



MARIANA DE SOUZA GONZAGA

**INFLUÊNCIA DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Citrus* sp. EM
PARÂMETROS DA TABELA DE VIDA DE *Spodoptera
frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

LAVRAS-MG

2023

MARIANA DE SOUZA GONZAGA

**INFLUÊNCIA DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Citrus* sp. EM PARÂMETROS DA
TABELA DE VIDA 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, Rosemarie e Luiz Antonio, meus maiores incentivadores e exemplos de vida.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ser meu guia e minha força, a Ele, toda honra e toda glória.

Aos meus pais, Rosemarie e Luiz Antonio, por nunca medirem esforços na concretização dos meus sonhos. Amo vocês com todo meu coração.

Ao meu irmão, Luiz Felipe, uma das pessoas que mais admiro e amo.

Ao meu orientador, Geraldo Andrade de Carvalho, um exemplo de profissional e ser humano a ser seguido.

À minha coorientadora, Karolina Gomes de Figueiredo, pela paciência, amizade e apoio em todos os momentos que precisei. Obrigada por ser luz.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pelo ensino gratuito e de qualidade do qual tenho muito orgulho de fazer parte.

Agradeço a Letícia Passos e Maria Cecília Duarte pelos últimos cinco anos de companheirismo e amizade morando juntas.

As amigas: Ana Flávia Fernandes, Vanessa Exteckoetter e Patrícia que tive oportunidade conhecer durante minha graduação, agradeço pela amizade e pelo apoio em todos os momentos que precisei.

Aos amigos do Laboratório de Ecotoxicologia e Manejo Integrado de Pragas (LEMIP): Eliane Andrade (Leia), Júlia Assunção, Letícia Fernandes, Igor Carvalho, Marcos Henrique e Alexya por toda ajuda e por fazer meus dias mais felizes e leves, vou sentir saudades dos nossos almoços e conversas.

A todos que de alguma forma direta ou indiretamente tenha contribuído na minha formação.

Muito obrigada!

RESUMO

A *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), conhecida também como lagarta-do-cartucho do milho, é um inseto polífago, ou seja, que se alimenta de diferentes culturas como milho, trigo, arroz, soja, feijão e algodão. As formas de controle disponíveis têm se mostrado ineficientes; assim o uso de óleos essenciais tem se mostrado uma medida sustentável com resultados promissores para seu controle. Objetivou-se avaliar os efeitos letais e subletais dos óleos essenciais de *Citrus aurantium* (petitgrain) e *Citrus bergamia* (bergamota) no ciclo de vida desse inseto a partir de lagartas de segundo instar tratadas. Os óleos essenciais foram solubilizados em acetona na concentração de 30 mg.mL⁻¹ e 1 µL de cada solução foi aplicado topicamente sobre cada lagarta. O tratamento controle consistiu somente de acetona. O delineamento foi inteiramente casualizado, com 100 repetições, sendo cada uma formada por uma lagarta. A avaliação da sobrevivência foi feita à cada 24 horas até a morte do último espécime, a fim de avaliar os efeitos como a duração dos períodos larval e pupal, longevidade dos insetos e fecundidade para cálculos de parâmetros demográficos. Os óleos essenciais de *C. aurantium* e *C. bergamia* apresentam potencial para o controle de *S. frugiperda*, pois causaram 25% de mortalidade de lagartas e diminuíram a duração do ciclo de vida do inseto em torno de 18 dias. O parâmetro demográfico taxa de reprodução básica foi diminuído em torno de 86% para os tratamentos com óleos essenciais. A partir destes ensaios preliminares, verificou-se potencial desses óleos essenciais, sendo necessários novos estudos em condições de laboratório e campo para comprovação de sua toxicidade, além de se avaliar seus modos de ação.

Palavras-Chave: *Zea mays*, Lagarta-do-cartucho do milho, produtos botânicos, manejo.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	3
2.OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo geral.....	5
2.2 Objetivos específicos.....	5
3. HIPÓTESES.....	6
4. REFERENCIAL TEÓRICO	7
4.1 A cultura do milho (<i>Zea mays</i>).....	7
4.2 Lagarta-do-cartucho do milho, <i>S. frugiperda</i>	7
4.3 Óleos essenciais.....	8
5. MATERIAL E MÉTODOS	10
5.1 Criação de <i>S. frugiperda</i>.....	10
5.2 Óleos essenciais.....	10
5.3 Tabela de vida de <i>S. frugiperda</i> tratadas com óleos essenciais	11
5.4 Análise estatística	12
6. RESULTADOS.....	15
7. DISCUSSÃO.....	24
8. CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS.....	27

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) pertencente da família das gramíneas (Poaceae) (BALBINOT; DELAI; WERLE, 2011), é considerado um produto essencial na agricultura brasileira. Cultivado em todas as regiões do país (CONTINI et al., 2019), o milho possui alta adaptabilidade a diferentes condições ambientais (JARA et al., 2019). Com a marca alcançada de 1 bilhão de toneladas na safra de 2018/2019 (USDA, 2019), essa gramínea é vista como a maior cultura agrícola em termos de produção do mundo e a única a ter ultrapassado essa marca (MIRANDA, 2021).

Com sua vasta importância econômica, essa cultura anual é utilizada de diferentes formas, de acordo com Miranda (2021), a produção no Brasil é atribuída principalmente para a alimentação animal. Apesar dos números surpreendentes, a produtividade do milho é afetada por diversos fatores, como manejo do solo e nutrientes, clima e ataque de pragas (CAIXETA et al., 2010). Entre as pragas que afetam a cultura, uma das principais é a *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) (PRASSANA et al., 2018), também conhecida como lagarta-do-cartucho do milho.

A *S. frugiperda* é um inseto polífago, ou seja, que se alimenta de uma ampla gama de hospedeiros, incluindo o milho, milheto, cana-de-açúcar, sorgo e trigo (MONTEZANO et al., 2018). Sua ocorrência atinge desde a muda até a formação da espiga, sendo capaz de causar até 100% de perda na produtividade (KUMAR et al., 2022). Por este e outros motivos, o controle dessa praga têm sido desafiador uma vez que com uso excessivo do controle químico, as populações de *S. frugiperda* desenvolveram resistência aos inseticidas químicos (PATIL et al., 2022). Outra forma de manejo bastante utilizada é o uso de cultivares com a tecnologia Bt (*Bacillus thuringiensis*), porém também há relatos de resistência às proteínas Cry1Ab e Cry1F (FARIAS et al., 2014; BURTET et al., 2017), aumentando assim a importância dessa praga (ROSA; MARTINS, 2011). Portanto, a procura por novas medidas sustentáveis de controle dessa praga vem aumentando nos últimos anos (MACHADO et al., 2020). Diante deste cenário a utilização de produtos advindos de produtos naturais extraídos de plantas é visto como promissor e atrativo ecologicamente (BERNARDI et al., 2015; RIBAS et al., 2022).

Os óleos essenciais são obtidos a partir do metabolismo secundário das plantas em que sua composição pode variar em função da parte da planta no qual foi extraído (BAPTISTA-SILVA et al., 2020), podem ser uma alternativa de controle de artrópodes pragas que têm se mostrado viável como inseticidas botânicos, em razão de possuírem compostos químicos que

podem ser usados como atrativos, repelentes e fungicidas (DAMBOLENA et al., 2016; PIZZOLITTO et al., 2020; BRITO et al., 2021), além de causarem baixa poluição no solo, apresentarem diferentes mecanismos de ações e baixa toxicidade para o ambiente e à saúde humana (SHENG et al., 2020; CHAUDHARI et al., 2021).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar os efeitos letais e subletais dos óleos essenciais de *Citrus aurantium* (petitgrain) e *Citrus bergamia* (bergamota) em parâmetros do ciclo de vida de lagartas de *S. frugiperda*.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos letais e subletais dos óleos essenciais de *C. bergamia* e *C. aurantium* para *S. frugiperda*.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a mortalidade de lagartas de segundo instar por meio da aplicação tópica de óleos essenciais de *C. bergamia* e *C. aurantium*.
- Avaliar os efeitos sobre a fase larval e pupal com os insetos tratados com os óleos essenciais de *C. bergamia* e *C.aurantium*.
- Avaliar o efeito dos óleos de *C. bergamia* e *C.aurantium* no período de desenvolvimento da fase adulta com os insetos.
- Avaliar a taxa de reprodução com os insetos tratados com os óleos essenciais de *C. bergamia* e *C. aurantium*.
- Avaliar os parâmetros demográficos com os insetos tratados com os óleos essenciais de *C. bergamia* e *C. aurantium*.

3. HIPÓTESES

- Os óleos essenciais de *C. aurantium* e *C. bergamia* causam mortalidade de lagartas de segundo instar de *S. frugiperda*.
- Os óleos essenciais de *C. aurantium* e *C. bergamia* aplicados em lagartas de segundo instar afetam a duração dos estágios larval, pupal e adulto de *S. frugiperda*.
- Os óleos essenciais de *C. aurantium* e *C. bergamia* em lagartas de segundo instar afetam a taxa de reprodução e parâmetros demográficos de *S. frugiperda*.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 A cultura do milho (*Zea mays*)

O milho, pertence à família das gramíneas (Poaceae), sendo cultivado por diferentes tipos de produtores de pequeno a grande porte. É um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo e um dos principais produtos do agronegócio (CRESPO et al., 2021). A sua importância econômica se manifesta de várias formas de utilização, desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia (CRUZ et al., 2011).

O centro de origem dessa cultura anual é no México. O milho é um ancestral comum da *Zea mexicana* L., mas cresce de forma mais compacta que seus ancestrais (LOPES; KNIES, 2019). Representada por diferentes genótipos, possui forte adaptabilidade, sendo cultivada em climas tropicais, subtropicais e temperados (BARROS; CALADO, 2014).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, ficando atrás dos Estados Unidos e da China (GONZAGA; DE ANDRADE; CABRAL FILHO, 2023). A sua expectativa de produção é de 125,8 milhões de toneladas para a safra 2022/23, segundo a estimativa da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, feita no terceiro levantamento em dezembro de 2022, com um aumento de 11,2% em relação à safra anterior.

Como em todas as grandes culturas, os problemas com ataque de pragas aumentaram à medida que o cultivo do milho cresceu geograficamente e tecnicamente (PREZOTO; MACHADO, 1999). A *S. frugiperda* é considerada uma das pragas-chave do milho, pois ataca as plantas durante os estágios vegetativo e reprodutivo (ROSA; BARCELOS, 2012) e sua infestação pode reduzir a produção, quando medidas de controle não são adotadas (VALICENTE, 2008).

4.2 Lagarta-do-cartucho do milho, *S. frugiperda*

Spodoptera frugiperda é nativa das Américas e tornou-se uma importante praga invasora em todo o mundo na última década (TAY et al., 2023). De acordo com Montezano et al. (2018), com base em uma revisão de literatura e estudos adicionais realizados no Brasil, essa praga afeta 76 famílias de plantas com destaque para Poaceae, Asteraceae e Fabaceae e conta com 353 espécies de plantas hospedeiras relatadas.

Na cultura do milho, a lagarta de *S. frugiperda* afeta todas as fases de desenvolvimento da planta, principalmente a fase do cartucho (BUSATO et al., 2002). Este inseto é classificado como holometábolo, ou seja, tem metamorfose completa com as seguintes fases: ovo, lagarta,

pupa e adulto (HELLWIG, 2015). O ciclo de vida desse Noctuidae varia de 30 dias em regiões com temperaturas elevadas e 60-90 dias com temperaturas baixas (DESHMUKH SHARANABASAPPA et al., 2021).

O estágio larval dura em média 12-30 dias, com seis instares e coloração marrom-avermelhada. Apresenta um “Y” invertido na cabeça e comprimento de 35 mm e largura de cápsula cefálica de 2,7 mm no último instar (CRUZ; FIGUEIREDO; MATOSO, 1999). Durante a fase adulta, uma fêmea produz uma média de 1500 a 2000 ovos (VALICENTE, 2008).

A forma de controle mais utilizada para *S. frugiperda* é o uso de inseticidas sintéticos, porém, o uso generalizado desses compostos contribuiu para evolução da resistência do inseto, além do impacto negativo sobre os inimigos naturais, efeitos ambientais e na saúde humana (RAMOS-LÓPES et al., 2010). Além disso, a praga foi a primeira a ser selecionada para resistência ao uso de plantas geneticamente modificadas (TABBASHNIK; VAN RENSBURG; CARRIÈRE, 2009). Consequentemente, a demanda por novos métodos é crescente. Desse modo, as pesquisas sobre inseticidas botânicos têm se mostrado promissoras uma vez que, degradam-se em maior velocidade, além de não deixar resíduos no ambiente e nos alimentos em relação aos sintéticos (NICULAU et al., 2013).

4.3 Óleos essenciais

A utilização de plantas com propriedades inseticidas era uma realidade para os agricultores antes da década de 1940. Entretanto, com o êxito comercial dos inseticidas sintéticos que apresentavam maior eficácia, baixo custo e ação rápida, o uso dos inseticidas botânicos decresceu (ISMAN, 2007). A partir da década 80 os óleos essenciais se tornaram amplamente estudados entre os botânicos (RENAULT-ROGER, 1997).

Com a intensa utilização de um mesmo método de controle pode ocorrer maior seleção de indivíduos resistentes. Desse modo, houve a necessidade de novas alternativas para o controle de artrópodes pragas. Uma das formas de manejo estudadas foi o uso dos óleos essenciais, que teve um aumento significativo nos últimos anos, principalmente entre os produtores orgânicos (REGNAULT-ROGER; VINCENT; ARNASON, 2012).

O Brasil se destaca na produção de óleos cítricos para exportação, pois são subprodutos na fabricação de sucos (BIZZO; HOVELL; REZENDE, 2009). Os óleos são extraídos de acordo com a espécie e podem ser encontrados em algumas partes da planta, como nas folhas, flores, frutos, caules, rizomas, madeira, semente ou raízes (SIMÕES et al.,

2007). Segundo Bakkali et al. (2008), os óleos essenciais apresentam propriedades inseticidas, bactericidas, fungicidas e medicinais, além de serem usados em diferentes tipos de indústrias. A forma de extração varia conforme que será usada e a finalidade, sua obtenção pode ser por meio da destilação a vapor, destilação a seco, prensagem mecânica a frio ou hidrodestilação (BUSATO et al., 2014).

O gênero *Citrus* (Rutaceae) está entre as culturas mais antigas do mundo e se destaca como uma das mais comercializadas, e devido sua importância econômica estudos vêm sendo realizados a respeito da composição química dos seus óleos essenciais (DOSOKI; SETZER, 2018). Pesquisas feitas com óleos essenciais de *C. aurantium* e *C. sinensis* mostraram resultados promissores para *Helicoverpa armigera* (L.) (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) (AGUIRRE et al., 2018), óleos essenciais de *C. aurantium* e *C. sinensis* para *Tribolium castaneum* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae) (BRITO et al., 2015), óleos essenciais de *C. reticulata*, *C. sinensis*, *C. aurantium*, *C. limon* para *Bemisia tabaci* (L.) biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) (RIBEIRO, 2010), óleos essenciais de *C. sinensis* para *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) (BARROS GOMES et al., 2021) e óleos essenciais de *C. reticulata* e *C. sinensis* para *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) (BANDEIRA et al., 2009), tornando-se necessários novos estudos a níveis de campo e seus respectivos modos de ação confirmando seu potencial inseticida.

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 março de 2022 a novembro de 2022. Todos os bioensaios foram conduzidos à temperatura de 25 ± 2 °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 de idade (segundo instar) alimentadas com dieta artificial e provenientes da segunda oviposição 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). Para o preparo da dieta, o feijão foi levado ao fogo em panela de pressão com 1,5 L de água. Posteriormente, todos os ingredientes, exceto o ágar, foram misturados em liquidificador com 750 mL do caldo proveniente do cozimento do feijão. O ágar foi dissolvido em mais 750 mL de água destilada e adicionado à dieta. Em seguida, a dieta foi levada ao fogo por 30 minutos. Após o preparo da dieta, a mesma foi acondicionada em recipiente retangular (27 x 38 x 6 cm) para o resfriamento e solidificação em temperatura ambiente (25 ± 2 °C). Os adultos foram alimentados com solução aquosa de mel a 5%.

5.2 Óleos essenciais

Os óleos essenciais de *C. aurantium* (petitgrain) e *C. bergamia* (bergamota) foram adquiridos da Empresa Ferquima Indústria e Comércio Ltda., Vargem Grande Paulista, São Paulo - Brasil. De acordo com as informações fornecidas pela empresa, a extração dos óleos essenciais foi feita por destilação a vapor das folhas de petitgrain e prensagem a frio das cascas de frutas de bergamota (Tabela 1).

Tabela 1. Nome científico, estrutura vegetal utilizada e método de extração dos óleos essenciais utilizados na pesquisa.

Nome científico	Método de extração	Principais componentes (aprox.)
<i>Citrus aurantium</i>	Destilação a vapor das folhas	Acetato de linalila = 44%, Linalol = 27%, Alfa terpineol = 6%, Acetato de geralina = 4%, Acetato de nerila = 2%, Trans beta ocimene = 3%, Geraniol = 3%, Limoneno = 1%, Mirceno = 2%, Nerol = 1%
<i>Citrus aurantium bergamia</i>	Prensagem a frio da casca dos frutos	Limoneno = 37%, Acetato de linalila = 44%, Linalol = 15%, Gama Terpinene = 7%

* Informações fornecidas pelo fabricante Ferquima Indústria e Comércio LTDA (www.ferquima.com.br).

5.3 Tabela de vida de *S. frugiperda* tratadas com óleos essenciais

O experimento foi realizado com três tratamentos (2 óleos essenciais e um controle com acetona) e 100 repetições, sendo utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado. Cada tratamento foi constituído pela solubilização em acetona dos óleos essenciais na concentração de 30 mg.mL⁻¹ de cada solução, sendo aplicado 1 µL da solução topicamente sobre cada lagarta. O tratamento controle consistiu somente de acetona. Após a aplicação dos tratamentos, essas lagartas foram acondicionadas individualmente em tubo de vidro (8 cm x 1,5 cm) contendo um pedaço de dieta artificial e vedado com chumaço de algodão.

Para a determinação do desenvolvimento larval e pupal, foi observada diariamente a mudança de instar, por meio do tamanho da lagarta ou visualização das cápsulas cefálicas descartadas. 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 óleos essenciais. Para avaliar os efeitos dos óleos sobre adultos provenientes das lagartas tratadas, cerca de 25 casais de insetos adultos recém-emergidos de cada tratamento, foram avaliados quanto à sua reprodução e longevidade. Desta forma, cada casal foi mantido em pote de plástico (15 cm x 10 cm) coberta 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 concentração de 1:1, foi envolvido internamente com papel sulfite, que serviu como substrato para oviposição. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com três tratamentos, sendo cada uma formada por uma pote de plástico contendo um casal de *S. frugiperda*. Desta forma foram avaliados o período de oviposição, a sobrevivência, a longevidade de machos e fêmeas, o número de ovos colocados por fêmea e proporção de machos e fêmeas para cálculo da proporção sexual da prole, além da viabilidade de ovos e sobrevivência de lagartas de primeiro instar. Os dados obtidos foram utilizados para confecção de uma tabela de vida referente à história de vida dos insetos tratados com óleos essenciais 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, foram processadas por meio do programa TWOSEX-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_{xj}) = Probabilidade de que um indivíduo recém-nascido sobreviva à idade x e estágio j .

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

- 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 (λ) = 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 padrão 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) por meio do programa TWSEX MSChart para Windows (CHI, 2020).

6. RESULTADOS

6.1 Efeitos dos óleos essenciais no ciclo de vida de *S. frugiperda*

Durante os estádios larvais L2 e L4, os grupos tratados com os OEs de *C. aurantium* e *C. bergamia* não apresentaram diferenças significativas entre si ($p < 0,05$); porém ambos os tratamentos diferiram do controle, sendo observado um tempo menor de desenvolvimento nos grupos tratados com os óleos essenciais. Somente no L5 o grupo tratado com o óleo essencial *C. bergamia* diferiu significativamente dos outros grupos, apresentando menor tempo de desenvolvimento. Os insetos tratados apenas com acetona tiveram um período de desenvolvimento do ovo-pupa significativamente maior em relação aos grupos tratados com os óleos essenciais (Tabela 2).

Tabela 2. Efeitos dos óleos essenciais do gênero *Citrus* no desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda*.

Parâmetros	Estágio/Instar/ Período	Controle		<i>Citrus aurantium</i>		<i>Citrus bergamia</i>	
		N	Média ± SE	N	Média ± SE	N	Média ± SE
Tempo de desenvolvimento (dias)	Ovo	100	3,00 ± 0,00 a	100	3,00 ± 0,00 a	100	3,00 ± 0,00 a
	L1	100	2,00 ± 0,00 a	100	2,00 ± 0,00 a	100	2,00 ± 0,00 a
	L2	100	4,54 ± 0,09 a	58	3,05 ± 0,20 b	68	3,00 ± 0,17 b
	L3	100	4,51 ± 0,07 a	58	4,59 ± 0,15 a	67	4,42 ± 0,09 a
	L4	100	4,93 ± 0,07 a	58	4,17 ± 0,18 b	67	4,30 ± 0,10 b
	L5	100	4,90 ± 0,07 a	58	5,07 ± 0,24 a	66	4,48 ± 0,16 b
	Pupa	100	10,20 ± 0,11 a	56	10,30 ± 0,14 a	61	10,30 ± 0,20 a
	Ovo – Pupa	100	34,10 ± 0,16 a	56	32,05 ± 0,27 b	61	31,51 ± 0,13 b
Longevidade (dias)	Adulto	100	11,55 ± 0,22 a	56	9,86 ± 0,48 b	60	10,48 ± 0,41 b
		Fêmea	46	45,89 ± 0,41 a	25	42,96 ± 0,6 b	28
Ciclo de vida*	Macho	54	45,41 ± 0,39 a	31	41,06 ± 0,81 b	33	41,24 ± 0,55 b
	Ovo – Adulto	100	45,63 ± 0,28 a	56	41,91 ± 0,54 b	61	41,98 ± 0,39 b

Médias na mesma linha seguidas por letras diferentes diferem 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.

A taxa de sobrevivência dos insetos tratados com acetona foram maiores em relação aos insetos tratados com óleos essenciais de plantas do gênero *Citrus*. Destaca-se que os insetos de todos os tratamentos que atingiram a fase de pupa também chegaram à fase adulta. A proporção de fêmeas e machos determinada para cada tratamento foi: acetona (1,17♂:1♀), *C. aurantium* (1,24♂:1♀) e *C. bergamia* (1,18♂:1♀). A longevidade de fêmeas e machos foram observadas nos tratamentos *C. aurantium* e *C. bergamia* porém não houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre eles, mas apresentaram menor longevidade em relação ao controle.

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

As menores taxas de sobrevivência por idade-estágio específico (S_{xj}) foram obtidas nos estádios larvais (Figuras 1, 2 e 3). O tratamento composto de OE de *C. aurantium* causou a maior mortalidade dos insetos durante o desenvolvimento larval. O ciclo de vida total dos insetos tratados com os óleos de *C. bergamia* e *C. aurantium* decresceu, resultando na diminuição da longevidade dos machos. Além disso, nos tratamentos compostos pelos óleos emergiram fêmeas e machos antes dos espécimes do controle (acetona).

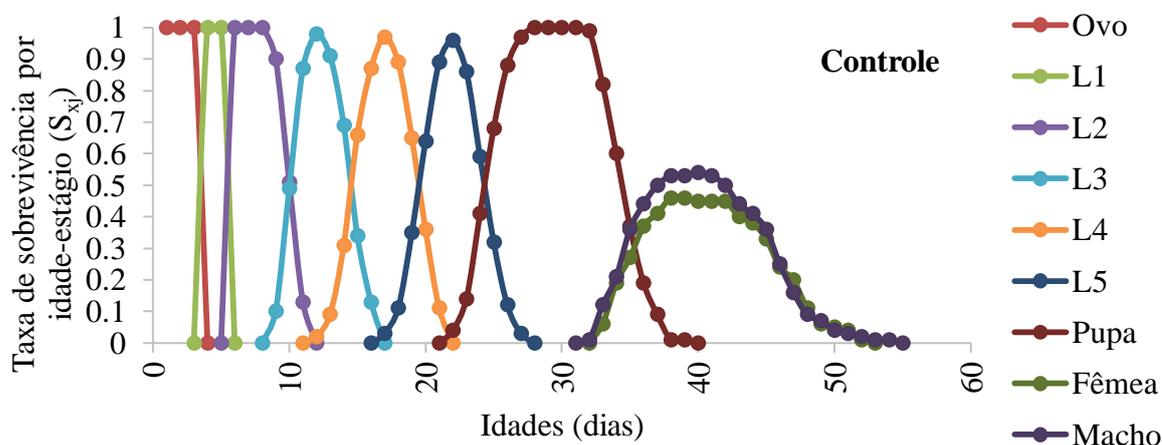


Figura 1. Taxa de sobrevivência por idade-estágio específico (S_{xj}) de *Spodoptera frugiperda* no tratamento controle (acetona).

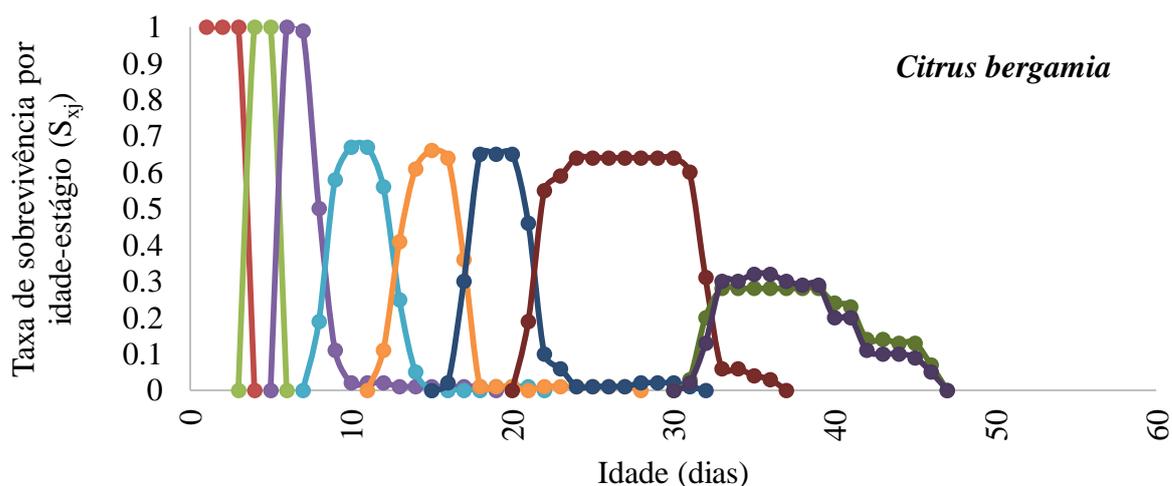


Figura 2. Taxa de sobrevivência por idade-estágio específico (S_{x_j}) de *Spodoptera frugiperda* no tratamento *Citrus bergamia*.

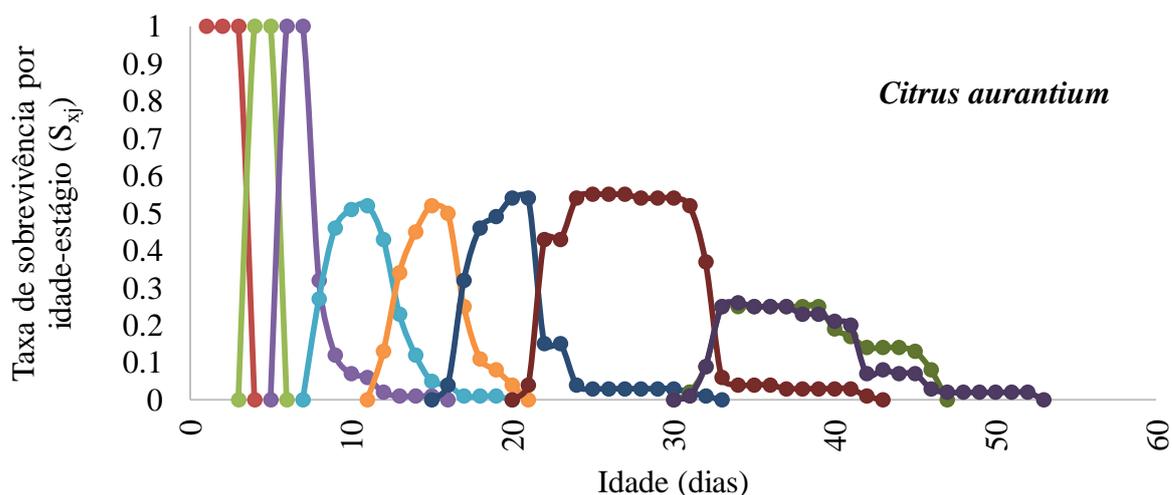


Figura 3. Taxa de sobrevivência por idade-estágio específico (S_{x_j}) de *Spodoptera frugiperda* no tratamento *Citrus aurantium*.

Para o controle (acetona), *C. bergamia*, *C. aurantium* a expectativa de vida por idade-estágio (e_{x_j}) mais elevada foi observada na fase ovo do tratamento controle (46; 30 e 27 dias, no dia 1, respectivamente). O óleos essenciais de *C. aurantium* apresentou valores menores para os parâmetros e_{x_j} nos estádios de desenvolvimento L1 e L2. Nos estádios L3, L4, L5 e fase de pupa, verificou-se que o *C. bergamia* se diferiu em relação ao controle e o tratamento *C. aurantium*. Para os machos, o óleo *C. aurantium* (9,97 dias) apresentou menor expectativa de vida em relação controle e o óleo *C. bergamia* (14,40 e 11,22 dias, respectivamente). Para as fêmeas, o óleo *C. bergamia* (12,85 dias) apresentou uma menor expectativa de vida,

entretanto, verificou-se pouca diferença com o óleo *C.aurantium* (12,96 dias) (Figuras 4, 5 e 6).

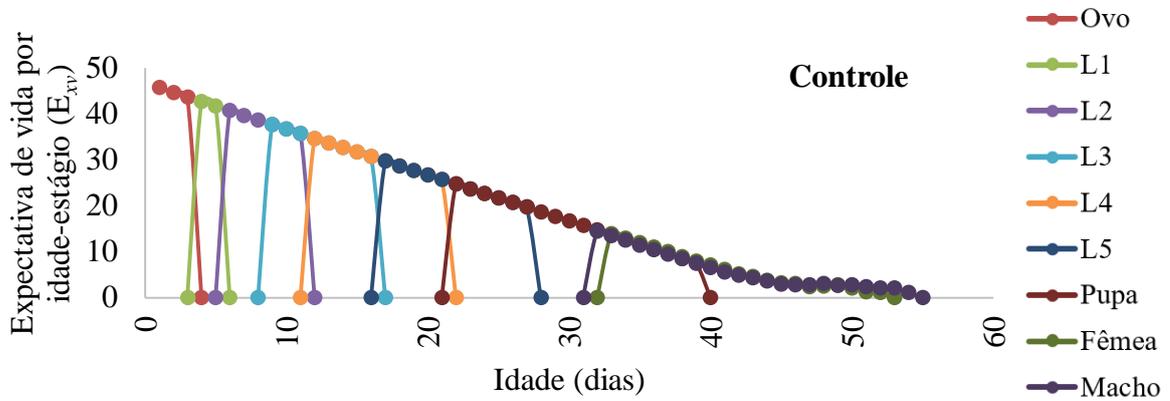


Figura 4. Expectativa de vida por idade específica (e_{xj}) de *Spodoptera frugiperda* no tratamento controle (acetona).

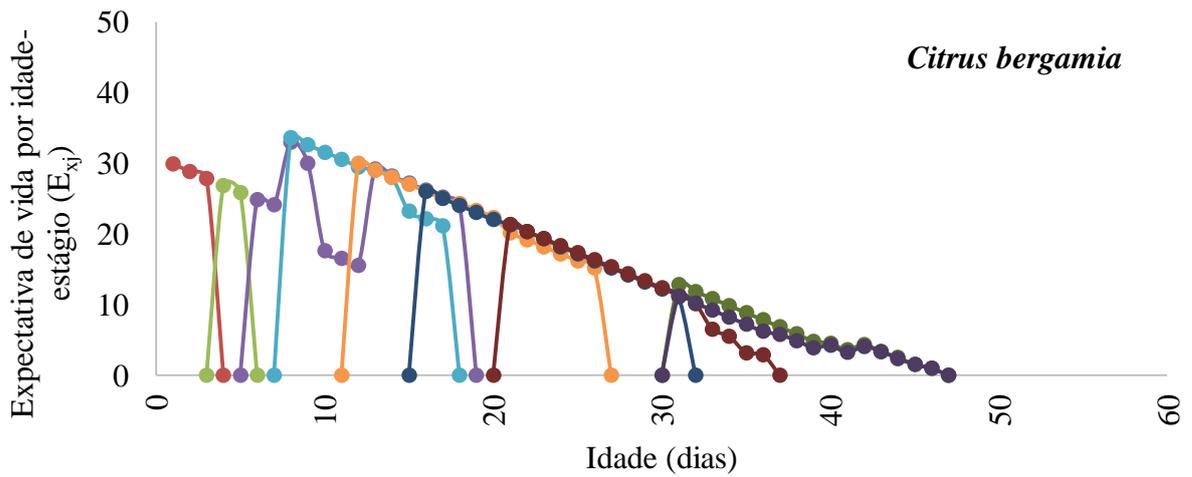


Figura 5. Expectativa de vida por idade específica (e_{xj}) de *Spodoptera frugiperda* no tratamento *Citrus bergamia*.

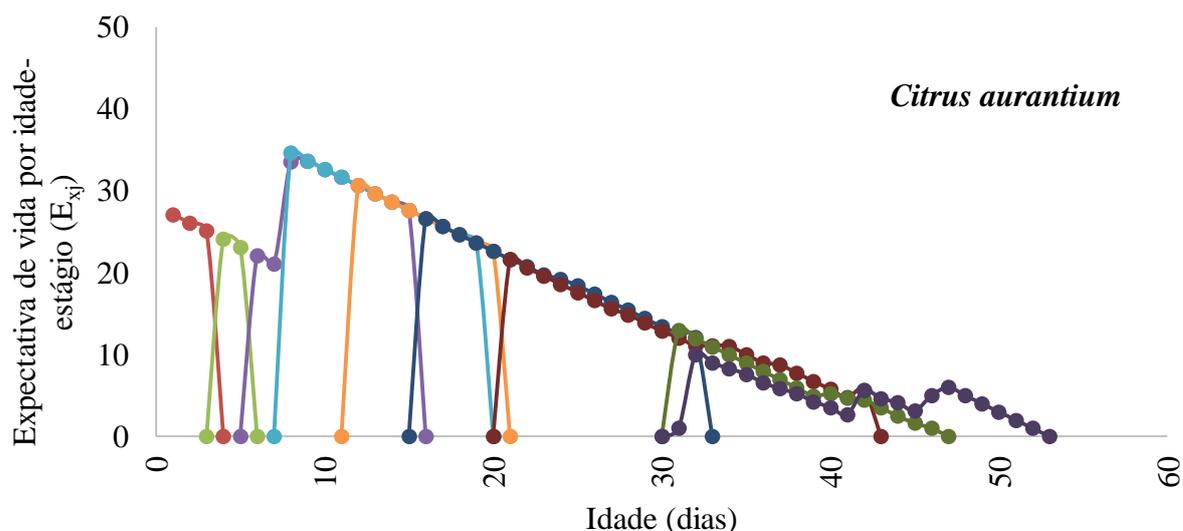


Figura 6. Expectativa de vida por idade específica (e_{xj}) de *Spodoptera frugiperda* no tratamento *Citrus aurantium*.

Uma forma simplificada do S_{xj} é a taxa de sobrevivência por idade específica (l_x), sendo usada para descrever as mudanças na sobrevivência da população de acordo com a idade. A curva do óleo de *C. bergamia* do parâmetro l_x decresceu mais em relação aos tratamentos controle (acetona) e *C. aurantium* nos estágios iniciais de desenvolvimento da praga (Figuras 7, 8 e 9).

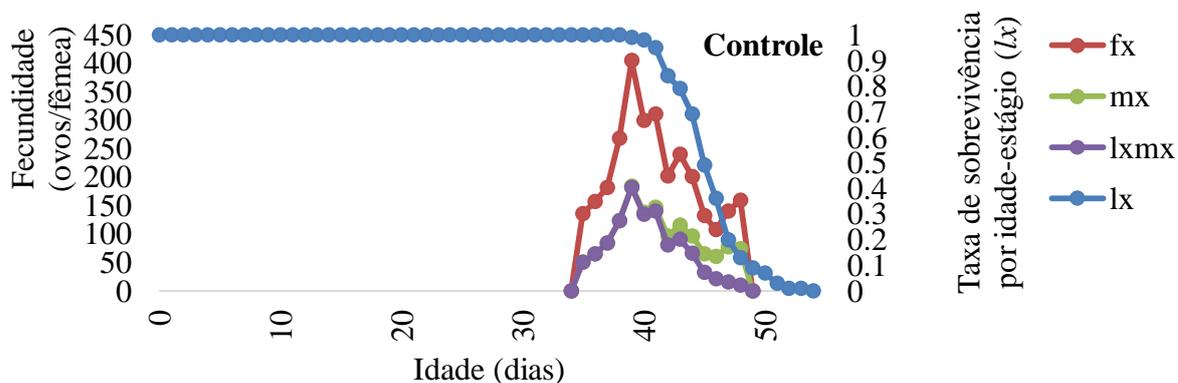


Figura 7. Taxa de sobrevivência por idade-estágio específico (l_x), fecundidade por idade estágio específico (f_x), fecundidade por idade específica (m_x) e maternidade por idade específica ($l_x m_x$) *Spodoptera frugiperda* nos tratamentos controle (acetona).

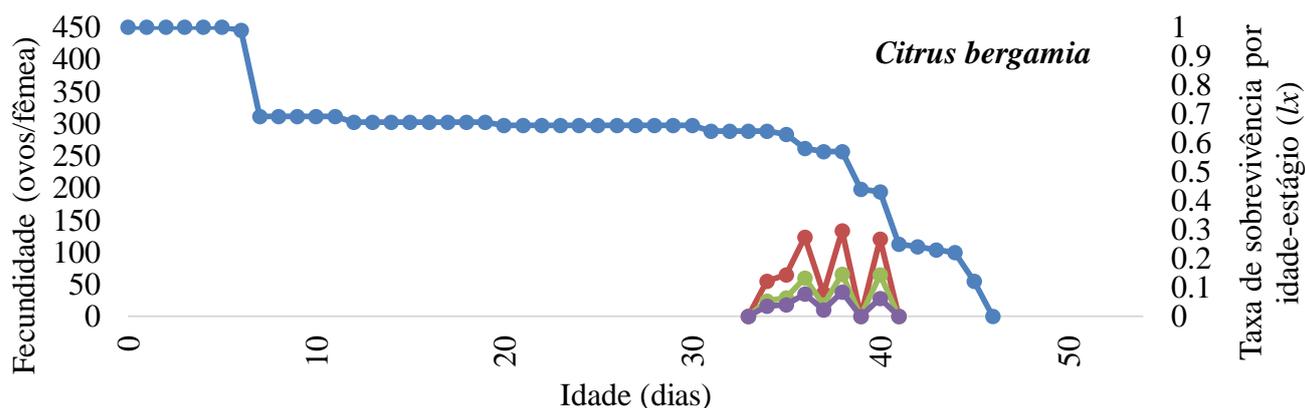


Figura 8. Taxa de sobrevivência por idade-estágio específico (l_x), fecundidade por idade estágio específico (f_x), fecundidade por idade específica (m_x) e maternidade por idade específica ($l_x m_x$) *Spodoptera frugiperda* nos tratamentos *Citrus bergamia*.

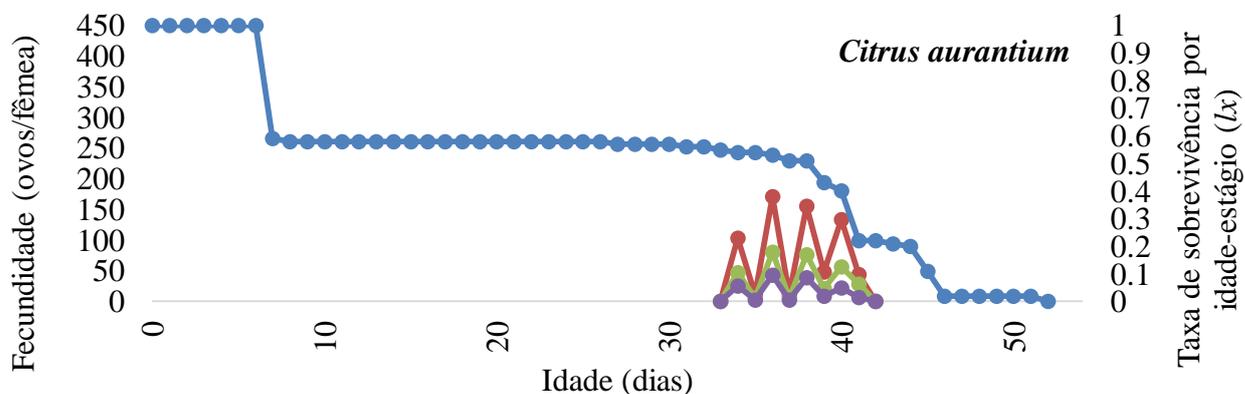


Figura 9. Taxa de sobrevivência por idade-estágio específico (l_x), fecundidade por idade estágio específico (f_x), fecundidade por idade específica (m_x) e maternidade por idade específica ($l_x m_x$) *Spodoptera frugiperda* nos tratamentos *Citrus aurantium*.

6.3 Parâmetros reprodutivos

Os tratamentos com os óleos essenciais apresentaram menor fecundidade, entretanto não houve diferenças significativas entre os dois óleos. No tratamento controle (acetona), o período de pré-oviposição do adulto (PPOA) foi menor comparado ao óleo de *C. aurantium*. Na pré-oviposição total (PPOT) no tratamento à base de *C. bergamia*, as fêmeas tratadas com os OEs de *C. aurantium* e *C. bergamia* apresentaram um período de oviposição menor quando comparadas às fêmeas do tratamento controle. As menores máximas de fecundidades diárias (MFD) e total (MFT) foram constatadas no tratamento com o óleo essencial de *C. aurantium* (Tabela 3).

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

Parâmetros	Controle		<i>Citrus aurantium</i>		<i>Citrus bergamia</i>	
	N	Média ± SE	N	Média ± SE	N	Média ± SE
Fecundidade total	46	2381 ± 116 a	25	604,70 ± 107 b	28	509,40 ± 93 b
Fecundidade efetiva	46	2381 ± 116 a	17	889 ± 99 b	18	792,40 ± 91,70 b
Oviposição (dias)	46	4,07 ± 0,13 a	17	2,82 ± 0,23 b	18	3,17 ± 0,25 b
PPOA (dias)	46	3,13 ± 0,11 a	17	4,35 ± 0,51 b	18	3,33 ± 0,31 ab
PPOT (dias)	46	37,30 ± 0,25 a	17	35,82 ± 0,45 b	18	34,44 ± 0,23 c
MFD (O/F)	-	1506	-	846	-	1058
MFT (O/F)	-	4035	-	1598	-	1879

*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.

Através do parâmetro f_{xj} foi possível visualizar quando aconteceu a primeira oviposição, o pico e último evento de fecundidade, além do número médio diário de ovos por fêmea (O/F). Após o pico de fecundidade ocorreu declínio gradual desse parâmetro, indicando diminuição do número de descendentes produzidos por fêmea de acordo com o aumento da idade, com exceção do tratamento com *C. aurantium*, que após o pico no 34° dia, observou-se que decresceu no 35° dia, mas houve um pequeno aumento na fecundidade no 36° dia (Figuras 10, 11 e 12).

O valor reprodutivo por idade-estágio (v_{xj}) não considera a presença de machos. No tratamento controle (acetona) o período de crescimento populacional ocorreu do 32° aos 48° dias, onde os maiores valores de v_{xj} ocorreram entre o 35° e 39°, com pico reprodutivo no 38° dia. Para o óleo essencial de *C. bergamia* o período de crescimento populacional ocorreu entre os 30° aos 40° dias, sendo que os maiores valores de v_{xj} foram verificados entre os 33° e 36° dias, com pico populacional no 34° dia. No tratamento à base de óleo essencial de *C. aurantium* o período de crescimento populacional foi observado entre o 30° e 41° dias, com maiores registros de v_{xj} entre 33° e 36° dias, com pico no dia 34° (Figuras 10, 11 e 12).

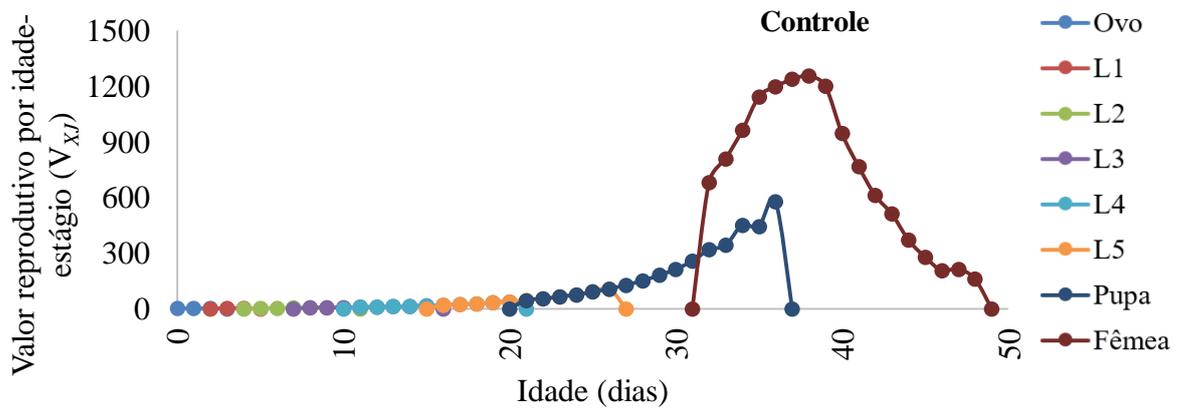


Figura 10. Valor reprodutivo por idade-estágio (v_{xj}) de *Spodoptera frugiperda* no tratamento controle (acetona).

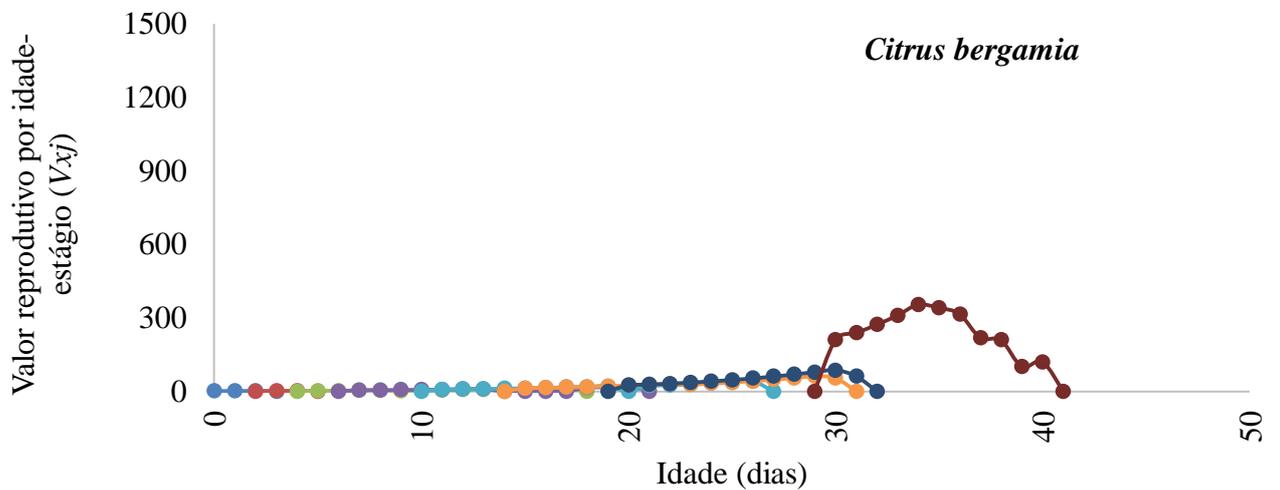


Figura 11. Valor reprodutivo por idade-estágio (v_{xj}) de *Spodoptera frugiperda* no tratamento *Citrus bergamia*.

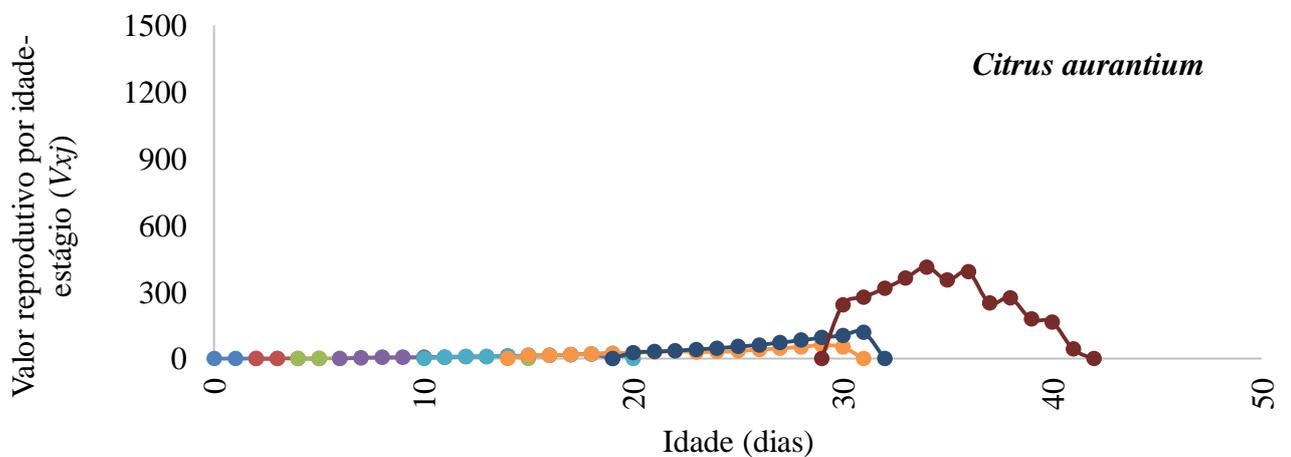


Figura 12. Valor reprodutivo por idade-estágio (v_{xj}) de *Spodoptera frugiperda* no tratamento *Citrus aurantium*.

6.4 Parâmetros populacionais

Em relação à capacidade da população de aumentar um número de indivíduos (r), a descendência média de um indivíduo por unidade tempo (λ), número médio de descendentes de um indivíduo durante toda sua vida (R_0) e a duração média de uma geração (T), o controle (acetona) apresentou os maiores valores em todos os parâmetros demográficos, sendo que os óleos essenciais não se diferenciaram entre si ($p < 0,05$). Insetos tratados apenas com acetona necessitam de 2,62 dias a mais para completar uma geração do que insetos tratados com óleos essenciais de *C. aurantium* e *C. bergamia* (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros populacionais de *Spodoptera frugiperda* em diferentes tratamentos com óleos essenciais de plantas do gênero *Citrus*.

Parâmetros demográficos	Controle	<i>Citrus aurantium</i>	<i>Citrus bergamia</i>
	Média \pm SE	Média \pm SE	Média \pm SE
Taxa intrínseca de crescimento (r)	0,17 \pm 0,003 a	0,13 \pm 0,007 b	0,13 \pm 0,007 b
Taxa finita de crescimento (λ)	1,20 \pm 0,004 a	1,14 \pm 0,008 b	1,14 \pm 0,008 b
Taxa de reprodução básica (R_0)	1095,2 \pm 130,15 a	151,2 \pm 37,22 b	142,64 \pm 34,4 b
Tempo médio de geração (T)	40,45 \pm 0,27 a	37,88 \pm 0,37 b	37,79 \pm 0,25 b

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.

7. DISCUSSÃO

O uso dos inseticidas sintéticos corresponde a uma das principais formas de controle de *S. frugiperda*, porém existem vários relatos de populações dessas pragas resistentes a inseticidas pertencentes aos grupos químicos dos piretróides, organofosfatos e carbamatos (BOLZAN et al., 2019). Segundo Gutiérrez-Moreno et al. (2019), na América, a lagarta-do-cartucho do milho se mostra resistente a no mínimo 29 ingredientes ativos, como resultado de aplicações descontroladas e frequentes de inseticidas. Além disso, no Brasil, existem populações resistentes desse inseto às proteínas Cry1F e Cry1Ab (BERNARDI et al., 2014; FARIAS et al., 2014; OMOTO et al., 2016) e também em outros países como Argentina (CHANDRASENA et al., 2018), Estados Unidos (HUANG et al., 2014; LI et al., 2016) e Porto Rico (BLANCO et al., 2010; STORER et al., 2010; GUTIÉRREZ-MORENO et al., 2019;).

Por consequência desses fatores, novas pesquisas vêm sendo realizadas à procura de novas medidas de controle de *S. frugiperda*. Neste contexto, o presente trabalho até onde se pode buscar, estes resultados são pioneiros no que se trata da influência dos óleos essenciais do *C. aurantium* e *C. bergamia* em parâmetros da tabela de vida de *S. frugiperda*. Entretanto, em literatura são encontrados trabalhos que avaliaram o parâmetro de tabela de vida e também os toxicológicos (letal) de óleos essenciais de diferentes famílias botânicas para esse inseto praga.

No presente pesquisa foi verificado que os óleos essenciais de *C. bergamia* e *C. aurantium* causaram redução do período larval. Esses resultados estão de acordo com as observações feitas por Júnior (2003), de os componentes limoneno e linalol são os principais constituintes dos óleos essenciais de plantas do gênero *Citrus* e estão associados aos efeitos de supressão do crescimento dos insetos e redução do período de desenvolvimento da fase jovem. O efeito tóxico do limoneno em insetos ocorre por meio da inibição da acetilcolinesterase, o que leva o inseto a uma condição de hiperexcitação pelo acúmulo de acetilcolina e posterior morte (MARANGONI; MOURA; GARCIA, 2012).

As taxas de sobrevivência das lagartas tratadas com os óleos essenciais foram menores em relação ao controle, sendo que este resultado assemelha-se ao de Oliveira et al. (2017), os quais verificaram que o limoneno causou 50% de mortalidade dos espécimes de *Atta sexdens* (Forel, 1908) (Hymenoptera: Formicidae) em até 47,5 horas da aplicação tópica. Oladipupo, Hu e Appel (2020) avaliaram os efeitos dos compostos limoneno, cavacrol e β -thujaplicin

sobre *Blattella germanica* (Linnaeus, 1767) (Blattodea: Blatterllidae), e concluíram que o limoneno reduziu a sobrevivência em até 39% em relação ao tratamento controle.

A expectativa de vida dos insetos tratados com ambos os óleos essenciais foi menor em relação ao controle (acetona), o que demonstra que altas taxas de mortalidade não devem ser a finalidade principal do uso dos óleos essenciais, porque vêm de concentrações elevadas e altas quantidades de matéria-prima o que pode elevar o custo de um possível produto formulado (SILVA et al., 2013). Outros fatores como atraso ou aceleração nos estágios de desenvolvimento, alterações de peso, repelência, capacidade reprodutiva reduzida por esterilização, deformidades, fecundidade e fertilidade também são parâmetros que devem ser priorizados (CRUZ et al., 2016), visto que o tempo estimado na idade x e estágio j pode ser diminuído.

O número de ovos colocados pelas fêmeas que foram tratadas na fase imatura foi decrescido em comparação com o tratamento controle. Desta forma, os óleos essenciais utilizados neste estudo possuem a capacidade de retardar o aumento da população, mesmo que tenha sido aplicado na fase jovem do inseto-praga e, posteriormente, pode ocorrer a diminuição dos parâmetros populacionais. Com relação a esses parâmetros, houve diminuição do tempo médio da geração nos tratamentos com óleos essenciais de *C. bergamia* e *C. aurantium*. Segundo PAPPAS; BROUFAS; KOVEOS (2007) esse é um parâmetro importante, visto que a rápida emergência dos adultos leva a um aumento populacional mais rápido.

Viana e Prates (2003) trataram folhas de milho com o extrato aquoso de *Azadirachta indica* visando ao controle de *S. frugiperda*, e verificaram que a longevidade dos adultos foi reduzida. Da mesma forma, Shadia et al. (2007) constataram que o óleos essencial de *Ocimum americanum* L. (alfavaca) (Lamiaceae) diminuiu a viabilidade da população de *Agrotis ipsilon* (Hufnagel, 1766) (Lepidoptera: Noctuidae).

Como alternativa de controle de *S. frugiperda*, a utilização de óleos essenciais vem sendo estudada cada vez mais e são de grande importância vista a necessidade de novas formas controle mais sustentáveis para esta praga e como uma nova medida vista a baixa efetividade dos inseticidas sintéticos utilizados. Além disso, os óleos essenciais são produtos de origem vegetal que apresentam menor toxicidade para o ambiente, a saúde humana e oferece menos riscos aos inimigos naturais.

8. CONCLUSÃO

Os óleos essenciais de *C. bergamia* e *C. aurantium* apresentaram potencial no controle de *S. frugiperda*, sendo importante que novas pesquisas sejam realizadas com a finalidade de comprovar os componentes majoritários presentes nos óleos essenciais por meio de cromatografia gasosa e seus respectivos modos de ação.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, C. E. D. et al. Atividade inseticida de óleos essenciais sobre *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.
- AKKÖPRÜ, E. P. et al. 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.
- BAKKALI, F. et al. Biological effects of essential oils—a review. **Food and chemical toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.
- BALBINOT, A.; DELAI, R.M.; WERLE, A.J.K. Viabilidade do pólen de milho. **Revista Cultivando o Saber**, v. 4, n. 2, p. 133-142, 2011.
- BANDEIRA, G.N. et al. **Efeito de extratos vegetais e óleos essenciais no desenvolvimento de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae)**. Dissertação de Mestrado, UFRPE, Recife. 2009.
- BARROS GOMES, P. R. et al. Composição Química e atividade larvívica do óleo essencial das cascas do *Citrus sinensis* (L.) Osbeck. **Revista Colombiana de Ciências Químico-Farmacêuticas**, v. 50, n. 1, p. 48-60, 2021.
- BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. A cultura do milho. **Universidade de Évora. Évora**, 2014. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10804/1/Sebentamilho.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- BAPTISTA-SILVA, S. et al. O progresso dos óleos essenciais como potenciais agentes terapêuticos: uma revisão. **Journal of Essential Oil Research**, v. 32, n. 4, pág. 279-295, 2020.
- BERNARDI, D. et al. Cross-resistance between Cry1 proteins in fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) may affect the durability of current pyramided Bt maize hybrids in Brazil. **PLoS One**, v. 10, n. 10, p. e0140130, 2015.
- BERNARDI, O. et al. Low susceptibility of *Spodoptera cosmioides*, *Spodoptera eridania* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to genetically-modified soybean expressing Cry1Ac protein. **Crop Protection**, v. 58, p. 33-40, 2014.
- BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, v. 32, p. 588-594, 2009.
- BLANCO, C. A. et al. Susceptibility of isofamilies of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to Cry1Ac and Cry1F a proteins of *Bacillus thuringiensis*. **Southwestern Entomologist**, v. 35, n. 3, p. 409-415, 2010.
- BOLZAN, A. et al. Selection and characterization of the inheritance of resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole and cross-resistance to other diamide insecticides. **Pest Management Science**, v. 75, n. 10, p. 2682-2689, 2019.

BRITO, A. S. de et al. **Atividade inseticida e repelência de óleos essenciais em *Tribolium castaneum* herbst (Coleoptera: Tenebrionidae)**. Dissertação de Mestrado, UFRPE, Serra Talhada. 2015.

BRITO, V. D. et al. An alternative to reduce the use of the synthetic insecticide against the maize weevil *Sitophilus zeamais* through the synergistic action of *Pimenta racemosa* and *Citrus sinensis* essential oils with chlorpyrifos. **Journal of Pest Science**, v. 94, p. 409-421, 2021.

BURTET, L. M et al. Managing fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), with Bt maize and insecticides in southern Brazil. **Pest Management Science**, v. 73, n. 12, p. 2569-2577, 2017.

BUSATO, G. R. et al. Consumo e utilização de alimento por *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) originária de diferentes regiões do Rio Grande do Sul, das culturas do milho e do arroz irrigado. **Neotropical Entomology**, v. 31, p. 525-529, 2002.

BUSATO, N.V.; SILVEIRA, J.C.; COSTA, A.O.S.D. Estratégias de modelagem da extração de óleos essenciais por hidrodestilação e destilação a vapor. **Ciência Rural**, v. 44, p. 1574-1582, 2014.

CAIXETA, D. F. et al. Crescimento da plântula de milho à aplicação de inseticidas na semente sob diferentes disponibilidades hídricas. **Revista da FZVA, Uruguiana**, v. 17, n. 1, p. 78-87, 2010.

CHANDRASENA, D. L. et al. Characterization of field-evolved resistance to *Bacillus thuringiensis*-derived Cry1F δ -endotoxin in *Spodoptera frugiperda* populations from Argentina. **Pest Management Science**, v.74, n.3, p. 746-754, 2018.

CHAUDHARI, A. K.; SINGH, V. K.; KEDIA, A.; DAS, S. et al. Essential oils and their bioactive compounds as eco-friendly novel green pesticides for management of storage insect pests: prospects and retrospects. **Environmental Science and Pollution Research**, 28, n. 15, p. 18918-18940, 2021.

CHI, H. TWSEX-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. v. 10 - Safra 2022/23 n.3 - Terceiro levantamento, dezembro 2022.**

CONTINI, E. et al. Milho: caracterização e desafios tecnológicos. **Brasília: Embrapa. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2)**, 2019.

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.

CRUZ, G. S. et al. Sublethal effects of essential oils from *Eucalyptus staigeriana* (Myrtales: Myrtaceae), *Ocimum gratissimum* (Lamiales: Lamiaceae), and *Foeniculum vulgare* (Apiales: Apiaceae) on the biology of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 109, n. 2, p. 660-666, 2016.

CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. de; MATOSO, Marcos Joaquim. Controle biológico de *Spodoptera frugiperda* utilizando o parasitóide de ovos *Trichogramma*. **EMBRAPA-CNPMS. Circular técnica**, 1999.

CRUZ, J.C et al. Produção de milho na agricultura familiar **Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2011.

DAMBOLENA, J. S. et al. Composition, antifungal and antifumonisin activity of *Pinus wallichiana*, *Pinus monticola* and *Pinus strobus* essential oils from Patagonia Argentina. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 19, n. 7, p. 1769-1775, 2016.

DE SOUZA RIBAS, N. et al. The Effect of Resistance to Bt Corn on the Reproductive Output of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Insects**, v. 13, n. 2, p. 196, 2022.

DESHMUKH SHARANABASAPPA, S. et al. Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). **Polyphagous pests of crops. Omkar (ed.) Springer Natura Singapore Pte Ltd**, 2021.

DOSOKY, N. S.; SETZER, W. N. Biological activities and safety of *Citrus* spp. Essential oils. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 7, p. 1966, 2018.

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

FARIAS, J. R., et al. “Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Crop protection**, v.64, p. 150-158, 2014.

GONÇALVES, D. da C. et al. Manejo da largarto-do-cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda*): panorama geral das atualizações no controle alternativo. 2021

GONZAGA, B. A.; DE ANDRADE, C. L. L.; CABRAL FILHO, F. R. Tratamento de sementes de milho com bioestimulante. **Brazilian Journal of Science**, v. 2, n. 3, p. 46-53, 2023.

GUTIÉRREZ-MORENO, R. et al. Field-evolved resistance of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to synthetic insecticides in Puerto Rico and Mexico. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 2, p. 792-802, 2019.

HELLWIG, L. Reavaliação do nível de dano de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho convencional em casa de vegetação e avaliação do refúgio no saco para milho transgênico em terras baixas. **Embrapa Clima Temperado-2Tese/dissertação (ALICE)**, 2015.

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.

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.

HUANG, F. et al. Cry1F resistance in fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: single gene versus pyramided Bt maize. **PloS one**, v. 9, n. 11, p. e112958, 2014.

- HUANG, Y.B., CHI, H. The age-stage, two-sex life table with an offspring sex ratio 583 dependent on female age. **Journal of Agriculture and Forestry**. v. 60, p. 337–345, 2011.
- ISMAN, M. B. Botanical insecticides: for richer, for poorer. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 64, n. 1, p. 8-11, 2008.
- JARA, J. S. et.al. Control biológico de *Spodoptera frugiperda* em cultivo de *Zea mays*: uso de nematodos entomopatógenos. **Scientia Agropecuaria**, v. 4, n. 10, p. 551557, 2019.
- JÚNIOR, C. V. Terpenos com atividade inseticida: uma alternativa para o controle químico de insetos. **Química Nova**, v. 26, n.3, p. 390-400, 2003.
- KUMAE, R. M. et al. Sustainable Management of Invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Agronomy**, v. 12, n. 9, p. 2150, 2022.
- LI, G. et al. Frequency of Cry1F non-recessive resistance alleles in North Carolina field populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **PloS one**, v. 11, n. 4, p. e0154492, 2016.
- LOPES, P. T.; KNIES, A. E.. Desempenho agrônômico de milho crioulo e híbrido com a inoculação e coinoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. In: **IX SIEPEX-IX Salão Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão**. 2019
- MACHADO, E. P. et al. Cross-crop resistance of *Spodoptera frugiperda* selected on Bt maize to genetically-modified soybean expressing Cry1Ac and Cry1F proteins in Brazil. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 10080, 2020.
- MARANGONI, C.; DE MOURA, N.F.; GARCIA, F. R. M. Utilização de óleos essenciais e extratos de plantas no controle de insetos. **Revista de ciências ambientais**, v. 6, n. 2, p. 92-112, 2013.
- MAXIMIANO, C. V. **Pré-condicionamento de sementes de milho em água com diferentes concentrações de ozônio no desenvolvimento inicial de plântulas e no controle de Fusarium spp.** 2017. 55f. Dissertação (Mestrado em agronomia), Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- MIRANDA, R. A. Sustentabilidade da cadeia produtiva do milho. **Embrapa Milho e Sorgo- Documentos (INFOTECA-E)**, 2021.
- MONTEZANO, D. G. et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v.26, n. 2, p. 286-300, 2018.
- NICULAU, E. dos S. et al. Atividade inseticida de óleos essenciais de *Pelargonium graveolens* L'Herit E *Lippia alba* (Mill) NE Brown sobre *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). **Química Nova**, v. 36, p. 1391-1394, 2013.
- OLADIPUPO, S. O.; HU, X. P.; APPEL, A. G. Essential Oil Components in Superabsorbent Polymer Gel Modify Reproduction of *Blattella germanica* (Blattodea: Ectobiidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 113, n. 5, p. 2436-2447, 2020.

OLIVEIRA, B.M.S et al. Essential oil of *Aristolochia trilobata*: synthesis, routes of exposure, acute toxicity, binary mixtures and behavioral effects on leaf-cutting ants. **Molecules**, v. 22, n. 3, p. 335, 2017.

OMOTO, C. et al. Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. **Pest management Science**, v. 72, n.9, o. 1727-1736, 2016.

PAPPAS, M. L.; BROUFAS, G. D.; KOVEOS, D. S. Effects of various prey species on development, survival and reproduction of the predatory lacewing *Dichochrysa prasina* (Neuroptera: Chrysopidae). **Biological Control**, v. 43, n. 2, p. 163-170, 2007.

PATIL, J. et al. Biocontrol potential of entomopathogenic nematodes for the sustainable management of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. **Pest Management Science**, v. 78, n.7, p. 2883-2895, 2022.

PRASANNA, B. M et al. Lagarta do funil do milho em África: um guia para o manejo integrado de pragas. **Embrapa Milho e Sorgo-Livro científico (ALICE)**, 2018.

PREZOTO, F.; MACHADO, V. L. L. Ação de *Polistes (Aphanilopterus) similimus* Zikám (Hymenoptera: Vespidae) na produtividade de lavoura de milho infestada com *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Brasileira de Zootecias**, v.1, n.1, 2, 1999.

RAMOS-LÓPEZ, M. A., et al. Activity of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) **African Journal of Biotechnology**, v. 0, n. 9, 2019.

REGNAULT-ROGER, C. The potential of botanical essential oils for insect pest control. **Integrated Pest Management Reviews**, v. 2, n. 1, p. 25-34, 1997.

REGNAULT-ROGER, C.; VINCENT, C.; ARNASON, J. T. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. **Annual Review of Entomology**, v. 57, p. 405-424, 2012

RIBEIRO, N. DE C.. **Potencial inseticida de óleos essenciais de espécies do gênero *Citrus* sobre *Bemisia tabaci* (Genn., 1889) biótipo B (Hemiptera : Aleyrodidae)**. Dissertação de Mestrado, UFRPE, Recife. 2010.

ROSA, A. P. S. A.; BARCELOS, H. T. Bioecologia e controle de *Spodoptera frugiperda* em milho. **Embrapa Clima Temperado-Documentos (INFOTECA-E)**, 2012.

ROSA, A. P. S. A.; MARTINS, J.F.S. **Manejo da resistência de *Spodoptera frugiperda* a inseticidas na cultura do milho: situação atual**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 18p. 2011. (Documentos 334).

SHADIA, E et al. Chemical composition of *Ocimum americanum* essential oil and its biological effects against, *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae). **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 3, n. 6, p. 740-747, 2007.

SHENG, Z.; JIAN, R.; XIE, F.; CHEN, B. et al. Screening of larvicidal activity of 53 essential oils and their synergistic effect for the improvement of deltamethrin efficacy against *Aedes albopictus*. **Industrial Crops and Products**, 145, p. 112131, 2020.

SILVA, J. F. et al. Plant extracts for the control the bean weevil *Zabrotes subfaciatus* (Boheman 1833) (Coleoptera: Bruchidae). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 3, p. 01-05, 2013.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; PETROVICK, L. A. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre: UFRGS, 2007.

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, 2007.

STORER, N. P. et al. Discovery and characterization of field resistance to Bt maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. **Journal of Economic Entomology**, v. 103, n. 4, p. 1031-1038, 2010.

TABASHNIK, B. E.; VAN RENSBURG., J. B. J.; CARRIÈRE, Yves. Field-evolved insect resistance to Bt crops: definition, theory, and data. **Journal of Economic Entomology**, v. 102, n. 6, p. 2011-2025, 2009.

TAY, W. T. et al. *Spodoptera frugiperda*: ecology, evolution, and management options of an invasive species. **Annual Review of Entomology**, v.68, 2022.

TEMPERADO, Embrapa Clima; DA ROSA, A. P. S. A.; BARCELOS, H. T. Documento 344. 2012.

USDA. Grain : World Markets and Trade. Washington, DC: USDA (2020). Available online at: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>.

VALICENTE, F. H. Controle biológico da lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda*, com *Bacillus thuringiensis*. 2008.

VIANA, P.A.; PRATES, H.T. Desenvolvimento e mortalidade larval de *Spodoptera frugiperda* em folhas de milho tratadas com extrato aquoso de folhas de *Azadirachta indica*. **Bragantia**, v. 62, p. 69-74, 2003.

YU, L. et al. 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.