem avaliados quanto à sua reprodução e longevidade.

Desta forma, cada casal foi mantido em pote de plástico (12 cm x 10 cm), coberto com tecido *voile* para evitar a fuga dos insetos e possibilitar trocas gasosas. Cada pote continha em seu interior um pedaço de algodão umedecido com uma solução de mel e água na proporção de 1:1, como fonte de alimentação para os adultos. O pote plástico foi revestido internamente com papel sulfite, que serviu como substrato para oviposição. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com três tratamentos, cada tratamento com 100 repetições, cada repetição formada por uma lagarta, sendo um tratamento controle e dois para testar o efeito de subdoses de inseticidas em parâmetros demográficos de *S. frugiperda*, sendo que em cada pote continha um casal. Foram avaliados o período de sobrevivência, a longevidade de machos e fêmeas, a oviposição e o número de ovos ovipositados por fêmea diariamente e proporção de machos e fêmeas para cálculo da razão sexual da prole. Os dados obtidos foram utilizados para confecção de uma tabela de vida, referente à história de vida dos insetos tratados com os inseticidas e posteriormente submetidos à análise de dados.

#### 5.4 Análise estatística

A análise dos dados referentes ao ciclo de vida da *S. frugiperda*, submetida aos três tratamentos, foi processada por meio do programa TWSEX-MSCHART (CHI, 2020) com base na teoria de tabela de vida para dois sexos por idade e estágio de desenvolvimento (Age-stage, Two-sex, life table) (CHI E LIU, 1985; CHI, 1988).

Os parâmetros biológicos levados em consideração e suas respectivas fórmulas foram:

- Taxa de sobrevivência por idade-estágio específico ( $S_{xy}$ ) = Probabilidade de que um indivíduo recém-nascido sobreviva à idade  $x$  e estágio  $j$ .

$$S_{xy} = \frac{\text{Número de indivíduos na idade } x \text{ e estágio } j}{\text{Número total de indivíduos}}$$

- Taxa de sobrevivência por idade específica ( $l_x$ ) = Proporção de indivíduos da população inicial que sobrevive à idade  $x$ .

$$l_x = \frac{\text{Número de indivíduos vivos na idade } x}{\text{Número total de indivíduos}}$$

- Expectativa de vida por idade-estágio de desenvolvimento ( $e_{xj}$ ) = Tempo estimado em que um indivíduo possa viver à idade  $x$  e estágio  $j$ .

$$e_{xt} = \frac{T_x}{S_{xj}} \quad T_x = \frac{(s_{xj} + s_{x+1j})}{2}$$

- Fecundidade por idade ( $m_x$ ) = Número médio de ovos produzidos por indivíduo na idade  $x$ . No caso foi realizada a contabilização dos ovos como uma estimativa da fecundidade.

$$m_x = \frac{\text{Número de ovos no dia } x}{\text{Número total de indivíduos no dia } x}$$

- Fecundidade por idade-estágio de desenvolvimento ( $f_{xj}$ ) = Refere-se à fecundidade média dos indivíduos de idade  $x$  e estágio  $j$ .

$$f_{xj} = \frac{\text{Número de ovos no dia } x}{\text{Número total de fêmeas vivas no dia } x}$$

- Distribuição da mortalidade por idade-estágio de desenvolvimento ( $p_{xj}$ ) = Probabilidade de que um indivíduo morra à idade  $x$  e estágio  $j$ .

$$p_{xj} = \frac{\text{Número de indivíduos mortos na idade } x \text{ e estágio } j}{\text{Número total de indivíduos}}$$

- Maternidade por idade ( $l_x m_x$ ) = Número de descendentes esperados por indivíduo na idade  $x$ , levando-se em conta a probabilidade que chegue vivo a tal idade.

$$l_x m_x = l_x \times m_x$$

- Valor reprodutivo por idade-estágio de desenvolvimento ( $v_{xj}$ ) = Contribuição de um indivíduo na idade  $x$  estágio para a população futura (descendência).

$$\frac{V_x}{V_0} = \frac{e^{r \cdot x}}{l_x} \cdot \sum_{y=x}^{y(max)} e^{-r \cdot y} \cdot l_x \cdot m_x$$

- Taxa reprodutiva básica ( $R_0$ ) = Refere-se ao número médio de descendentes de um indivíduo durante toda sua vida. A população tende a crescer quando  $R_0 > 1$ , decrescer quando ( $R_0 < 1$ ) ou se mantém quando  $R_0 = 1$ .

$$R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_{(x)} m_{(x)}$$

- Taxa intrínseca de crescimento ( $r$ ) = Se refere à capacidade da população de aumentar em número de indivíduos. A população tende a crescer quando  $r > 0$ , decrescer quando  $r < 0$  ou se mantém estável quando  $r = 0$

$$r = \frac{\ln R_0}{T}$$

- Taxa finita de crescimento ( $\lambda$ ) = Descendência média de um indivíduo por unidade de tempo. Fator pelo qual uma população aumenta por unidade  $x$  de tempo. A população tende a: crescer quando  $\lambda > 0$ , decrescer quando  $\lambda < 0$  ou se mantém estável quando  $\lambda = 0$

$$\lambda = e^r$$

- Tempo médio da geração ( $T$ ) = Duração média de uma geração. Tempo decorrido entre o nascimento dos progenitores e seus descendentes.

$$T = \frac{\ln R_0}{r}$$

As médias e os erros padrões dos parâmetros reprodutivos foram estimados utilizando-se o método de Bootstrap, com 100.000 reamostragens (EFRON; TIBSHIRANI, 1993, HESTERBERG, 2008; HUANG; CHI, 2011; YU et al., 2013; AKKÖPRÜ et al., 2015). As diferenças dos parâmetros dos tratamentos foram analisadas por meio do teste de Bootstrap pareado, baseado no intervalo de confiança (CROWLEY, 1992; HESTERBERG et al., 2005; SMUCKER et al., 2007) pelo programa TWOSEX MSChart para Windows (CHI, 2020).

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Efeitos dos inseticidas no ciclo de vida de *S. frugiperda*

Durante os estágios de ovo, L1, L3 e L5, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Entretanto, com relação ao estágio L2, o maior tempo de desenvolvimento foi observado para as lagartas tratadas com o inseticida Avatar, que foi duas vezes maior que o tempo de desenvolvimento dos insetos do tratamento contendo o inseticida Lorsban. Quanto as lagartas do tratamento que foi aplicado subdoses do inseticida Lorsban apresentaram menor tempo de duração do estágio de 2 instar, em ordem crescente de duração das lagartas no estágio de 2 instar foi Lorsban, Água e Avatar. No estágio L4, as lagartas tratadas com o inseticida Lorsban apresentaram maior tempo de desenvolvimento quando comparado com os insetos tratados pelo inseticida Avatar e com água (controle), que não diferiram entre si (Tabela 2).

Na fase de pupa e ovo-pupa, os insetos do tratamento com os inseticidas não diferiram entre si, entretanto apresentaram maior período de desenvolvimento em relação ao controle. Referente à longevidade de adultos e ciclo de vida total de machos e fêmeas, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 2).

**Tabela 2.** Efeitos dos inseticidas no desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda*

Parâmetros	Estágio	Água		Lorsban		Avatar	
		N	Média ± SE	N	Média ± SE	N	Média ± SE
<b>Tempo de desenvolvimento (dias)</b>	Ovo	100	3,00 ± 0 a	100	3,00 ± 0 a	100	3,00 ± 0 a
	L1	100	2,00 ± 0 a	100	2,00 ± 0 a	100	2,00 ± 0 a
	L2	99	3,11 ± 0,07 b	43	2,74 ± 0,09 c	55	4,15 ± 0,21 a
	L3	97	4,53 ± 0,12 a	37	4,65 ± 0,2 a	50	4,48 ± 0,16 a
	L4	96	3,54 ± 0,12 b	35	4,14 ± 0,25 a	50	3,26 ± 0,11 b
	L5	89	3,63 ± 0,08 a	32	3,47 ± 0,16 a	39	3,77 ± 0,15 a
	Pupa	77	11,9 ± 0,12 b	27	12,78 ± 0,19 a	35	12,51 ± 0,45 a
	Ovo - Pupa	77	31,65 ± 0,22 b	27	32,52 ± 0,24 a	35	32,97 ± 0,24 a
<b>Longevidade (dias)</b>	Adulto	77	11,1 ± 0,52 a	27	9,37 ± 0,79 a	35	9,49 ± 0,94 a
<b>Ciclo de vida*</b>	Fêmea	36	43,78 ± 0,73 a	12	41,9 ± 1,25 a	13	42,38 ± 1,4 a
	Macho	41	41,85 ± 0,68 a	15	41,87 ± 1,03 a	22	42,5 ± 1,15 a
	Ovo - Adulto	77	42,75 ± 0,5 a	27	41,89 ± 0,78 a	35	42,46 ± 0,88 a

Médias na mesma linha seguidas por letras diferentes diferem-se entre si ( $p < 0,05$ ). As diferenças entre os tratamentos foram obtidas por meio do teste Bootstrap pareado com 100.000 réplicas.

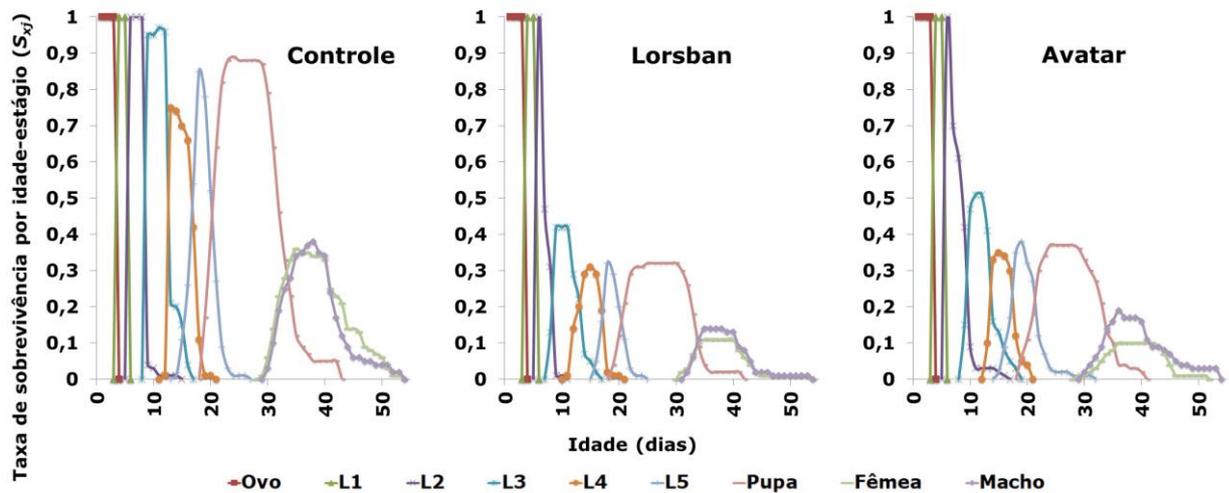
N = número de espécimes em cada fase de desenvolvimento.

L1 = lagarta de 1º instar, L2 = lagarta de 2º instar, L3 = lagarta de 3º instar, L4 = lagarta de 4º instar, L5 = lagarta de 5º instar.

\*Média da história de vida total para machos e fêmeas, em dias, apenas dos insetos que se tornaram adultos.

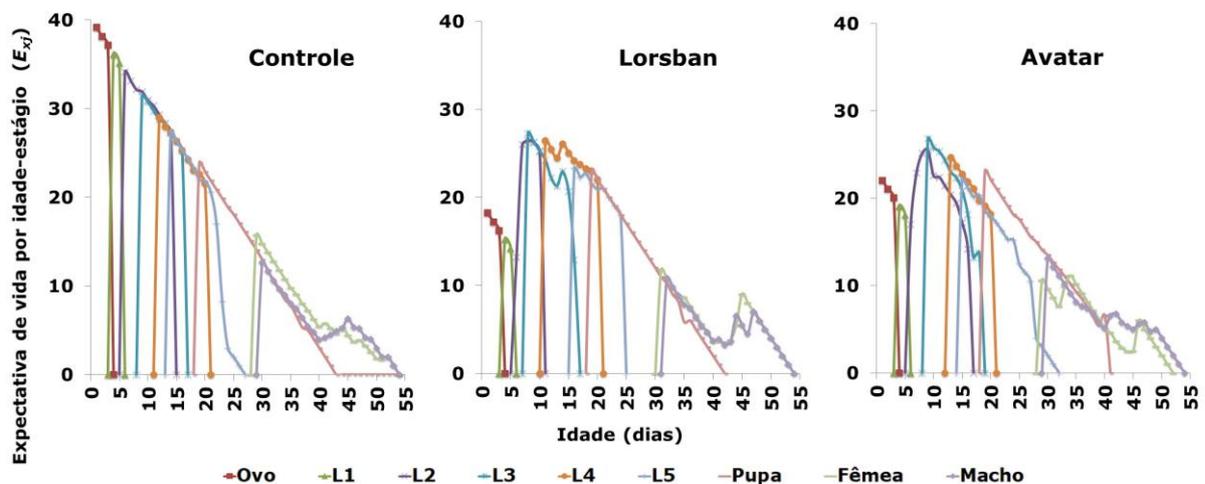
## 6.2 Taxa de sobrevivência e expectativa de vida de *S. frugiperda*

O estágio de ovo e de lagartas de primeiro e segundo instares não tiveram redução da população, visto que não foi realizado nenhuma aplicação dos produtos. Entretanto, a partir do estágio L3 ao estágio de pupa, no tratamento controle, houve uma redução da população. Porém quando comparado os insetos do tratamento controle com os insetos dos tratamentos com inseticidas, a taxa de sobrevivência é bem elevada dos insetos do tratamento controle. Em ambos os tratamentos que foram utilizados os inseticidas Avatar (Indoxacarbe) e Lorsban (Clorpirifos), foi observada redução abrupta na taxa de sobrevivência e uma redução no tempo de vida das fêmeas, já no tratamento contendo lagartas tratadas com o inseticida Avatar foi observado também uma redução do número de machos (Figura 1).



**Figura 1.** Taxa de sobrevivência por idade-estágio específico ( $S_{xj}$ ) de *Spodoptera frugiperda* no tratamento controle (Água), Lorsban e Avatar.

Para os insetos do tratamento controle, a maior expectativa de vida por idade-estágio ( $E_{xj}$ ), foi obtida no estágio de ovo, em torno de 40 dias. No tratamento com os inseticidas Lorsban e Avatar, as expectativas de vida na fase de ovo foram de 18 e 22 dias. No entanto a maior expectativa de vida dos insetos em ambos os tratamentos com inseticidas foi no estágio L3, sendo de 27 dias para o Lorsban e de 26 dias para o Avatar. No estágio de pupa, ambos inseticidas causaram o mesmo tempo de expectativa de vida, de 23 dias. Quanto aos machos, as expectativas de vida foram de 10,83; 12,64; 13,13; para Lorsban, Controle e Avatar, respectivamente. Quanto às fêmeas, a expectativa de vida foi de 11 dias com os inseticidas e no tratamento controle foi de 15,77 dias (Figura 2).

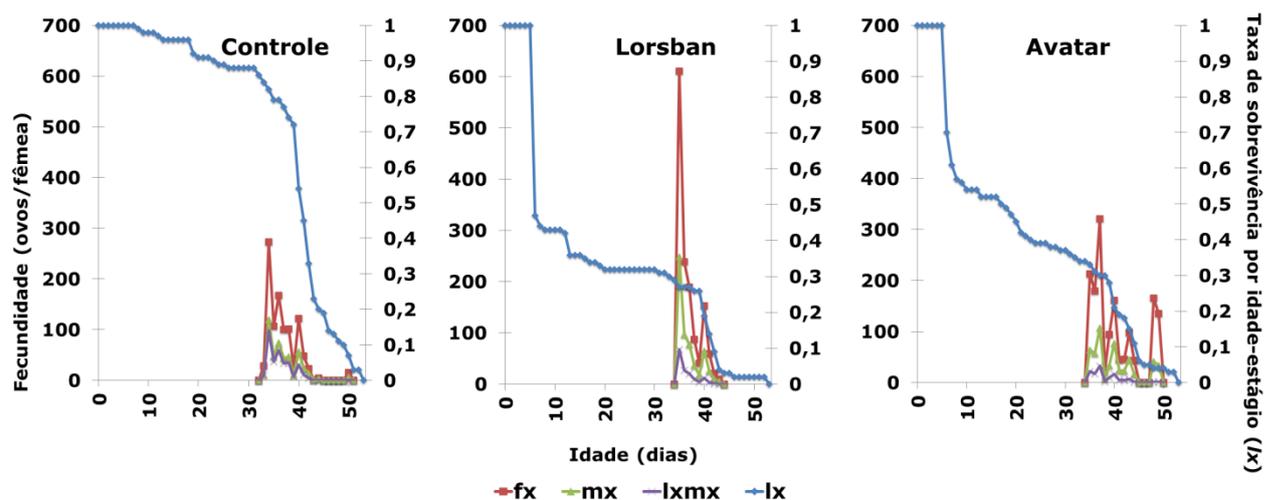


**Figura 2.** Expectativa de vida por idade-estágio ( $E_{xj}$ ) de *Spodoptera frugiperda*, nos tratamentos controle (água), Lorsban e Avatar.

### 6.3 Parâmetros reprodutivos

O parâmetro  $l_x$  é uma forma simplificada do  $S_{xj}$ , que diz respeito a taxa de sobrevivência por idade estágio-específico. Observou-se que o parâmetro  $l_x$  da curva de tratamento para Lorsban diminuiu mais em relação aos demais tratamentos durante o período de avaliação (Figura 3).

Quanto ao parâmetro ( $f_x$ ), foi possível mensurar que quando iniciou o período de oviposição, o pico e o final da oviposição, além do número médio diário de ovos por fêmea (O/F). Os tratamentos com inseticidas promoveram um crescimento ascendente até atingir o pico de oviposição, após esse pico a curva entra em um crescimento descendente, entretanto, em todos os três tratamentos foi observada uma ligeira ascensão após o pico. No tratamento com os inseticidas Avatar e Lorsban, foi observado o pico no 35º dia com 320 e 610 ovos/fêmea e no controle, o pico foi observado no 34º dia com 272 ovos/fêmea (Figura 3).



**Figura 3.** Taxa de sobrevivência por idade-estágio específico ( $l_x$ ), fecundidade por idade estágio específico ( $f_x$ ), fecundidade por idade específica ( $m_x$ ) e maternidade por idade específica ( $l_x m_x$ ) *Spodoptera frugiperda* nos tratamentos controle (água), Lorsban e Avatar.

As fêmeas provenientes de lagartas tratadas com subdoses do inseticida Avatar apresentaram maior tempo de oviposição em dias, quando comparadas com as fêmeas do tratamento com Lorsban e do tratamento controle que não tiveram diferença significativa entre si, e apresentaram menor período de oviposição com relação as fêmeas tratadas com subdoses do inseticida Avatar. Quanto à fecundidade total, fecundidade efetiva, período de pré-oviposição do adulto (PPOA) e período de pré-oviposição total (PPOT), não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Além disso, mesmo em menor número, as

fêmeas dos tratamentos com ambos inseticidas não apresentaram diferenças significativas nos parâmetros fecundidade total e efetiva quando comparadas com as fêmeas do tratamento controle (Tabela 3).

**Tabela 3.** Parâmetros reprodutivos de *Spodoptera frugiperda* em diferentes tratamentos com inseticidas. Máxima fecundidade diária (MFD), máxima fecundidade total (MFT), período de pré-oviposição do adulto (PPOA) e período de pré-oviposição total (PPOT).

Parâmetros	Água		Lorsban		Avatar	
	N	Média ± SE	N	Média ± SE	N	Média ± SE
<b>Fecundidade total</b>	36	910 ± 140 a	12	1208 ± 279 a	13	916,7 ± 233,7 a
<b>Fecundidade efetiva</b>	30*	1092 ± 147 a	10*	1450 ± 274 a	9*	1324 ± 225,7 a
<b>Oviposição (dias)</b>	30*	3,1 ± 0,32 b	10*	3,7 ± 0,3 ab	9*	4,44 ± 0,47 a
<b>PPOA (dias)</b>	30*	5,6 ± 0,79 a	10*	4,3 ± 0,6 a	9*	4,22 ± 0,83 a
<b>PPOT (dias)</b>	30*	36,73 ± 0,65 a	10*	36,2 ± 0,53 a	9*	37 ± 0,71 a
<b>MFD (O/F)</b>	-	2770	-	1932	-	1464
<b>MFT (O/F)</b>	-	2981	-	2584	-	2333

\*Total de fêmeas que ovipositaram.

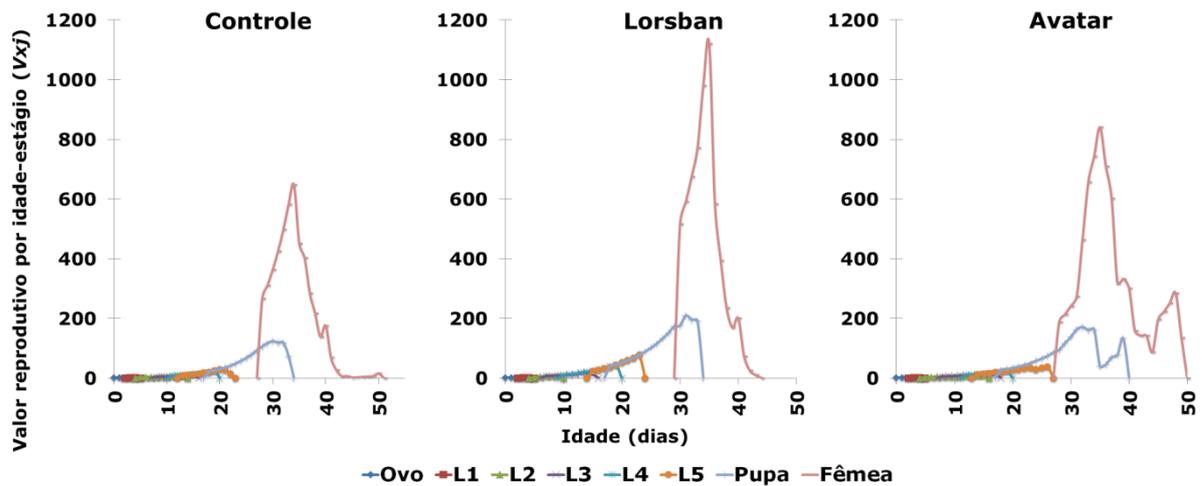
Médias na mesma linha seguida por letras diferentes são significativamente diferentes com  $p < 0,05$ .

As diferenças entre os tratamentos foram obtidas por meio do teste Bootstrap pareado com 100.000 réplicas.

O/F = ovos por fêmea

N = número de espécimes para cada parâmetro.

O período de postura das mariposas para todos os tratamentos se iniciou por volta do 28° dia com 516, 265 e 188 ovos para Lorsban, controle e Avatar, respectivamente e se encerrou próxima por volta do 50° dia com 16 e 135 para controle e Avartar, com exceção do tratamento com Losban que encerrou no 43° dia com 10 ovos. O pico de ovos foi no 35° para insetos tratados com os inseticidas, ambos apresentaram um pico com maior número de ovos em detrimento do grupo controle. Sendo, 1120 ovos, 840 ovos e 641 ovos para Lorsban, Avatar e controle, respectivamente (Figura 4).



**Figura 4.** Valor reprodutivo por idade-estágio ( $v_{xj}$ ) de *Spodoptera frugiperda* no tratamento controle (água), Lorsban e Avatar.

#### 6.4 Parâmetros populacionais

Quanto aos parâmetros populacionais analisados, taxa intrínseca de crescimento ( $r$ ), taxa finita de crescimento ( $\lambda$ ) e taxa de reprodução básica ( $R_0$ ), os insetos do tratamento com inseticidas apresentaram menor valor em relação aos insetos do tratamentos controle, entretanto os dois inseticidas foram semelhantes. A duração média da geração ( $T$ ) não foi afetada quando utilizou os inseticidas (Tabela 4).

**Tabela 4.** Parâmetros populacionais de *Spodoptera frugiperda* em diferentes tratamentos com inseticidas

Parâmetros demográficos	Água	Lorsban	Avatar
	Média $\pm$ SE	Média $\pm$ SE	Média $\pm$ SE
Taxa intrínseca de crescimento ( $r$ )	0,16 $\pm$ 0,006 a	0,13 $\pm$ 0,01 b	0,12 $\pm$ 0,01 b
Taxa finita de crescimento ( $\lambda$ )	1,17 $\pm$ 0,007 a	1,14 $\pm$ 0,012 b	1,13 $\pm$ 0,01 b
Taxa de reprodução básica ( $R_0$ )	327,61 $\pm$ 66,18 a	145 $\pm$ 50,64 b	119,17 $\pm$ 42,45 b
Tempo médio de geração ( $T$ )	36,87 $\pm$ 0,36 a	37,21 $\pm$ 0,38 a	38,67 $\pm$ 0,77 a

Médias na mesma linha seguidas por letras diferentes são significativamente diferentes com  $p < 0,05$ .

As diferenças entre os tratamentos foram obtidas por meio do teste Bootstrap pareado com 100.000 réplicas.

## 7. DISCUSSÃO

O controle químico é amplamente utilizado nas lavouras, com destaque para os grupos químicos que atuam no sistema nervoso do inseto, tal como piretróides, organofosforado e carbamatos. Sendo assim, a utilização de tabelas de vida é fundamental para compreender a dinâmica populacional do inseto e a evolução da resistência, visto que o modo de vida e o ciclo biológico dos insetos alteram com o uso excessivo de inseticidas em doses máximas ou em subdoses (ALIMIRZAEI; KHAJEHALI; VAN LEEUWEN, 2023). No presente estudo foi fornecidas informações importantes sobre os efeitos de dois inseticidas sobre a lagarta-do-cartucho.

A utilização de subdoses de inseticidas pode vir a aumentar a pressão de seleção de populações de insetos resistentes. Uma vez que o produto não está em sua dose letal, não conseguirá ocasionar a morte da praga, o ingrediente ativo do inseticida entrará em contato com o inseto, este por sua vez ativa enzimas de desintoxicação, que são capazes de degradar as moléculas do inseticida ou modificar o sítio de ação, no qual o ingrediente ativo deixará de atuar (SIDDIQUI et al., 2022). Segundo Bird (2017) foi verificada a resistência ao princípio ativo indoxacarbe em *Helicoverpa armigera* (Hubner, 1808) (Lepidoptera:Noctuidae) devido a enzimas de desintoxicação metabólica.

É fundamental conhecer o ciclo de vida do inseto que se deseja controlar, taxa de sobrevivência e reprodução, e a partir das variações obtidas determinar medidas para mitigação da evolução da resistência (HASNAIN et al., 2023). As aplicações de subdoses podem ocasionar interferência no período de desenvolvimento larval, peso de machos e fêmeas, taxa de pupação, duração da pupação, expectativa de vida adulta e oviposição, o que consequentemente modificará as medidas de controle da praga no campo (GUEDES; CUTLER, 2014; ZHANG et al., 2023).

Nesse mesmo aspecto, tem-se ainda o apelo ambiental devido ao uso exacerbado ou inadequado de inseticidas que podem contribuir para poluição do ambiente, com contaminação de rios e nascentes. Além disso, ocasiona interferências na fauna com a morte de inimigos naturais que auxiliam no controle da praga. Ainda, os inseticidas podem bioacumular na cadeia trófica dos animais que venham a se alimentar dos insetos que foram tratados com inseticidas (DA FONSECA et al., 2019; FERNANDES; BACCI; FERNANDES, 2010).

No presente trabalho foi verificada uma variação no tempo de desenvolvimento dos insetos tratados com subdoses de inseticidas em comparação com insetos tratados apenas com

água, porém essa diferença não foi observada para o período compreendido entre ovo e a fase adulta (ciclo de vida). Esses resultados foram semelhantes aos observados no trabalho de ZHANG et al. (2023), em que mesmo com a utilização de subdoses de benzoato de emamectina e clorantianiliprole em *S. frugiperda* houve um prolongamento nos estágios, porém não interferiu na longevidade do adulto e os insetos sobreviventes conseguiram completar o ciclo de vida normalmente.

A degradação de subdoses de inseticidas podem estar relacionadas com a indução de enzimas de detoxificação, como exemplo o citocromo P450, uma enzima importante nas vias de biossíntese e degradação de compostos. Para alguns insetos, principalmente lepidópteros, essa desintoxicação é tão ativa que o inseticida não alcança seu alvo molecular pois é metabolizado e degradado por estas enzimas e frequentemente esta ação é acompanhada de um o aumento na longevidade, alta capacidade de reprodução e fertilidade do inseto (CUTLER et al., 2022; GONG et al., 2023).

Quanto à taxa de fecundidade, não houve diferença significativa entre as fêmeas dos tratamentos com inseticidas quando comparadas com as fêmeas do tratamento controle, resultados semelhantes ao trabalho de GAO et al. (2021) em que foram aplicadas subdoses do inseticida espinetoram em *S. frugiperda* nas concentrações de (CL<sub>10</sub>) e (CL<sub>30</sub>). Insetos tratados durante a fase jovem (pupas), com subdoses de inseticidas apresentam maior teor de cálcio e reservas de energia (CUTLER et al., 2022). Isso proporciona uma quantidade ampliada de reservas durante a fase adulta, o que pode resultar em um aumento na oviposição.

Os produtos aplicados em subdoses produziram efeito estimulatório nas fêmeas, ativando mecanismos adaptativos que preparam seus organismos para controlar o estresse provocado e reduzir os danos. Isso facilita a tolerância e proteção contra agentes externos causadores de estresses. Além disso, esse tipo de resposta hormética pode ser transmitida para as futuras gerações, o que vem a aumentar a pressão de seleção de populações resistentes a inseticidas (AGATHOKLEOUS et al., 2023; RIX, CUTLER, 2022).

Quando comparado os períodos de oviposição entre os tratamentos, não foi verificado diferença significativa entre insetos tratados com subdoses de Avatar e com apenas água. Resultados semelhantes ao do presente trabalho, foram reportados por Storch et al. (2014) em que foi aplicado subdoses dos inseticidas lambdacialotrina e malationa em *S. frugiperda* e no trabalho de Wu et al. (2022), também não verificaram diferenças entre o tratamento controle e o tratamento em que foi aplicado subdoses dos inseticidas, dinotefurano e beta-cipermetrina na concentração (CL<sub>30</sub>), com a taxa de oviposição em dias sendo igual em ambos os tratamentos.

O aumento no período de oviposição nos tratamentos contendo subdoses de inseticidas pode ter ocorrido devido a uma ativação de mecanismos de proteção no corpo das fêmeas. Quando são atingidos por estresse do ambiente, são estimulados a gerar um maior número de descendentes e prolongar o período de oviposição como estratégias para garantir a perpetuação da espécie.. Essas condições adversas, neste caso, são resultados das aplicações de subdoses de produtos, que muitas vezes não matam os insetos, mas causaram alterações durante o ciclo de vida, impedindo que completem o seu ciclo natural de vida (GONG et al., 2023; GUEDES; RIX; CUTLER, 2022).

Houve uma redução significativa na taxa intrínseca de crescimento, embora tenham sobrevivido, ocorreu alguma alteração no seu corpo que foi necessário gastar energia para promover a desintoxicação . A taxa finita de crescimento e taxa de reprodução básica também reduziram, uma vez que houve uma maior oviposição, porém não foi verificado a viabilidade dos ovos. Esses resultados foram semelhantes aos de ZHANG et al. (2023) os quais observaram reduções em parâmetros demográficos populacionais como taxa intrínseca de crescimento ( $r$ ), taxa finita de crescimento ( $\lambda$ ) e a taxa de reprodução básica ( $R_0$ ), quando subdoses de indoxacarbe e metaflumizona foram aplicados em *S.frugiperda*, HATAMI et al. (2021) observaram que houve redução desses parâmetros quando aplicaram subdoses do inseticida Imunit (150 EC) em *Spodoptera ciliium* (GUENÉE, 1852) (Lepidoptera: Noctuidae).

Apesar das diferenças significativas encontradas nos parâmetros demográficos de *S. frugiperda* tratadas com subdoses dos inseticidas avaliados, não foram encontradas diferenças para o tempo médio da geração dos insetos. Esses resultados corroboram com os de Wu et al. (2022) que não identificaram diferenças significativas no tempo médio de geração de *S. frugiperda* entre os tratamentos com subdoses ( $CL_{30}$ ) dos inseticidas beta-cipermetrina e dinotefurano. Esse processo se deve a enzimas de desintoxicação como o citocromo P450, glutationa-S-transferases e carboxilesterases, que permitiu a conclusão do ciclo do inseto, mesmo com aplicação de subdoses dos inseticidas. (ISRANI et al., 2020)

Os insetos quando submetidos a um tipo de estresse seja esse por variação de temperatura, subdoses de inseticidas, dentre outros, têm processos fisiológicos ativados para conseguir superar essa adversidade. Nesse contexto o efeito de hormese justifica como após a aplicação de inseticida em menores doses, essa espécie de lepidópteros conseguiu manter parâmetros demográficos em ascensão. Possivelmente, isso foi devido às modificações no metabolismo energético e ou atraso no desenvolvimento, que compensaram o estresse sofrido (ALMIRZAEI; KHAJEHALI; VAN LEEUWEN, 2023)

Subdoses dos inseticidas avaliados no presente estudo apresentaram baixo controle da população de *S. frugiperda*. Ademais, por efeito hormético os sobreviventes apresentaram maior oviposição, gerando maior número de descendentes, que podem vir a aumentar a pressão de seleção da resistência. Como explicado anteriormente, os insetos entraram em contato com a molécula do inseticida, e por hormese criam mecanismos compensatórios, que favorece o seu desenvolvimento. Dessa maneira, esse estudo mostrou que é fundamental a realização de trabalhos como tabela de vida, pois através dela é possível mensurar a diferença comportamental, reprodutiva, longevidade, expectativa de vida do inseto e mensurar a evolução da resistência.

## 8. CONCLUSÃO

Os insetos tratados com subdoses de Lorsban (clorpirifós) e Avatar (indoxacarbe), apresentam menor taxa de sobrevivência em relação ao tratamento controle, porém mesmo em menor população a taxa de fecundidade é a mesma. Logo, os tratamentos com subdoses não afetaram o desenvolvimento de *S. frugiperda*.

## Referências bibliográficas

- ABBADE NETO, D. O. Dinâmica da resistência a inseticidas diamidas em populações de *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) do Brasil. 2021. - Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.
- ABBAS, A., ULLAH, F., HAFEEZ, M., HAN, X., DARA, M. Z. N., GUL, H., ZHAO, C. R. Biological control of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Agronomy**, v. 12, n. 11, p. 2704, 2022.
- ABABBAS, A et al. Sublethal effects of spinetoram and emamectin benzoate on key demographic parameters of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) under laboratory conditions. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-14, 2023.
- ADAMS, S. M., KLEIN, J. L., VIANA, A. F. P., MARTINI, P. M., DA SILVA RODRIGUES, L., ALVES FILHO, D. C., BRONDANI, I. L. Lagarta-do-cartucho na produção de milho: Avaliação de métodos de controle. **Agrarian**, v. 14, n. 51, p. 9-17, 2021.
- AGATHOKLEOUS, E., LIU, C. J., CALABRESE, E. J. Applications of the hormesis concept in soil and environmental health research. **Soil & Environmental Health**, v. 1, n. 1, p. 100003, 2023.
- AGATHOKLEOUS, E., BLANDE, J. D., MASUI, N., CALABRESE, E. J., ZHANG, J., SICARD, P., GUEDES, R. N. C., BENELLI, G. Sublethal chemical stimulation of arthropod parasitoids and parasites of agricultural and environmental importance. **Environmental Research**, v. 237, p. 116876, 2023.
- AKKÖPRÜ, E. P., ATLIHAN, R., OKUT, H., & CHI, H. Demographic assessment of plant cultivar resistance to insect pests: a case study of the dusky-veined walnut aphid (Hemiptera: Callaphididae) on five walnut cultivars. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 2, p. 378-387, 2015.
- ALIMIRZAEI, S., KHAJEHALI, J., VAN LEEUWEN, T. Hormetic effects of neonicotinoid insecticides on *Rhizoglyphus robini* (Acari: Acaridae). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 192, p. 105396, 2023.
- ARTUZO, F. D., FOGUESATTO, C. R., MACHADO, J. A. D., DE OLIVEIRA, L., DE SOUZA, Â. R. L. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 515-540, 2019.
- BARROS, E. M., TORRES, J. B., BUENO, A. F. Oviposição, desenvolvimento e reprodução de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes hospedeiros de importância econômica. **Neotropical Entomology**, v. 39, p. 996-1001, 2010.
- BIALOZOR, A et al. Água em cartucho de milho melhora o controle de *Spodoptera frugiperda* com inseticidas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, p. e59517, 2020.
- BIRD, L. J. Genetics, cross-resistance and synergism of indoxacarb resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Pest Management Science**, v. 73, n. 3, p. 575-581, 2017.

CHI, H. TWOSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis (Version 2020.01.12). Disponível em: <<http://140.120.197.173/Ecology/prod01.htm>> Acesso em 10 de nov. de 2022, 2020.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 8 oitavo levantamento, maio 2023.** Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>> Acesso em 01 de novembro de 2023.

CORASSA, J. D. N., MACHINER, M., DE SOUSA VALLADAO, D. M., ANDRIGHETTI, C. R., WEBERLING, J. B. Efeito de extratos etanólico de plantas sobre *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e30511223395-e30511223395, 2022.

CROWLEY, P. H. Resampling methods for data analysis in computation-intensive ecology and evolution. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 23, p. 405-447, 1992.

CUTLER, G. C., AMICHOT, M., BENELLI, G., GUEDES, R. N. C., QU, Y., RIX, R. R., ULLAH, F., DESNEUX, N. Hormesis and insects: Effects and interactions in agroecosystems. **Science of The Total Environment**, v. 825, p. 153899, 2022.

DA FONSECA, J. E., ALCÂNTARA, R., BARBOSA, J. E. D. C., DE CAMPOS, P. K. Poluição da água e solo por agrotóxicos. **Revista Científica e-Locução**, v. 1, n. 15, p. 25-25, 2019.

DA SILVA ARAÚJO, I., DE OLIVEIRA, G. M., DE LACERDA, L. B., DE LUNA BATISTA, J., LOPES, G. N. Perspectivas atuais da utilização de bioinseticidas em *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 7, n. 3, 2019.

DA SILVA OLIVEIRA, M. G., SERIKAWA, R. H., DA SILVA, F. M. A., FERNANDES, O. A. Susceptibility and residual effect of indoxacarb formulations on major soybean lepidopteran pests. **Phytoparasitica**, v. 49, n. 3, p. 407-416, 2021.

DA SILVA, D. F et al. Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e12310313172, 2021.

DA SILVA PINHEIRO, L., DO MORAES GATTI, V. C., DE OLIVEIRA, J. T., DA SILVA, J. N., SILVA, P. A. Características agro econômicas do milho: uma revisão. **Natural Resources**, v. 11, n. 2, p. 13-21, 2021.

DE ARAÚJO, L. F., DA SILVA, A. G., CRUZ, I., DO CARMO, E. L., NETO, A. H., GOULART, M. M. P., RATTES, J. F. Flutuação populacional de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith), *Diatraea saccharalis* (Fabricius) e *Doru luteipes* (Scudder) em milho convencional e transgênico Bt. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 3, p. 205-214, 2011.

DE MELO, E. P., DE LIMA JUNIOR, I. D. S., BERTONCELLO, T. F., SUEKANE, R., DEGRANDE, P. E., FERNANDES, M. G. Desempenho de armadilhas à base de feromônio

sexual para o monitoramento de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do milho. **Entomotropica**, v. 26, n. 1, p. 7-15, 2011.

EL-NAHHAL, Y., WHEIDI, B., EL-KURDI, S. Development of ecologically acceptable chlorpyrifos formulation for effective and safe application. **Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences**, v. 6, n. 3, p. 91-108, 2016.

EFRON, B., TIBSHIRANI, R.J. An introduction to the Bootstrap. Chapman & Hall. **New York**, v. 436, 1993.

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

FERREIRA, J. C., MENDES, E. R. F. Potassium silicate as nutrient source and resistance of maize (*Zea mays* L.) to fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 6, p. 42979-42994, 2022.

FERREIRA, E. A., PAIVA, M. C. G., PEREIRA, G. A. M., OLIVEIRA, M. C., DE BARROS SILVA, E. Fitossociologia de plantas daninhas na cultura do milho submetida à aplicação de doses de nitrogênio. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 2, p. 109-116, 2019.

FONSECA, S. S. Resistência de genótipos de feijoeiro a *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) 2019. Tese (Mestrado em Entomologia)- Universidade Estradual Paulista, Jaboticabal, 2019.

GALON, L et al. Competição entre híbridos de milho com plantas daninhas. **South American Sciences**, v. 2, n. 1, p. e21101-e21101, 2021.

GAO, Z., CHEN, Y., HE, K., GUO, J., WANG, Z. Sublethal effects of the microbial-derived insecticide spinetoram on the growth and fecundity of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 114, n. 4, p. 1582-1587, 2021.

GARAVAZI, F., PATRONI, B. H., DE CARVALHO BALIEIRO, C. Comparativo do controle biológico e químico de *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho. **Revista Ensaios Pioneiros**, v. 4, n. 1, p. 89-98, 2020.

GREENE, G. L.; LEPPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 69, p. 487-488, 1976.

GUEDES, C. A et al. Evaluation of *Piper marginatum* (Piperales: Piperaceae) oil and geraniol on the embryonic development of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in comparison to formulated products. **Journal of Economic Entomology**, v. 113, n. 1, p. 239-248, 2020.

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

GUEDES, R. N. C., RIX, R. R., CUTLER, G. C. Pesticide-induced hormesis in arthropods: towards biological systems. **Current Opinion in Toxicology**, v. 29, p. 43-50, 2022.

GONG, Y., CHENG, S., DESNEUX, N., GAO, X., XIU, X., WANG, F., HOU, M. Transgenerational hormesis effects of nitenpyram on fitness and insecticide tolerance/resistance of *Nilaparvata lugens*. **Journal of Pest Science**, v. 96, n. 1, p. 161-180, 2023.

HASNAIN, A et al. Effects of chlorantraniliprole on the life history traits of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Frontiers in Physiology**, v. 14, p. 492, 2023.

HATAMI, M., ZIAEE, M., SERAJ, A. A., MEHRABI-KOUSHKI, M., FRANCIKOWSKI, J. Effects of Imunit Insecticide on Biological Characteristics and Life Table Parameters of *Spodoptera ciliium* (Lepidoptera: Noctuidae). **Insects**, v. 12, n. 12, p. 1138, 2021.

HESTERBERG, T. It's time to retire the "n $\geq$ 30" rule. **Proceedings of the American 1951 Statistical Association**, Statistical Computing Section. p. 1–9, 2008.

HESTERBERG, T. et al. Bootstrap methods and permutation tests, in: Moore, D.S, McCabe, G.P., Duckworth, W.M., Sclove, S.L., (Eds.). *The Practice of Business Statistics*. **W. H. Freeman and Company**, New York, 2005.

HIGO, Y; SASAKI, M; AMANO, T. Morphological characteristics to identify fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) from common polyphagous noctuid pests for all instar larvae in Japan. **Applied Entomology and Zoology**, v. 57, n. 3, p. 263-274, 2022.

HUANG, Y.B., CHI, H. The age-stage, two-sex life table with an offspring sex ratio dependent on female age. **Journal of Agriculture and Forestry**. v. 60, p. 337–345, 2011.

ISRANI, B et al. The fall armyworm *Spodoptera frugiperda* utilizes specific UDP-glycosyltransferases to inactivate maize defensive benzoxazinoids. **Frontiers in physiology**, v. 11, p. 604754, 2020.

JALDIN, C. A. D. C. L. Silício na indução de resistência por não-preferência para ovoposição de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) em milho. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Agronomia)- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

KENIS, M et al. Invasiveness, biology, ecology, and management of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Entomologia Generalis**, 2022.

KHAN, S et al. Mechanism of Insecticide Resistance in Insects/Pests. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 29, n. 3, 2020.

MAKGOBA, M. C., TSHIKHUDO, P. P., NNZERU, L. R., MAKHADO, R. A. Impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) (JE Smith) on small-scale maize farmers and its control strategies in the Limpopo province, South Africa. **Jàmá: Journal of Disaster Risk Studies**, v. 13, n. 1, 2021.

- MARRI, D., MENSAH, S. A., KOTEY, D. A., ABRAHAM, J., BILLAH, M. K., OSAE, M. Basic Developmental Characteristics of the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), Reared under Laboratory Conditions. **Psyche: A Journal of Entomology**, v. 2023, 2023.
- MEINKE, L. J., SOUZA, D., SIEGFRIED, B. D. The use of insecticides to manage the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera*, LeConte: history, field-evolved resistance, and associated mechanisms. **Insects**, v. 12, n. 2, p. 112, 2021.
- KALYAN, Deepika et al. Biological parameters of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) under laboratory conditions. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 9, n. 5, p. 2972-2979, 2020.
- KNAAK, N., TAGLIARI, M. S., FIUZA, L. M. Histopatologia da interação de *Bacillus thuringiensis* e extratos vegetais no intestino médio de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 77, p. 83-89, 2020.
- KUMAR, R. M., GADRATAGI, B. G., PARAMESH, V., KUMAR, P., MADIVALAR, Y., NARAYANAPPA, N., ULLAH, F. Sustainable management of invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Agronomy**, v. 12, n. 9, p. 2150, 2022.
- LIU, Z. K., LI, X. L., TAN, X. F., YANG, M. F., IDREES, A., LIU, J. F., SONJ. S.J., SHEN, J. Sublethal effects of emamectin benzoate on fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Agriculture**, v. 12, n. 7, p. 959, 2022.
- MALDANER, L. J., HORING, K., SCHNEIDER, J. F., FRIGO, J. P., AZEVEDO, K. D., GRZESIUCK, A. E. Exigência agroclimática da cultura do milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 1, p. 13-23, 2014.
- MARDONZHONOVNA, I. M., FAYZULLAEVICH, H. F. Development of insecticide preparation" entovant". **International Journal of Social Science Interdisciplinary Research**, v. 11, n. 04, p. 46-48, 2022.
- MARTINAZZO, T., PIETROWSKI, V., CORDEIRO, E. S., ECKSTEIN, B., GRISA, S. Liberação de *Trichogramma pretiosum* para controle biológico de *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho. **Cadernos de Agroecologia**, v. 2, n. 2, 2007.
- MATTOS, A., KREWER, A., ECCEL, C. E., WILL, J. O uso de óleos essenciais para o controle de pragas do milho. **Estrabão**, v. 2, p. 139-147, 2021.
- MOORE, D. R., TEED, R. S., GREER, C. D., SOLOMON, K. R., GIESY, J. P. Refined avian risk assessment for chlorpyrifos in the United States. **Ecological risk assessment for chlorpyrifos in terrestrial and aquatic systems in the United States**, v. 231 p. 163-217, 2014.
- OVERTON, K., et al. Global crop impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): a review. **Crop Protection**, v. 145, p. 105641, 2021.
- PANIZZI, A. R., PARRA, J. R. P A bioecologia e a nutrição de insetos como base para o manejo integrado de pragas. In: Panizzi AR, Parra JRP (eds) **Bioecologia e Nutrição de**

**Insetos—Base para o Manejo de Pragas.** Embrapa Informação Tecnológica, Brasília DF, pp 1107–1139, 2009

PRESTES, I. D., ROCHA, L. O., NUÑEZ, K. V., SILVA, N. C. Principais fungos e micotoxinas em grãos de milho e suas consequência. **Scientia Agropecuaria**, v. 10, n. 4, p. 559-570, 2019.

PUBCHEM. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>>. Acesso em 25 de julho de 2023.

RATHOD, A. L., GARG, R. K. Chlorpyrifos poisoning and its implications in human fatal cases: a forensic perspective with reference to Indian scenario. **Journal of Forensic and legal medicine**, v. 47, p. 29-34, 2017.

REDA, R. H. A., REDA, A. E. Effect of formulation types on the efficacy of indoxacarb against cotton leafworm *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Egypt J Plant Protec Res Institute**, v. 2, n. 3, p. 460-464, 2019.

RESENDE, D. B., DE ABREU JR, C. A. M., MARTINS, G. D., JOSÉ, O., MARQUES, L. C. M. X. Uso de imagens tomadas por aeronaves remotamente pilotadas para detecção da cultura do milho infestada por *Spodoptera frugiperda*. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 156-166, 2020.

RIX, R. R., CUTLER, G. C. Review of molecular and biochemical responses during stress induced stimulation and hormesis in insects. **Science of the Total Environment**, v. 827, p. 154085, 2022.

RUIZ DE ARCAUTE, C., SALGADO COSTA, C., DEMETRIO, P. M., NATALE, G. S., RONCO, A. E. Influence of existing site contamination on sensitivity of *Rhinella fernandezae* (Anura: Bufonidae) tadpoles to Lorsban® 48E formulation of chlorpyrifos. **Ecotoxicology**, v. 21, p. 2338-2348, 2012.

SCHWANTES, D., CELSO GONÇALVES, A., CONRADI JUNIOR, É., CAMPAGNOLO, M. A., e ZIMMERMANN, J. Determination of CHLORPYRIFOS by GC/ECD in water and its sorption mechanism study in a RHODIC FERRALSOL. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v. 18, p. 149-162, 2020.

SCHELER, E. D., CAVICHIOLI, F. A. Viabilidade de silagem de milho para o gado leiteiro. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 265-275, 2021.

SIDDIQUI, J. A et al. Comprehensive detoxification mechanism assessment of red imported fire ant (*Solenopsis invicta*) against indoxacarb. **Molecules**, v. 27, n. 3, p. 870, 2022.

SILVA, L. E. B., DE SALES SILVA, J. C., DE SOUZA, W. C. L., LIMA, L. L. C., DOS SANTOS, R. L. V. Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de literatura. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1636-1657, 2020.

SILVA, C. L. T. Resistência de genótipos de arroz à *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). Tese (Mestrado em Produção vegetal) – Universidade Estadual de Goiás, Ipameri, 2019.

SMUCKER, M. D., ALLAN, J., CARTERETTE, B. A comparison of statistical significance tests for information retrieval evaluation. In: **Proceedings of the sixteenth ACM conference on Conference on information and knowledge management**. p. 623-632, Lisbon, Portugal 2007.

STEFANELLI, L. E. P., FORTI, L. C., GARCIA, R. D. M. Toxicidade de diferentes concentrações do inseticida indoxacarbe para formigas-cortadeiras. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 9, n. 1, 2020.

SILVEIRA, D. C., MONTEIRO, V. B., TRAGNAGO, J. L., BONETTI, L. P. Caracterização agromofologica de variedades de milho crioulo (*Zea mays* L.) na região noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência & Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 01-11, 2015.

TORRES, M.; POZO, K.; DÍAZ, V. Influência de la degradación del Clorpirifos en la detección analítica utilizando biosensores: revisión del estado actual y aspectos futuros. **Entre Ciencia e Ingeniería**, v. 15, n. 30, p. 9-21, 2021.

VIANA, E. V. M., CAMPACHI, E. F., DA SILVA, J. M. A., SANTANA, A. E. G., PEREIRA, M. J. B. Eficiência de formulações feromonais para o manejo de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) em algodão no Mato Grosso. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 2, n. 1, p. 17-17, 2021.

WOJAHN, B. Manejo sustentável da cigarrinha-do-milho: integrando inseticidas biológicos e químicos. 2023. Tese (Doutorado em entomologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023.

WU, H. M., FENG, H. L., WANG, G. D., ZHANG, L. L., ZULU, L., LIU, Y. H., ZHENG, Y.L., RAO, Q. Sublethal effects of three insecticides on development and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1334, 2022.

YOKOTA, L. A., DE SOUZA LOUREIRO, E., PESSOA, L. G. A., DEVOZ, G. L. R., PEREIRA FILHO, A. A., DO AMARAL, T. S. Aplicação de entomopatógenos no manejo de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e20410514849-e20410514849, 2021.

YU, L., CHEN. Z., ZHENG. F., SHI. A., GUO. T., YEH. B., CHI. H., XU. Y.. Demographic analysis, a comparison of the jackknife and bootstrap methods, and predation projection: a case study of *Chrysopa pallens* (Neuroptera:Chrysopidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 106, n. 1, p. 1-9, 2013.

ZHANG, X., HU, C., WU, L., CHEN, W. Transgenerational Sublethal Effects of Chlorantraniliprole and Emamectin Benzoate on the Development and Reproduction of *Spodoptera frugiperda*. **Insects**, v. 14, n. 6, p. 537, 2023.

ZHANG, L., WU, H. Z., HE, P. Y., CAO, H. Q., ZHANG, W. N., PENG, Y. C., SHENG, C. W. Sublethal effect and detoxifying metabolism of metaflumizone and indoxacarb on the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Journal of Pest Science, versão pre-print**, 2023.