



AMANDA DE OLIVEIRA PAIVA

**BIOATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE PLANTAS DO GÊNERO *Citrus*
PARA *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

LAVRAS-MG

2021

AMANDA DE OLIVEIRA PAIVA

**BIOATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE PLANTAS DO GÊNERO *Citrus*
PARA *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

2021

Aos meus irmãos Tiago (in memoriam) e Vania (in memoriam) pelo apoio e incentivo no começo dessa jornada, por todo amor e cumplicidade que tivemos durante a passagem deles por aqui.

Com muito amor e saudade,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado o dom da vida e por estar sempre comigo.

Aos meus pais Luiz e Dora, por não terem medido esforços para que eu chegasse até aqui e por serem meus maiores exemplos, a vocês toda minha admiração e amor.

A todos meus familiares e amigos, por acreditarem em mim, especialmente minhas primas Luciana e Taciane, que sempre me deram suporte nos momentos difíceis.

Aos meus professores que me inspiraram, por todo aprendizado e incentivo, em especial ao meu orientador Geraldo Andrade de Carvalho.

À minha coorientadora Karolina Gomes de Figueiredo, pela empatia, paciência, ensinamentos e generosidade durante a condução desse trabalho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), por toda contribuição para o meu crescimento profissional e pessoal.

Ao Laboratório de Ecotoxicologia e Manejo Integrado de Pragas (LEMIP), e toda equipe pelo apoio e conhecimento compartilhado durante o período que estive lá.

Às minhas amigas: Anna Rakhel, Ana Clara, Camila, Karolaine e Marina pela parceria nos estudos e por estarem ao meu lado durante todos os momentos da graduação. Conhecer vocês, foi um presente da vida.

Muito obrigada!

RESUMO

A lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é um inseto polífago capaz de causar danos significativos em culturas com elevada importância econômica. O sistema de produção em que ocorre o cultivo sucessivo de culturas hospedeiras dessa praga possibilita sua sobrevivência. O uso frequente de inseticidas pode selecionar populações resistentes, sendo primordial a adoção de outras alternativas de manejo para um controle efetivo de *S. frugiperda*. Estudo da bioatividade de óleos essenciais de origem vegetal constitui-se uma alternativa promissora, sendo mais segura para o ambiente, para os aplicadores e consumidores. Objetivou-se no presente trabalho avaliar a bioatividade dos óleos essenciais de *Citrus aurantium* (petitgrain) e *Citrus bergamia* (bergamota) para lagartas de *S. frugiperda*. Os óleos essenciais foram solubilizados em acetona nas doses de 100; 74; 55; 40 e 30 mg mL⁻¹ e a acetona foi incluída como controle. Foi realizada aplicação tópica de 1 µL do respectivo tratamento no dorso das lagartas de segundo instar para a determinação da dose-tempo-mortalidade. Para cada tratamento foram utilizadas 60 repetições, sendo cada uma formada por uma lagarta. A avaliação da sobrevivência permitiu a formação de sete grupos congêneres e foi realizada à cada 24 h até o total de 96 h. Observou-se que o óleo essencial de *C. bergamia* foi mais tóxico para as lagartas de *S. frugiperda* do que o de *C. aurantium*. Os óleos essenciais de *C. bergamia* e *C. aurantium* apresentaram DL₂₅ de 35,04 µg µL⁻¹; 43,39 µg µL⁻¹, DL₅₀ de 45,35 µg µL⁻¹; 63,66 µg µL⁻¹ e DL₉₀ de 75,98 µg µL⁻¹; 137,03 µg µL⁻¹ respectivamente. Após o estabelecimento da dose letal os óleos essenciais foram diluídos na concentração de 30 mg mL⁻¹ e aplicado 1 µL da solução no dorso de cada lagarta de segundo instar a fim de avaliar os efeitos subletais como a duração do período larval, duração do período pupal e longevidade dos adultos. Para esse experimento utilizou-se 100 lagartas para cada tratamento, em que cada lagarta correspondeu a uma repetição. Todos os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado. Os óleos essenciais de *C. aurantium* e *C. bergamia* apresentaram potencial para o controle de *S. frugiperda*, uma vez que causaram alta mortalidade de lagartas e diminuíram a duração dos estágios de vida desse noctuídeo.

Palavras-Chave: *Zea mays*; Lagarta-militar; produtos botânicos; controle.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	3
2 OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo geral.....	5
2.2 Objetivos específicos.....	5
3 HIPÓTESES.....	6
4 REFERENCIAL TEÓRICO	6
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	9
5 MATERIAL E MÉTODOS	11
5.1 Criação de <i>S. Frugiperda</i>.....	11
5.2 Óleos essenciais	11
5.3 Bioatividade de óleos essenciais para <i>S. frugiperda</i>	12
5.4 Efeito dos óleos essenciais na duração dos estágios de vida de <i>S. frugiperda</i>.....	12
5.5 Análise Estatística.....	13
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
7 CONCLUSÃO.....	20

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é considerado uma das gramíneas mais produzidas no mundo com mais de 1,12 bilhão de toneladas colhidas, com 45% do total de grãos produzidos no mundo, ultrapassando culturas como arroz e trigo (CONAB, 2020). Nas últimas décadas, a importância do milho se dá em diversas cadeias produtivas, especialmente aquelas relacionadas à produção de carne, que impulsiona a produção do grão em todo o mundo (MIRANDA, 2021).

Considerado um produto básico da agricultura brasileira, o milho é cultivado em mais de 2 milhões de instituições agrícolas no Brasil (CONTINI et al., 2019). Apesar do recente crescimento do mercado brasileiro, o número de insetos encontrados nas lavouras de milho é bastante alto e causa enormes prejuízos (CRUZ et al., 2013).

A lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), é um inseto praga importante para várias culturas, especialmente no milho (PRASSANA et al., 2018). A natureza polífaga, a voracidade da alimentação, os surtos periódicos e as perdas econômicas ocasionadas por *S. frugiperda* foram relatados em literatura (MONTEZANO et al., 2018), no Brasil essa praga causa sérios prejuízos econômicos.

A seleção de populações de *S. frugiperda* resistentes a inseticidas químicos aumentou a importância dessa praga (ROSA; MARTINS, 2011). Para controle de *S. frugiperda* é comumente empregado inseticidas pertencentes aos grupos químicos dos piretroides e organofosforados nas lavouras; porém com baixa eficiência em função da seleção de populações resistentes (NEGRINI et al., 2019). Além disso, há casos de seleção de espécimes de *S. frugiperda* resistentes a cultivares de milho Bt (*Bacillus thuringiensis*), como toxinas Cry1F e Cry1Ab (FARIAS et al., 2014; OMOTO et al., 2016; BURDET et al., 2017). No entanto, além do surgimento de populações resistentes, o uso inadequado dessas tecnologias tem levado, a redução das populações de inimigos naturais e organismos benéficos (BUENO et al., 2015). Portanto, a busca por métodos que atendam aos requisitos de eficácia, segurança e seletividade torna-se cada vez mais importante, dando destaque para alternativas de controle com óleos essenciais de plantas aromáticas (ALVES et al., 2018).

O uso de métodos alternativos como extratos vegetais e óleos essenciais para o controle de insetos-praga vem sendo expandido (LOPES et al., 2019). Os óleos essenciais são compostos por complexas misturas de metabólitos secundários, que evolutivamente se tornaram os mecanismos de defesa das plantas, que extraídos e aplicados exogenamente podem conferir atividade inseticida (CORRÊA; SALGADO, 2011).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a bioatividade dos óleos essenciais de *Citrus aurantium* (petitgrain) e *Citrus bergamia* (bergamota) para *S. frugiperda*.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a toxicidade de óleos essenciais de plantas do gênero *Citrus* para *S. frugiperda*.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a dose-tempo-mortalidade de lagartas de *S. frugiperda* submetidas à exposição tópica de cinco concentrações (100; 74; 55; 40 e 30 mg mL⁻¹) dos óleos essenciais de *Citrus aurantium* (petitgrain) e *Citrus bergamia* (bergamota);
- Avaliar o efeito dos óleos essenciais de *C. aurantium* e *C. bergamia* sobre pupas de *S. frugiperda* a partir de lagartas de segundo instar tratadas;
- Avaliar o efeito dos óleos essenciais de *C. aurantium* e *C. bergamia* sobre adultos de *S. frugiperda* a partir de lagartas de segundo instar tratadas.

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 do estágio pupal de *S. frugiperda*.
- Os óleos essenciais de *C. aurantium* e *C. bergamia* aplicados em lagartas de segundo instar afetam a duração do estágio adulto de *S. frugiperda*.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 A cultura do milho (*Zea mays*)

O milho foi domesticado pela primeira vez por povos nativos no sul do México há cerca de 8.000 anos (MATSUOKA et al., 2008). Acredita-se que o milho seja derivado do teosinto (*Zea mays parviglumis*), um parental selvagem (PRASANNA, 2012). Desde sua introdução na Europa por Cristóvão Colombo e outros exploradores e colonizadores, o milho se espalhou por todas as áreas do mundo que fossem adequadas ao seu cultivo (BARBIERI; STUMPF, 2008).

Pertencente à tribo Maydeae da família das gramíneas Poaceae (BALBINOT; DELAI; WERLE, 2011), o gênero *Zea* consiste em quatro espécies, das quais *Zea mays* L. é a mais importante economicamente (CERIGIOLI, 2005). O milho é uma planta anual com metabolismo C4, o que a torna muito eficiente na fixação de carbono (GUARDA; CAMPOS, 2014). O milho é cultivado em mais áreas do planeta do que qualquer outra cultura, sendo cultivado em todos os continentes, exceto na Antártica (CRUZ et al., 2011).

Os três principais produtores incluem Estados Unidos, China e Brasil. O Brasil obteve uma produção recorde na safra 2019/2020 com 102,5 milhões de toneladas colhidos (CONAB, 2020). A importância do milho não se reflete apenas nas altas produções anuais, mas principalmente fatores econômicos e sociais relacionados a essa cultura (DUARTE; MATTOSO; GARCIA, 2002).

Independentemente do local de cultivo, artrópodes-pragas, podem infestar o milho em todos os estágios de desenvolvimento da cultura e durante o armazenamento (CRUZ, 1999). Mundialmente, o grupo das mariposas (complexo de lagartas e traças dos grãos) é o mais prejudicial ao milho, seguido pelos besouros (larva alfinete, brocas do grão e gorgulhos) (PINGALI; PANDEY, 2001). A lagarta *Spodoptera frugiperda* causa prejuízos anuais de milhões de dólares. Os danos provocados pela praga são mais expressivos a partir da fase de cartucho (estádio V8), dessa forma afeta a produtividade final com a diminuição do índice de área foliar, o que ocasiona menor enchimento de grãos (RESENDE et al., 2020).

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

A lagarta-do-cartucho é nativa das regiões tropicais dos Estados Unidos (CRUZ; FIGUEIREDO; DA SILVA, 2012). Normalmente sobrevive com sucesso no Brasil em todas as regiões agrícolas (PANIZZI; BUENO; SILVA, 2012). A lagarta-do-cartucho em sua fase adulta se espalha por longas distâncias durante os meses de verão (BECKER et al., 2016). Em

2016, foi relatada pela primeira vez na África Ocidental e Central; sendo a partir de então, considerada uma ameaça a diversos países (PRASANNA et al., 2018). O ciclo de vida é concluído em cerca de 30 dias durante o verão, 60 dias na primavera e outono, e de 80 a 90 dias no inverno (ROSA; BARCELOS, 2012). A lagarta-do-cartucho tem várias gerações por ano, com o ciclo de vida consistindo em ovo, lagarta (seis a sete instares), pupa e adultos (HELLWIG, 2015).

O número de ovos de *S. frugiperda* pode variar de 100 a 200 por postura, e uma fêmea é capaz de ovipositar em média de 1.500 a 2.000 ovos durante a sua fase adulta (VALICENTE; TUELHER, 2009). Os ovos são geralmente colocados na superfície abaxial (parte inferior) das folhas; no entanto, quando a frequência de oviposição no milho é alta, as fêmeas ovipositam em todas as estruturas da planta. A duração da fase de ovo é de apenas dois a três dias durante em altas temperaturas (BARROS; TORRES, 2010).

As lagartas de *S. frugiperda* podem apresentar de seis a sete instares, dependendo das condições ambientais e da disponibilidade de alimentos (MACHADO; DE LEMOS; MEDEIROS, 2014). Após a eclosão, as lagartas consomem a massa de ovos da qual eclodiram (CARNEIRO, 2008) e então se dispersam em todas as direções, começando a se alimentar de tecido vegetal (MORATO et al., 2011). A alimentação das lagartas e a atividade do adulto ocorrem com mais frequência à noite, mas podem ocorrer no final da tarde e no início da manhã (HARDKE; LORENZ III; LEONARD, 2015). O último instar consumirá uma quantidade maior de alimento do que todos os instares combinados anteriores (FREITAS BUENO et al., 2011).

As lagartas caem da planta e enterram-se a uma profundidade de 2 a 8 cm no solo, onde permanecem em um estágio pré-pupal por 2 - 4 dias e permanecem na fase de pupa por 7 - 10 dias (COSTA MOREIRA; ARAGÃO, 2009; PRASANNA et al., 2018). Conforme as mariposas emergem das pupas presentes no solo, podem acasalar localmente ou migrar para longas distâncias antes de acasalar e ovipositar (NAGOSHI; MEAGHER, 2008).

A lagarta-do-cartucho é uma praga generalista e possui uma variedade de plantas hospedeiras, sendo relatada em mais de 80 espécies e 23 famílias (PASHLEY, 1988). Além do milho, incluem o sorgo; gramíneas, arroz; algodão e amendoim (ROSA et al., 2014). No entanto, esse artrópode-praga apresenta preferência por gramíneas (milho, sorgo e grama bermuda) (BOREGAS et al., 2013).

Os primeiros sintomas da lagarta-do-cartucho assemelham-se à infestação da lagarta rosca junto ao colmo das plântulas (VALICENTE, 2015). Pequenos orifícios e folhas raspadas

são comuns quando as lagartas que se alimentam das folhas que emergem do verticilo (JAMIL et al., 2021).

O dano mais comum causado no milho por *S. frugiperda* ocorre nos estádios V8-V9 (MARUCCI et al., 2009). Lagartas maiores são geralmente encontradas no fundo do cartucho. Dentro do cartucho, as lagartas ficam protegidas das aplicações de inseticidas e consomem grandes quantidades de tecido foliar, resultando em uma aparência irregular das folhas (NI et al., 2008).

As principais estratégias de manejo da *S. frugiperda* é a aplicação de inseticidas químicos e cultivares com a tecnologia Bt. A quantidade de pulverização com inseticida visando o controle de lepidópteros no Brasil diferenciam conforme a tecnologia utilizada e a região produtora, em média são realizadas de 2 a 5 aplicações para a cultura do milho. Há relatos de resistência desenvolvida em campo de *S. frugiperda* à alguns grupos químicos mais utilizados como piretróides, organofosforados, benzilureias, espinosinas, diamidas, e proteínas Bt. Portanto, o uso de inseticidas com novo modo de ação poderia ser uma ferramenta importante em programas de manejo dessa praga (KAISER et al., 2021). O controle deve ser considerado quando as oviposições estiverem presentes em 5% das plantas ou quando 25% das plantas apresentarem sintomas de danos e as lagartas vivas ainda estiverem presentes (CHIMWETA et al., 2020).

4.3 Óleos essenciais

Os bioinseticidas abrangem um grande número de tecnologias, incluindo microbianos e botânicos (TERRON, 2004). Entre os botânicos, os óleos essenciais são uma categoria importante que começou a se desenvolver com pesquisas na década de 1980 (RENAULT-ROGER, 1997). São derivados de plantas aromáticas que, no curso da evolução, desenvolveram defesas químicas constitutivas e induzidas contra insetos herbívoros (MORAIS, 2009). O mercado de óleos essenciais teve o crescimento mais forte de todos os mercados de pesticidas botânicos (MORAIS; MARINHO-PRADO, 2016).

Os óleos essenciais têm muitas aplicações em: perfumaria, cosméticos e produtos para a produção de alimentos (BIZZO; HOVEL; REZENDE, 2009). São definidos como os produtos obtidos por hidrodestilação, destilação a vapor, destilação a seco ou prensagem mecânica a frio de plantas (BUSATO et al., 2014).

O método clássico de preparação é baseado no aparelho de destilação a vapor Clevenger desenvolvido em 1928 (CLEVINGER, 1928). Atualmente, esse método foi adaptado e

ampliado para a produção industrial (BICCHI, 2000). A destilação a vapor requer grandes recipientes por causa do baixo rendimento (geralmente <1%) da biomassa e é onerosa por causa das altas temperaturas necessárias para a destilação (AHMAD; NASSHORUDIN; MAMAT, 2014). A casca de frutas cítricas é uma exceção porque grandes quantidades de óleos podem ser obtidas a baixo custo por prensagem a frio e destilação convencional (KOKETSU et al., 1983).

Óleos essenciais são produzidos em plantas pertencentes principalmente a algumas famílias, incluindo Myrtaceae, Lauraceae, Lamiaceae e Asteraceae (SILVA, 2010). A síntese e o acúmulo de óleos essenciais estão associados à presença de estruturas secretoras complexas, como tricomas glandulares (Lamiaceae), cavidades secretoras (Myrtaceae e Rutaceae) e dutos de resina (Asteraceae e Apiaceae) (RODRIGUEZ et al., 1984).

Dependendo das espécies consideradas, os óleos essenciais são armazenados em vários órgãos da planta, por exemplo, flores (bergamota), folhas (capim-limão, eucalipto), madeira (sândalo), rizomas (gengibre, açafrão), frutas (anis) e sementes (noz-moscada) (GUIMARÃES et al., 2011; OUSSALAH et al., 2006; SILVA et al., 2012). Os constituintes dos óleos essenciais pertencem principalmente a dois grupos fotoquímicos, terpenoides (monoterpenos e sesquiterpenos de baixo peso molecular) e, em menor grau, fenilpropanoides (SALES, 2015). Os terpenoides são os principais constituintes dos óleos essenciais (FELIPE et al., 2017).

Monoterpenos acíclicos ou monocíclicos são pequenas moléculas voláteis (FELIPE et al., 2017) e estão envolvidos na transmissão de sinais de plantas para insetos (HEIL; KARBAN, 2010). Por exemplo, as sensilas tricoides da fêmea do bicho-da-seda, *Bombyx mori* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Bombycidae) respondem ao linalol (RENAULT-ROGER, 1997).

Vários monoterpenos contidos nos óleos essenciais são neurotóxicos para os insetos. Huignard et al. (2008) descreveram vários tipos de receptores, incluindo receptores GABA, que são locais-alvo dos compostos. O timol se liga aos receptores GABA associados aos canais de cloro localizados na membrana dos neurônios pós-sinápticos e interrompe o funcionamento das sinapses com mediador GABA (PRIESTLEY et al., 2003). O eugenol atua através do sistema octopaminérgico ativando receptores para a octopamina, que é um neuromodulador (ENAN, 2005).

Baixas doses de eugenol e octopamina levam a um aumento na atividade da adenil ciclase das células do sistema nervoso da barata, *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758) (Blattodea: Blattidae) (ENAN, 2005); enquanto altas doses de eugenol reduzem a produção de adenosina 3,5-monofosfato cíclico (ENAN, 2001). O papel do sistema octopaminérgico na

citotoxicidade dos óleos essenciais também foi demonstrado em culturas de células epidérmicas de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) (KOSTYUKOVSKY et al., 2002). Esses estudos confirmaram que a atividade inseticida do teor de monoterpene em óleos essenciais se deve a vários mecanismos que afetam múltiplos alvos, interrompendo de forma mais eficaz a atividade celular e os processos biológicos dos insetos.

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 2021 a agosto de 2021. 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 de laboratório. A dieta artificial foi constituída de feijão ‘Carioca’ (166,66 g); gérmen de trigo (79,20 g); levedo de cerveja (50,70 g); ácido sórbico (1,65 g); ácido ascórbico (5,10 g); 4-hidroxibenzoato de metila (3,15 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 batidos 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 (0,1 mL/mL). Todos os insetos foram mantidos em sala climatizada a 25 ± 2 °C, $70 \pm 10\%$ UR e fotofase de 12 horas.

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. A extração dos óleos essenciais foi feita por destilação a vapor e prensagem a frio das folhas de petitgrain e cascas de frutas de bergamota.

5.3 Bioatividade de óleos essenciais para *S. frugiperda*

Para esse experimento foram utilizadas cinco concentrações de cada um dos óleos essenciais (petitgrain e bergamota) diluídos em acetona. As doses foram de 100; 74; 55; 40 e 30 mg mL⁻¹, as quais foram definidas por meio de cálculos de progressão aritmética. A partir dessas soluções foram aplicadas alíquotas de 1 µL do respectivo tratamento no dorso de cada lagarta de segundo instar utilizando microseringa (Hamilton® 25 µL). Para cada tratamento foram utilizadas 60 lagartas. Em seguida essas lagartas foram acondicionadas individualmente em um tubo de vidro (8 cm x 1,5 cm) contendo um pedaço de dieta artificial, vedado com chumaço de algodão. Para o tratamento controle foi realizado a aplicação tópica somente com o solvente acetona. O delineamento usado foi o inteiramente casualizado.

As avaliações de sobrevivência das lagartas foram realizadas a cada 24 horas até 96 horas após aplicação dos tratamentos. As lagartas que não apresentavam resposta ao toque de um pincel de cerdas macias e ponta fina foram consideradas mortas. Esse experimento teve como objetivo o cálculo das doses letais 25, 50 e 90 (DL₂₅, DL₅₀ e DL₉₀) e tempo letal mediano (TL₅₀).

5.4 Efeito dos óleos essenciais na duração dos estágios de vida de *S. frugiperda*

Para a avaliação dos efeitos subletais dos óleos essenciais de *C. aurantium* e *C. bergamia* durante os estágios de vida de *S. frugiperda* foi realizado a aplicação tópica de 1 µL no dorso de cada lagarta na dosagem de 30 mgmL⁻¹ que conferiu a menor dose calculada na progressão aritmética, totalizando três tratamentos (dois óleos essenciais e um tratamento controle) sendo que cada tratamento foi constituído por 100 repetições, em que cada uma foi composta por uma lagarta acondicionada individualmente em tubo de vidro (8 cm x 1,5 cm) contendo um pedaço de dieta artificial e vedado com chumaço de algodão. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado.

A avaliação de sobrevivência dos insetos foi realizada a cada 24 horas até que fosse constatada a mortalidade do último inseto. As lagartas que não apresentavam resposta ao toque de um pincel de cerdas macias e ponta fina foram consideradas mortas. Além disso, contabilizou-se a duração do período larval, duração do período pupal e longevidade da fase adulta.

5.5 Análise estatística

Os dados de sobrevivência ao longo do tempo foram submetidos à análise de sobrevivência, aplicando-se o modelo de Weibull, por meio do pacote Survival (THERNEAU, 2020). Após a seleção do modelo matemático mais adequado por meio da análise de resíduos, foi realizada a análise de contraste para verificar a semelhança entre os tratamentos empregados com objetivo de formação de grupos congêneres. Também foi calculado o tempo letal mediano (TL₅₀) para cada grupo formado. Para a determinação da resposta dose-mortalidade e obtenção da dose letal mediana (DL₅₀), os dados foram submetidos à análise de Logit, utilizando-se o pacote drc (RITZ, 2015).

Os dados de duração do período larval, pupal e adultos não assumiram distribuição normal, e por isto foram analisados utilizando GLM (Modelos Lineares Generalizados), sendo a distribuição escolhida em função do melhor ajuste. Em casos de diferença estatística, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$) por meio do pacote Multcomp (HOTHORN, 2015).

Todas as análises foram realizadas utilizando-se o programa de estatística R (Core Team, 2021).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que o óleo essencial de *C. bergamia* foi mais tóxico para as lagartas de *S. frugiperda* do que o de *C. aurantium*. Os óleos essenciais de *C. bergamia* e *C. aurantium* apresentaram DL₂₅ de 35,04 µg µL⁻¹; 43,39 µg µL⁻¹, DL₅₀ de 45,35 µg µL⁻¹; 63,66 µg µL⁻¹ e DL₉₀ de 75,98 µg µL⁻¹; 137,03 µg µL⁻¹, respectivamente (Tabela 1). Os resultados encontrados nessa pesquisa demonstraram relação diretamente proporcional entre a quantidade de óleo essencial aplicada na lagarta e a mortalidade da mesma.

Tabela 1. Doses letais 25, 50 e 90 dos óleos essenciais de *Citrus bergamia* e *Citrus aurantium* para *Spodoptera frugiperda*.

Tratamento	N	F	p	*b	*e	DL ₂₅ (mg.mL ⁻¹)	DL ₅₀ (mg.mL ⁻¹)	DL ₉₀ (mg.mL ⁻¹)
<i>C. bergamia</i>	60	14,18	0,002 7	-4,258	45,355	35,041±1,736	45,354±1,659	75,981±4,801
<i>C. aurantium</i>	60	35,32	0	-2,866	63,6696	43,399±2,650	63,669±3,076	137,032±15,935

Eleni et al. (2009) relataram a atividade larvicida da molécula de limoneno presente no óleo essencial de *Citrus aurantium* subsp. *bergamia* contra *Culex pipiens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Culicidae), com DL₅₀ de 58,73 mg/L.

Negrini et al. (2019) utilizaram óleo essencial de *Corymbia citriodora* e *Myrciaria dubia* (Myrtaceae), *Lippia microphylla* (Verbenaceae) e *Piper umbellatum* (Piperaceae) e encontraram efeito tóxico para lagartas de *S. frugiperda*, com DL₈₀ de 7,06 ± 0,73 mgg⁻¹ em aplicação tópica. Lima et al. (2009) avaliaram o óleo essencial de *Piper hispidinervum* (Piperaceae) e constataram DL₅₀ de 277,91 µg/lagarta. Martins et al. (2017) estudaram os efeitos dos óleos essenciais do gênero *Citrus* sobre *Dysmicoccus brevipes* (Cockerell, 1893) (Hemiptera: Pseudococcidae) e concluíram que o óleo de laranja doce (*Citrus sinensis*) apresentou atividade de 2,21% (DL₅₀). Zarrad et al. (2017) realizaram ensaios para avaliação da toxicidade do óleo essencial de *C. aurantium* para *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) e encontraram diferentes doses para o óleo e seu composto majoritário limoneno, porém o óleo essencial apresentou maior toxicidade para esse lepidóptero praga.

A sobrevivência de lagartas de *S. frugiperda* expostas às doses letais dos óleos essenciais de *C. bergamia* e *C. aurantium* diferiu durante as 96 h de avaliação (Figura 1).

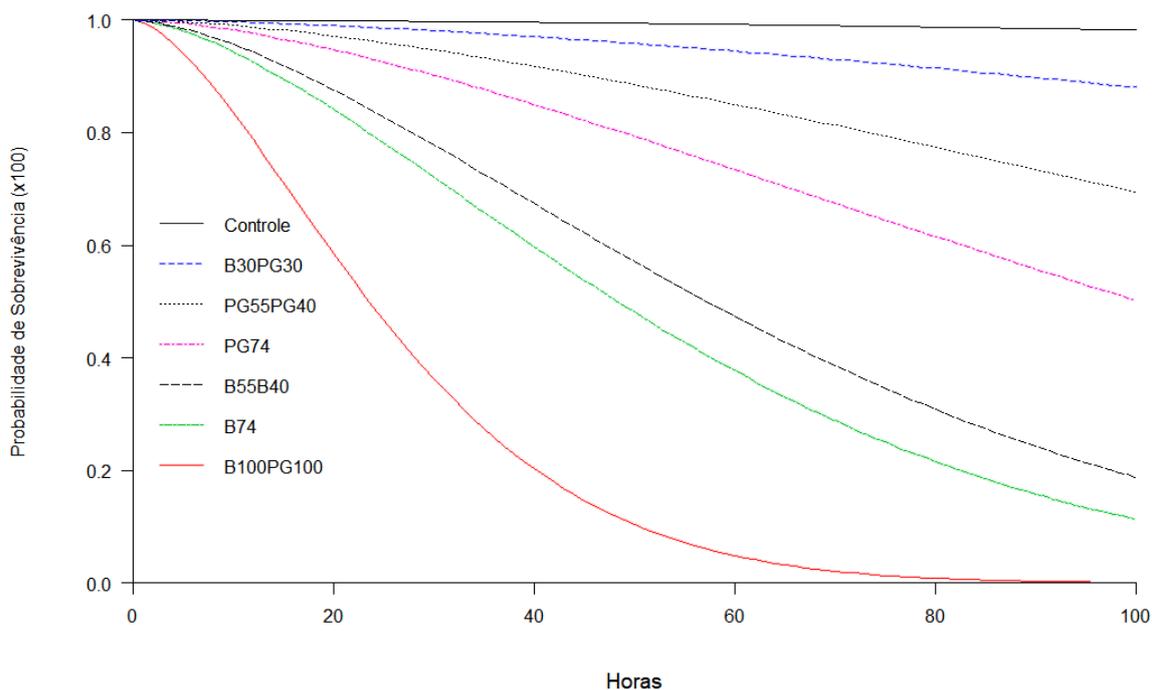


Figura 1. Curvas de sobrevivência de lagartas de segundo instar de *Spodoptera frugiperda* tratadas com diferentes concentrações de dois óleos essenciais (Bergamota e Petitgrain). Controle = acetona $f(x) = \exp(-1282,03) \cdot x^{-1.574803}$ ($TL_{50} > 96h$); B30PG30 = *Citrus bergamia* (30 $mg \cdot ml^{-1}$) e *Citrus aurantifolium* (30 $mg \cdot ml^{-1}$) $f(x) = \exp(-370,52) \cdot x^{-1.574803}$ ($TL_{50} > 96h$); PG55PG40 = *Citrus aurantifolium* (55 $mg \cdot ml^{-1}$) e (40 $mg \cdot ml^{-1}$) $f(x) = \exp(-190,22) \cdot x^{-1.574803}$ ($TL_{50} > 96h$); PG74 *Citrus aurantifolium* (74 $mg \cdot ml^{-1}$) $f(x) = \exp(-126,75) \cdot x^{-1.574803}$ ($TL_{50} > 96h$); BG55B40 = *Citrus bergamia* (55 $mg \cdot ml^{-1}$) e (40 $mg \cdot ml^{-1}$) $f(x) = \exp(-72,24) \cdot x^{-1.574803}$ ($TL_{50} = 57h$); B74 = *Citrus bergamia* (74 $mg \cdot ml^{-1}$) $f(x) = \exp(-61,02) \cdot x^{-1.574803}$ ($TL_{50} = 49h$); B100PG100 = *Citrus bergamia* (100 $mg \cdot ml^{-1}$) e *Citrus aurantifolium* (100 $mg \cdot ml^{-1}$) $f(x) = \exp(-29,76) \cdot x^{-1.574803}$ ($TL_{50} = 24h$).

A análise de sobrevivência após a aplicação tópica dos óleos permitiu a formação de sete grupos congêneres ($F = 500,01$; g.l. = 7; $p < 0,05$). O grupo 1 consistiu no tratamento controle (acetona) com TL_{50} superior a 96 horas. O grupo 2 foi constituído pelos óleos de *C. bergamia* e *C. aurantium* na concentração de 30 $mg \cdot mL^{-1}$, com TL_{50} maior que 96 h. O grupo 3 foi formado pelo óleo de *C. aurantium* na concentração de 40 $mg \cdot mL^{-1}$ e de 55 $mg \cdot mL^{-1}$ com TL_{50} superior a 96 horas. Para o grupo 4, foi verificado um TL_{50} maior que 96 h, esse grupo foi composto pelo óleo de *C. aurantium* na concentração de 74 $mg \cdot mL^{-1}$. O grupo 5 foi formado pelo óleo de *C. bergamia* na concentração de 55 e 40 $mg \cdot mL^{-1}$ com TL_{50} de 57 h. O grupo 6 apresentou TL_{50} de 49 h e foi formado pelo óleo de *C. bergamia* na concentração de 74 $mg \cdot mL^{-1}$. Para o grupo 7 foi observado um TL_{50} de 24 h para ambos os óleos na concentração de 100 $mg \cdot mL^{-1}$ (Figura 1).

Pode-se constatar que, em comparação com o tratamento controle, o tratamento B100PG100 (*C. bergamia* e *C. aurantifolium* na concentração de 100 mgmL⁻¹) proporcionou o menor tempo de sobrevivência para as lagartas. Em geral, todos os tratamentos apresentaram redução no período de sobrevivência das lagartas de segundo instar (Figura 1).

O uso dos óleos essenciais apresentou pico de mortalidade a partir das 80 horas após o início da avaliação. Limoneno e linalol são os principais componentes dos óleos essenciais cítricos e estão relacionados aos efeitos de supressão do apetite e supressão do crescimento dos insetos (JÚNIOR, 2003).

Variações na sobrevivência das lagartas demonstradas pelas curvas de sobrevivência, entre os diferentes tratamentos, demonstram variação na velocidade de atuação dos óleos essenciais sobre o inseto, os resultados obtidos no presente trabalho são semelhantes ao estudo realizado por Cruz et al. (2016). Oladipupo, Hu e Appel (2020) avaliaram os compostos limoneno, β -thujaplicin e cavacrol sobre *Blattella germanica* (Linnaeus, 1767) (Blattodea: Blatterllidae), verificaram que o uso do limoneno reduziu o período de sobrevivência da barata alemã em até 39% em comparação com a testemunha. Oliveira et al. (2017) verificaram a ação do limoneno sobre formigas da espécie *Atta sexdens* (Forel, 1908) (Hymenoptera, formicidae), na qual a aplicação tópica causou morte de 50% dos indivíduos em até 47,5 h.

A utilização dos óleos essenciais na concentração de 30 mg mL⁻¹ reduziu significativamente o período larval (Figura 2). O tratamento com *C. aurantium* apresentou menor média do período larval diferindo da testemunha e *C. bergamia* (Figura 2; $F = 195,86$; $g.l = 2$; $p < 0,05$). Sendo assim, pode-se inferir que os óleos essenciais provocaram um efeito na viabilidade larval de *S. frugiperda*, provocando a diminuição desse período que segundo Cruz (1995) é de 12 a 30 dias.

Bozouita et al. (2010) determinaram a composição química do óleo essencial de *C. bergamia* e concluíram que o óleo é caracterizado pelo alto teor de limoneno (59,21%), linalol (9,51%) e acetato de linalila (16,83%). O limoneno é um monoterpene que apresenta atividade tóxica via penetração na cutícula do inseto (efeito de contato), via respiratória (efeito de fumigação) e/ou via digestiva (efeito de ingestão) (CRUZ et al., 2017).

De acordo com Marangoni, Moura e Garcia (2012) o efeito tóxico do limoneno sobre os insetos ocorre por meio da inibição da acetilcolinesterase, levando o inseto a um estado de hiperexcitação pelo acúmulo de acetilcolina e posterior morte.

Corroborando com o resultado encontrado na utilização de óleos essenciais sobre o período larval de *S. frugiperda*, Cruz (2012) verificou diminuição do período larval, quando

utilizado óleo essencial de pimenta longa (*Piper hispidinervum* JACQ.) associado com *Bacillus thuringiensis*. Da mesma forma Cruz et al. (2017) avaliaram o efeito do limoneno e trans-anetol em *S. frugiperda* e observaram redução no período larval da praga quando utilizado o limoneno. Oliveira et al. (2018) constataram toxicidade do óleo essencial de capim-limão, *Cymbopogon flexuosus* sobre *S. frugiperda* e também observaram alongamento de até 23% no período larval da praga.

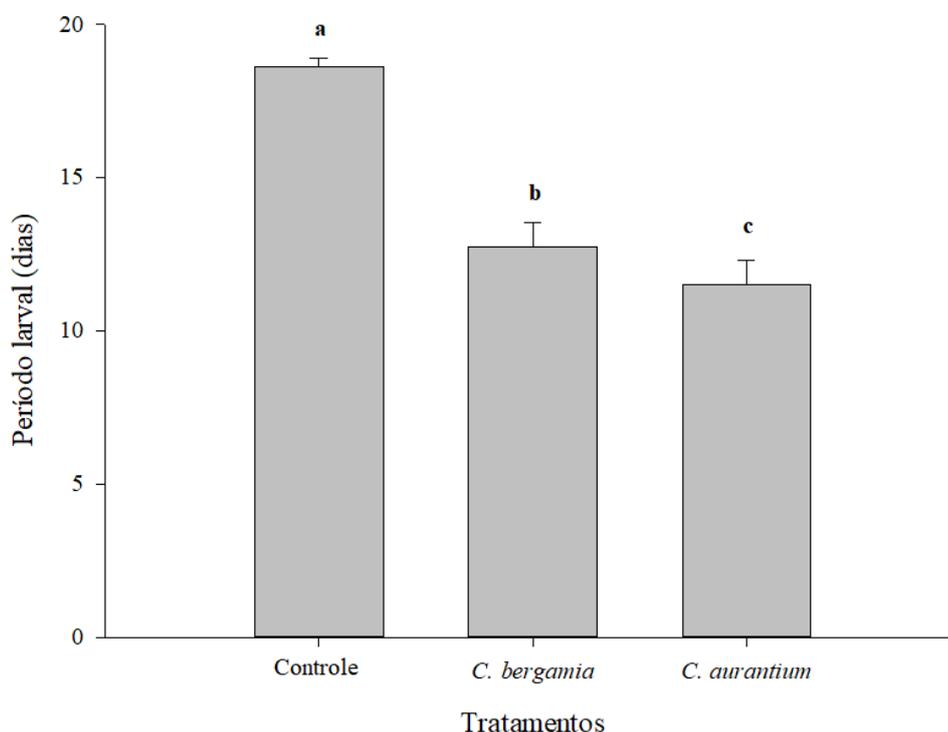


Figura 2. Período larval (dias) de *Spodoptera frugiperda* a partir do tratamento de lagartas de segundo instar com óleos essenciais de *Citrus aurantium*, *Citrus bergamia* e acetona (controle). Médias seguidas pela mesma letra não diferem, entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Houve influência dos óleos essenciais no período pupal de *S. frugiperda* (Figure 3; $F = 66,98$; $g.l = 2$; $p < 0,005$). A redução de parâmetros biológicos como o período pupal é importante pois pode reduzir o crescimento populacional da praga.

Cruz et al. (2014) constataram redução período pupal de *S. frugiperda* com a utilização do óleo essencial de *P. hispidinervum*. Entretanto, Cruz et al. (2016) não observaram diferenças significativas para o período pupal, utilizando concentrações subletais de *Eucalyptus staigeriana*, *Ocimum gratissimum*, *Foeniculum vulgare* em *S. frugiperda*. Conforme relatado por Souza e Vendramim (2001) e Torres, Barros e Oliveira (2001) metabólitos secundários de

plantas causam efeitos adversos sobre a biologia e imunologia de insetos, como deterrência alimentar, diminuição de peso, inibição da biossíntese de quitina, inibição do crescimento e interferência em alguns dos transmissores envolvidos na regulação da ecdisona, biossíntese e fertilidade reduzida.

A ampla ação dos óleos se deve à interferência de diversos compostos na fisiologia, principalmente nos parâmetros reprodutivos, pois a reprodução bem-sucedida é uma das principais estratégias para a sobrevivência e estabelecimento de populações de insetos em áreas de cultivos (HAAS et al., 2012).

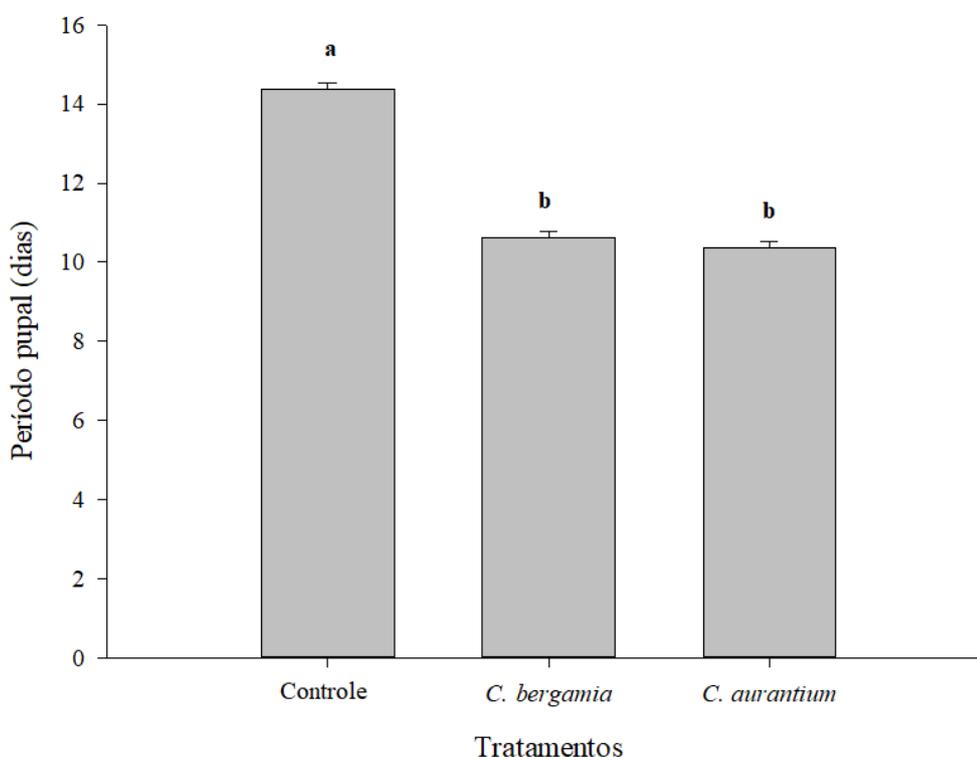


Figura 3. Período pupal (dias) de *Spodoptera frugiperda* a partir do tratamento de lagartas de segundo instar com óleos essenciais de *Citrus aurantium*, *Citrus bergamia* e controle (acetona). Médias seguidas pela mesma letra não diferem, entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A testemunha apresentou média de 4 dias a mais que os outros tratamentos (Figura 4; $F^2 = 114,25$; g.l = 2; $p < 0,05$). Reduzir a duração da fase adulta é uma importante estratégia de manejo, visto que as fêmeas podem ovipositar até 1500 ovos em um período de cinco dias, portanto reduzir esse período é ter menos lagartas no campo e conseqüentemente menos prejuízos às culturas.

Shadia et al. (2007) observaram que o óleo essencial de alfavaca (*Ocimum americanum* L. (Lamiaceae) causou menor viabilidade da população de *Agrotis ipsilon* (Hufnagel, 1766)

(Lepidoptera: Noctuidae). Da mesma forma, Viana e Prates (2003) tratando folhas de milho com extrato aquoso de *Azadirachta indica* para controle de *S. frugiperda* e verificaram menor longevidade dos adultos.

A diminuição dos parâmetros biológicos de *S. frugiperda* é importante, pois a rápida emergência de adultos leva a um aumento populacional mais rápido (PAPPAS; BROUFAS; KOVEOS, 2007).

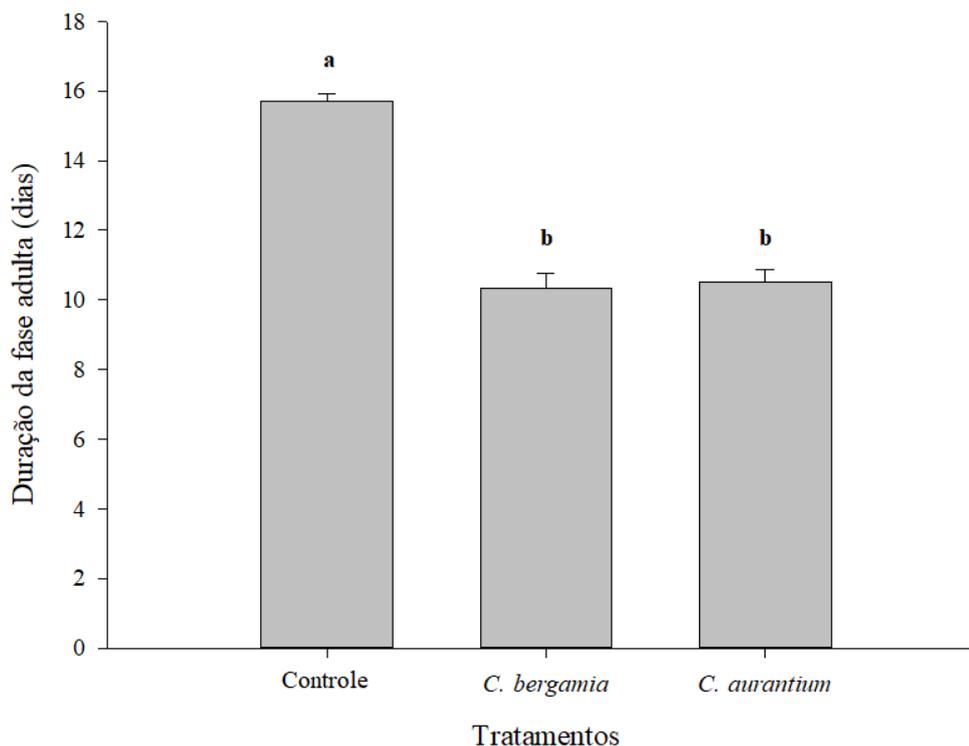


Figura 4. Duração da fase adulta (dias) de *Spodoptera frugiperda* a partir do tratamento de lagartas de segundo instar com óleos essenciais de *Citrus aurantium*, *Citrus bergamia* e controle (acetona). Médias seguidas pela mesma letra não diferem, entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

7. CONCLUSÃO

Os óleos essenciais testados podem ser alternativas promissoras para formulações de novos produtos a serem utilizados no manejo de *S. frugiperda*, uma vez que afetaram a duração dos estágios de vida (pupal e adulta) desse inseto praga.

Entretanto novas pesquisas devem ser realizadas a fim de avaliar outros parâmetros biológicos da praga e identificar os componentes presentes nos óleos que estão causando o efeito negativo observado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, M. S. NASSHORUDIN, D.; MAMAT, A. S. Novel Closed System Extraction of Essential Oil: Impact on Yield and Physical Characterization. In: **4th International Conference on Biotechnology and Environment Management, IPCBEE**. 2014.

ALVES, S. D; ANDRADE, C.G.; OLIVEIRA, F, D et al. Screening of Brazilian plant extracts as candidates for the control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Colombiana de Entomología**, v. 44, n. 1, p. 32-38, 2018.

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.

BARBIERI, R.L.; STUMPF, E.R.T. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008., 2008.

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.

BECKER, W.F et al. Sistema de produção integrada para o tomate tutorado em Santa Catarina. **Florianópolis, SC: Epagri**, p. 149, 2016.

BELZILE, A.S et al. Dillapiol derivatives as synergists: structure–activity relationship analysis. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 66, n. 1, p. 33-40, 2000.

BICCHI, C. Essential oils gas chromatography. **Encyclopedia of Separation Science, Academic press**, Oxford, p. 2744-2755. 2000.

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.

BOREGAS, K.G.B et al. Avaliação de não preferência de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) entre hospedeiros alternativos. In: **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA DO CARTUCHO, 4., 2010, Goiânia. Potencialidades, desafios e sustentabilidade: resumos expandidos... Sete Lagoas: ABMS, 2010., 2010.

BUENO, V.H.P.; JUNIOR, A.M.; SILVEIRA, L.D. Controle biológico e manejo de pragas na agricultura sustentável. **Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras**, 2015.

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, 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.

CARNEIRO, T. R. **Dinâmica populacional de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho safrã e safrinha e competição entre *Telenomus remus***

Nixon (Hymenoptera: Scelionidae) e *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). 2008. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Entomologia Agrícola) – UNESP, Jaboticabal. 2008.

CARVALHO, N. L.; BARCELLOS, A. L. Adoção do manejo integrado de pragas baseado na percepção e educação ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 5, n. 5, p. 749-766, 2012.

CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S.; PINTO, NFJ de A. Doenças na cultura do milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2006.

CERIGIOLI, M. M. **Diversidade de bactérias endofíticas de raízes de milho (*Zea mays* L.) e potencial para promoção de crescimento.** 2005. 149 f. Tese (Doutorado em Genética e Evolução) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo. 2005.

CHIMWETA, M.; NYAKUDYA, I.W., JIMU, L.; BRAY, M.A. Fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) damage in maize: management options for flood-recession cropping smallholder farmers. **International journal of pest management**, v. 66, n. 2, p. 142-154, 2020.

CLEVENGER, J. F. Apparatus for the determination of volatile oil. **The Journal of the American Pharmaceutical Association (1912)**, v. 17, n. 4, p. 345-349, 1928.

COITINHO, R. L. B. de C. et al. Toxicidade por fumigação, contato e ingestão de óleos essenciais para *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1885 (Coleoptera: Curculionidae). **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, p. 172-178, 2011.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA DE GRÃOS. v. 7 - Safra 2019/20 n.12 - Décimo segundo levantamento, setembro 2020.**

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

CORRÊA, J. C. R.; SALGADO, HR do N. Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, v. 13, n. 4, p. 500-506, 2011.

COSTA M, H.J.; ARAGÃO, F.D. **Manual de pragas da soja.** 2009.

CRUZ, G. S. **Efeitos subletais de óleos essenciais associados com *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae).** 2012. 81 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

CRUZ, G. S et al. Bioactivity of *Piper hispidinervum* (Piperales: Piperaceae) and *Syzygium aromaticum* (Myrtales: Myrtaceae) oils, with or without formulated Bta on the biology and immunology of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 107, n. 1, p. 144-153, 2014.

CRUZ, G. S et al. Effect of trans-anethole, limonene and your combination in nutritional components and their reflection on reproductive parameters and testicular apoptosis *in*

Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae). **Chemico-biological interactions**, v. 263, p. 74-80, 2017.

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. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1995. 45p.

CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M.; DA SILVA, R. B. Uso de armadilha com feromônio sexual no processo de tomada de decisão para o controle de *Spodoptera frugiperda* (lagarta-do-cartucho) em milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2012.

CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M.; DA SILVA, R. B.; FOSTER, J.E. Efficiency of chemical pesticides to control *Spodoptera frugiperda* and validation of pheromone trap as a pest management tool in maize crop. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 2, p. 107-122, 2010.

CRUZ, I et al. Risco potencial das pragas de milho e de sorgo no Brasil. **Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo**, 2013.

CRUZ, I. Manejo de pragas da cultura de milho. In: **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO SAFRINHA, 5., 1999, Barretos. Anais. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. p. 27-56., 1999.

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

DUARTE, J. O.; MATTOSO, M. J.; GARCIA, J. C. **Arvore do conhecimento: milho**. Brasília, DF: Embrapa, 2002. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_8_168200511157.html. Acesso em: 02/10/2021.

ENAN, E. E. Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 130, n. 3, p. 325-337, 2001.

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

FELIPE, L.O.; BICAS, J.L. Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 2, p. 120-130, 2017.

FREITAS, R.C.O et al. Lepidopteran larva consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. **Pest Management Science**, v. 67, n. 2, p. 170-174, 2011.

GUARDA, V. D. A; CAMPOS, L. J. M. Bases ecofisiológicas da assimilação de carbono e suas implicações na produção de forragem. **Embrapa Pesca e Aquicultura-Documentos (INFOTECA-E)**, 2014.

GUIMARÃES, L et al. Atividades antioxidante e fungitóxica do óleo essencial de capim-limão e do citral. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 464-472, 2011.

HAAS, C.J et al. Evaluation of aqueous plant extracts on *Spodoptera eridania* (Cramer) (Lepidoptera: Noctuidae). **BioAssay**, v. 7, n. 7, 2012.

HARDKE, J. T.; LORENZ III, M.; LEONARD, B. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) ecology in southeastern cotton. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 6, n. 1, p. 10, 2015.

HEIL, M.; KARBAN, R. Explaining evolution of plant communication by airborne signals. **Trends in ecology & evolution**, v. 25, n. 3, p. 137-144, 2010.

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-Tese/dissertação (ALICE)**, 2015.

HOTHORN, T.; BRETZ, F.; WESTFALL, P. Simultaneous Inference in General Parametric Models, 2015.

JAMIL, S. Z et al. First incidence of the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) attacking maize in Malaysia. **BioInvasions Record**, v. 10, n. 1, 2021.

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.

KAISER, I. S.; KANNO, R. H.; BOLZAN, A. et al. Baseline Response, Monitoring, and Cross-Resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to Sodium Channel Blocker Insecticides in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, v. 114, n. 2, 903–913, 2021.

KOKETSU, M et al. Óleos essenciais de frutos cítricos cultivados no Brasil. **Embrapa Agroindústria de Alimentos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 1983.

KOSTYUKOVSKY, M. et al. Activation of octopaminergic receptors by essential oil constituents isolated from aromatic plants: possible mode of action against insect pests. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 58, n. 11, p. 1101-1106, 2002.

LIMA, R.K et al. Atividade inseticida do óleo essencial de pimenta longa (*Piper hispidinervum* C. DC.) sobre lagarta-do-cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). **Acta amazônica**, v. 39, p. 377-382, 2009.

LOPES, P.R.; ARAÚJO, K.C.S.; RANGEL, I.M.L. Sanidade vegetal na perspectiva da transição agroecológica. **Revista Fitos**, v. 13, n. 2.p. 178-194, 2019.

LORENZO, M. G.; M., A.C.A. Olfacção e comportamento. **Tópicos Avançados em Entomologia Molecular**, v. 1, p. 1-20, 2012.

- MACHADO, K.G.; LEMOS, R.N.S.; MEDEIROS, F.R. Biologia comparada de populações da lagarta-do-cartucho em folhas de milho e mandioca. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 234-239, 2014.
- 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.
- MARTINS, G.D.S.O et al. Caracterização química e toxicidade de óleos essenciais cítricos sobre *Dysmicoccus brevipes* (Hemiptera: Pseudococcidae). **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 811-817, 2017.
- MARUCCI, R. C et al. Levantamento dos danos causados pela infestação de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) em lavouras comerciais de milho Bt na Região Central de Minas Gerais. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2009.
- MATSUOKA, Y et al. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 9, p. 6080-6084, 2002.
- MELO FILHO, G.A.; RICHETTI, A. Aspectos socioeconômicos da cultura do milho. **Milho: informações técnicas**, n. 5, p. 13, 1997.
- MELLIYOU, E et al. High quality bergamot oil from Greece: Chemical analysis using chiral gas chromatography and larvicidal activity against the West Nile virus vector. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 14, n. 2, p. 839-849, 2009.
- 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.
- MORAIS, LAS; MARINHO-PRADO, J. S. Plantas com atividade inseticida. **Defensivos agrícolas naturais: uso e perspectivas. Brasília, DF: Embrapa**, 2016.
- MORAIS, L.A. S. Óleos essenciais no controle fitossanitário. **Embrapa Meio Ambiente-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2009.
- MORATO, J. B et al. Desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) em plantas de milho (*Zea mays* L.) adubadas com cama de frango. In: **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 7., 2011, Fortaleza. Ética na ciência: agroecologia como paradigma para o desenvolvimento rural. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2011., 2011.
- NAGOSHI, R.N.; MEAGHER, R.L. Review of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) genetic complexity and migration. **Florida entomologist**, v. 91, n. 4, p. 546-554, 2008.
- NEGRINI, M et al. Atividade inseticida de óleos essenciais para o controle da lagarta-do-cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 86, 2019.

NI, X., DA, K.; BUNTIN, G.D.; BROWN, S.L. Physiological basis of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) resistance in seedlings of maize inbred lines with varying levels of silk maysin. **Florida Entomologist**, p. 537-545, 2008.

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.

OUSSALAH, M et al. Inhibitory effects of selected plant essential oils on the growth of four pathogenic bacteria: *E. coli* O157: H7, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes*. **Food control**, v. 18, n. 5, p. 414-420, 2007.

PANIZZI, A. R.; BUENO, A. de F.; SILVA, F.A.C. Insetos que atacam vagens e grãos. **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. Brasília: Embrapa**, p. 335-420, 2012.

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.

PASHLEY, D. P. Current status of fall armyworm host strains. **Florida Entomologist**, p. 227-234, 1988.

PINGALI, P.; PANDEY, S. **Meeting world maize needs: technological opportunities and priorities for the public sector**. 2001.

PINTO, Z, D.M.; MARTINS, C.B.; PELLEGRINO, A.C. Compostos orgânicos voláteis na defesa induzida das plantas contra insetos herbívoros. **Química Nova**, v. 36, p. 1395-1405, 2013.

PRASANNA, B. M. Diversity in global maize germplasm: characterization and utilization. **Journal of biosciences**, v. 37, n. 5, p. 843-855, 2012.

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.

PRIESTLEY, C. M. et al. Thymol, a constituent of thyme essential oil, is a positive allosteric modulator of human GABAA receptors and a homo-oligomeric GABA receptor from *Drosophila melanogaster*. **British journal of pharmacology**, v. 140, n. 8, p. 1363-1372, 2003.

R Core Team. The Comprehensive R Archive Network (Version 4.1.1). Disponível em: <https://brieger.esalq.usp.br/CRAN/>, 2021.

REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F.; CASTELLUCCI, A. C. L. Processamento e industrialização do milho para alimentação humana. **Visão agrícola**, n. 13, p. 138-140, 2015.

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.

RESENDE, D. B.; ABREU, C. A. M.; MARTINS, G, D. et al. 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.1, p. 156-166, 2020.

RIBEIRO, L.P et al. Pragas e doenças do milho: diagnose, danos e estratégias de manejo. **Boletim Técnico**, p. 84-84, 2016.

RITZ, C et al. Dose-response analysis using R. **PloS one**, v. 10, n. 12, p. e0146021, 2015.

RODRIGUEZ, E.; HEALEY, P.L., MEHTA, I. **Biology and chemistry of plant trichomes**. Plenum Press, 1984.

ROSA, A. P. S. A.; BARCELOS, H. T. Bioecologia e controle de *Spodoptera frugiperda* em milho. **Embrapa Clima Temperado-Documents (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. **Embrapa Clima Temperado-Documents (INFOTECA-E)**, 2011.

SALES, H. J. S. P. *Lavandula L.* Aplicação da cultura in vitro à produção de óleos essenciais e seu potencial económico em Portugal. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, p. 992-999, 2015.

SÃO JOÃO, R.E.; RAGA, A. **Mecanismo de defesa das plantas contra o ataque de insetos sugadores**. 2016.

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.

SILVA, C. J. **Estudos químicos e anatômicos em espécies de Myrtaceae e Asteraceae e primeiros registros de coléteres em Myrtaceae**. 2010. 110 f. Tese (Doutorado em *Scientiae*) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2010.

SILVA, C. L et al. Óleos essenciais e extratos vegetais no controle da podridão mole em alface crespa. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 632-638, 2012.

SOUZA, A. P.; VENDRAMIM, J. D. Atividade inseticida de extratos aquosos de meliáceas sobre a mosca-branca *Bemisia tabaci* (Genn.) biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae). **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 1, p. 133-137, 2001.

SOUZA, B.G.S et al. Aspectos bionômicos de *Spodoptera eridania* (Cramer): uma praga em expansão na cultura da soja na região do Cerrado brasileiro. **EntomoBrasilis**, v. 7, n. 2, p. 75-80, 2014. TERRÓN, P. U. Biopesticidas de origen vegetal. **Mundi-Prensa. Madrid, España**, 2004.

THERNEAU, T. A. Package for Survival Analysis in R. R package version 3.2-7, <https://CRAN.R-project.org/package=survival>, 2020.

TORRES, A.L.; BARROS, R.; OLIVEIRA, J.V.D. Efeito de extratos aquosos de plantas no desenvolvimento de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). **Neotropical Entomology**, v. 30, p. 151-156, 2001.

VALICENTE, F. H.; TUELHER, E. de S. Controle biológico da lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda*, com baculovírus. **Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica**, 2015.

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.

ZARRAD, K et al. Chemical composition and insecticidal effects of *Citrus aurantium* of essential oil and its powdery formulation against *Tuta absoluta*. **Tunis J Plant Prot**, v. 12, n. Special Issue, p. 83-94, 2017.