

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

THAIS DUTRA DE CARVALHO

**TOXICIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE ESPÉCIES DE *Psidium*  
(MYRTALES: MYRTACEAE) SOBRE LAGARTAS DE *Spodoptera*  
*frugiperda* (J. E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

ALEGRE – ES

2023

THAIS DUTRA DE CARVALHO

**TOXICIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE ESPÉCIES DE *Psidium*  
(MYRTALES: MYRTACEAE) SOBRE LAGARTAS DE *Spodoptera*  
*frugiperda* (J. E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dra. Marcia Flores da Silva  
Ferreira

Coorientadores: Prof. Dr. Adésio Ferreira

ALEGRE – ES

2023

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

C331t Carvalho, Thais Dutra de, 1998-  
TOXICIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE ESPÉCIES DE Psidium (MYRTALES: MYRTACEAE) SOBRE LAGARTAS DE Spodoptera frugiperda (J. E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) / Thais Dutra de Carvalho. - 2023.  
59 f. : il.

Orientadora: Marcia Flores da Silva Ferreira.

Coorientador: Adésio Ferreira.

Tese (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Sesquiterpenos. 2. Terpenos. 3. Goiabeira. 4. Spodoptera frugiperda. I. Ferreira, Marcia Flores da Silva. II. Ferreira, Adésio. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

---

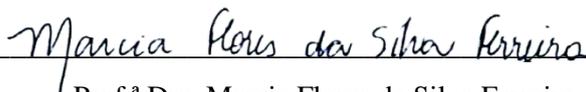
THAIS DUTRA DE CARVALHO

**TOXICIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE ESPÉCIES DE *Psidium*  
(MYRTALES: MYRTACEAE) SOBRE LAGARTAS DE *Spodoptera*  
*frugiperda* (J. E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Alegre/ES, 17 de julho de 2023

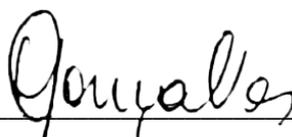
**COMISSÃO EXAMINADORA:**



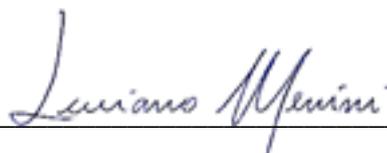
Prof.<sup>a</sup> Dra. Marcia Flores da Silva Ferreira  
Universidade Federal do Espírito Santo  
(Orientadora)



Dra. Carolina de Oliveira Bernardes  
Universidade Federal do Espírito Santo  
(Examinador Externo ao Projeto)



Prof. Dr. Hugo José Gonçalves dos Santos Junior  
Universidade Federal do Espírito Santo  
(Examinador Externo ao Projeto)



Prof. Dr. Luciano Menini  
Instituto Federal do Espírito Santo  
(Examinador Externo ao Programa)

## AGRADECIMENTOS

São diversos os momentos para agradecimento durante este período de dois anos. Contudo, primeiramente, agradeço a Deus pela vida, por suas bênçãos e por permitir minha caminhada até aqui.

A Universidade Federal do Espírito Santo e a todos os docentes que passaram pela minha vida contribuindo para meu crescimento pessoal e profissional. Igualmente, agradeço ao Programa de Pós-graduação em Agronomia e aos órgãos de fomento CNPq, CAPES e FAPES por tornarem possível a realização desse trabalho.

À minha orientadora Prof<sup>a</sup> Marcia Flores, pela orientação, dedicação, disponibilidade, paciência, oportunidade e ensinamentos.

Ao meu coorientador Prof<sup>o</sup> Adésio Ferreira, por toda a atenção, colaboração, paciência e pelas diversas horas no Programa R.

À Luiza Mendes e à Lorena Machado, por todo o apoio, amizade sincera e conversas maravilhosas enquanto trabalhávamos.

A todos os amigos de laboratório, pela amizade, incentivo e auxílio, que possibilitaram a realização deste trabalho, e pelos melhores momentos de intervalo.

Aos meus pais, Rose Dutra de Carvalho e José Luíz Carvalho, por todo amor e por, apesar das dificuldades, terem me ajudado a concluir mais esta etapa do meu sonho.

À minha prima Amanda, pelo incentivo em ingressar e por me ajudar a continuar nesta caminhada. Sem você, eu não estaria aqui.

Ao meu casal de amigos Cinthia e Walesson, por tantos anos de amizade e pelos melhores momentos nos tempos de descanso, e ao seu filho Ravi, pelos incríveis momentos de fofura e por ser meu colinho de paz e conforto.

Aos meus amigos Alec, Bárbara, Caio, Laís, Lara, Letícia, Nathália, Mylena e Viviane, pelos diversos momentos vividos ao longo do caminho.

Meu eterno agradecimento a todos os amigos que, mesmo não citados, fizeram parte desta trajetória.

*“Se quer ir rápido, vá sozinho. Se quer ir longe, vá em grupo.”*

“Somos do tamanho que nos permitimos ser...

Sonhe, trabalhe, lute, insista...

Permita-se...”

**Gilberto Vieira E.**

## RESUMO

A lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) é uma das principais espécies de insetos-pragas no mundo, causando danos significativos em várias culturas agrícolas de importância, como milho, algodão, arroz e soja. Entre os métodos de manejo de pragas, destaca-se o uso de óleos essenciais (OEs) como uma opção promissora e importante para a descoberta de novas moléculas inseticidas. O gênero *Psidium* inclui plantas frutíferas que produzem OEs ricos em sesquiterpenos, sendo o  $\beta$ -cariofileno um dos principais compostos. Neste estudo, o objetivo foi avaliar a toxicidade em lagartas de *S. frugiperda* dos OEs potencialmente ricos em  $\beta$ -cariofileno de oito espécies de *Psidium*, juntamente com o composto puro. Com base nos resultados, foi possível estabelecer uma escala de toxicidade dos OEs das espécies de *Psidium* à *S. frugiperda*, sendo a toxicidade de *Psidium guajava* (Século XXI) > *Psidium* sp. > *Psidium guajava* (Paluma) > *Psidium cattleianum* (Cat 3) > *Psidium myrtoides* > *Psidium guajava* (Cortibel XV) > *Psidium gaudichaudianum* > *Psidium cattleianum* (Cat 8) >  $\beta$ -cariofileno > *Psidium guineense* > *Psidium guajava* (Cortibel XIII) > *Psidium macahense* > *Psidium friedrichsthalianum* > *Psidium cattleianum* (Cat 5). Os OEs das cultivares Século XXI e Paluma, bem como *Psidium* sp., resultaram em taxas de mortalidade de mais de 70% das lagartas, enquanto o  $\beta$ -cariofileno puro apresentou cerca de 30% de mortalidade. Observou-se que o  $\beta$ -cariofileno demonstrou funcionalidade aprimorada em sinergia com outros compostos, mesmo em baixas concentrações. No entanto, na estimativa de concentração letal (CL), o OE de Paluma apresentou o menor valor estimado de CL<sub>50</sub> de 64500  $\mu$ g/mL e CL<sub>90</sub> de 86900  $\mu$ g/mL. A composição equilibrada dos compostos encontrados nas cultivares Paluma e Século XXI (*P. guajava*) exibiram maior toxicidade sobre as lagartas de *S. frugiperda*.

**Palavras-chave:** Metabólitos secundários,  $\beta$ -cariofileno, Sesquiterpenos, Atividade inseticida, Lagarta-do-cartucho.

## ABSTRACT

The fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) is one of the main pest insect species in the world, causing significant damage to various important agricultural crops such as corn, cotton, rice, and soybeans. Among pest management methods, the use of essential oils (EOs) stands out as a promising and important option for the discovery of new insecticidal molecules. The genus *Psidium* includes fruit-bearing plants that produce EOs rich in sesquiterpenes, with  $\beta$ -caryophyllene being one of the main compounds. In this study, the objective was to evaluate the toxicity of  $\beta$ -caryophyllene-rich EOs from eight *Psidium* species on *S. frugiperda* caterpillars, along with the pure compound. Based on the results, it was possible to establish a toxicity scale of *Psidium* species EOs to *S. frugiperda*, with *Psidium* guajava (Século XXI) > *Psidium* sp. > *Psidium* guajava (Paluma) > *Psidium* cattleianum (Cat 3) > *Psidium* myrtilloides > *Psidium* guajava (Cortibel XV) > *Psidium* gaudichaudianum > *Psidium* cattleianum (Cat 8) >  $\beta$ -caryophyllene > *Psidium* guineense > *Psidium* guajava (Cortibel XIII) > *Psidium* macahense > *Psidium* friedrichsthalianum > *Psidium* cattleianum (Cat 5). The EOs from the Século XXI and Paluma cultivars, as well as *Psidium* sp., resulted in mortality rates of over 70% of the caterpillars, while pure  $\beta$ -caryophyllene showed about 30% mortality. It was observed that  $\beta$ -caryophyllene demonstrated enhanced functionality in synergy with other compounds, even at low concentrations. However, in the estimation of lethal concentration (LC), the Paluma EO showed the lowest estimated LC50 value of 64,500  $\mu\text{g/mL}$  and LC90 of 86,900  $\mu\text{g/mL}$ . The balanced composition of compounds found in the Paluma and Século XXI (*P. guajava*) cultivars exhibited higher toxicity on *S. frugiperda* caterpillars.

**Keywords:** Secondary metabolites,  $\beta$ -caryophyllene, Sesquiterpenes, Larvicidal potential, Fall armyworm.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	10
<b>2 OBJETIVO</b> .....	20
2.1 Objetivo Geral .....	20
2.2 Objetivos Específicos .....	20
<b>3 REFERÊNCIAS</b> .....	21
<b>TOXICIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE ESPÉCIES DE <i>Psidium</i> (MYRTALES: MYRTACEAE) SOBRE LAGARTAS DE <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)</b> .....	31
<b>4 INTRODUÇÃO</b> .....	33
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	33
5.1 Obtenção e extração dos óleos essenciais .....	34
5.2 Identificação e quantificação dos constituintes dos óleos essenciais .....	35
5.3 Multiplicação e manutenção da população de <i>Spodoptera frugiperda</i> .....	36
5.4 Atividade inseticida dos óleos essenciais em lagartas de <i>Spodoptera frugiperda</i> .....	36
5.5 Análise estatística dos dados .....	38
<b>6 RESULTADOS</b> .....	38
6.1 Óleos essenciais de espécies de <i>Psidium</i> .....	38
6.2 Atividade inseticida dos óleos essenciais em lagartas de <i>Spodoptera frugiperda</i> .....	43
6.3 Variação fenotípica entre efeitos biológicos em <i>Spodoptera frugiperda</i> e composição dos óleos essenciais .....	44
6.4 Estimativa da concentração letal (CL) dos óleos essenciais .....	47
6.5 Estabilidade de composição e rendimento de óleos essenciais das cultivares Paluma e Século XXI de <i>Psidium guajava</i> .....	48
<b>7 DISCUSSÃO</b> .....	50
7.1 Óleos essenciais de 13 plantas de <i>Psidium</i> .....	50
7.2 Atividade inseticida dos óleos essenciais em lagartas de <i>Spodoptera frugiperda</i> .....	51
7.3 Estabilidade de composição e rendimento de óleos essenciais das cultivares Paluma e Século XXI de <i>Psidium guajava</i> .....	53
<b>8 CONCLUSÃO</b> .....	54
<b>9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	55

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), popularmente conhecida como lagarta-do-cartucho, é uma praga agrícola de importância econômica, responsável por causar danos significativos nas plantações, reduzindo a produtividade de diversas culturas em todo o mundo como arroz, algodão, soja, com destaque para o milho (GUO et al., 2020; OVERTON et al., 2021). É amplamente conhecida em sua região de origem, América do Norte e do Sul, e se tornou uma das principais pragas invasoras no mundo na última década (TAY et al., 2023).

O ciclo de vida da *S. frugiperda* varia conforme a temperatura ambiente, com uma duração média de cerca de 30 dias durante o verão (~28°C) e pode ser estendida para 60 a 90 dias em temperaturas mais frias (WAN et al., 2021). Esse ciclo inclui a fase de ovo com a duração de 2 a 3 dias; o estágio larval que normalmente é composta por seis instares com cerca de 14 dias, sendo o tempo médio de desenvolvimento de 3,3; 1,7; 1,5; 1,5; 2,0 e 3,7 dias para os instares 1 a 6, respectivamente, quando em 25°C; a duração da fase pupa é por cerca de 8 a 9 dias; já a duração de vida adulta é estimada em cerca de 10 dias, variando de 7 a 21 dias (PRASANNA et al., 2018).

É comum observar entre as lagartas de *S. frugiperda* o comportamento de canibalismo, tanto em condições de campo quanto em laboratório (BENTIVENHA et al., 2017; CHAPMAN et al., 2000). Esse comportamento pode ser desencadeado por diferentes fatores, tais como escassez de alimento e espaço limitado, além da busca por suplementação de água e nutrientes (BENTIVENHA et al., 2016). No entanto, apesar de ser frequente, o canibalismo não é um comportamento obrigatório (SILVA; PARRA, 2013). Outros fatores abióticos também podem acarretar nesse comportamento, como a temperatura e umidade (RICHARDSON et al., 2010). Em condições de laboratório a quantidade e disposição de alimento e temperatura, podem ser as causas (MACHADO et al., 2021).

Devido à sua importância global, métodos de manejo de *S. frugiperda* são urgentes (NEGRINI et al., 2019). Para isso, apesar de existirem outros métodos de manejo, os inseticidas sintéticos como piretroides, carbamatos e organofosforados, continuam sendo a principal medida adotada para o manejo dessa praga (ASSEFA; AYALEW, 2019; CARVALHO et al., 2013). No entanto, esses produtos são tóxicos para organismos não-alvo e podem causar danos à saúde humana e ao meio ambiente (GALVÃO et al., 2019). Além do uso inadequado dessas substâncias também podem levar ao aumento na resistência por parte das pragas (BOUYER et al., 2020).

O controle biológico também pode ser uma alternativa, utilizando agentes naturais, como parasitoides, predadores e patógenos microbianos, o que proporciona uma proteção vegetal ambientalmente segura e sustentável (ASSEFA; AYALEW, 2019; PILKINGTON et al., 2010). Algumas espécies de parasitoides, como algumas espécies do gênero *Cotesia* Camerom (Hymenoptera: Braconidae) (ASHLEY, 1986) e *Chelonus* Panzer (Braconidae: Cheloninae) (ASHLEY, 1979; ASHLEY, 1986) que são capazes de parasitar as lagartas de *S. frugiperda*, assim reduzindo sua população. Além disso, predadores, tais como os coleópteros da família Carabidae, dermápteros da família Forficulidae e percevejos predadores das famílias Pentatomidae e Anthocoridae (CAPINERA, 2002). Entre os patógenos utilizados no manejo de *S. frugiperda*, a bactéria *Bacillus thuringiensis* (Eubacteriales: Bacillaceae) e o vírus *Spodoptera frugiperda multiple nucleopolyhedrovirus* (Lefavirales: Baculoviridae) destacam-se, pois causam mortalidade significativa em populações da praga e possuem formulações disponíveis no mercado (MACHADO et al., 2021; MOLINA-OCHOA, 2003).

Nesse contexto, uma alternativa relevante para o controle dessa praga, é o uso de organismos geneticamente modificados (OGMs) com as toxinas Cry de *B. thuringiensis* (Bt), as quais são inseridos nas plantas de milho, tornando-as resistentes a *S. frugiperda* (PALMA et al., 2013). Vários estudos têm se dedicado à expressão desses genes em culturas de milho para controle biológico de *S. frugiperda* (BURTET et al., 2017; KAVIYAPRIYA, et al, 2019; MOSCARDINI et al., 2020).

Em 2003, nos Estados Unidos, foi introduzido o primeiro milho Bt com o traço Cry3Bb1. Nos anos seguintes, ocorreram avanços no desenvolvimento de características genéticas para essas culturas transgênicas. Em 2004, registrou-se a presença do traço Cry3Bb1 combinado com Cry34/35Ab1, e em 2005, o traço Cry34Ab1/Cry35Ab1 foi oficialmente registrado como uma única característica. Posteriormente, em 2012, foi registrado o traço mCry3A com Cry34/35Ab (PONGPAIBOON, 2022).

No entanto, é importante destacar que esses genes possuem o potencial de se espalhar das culturas transgênicas para suas contrapartes selvagens, resultando na formação de novas combinações genéticas na população. Esse fluxo gênico descontrolado pode acarretar problemas ambientais, para os seres humanos e para as terras agrícolas, uma vez que a contaminação genética pode levar ao surgimento de pragas resistentes e a mudanças ecológicas indesejadas (PONGPAIBOON, 2022). A progressão da resistência dessas pragas, pode apresentar um grande desafio para a continuidade do sucesso da biotecnologia Bt.

Uma alternativa, pode ser o uso de agrotóxicos botânicos, sendo produzidos a partir de extratos e metabólitos secundários de plantas (ASSEFA; AYALEW, 2019; SÁNCHEZ et al.,

2021). Dentre diversas outras, extratos de plantas como *Vanillosmopsis arborea* Baker (Asteraceae) (ALVES et al., 2022), *Corymbia citriodora* Hill & Johnson (Myrtaceae), *Myrciaria dubia* McVaugh (Myrtaceae), *Lippia microphylla* Cham. (Verbenaceae), *Piper umbellatum* L. (Piperaceae) (NEGRINI et al., 2019), *Pelargonium graveolens* L. (Geraniaceae), *Lippia alba* (Mill.) N.E. Br. ex Britton & P. Wilson (Verbenaceae) (NICULAU et al., 2013) e *Cymbopogon flexuosus* (Nees) Will. Watson (Poaceae) (OLIVEIRA et al., 2018), são algumas das que tem sido testadas para o manejo de *S. frugiperda*.

Os óleos essenciais são compostos por metabólitos secundários naturais, descritos como elementos voláteis presentes nos órgãos das plantas, como folhas, flores, frutos, sementes, caules e raízes (BAKKALI et al., 2008; KURNIAWAN et al., 2021). Geralmente esses óleos se acumulam em uma região específica, mas também podem ocorrer em vários órgãos da mesma planta, o que resulta em diferentes perfis químicos (KURNIAWAN et al., 2021). Existem diversos métodos para a extração desses óleos essenciais, como por arraste a vapor ou hidrodestilação (BAKKALI et al., 2008; VILANOVA et al., 2019).

Na natureza, os óleos essenciais desempenham um papel importante na interação planta-ambiente, uma vez que as plantas os produzem para se proteger contra insetos indesejáveis, microrganismos e herbivoria, ou para atrair insetos polinizadores (BAKKALI et al., 2008; PADOVAN et al., 2014). Além disso, esses óleos têm aplicações na agronomia, farmacologia, química e em programas de melhoramento e domesticação de plantas, podendo ser utilizados como matéria-prima para inseticidas, antissépticos, cosméticos e perfumaria (ADORJAN; BUCHBAUER, 2010; KURNIWAN et al., 2021; SILVEIRA et al., 2021). Sua composição é extremamente complexa, podendo conter mais de 300 compostos distintos, como fenilpropanoides e em sua maioria, compostos pertencentes a família dos terpenos (ADORJAN; BUCHBAUER, 2010; DHIFI et al., 2016).

Um estudo com lagartas de segundo instar de *S. frugiperda*, apresentou doses letais (DL) por via tópica, o OE de *C. citriodora* exibiu DL<sub>50</sub> de 4,59 mg/g<sup>-1</sup> e *L. microphylla* a DL<sub>50</sub> foi de 5,35 mg/g<sup>-1</sup>, os autores relacionam a toxicidade dos OEs a presença dos compostos linalol, timol e carvacrol, também monoterpenos (NEGRINI et al., 2018). Além disso, Alves et al. (2022) relataram o composto monoterpeno 1,8-cineol presente no OE de *L. microphylla* como possível promotor da mortalidade dos insetos de *S. frugiperda*, tendo apresentado DL<sub>50</sub> de 104,52 mg/mL para lagartas terceiro instar.

Além disso, há relatos de que o gene TPS23, que codifica a enzima responsável pela etapa final da via biosintética do β-cariofileno, um sesquiterpeno, é fortemente induzido quando as plantas de milho são atacadas por insetos como *Diabrotica balteata* LeConte (Coleoptera:

Chrysomelidae) (CHIROBOGA et al., 2018), *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae) (LENK et al., 2012), *Chilo partellus* (Swinhoe) (Lepidoptera: Pyralidae) (TAMIRU et al., 2017), *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (Coleoptera: Chrysomelidae) (CAPRA et al., 2015; CASTANO-DUQUE et al., 2017; KÖLLNER et al., 2008) e *S. frugiperda* (SMITH et al., 2012).

Em estudo realizado por Tamiru et al. (2017), uma variedade de milho sul-americana (Braz1006) com características de defesa contra a deposição de ovos do inseto *Chilo partellus* (Swinhoe) (Lepidoptera: Pyralidae) mostrou-se capaz de liberar oito vezes mais  $\beta$ -cariofileno após a deposição de ovos e herbivoria mimetizada por lagartas, em comparação com linhagens europeia (Delprim) e norte-americana (B73) sem essa característica. Isso corrobora os trabalhos de Smith et al. (2012), que sugeriram que o  $\beta$ -cariofileno pode desempenhar um papel na resistência de variedades de milho às lagartas de *S. frugiperda*, uma vez que a variedade demonstrou produção constitutiva desse composto durante a herbivoria.

No gênero *Psidium* L. (Myrtales: Myrtaceae), os OEs foliares são ricos em sesquiterpenos, e em algumas espécies, o  $\beta$ -cariofileno é o composto majoritário (MACEDO et al., 2021; PADOVAN et al., 2014; PROENÇA et al., 2022; SILVA et al., 2021, SILVA et al., 2023; SPADETO et al., 2022; TULER et al., 2019). O perfil químico dos OEs pode ser influenciado por diferentes fatores, principalmente genéticos, mas também por fatores fisiológicos e ambientais, como composição e disponibilidade de nutrientes do solo, clima, idade da planta, estágio de desenvolvimento, sazonalidade e ciclo circadiano, o que gera a variabilidade de quimiotipos e perfis químicos nos óleos de forma quantitativamente e qualitativamente, mesmo dentro de uma mesma espécie (MENDES et al., 2018; SILVA et al., 2021; SOUZA et al., 2017).

Desta forma, de acordo com pesquisas realizadas por Silva et al. (2021), os OEs foliares de *Psidium guajava* L. das Ilhas Maurício apresentam majoritariamente óxido de cariofileno, enquanto, os OEs extraídos de plantas cultivadas no Egito, apresentaram  $\beta$ -cariofileno,  $\alpha$ -selineno,  $\beta$ -selineno e 1,8-cineol (EL-AHMADY, et al., 2013; SILVA et al., 2021). Os compostos  $\beta$ -cariofileno, óxido de cariofileno e epóxido de aromadendreno também estão presentes nos OEs dessa espécie no Espírito Santo (MENDES et al., 2017; SILVA et al., 2021) (Tabela 1).

Tabela 1. Terpenos presentes nos óleos essenciais foliares de plantas de *Psidium guajava*, com valores de coeficiente de partição (log P), volume molecular, funções ecológicas e atividades biológicas relatadas na literatura.

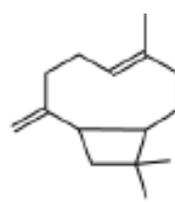
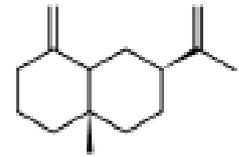
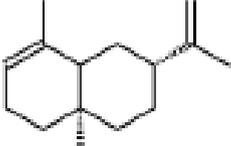
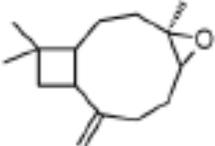
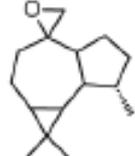
Terpeno, estrutura e classificação	Log P	V (Å <sup>3</sup> )	Função ecológica/ Atividade biológica	Referências
<p>1,8-cineol</p>  <p>C<sub>10</sub>H<sub>18</sub>O MO</p>	2,72	166,66	Inseticida e repelente de insetos	ZANDI-SOHANI et al., 2013
			Atração de insetos polinizadores e de inimigos naturais de herbívoros	DEGENHARDT et al., 2003 MOORE et al., 2014
			Termotolerância e tolerância ao ozônio em plantas	HOLOPAINEN et al., 2013
			Defesa/Redução de herbivoria	BOYLE, MCLEAN, 2004 MOORE et al., 2014
			Anti-inflamatório; Antioxidante	ADORJAN; BUCHBAUER, 2010 JUERGENS, 2014 SILVA et al., 2021
			Antimicrobiano; Antifúngico	PATTNAIK et al., 1997
			Antiviral	YANG et al., 2010
			Mucolítico	BASTOS et al., 2011
			Broncodilatador; Espasmolítico	JUERGENS et al., 1998
<p>β-cariofileno</p>  <p>C<sub>15</sub>H<sub>24</sub> SH</p>	5,17	229,95	Atração de inimigos naturais de herbívoros	DEGENHARDT et al., 2003 HOLOPAINEN et al., 2013 MOORE et al., 2014
			Interação planta-planta	BALDWIN et al., 2006 SILVA et al., 2021
			Inseticida/Larvicida	SILVA et al., 2021
			Antimicrobiano; Antifúngico	
			Anestésico local	GHELARDINI et al., 2001
			Potencializador da atividade anticâncer (do a-humulene)	DAHAM et al., 2015 LEGAULT; PICHETTI, 2007
			Antioxidante	SILVA et al., 2021
			Efeito antidiabético	BASH; SANKARANARAYANAN, 2016
			Anti-inflamatório	FERNANDES et al., 2007 SILVA et al., 2021
			Anticonvulsivante	OLIVEIRA et al., 2016
Antiviral	ADORJAN; BUCHBAUER, 2010 PÁJARO-CASTRO et al., 2015			
<p>β-selineno</p>  <p>C<sub>15</sub>H<sub>24</sub> SH</p>	5,02	230,51	Anti-inflamatório	SILVA et al., 2021

Tabela 1. Terpenos presentes nos óleos essenciais foliares de plantas de *Psidium guajava*, com valores de coeficiente de partição (log P), volume molecular, funções ecológicas e atividades biológicas relatadas na literatura. (continuação)

Terpeno, estrutura e classificação	Log P	V (Å <sup>3</sup> )	Função ecológica/ Atividade biológica	Referências
<p>α-selineno</p>  <p>C<sub>15</sub>H<sub>24</sub> SH</p>	5,24	229,95	Antioxidante	SILVA et al., 2021
			Anti-inflamatório	
			Atração de inimigos naturais de herbívoros	DEGENHARDT et al., 2003 MOORE et al., 2014
			Interação planta-planta	BALDWIN et al., 2006 SILVA et al., 2021
			Inseticida/Larvicida	SILVA et al., 2021
			Antimicrobiano; Antifúngico	
			Analgésico; Anti-inflamatório	ARRUDA et al., 2005
			Anti-inflamatório	ADORJAN; BUCHBAUER, 2010 SILVA et al., 2021
			Antioxidante	ADORJAN; BUCHBAUER, 2010 SILVA et al., 2021
			Efeito relaxante	BREHM-STECHER, JOHNSON, 2003
			Antiviral	ADORJAN; BUCHBAUER, 2010
			Interação planta-planta	
			Antioxidante	ABD-ELGAWAD et al., 2021
			Anti-inflamatório	
<p>óxido de cariofileno</p>  <p>C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>O SO</p>	4,14	234,01		
			Interação planta-planta	
			Antioxidante	
			Anti-inflamatório	
			Inseticida/Larvicida	SILVA et al., 2021
<p>epóxido de aromadendrenc</p>  <p>C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>O SO</p>	4,17	229,09		

MO: Monoterpeno Oxigenando; SH: Sesquiterpeno Hidrocarboneto; SO: Sesquiterpeno Oxigenado.  
Fonte: adaptado de FERREIRA et al., 2020.

Todos os terpenos possuem como origem primária o difosfato de isopentenil (IPP) (CHEN et al., 2011). Eles são compostos por unidades de isopreno (C<sub>5</sub>), sendo os principais terpenos os monoterpenos (C<sub>10</sub>) e os sesquiterpenos (C<sub>15</sub>), mas também existem os diterpenos

(C<sub>20</sub>), triterpenos (C<sub>30</sub>) e tetrapenos (C<sub>40</sub>) (BAKKALI et al., 2008; FERREIRA et al., 2020; LANGENHEI,1994; SILVA et al., 2021).

Existem duas possíveis vias para a biossíntese dos isoprenos: a via do ácido mevalônico (MVA), localizada no citosol, e a via do fosfato de metileritritol (MEP) nos plastídios (CHEN et al., 2011; KASAHARA et al., 2002) (Figura 1). Em geral, a biossíntese dos isoprenos, monoterpenos e diterpenos, ocorre nos plastídios, enquanto a dos sesquiterpenos ocorre no citosol (CHEN et al., 2011). No entanto, Sallaud et al. (2009), apresentaram uma nova via para a biossíntese de sesquiterpenos, presente nos plastídios, a partir de Z,Z-farnesil pirofosfato (Z,Z-FPP) em *Solanum habrochaites* Knapp & Spooner (Solanaceae).

O isopentenil difosfato (IPP), um composto ativado de fósforo, converte-se em seu isômero pirofosfato de dimetilalila (DMAPP), que é biossintetizado pela via do MEP. Ambos possuem um grupo oxigênio-pirofosfato (OPP). O IPP ou seu isômero DMAPP servem como substrato para a biossíntese do isopreno, ou podem se unir a outra unidade de IPP para formar o difosfato de geranila (GPP), precursor dos monoterpenos. Se uma molécula de GPP se condensar com mais uma molécula de IPP, resultará no farnesil difosfato (FPP), precursor dos sesquiterpenos (CHEN et al., 2011; FERREIRA et al., 2020).

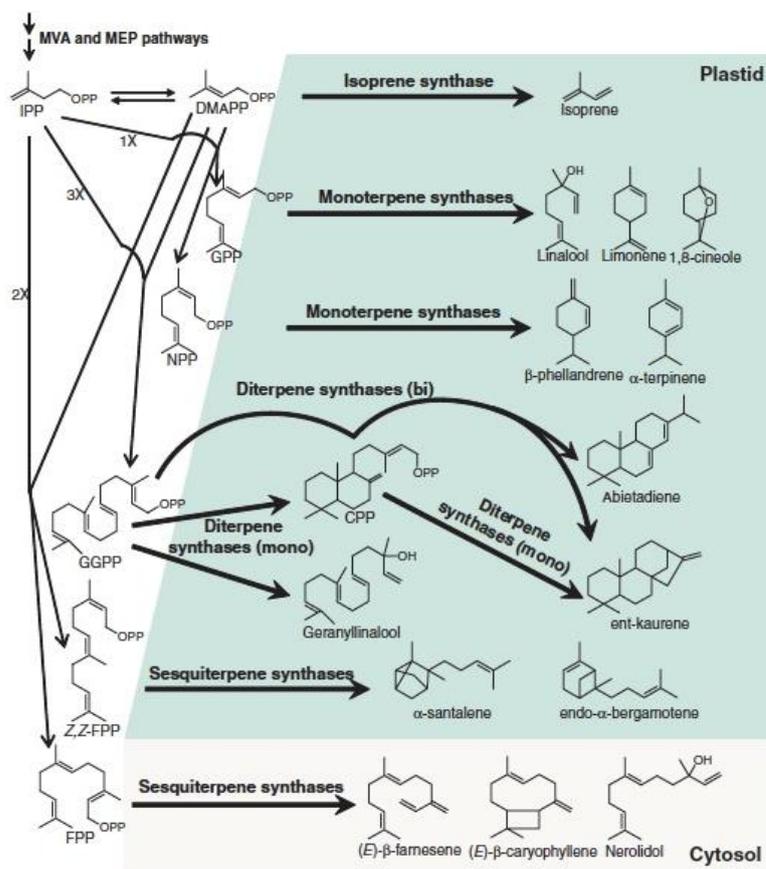


Figura 1. Síntese de monoterpenos e sesquiterpenos derivados de isoprenos.  
Fonte: CHEN et al., 2011

Durante os anos de pesquisa, foi estabelecido que todas as sintases de monoterpenos iniciam com a ionização do GPP. O carbocátion resultante pode passar por uma variedade de ciclizações, deslocamentos de hidreto e rearranjos antes que a reação seja finalizada por desprotonação ou captura de água (Figura 2) (DEGENHARDT et al., 2009). A formação do carbocátion  $\alpha$ -terpinil abre caminho para ciclizações secundárias.

O mecanismo de reação das sintases de sesquiterpenos começa com a ionização do FPP. O carbocátion resultante passa por ciclizações para produzir o cátion (E,E)-germacredienil e o carbocátion (E,E)-humulil, que gerarão sesquiterpenos bicíclicos (Figura 3) (DEGENHARDT et al., 2009). Segundo Tressl et al. (1983), o carbocátion (E,E)-1,5-decadienil pode gerar compostos como germacreno A, germacreno B, germacreno C, germacreno D e biciclogermacreno (Figura 3). Os compostos tricíclos alloaromadendreno e aromadendreno são derivados do biciclogermacreno.

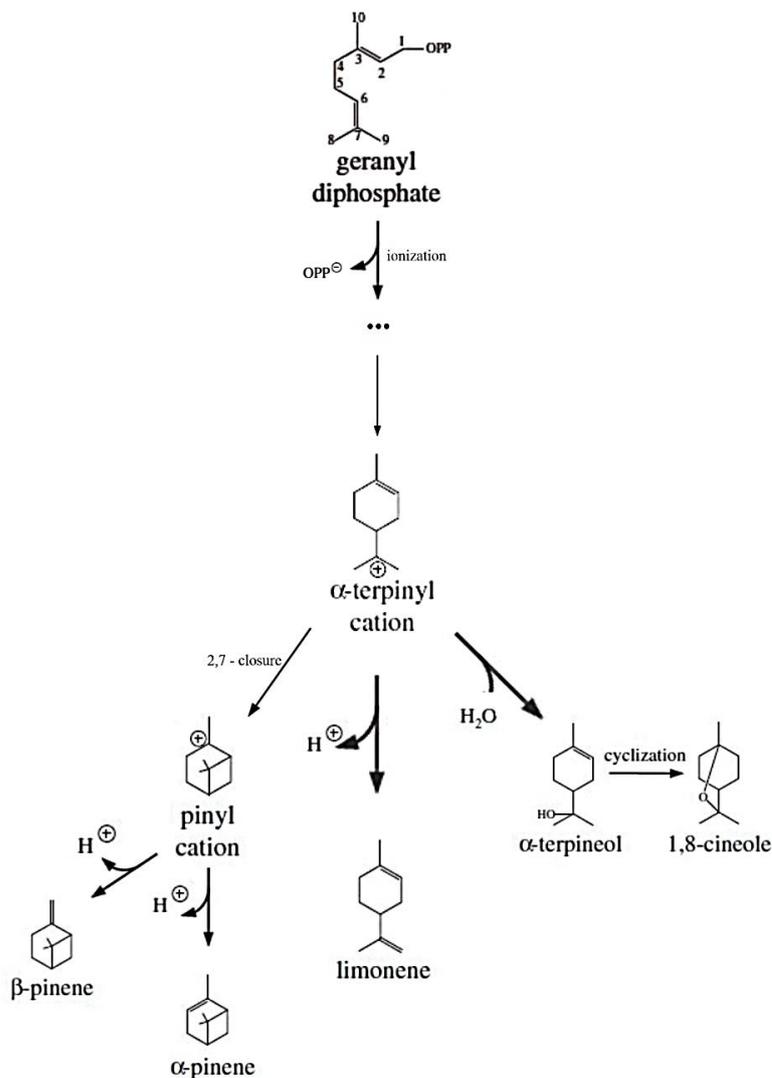


Figura 2. Síntese do monoterpeno 1,8-cineol.  
Fonte: adaptado de DEGENHARDT et al. (2009).

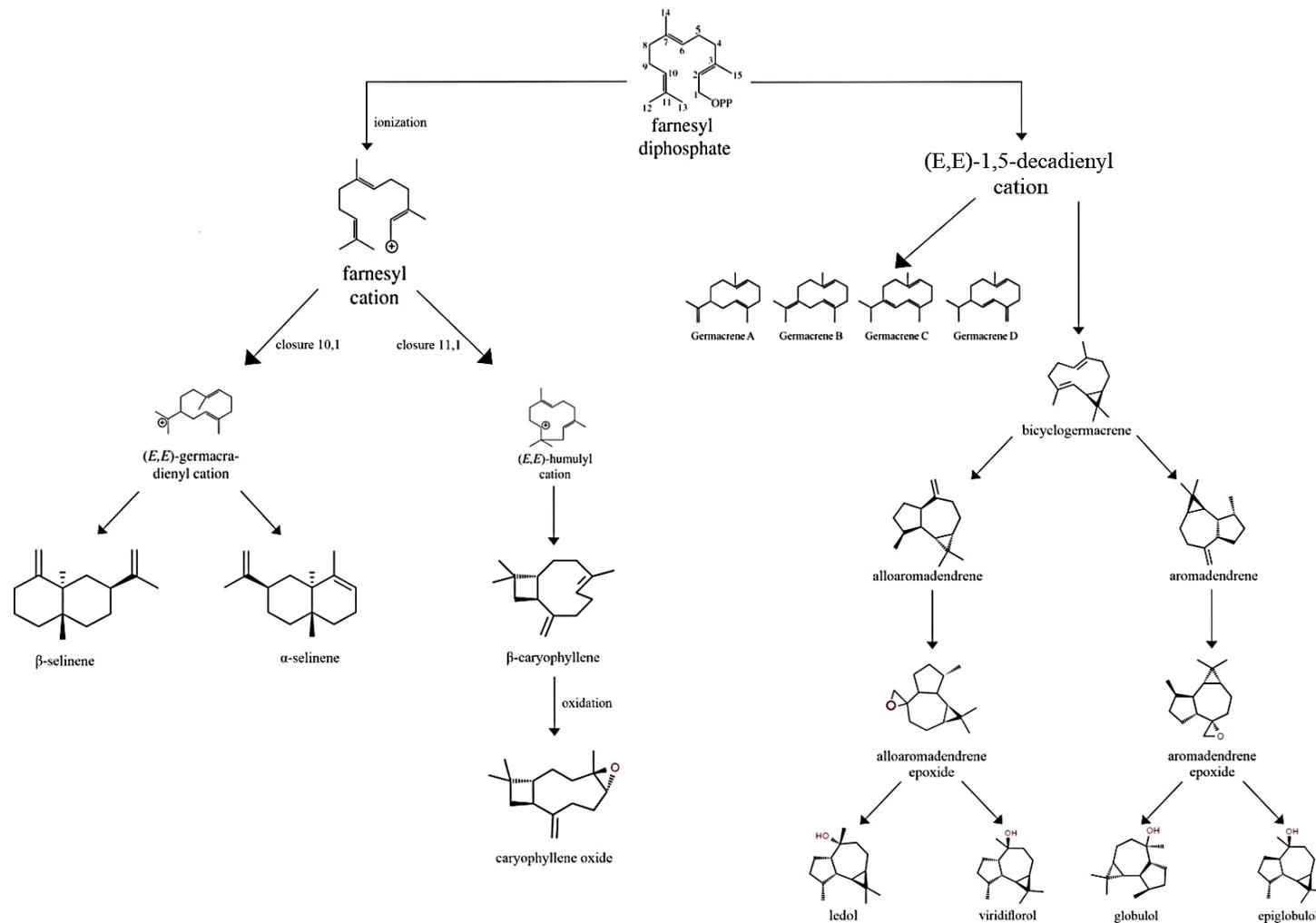


Figura 3. Síntese dos sesquiterpenos bicíclicos β-selineno, α-selineno, β-cariofileno e óxido de cariofileno e o sesquiterpeno tricíclico epóxico de aromadendreno.

Fonte: adaptado de DEGENHARDT et al. (2009); TRESSL et al. (1983)

O gênero *Psidium* é especialmente relevante e amplamente explorado, com cerca de 100 espécies originárias da América do Sul tropical (BELTRAME et al., 2021). As espécies desse gênero desempenham um papel importante na ecologia, interagindo com animais que se alimentam de seus frutos e ajudando na dispersão das sementes, contribuindo para a preservação da diversidade de espécies (GRESSLER et al., 2006). Além disso, essas espécies demonstram capacidade de adaptação a condições adversas do ambiente, o que favorece sua ampla diversificação e distribuição geográfica (LANDRUM, 2017; SILVA et al., 2021).

Esse gênero apresenta uma ampla variação em termos de porte, podendo variar desde pequenos subarbustos até árvores de grande porte, embora seja mais comum encontrá-lo na forma de arbusto ou árvores de pequeno porte (LANDRUM, 2017; TULER et al., 2017). Suas folhas exibem uma alta variabilidade em relação ao tamanho, forma, morfologia, venação e anatomia, sendo considerado o gênero mais diversificado dentro da tribo Myrteae com base em todos esses critérios (PROENÇA et al., 2022). As flores também apresentam variações em tamanho, forma de botão, número de estames, número de lóculos e óvulos por lóculo (PROEÇA et al., 2022). Além disso, as espécies demonstram uma grande variedade de adaptação aos diferentes tipos de solo (PROENÇA et al., 2022).

Destaca-se também pela sua alta ocorrência de poliploidia em comparação a outros gêneros neotropicais de Myrtaceae, resultando em considerável variabilidade no cariótipo entre as espécies (PROENÇA et al., 2022). Marques et al. (2016), corroborando com Souza et al. (2015), apresentaram *P. guajava*, espécie diploide, com cariótipo de  $2n=22$ , enquanto *Psidium guineense* Swartz é uma espécie tetraploide com  $2n=44$ .

Por outro lado, *Psidium brownianum* Mart. Ex DC. e *Psidium australe* Cambess. mostraram número cromossômicos de  $2n=66$  e  $2n=55$ , respectivamente e os acessos de *Psidium cattleyanum* Sabine exibiram variações nos números cromossômicos, incluindo  $2n=44, 46, 48, 55, 58, 82$  (SOUZA et al., 2015). Além disso, *Psidium friedrichsthalianum* (O. Berg) Nied, uma espécie tetraploide, assim como *P. guineense*, possui  $2n=44$ , enquanto *Psidium myrtoides* O. Berg, uma espécie octaploide, assim como *P. cattleyanum*, apresenta  $2n=88$  (NOIA et al., 2017; TULER et al., 2019). Essa variação interespecífica na quantidade de DNA nuclear mostra uma relação coerente e proporcional ao nível de ploidia encontrado nos acessos (SOUZA et al., 2015).

Dentre as espécies que pertencem ao gênero, conhecidos popularmente como araçás ou goiabeiras, destaca-se a *P. guajava* devido ao seu grande interesse econômico. Suas folhas e casca têm histórico de uso medicinal e são valorizadas comercialmente. O fruto, rico em vitamina C e vitamina A, pode ser consumido fresco ou utilizado na produção de doces

(KAMATH et al., 2014). Além disso, outras espécies de *Psidium*, como os araçás *P. guineense* e *P. cattleyanum*, também apresentam frutos altamente valorizados nas regiões onde ocorrem naturalmente, indicando um potencial para exploração comercial (BEZERRA et al., 2006; BEZERRA et al., 2016).

No entanto, apesar das diversas possibilidades de aproveitamento das espécies de *Psidium*, ainda não há expressão econômica na fruticultura nacional, nem pomares comerciais. A falta de informações agrônômicas e as ameaças de extinção em áreas remanescentes destacam a necessidade de conservação dessas espécies e o desenvolvimento de pesquisas abrangendo recursos genéticos, melhoramento, nutrição mineral, práticas culturais e processamento industrial (BEZERRA et al., 2006).

Algumas espécies de *Psidium* são amplamente utilizadas comercialmente, principalmente devido à exploração de seus frutos comestíveis, madeira e plantas ornamentais (BEZERRA et al., 2016). Além disso, essas espécies são ricas em óleos essenciais que apresentam propriedades medicinais e farmacológicas promissoras (BEZERRA et al., 2016), como atividades antimicrobianas e anti-inflamatórias (GUTIÉRREZ et al., 2008), bem como propriedades inseticidas (DIAS et al., 2015; LIMA et al., 2009), o que tem despertado o interesse da comunidade científica para estudos mais aprofundados sobre essas espécies (FRANZON et al., 2009).

Desta forma, neste estudo, objetivou-se avaliar os óleos essenciais de oito espécies do gênero *Psidium*, potencialmente ricas em sesquiterpenos, quanto a toxicidade a *S. frugiperda*.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a toxicidade dos óleos essenciais de *P. guajava* L., *P. cattleyanum* Sabine, *Psidium macaense* O. Berg, *Psidium friedrichsthalianum* (O. Berg) Nied, *P. myrtoides* O. Berg, *Psidium gaudichaudianum* Proença & Faria, *P. guineense* Sw. e uma espécie ainda não identificada de *Psidium* sp., e investigar óleos essenciais ricos em sesquiterpenos quanto a atividade inseticida sobre *Spodoptera frugiperda*.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Extrair óleos essenciais das espécies de *Psidium*;
- Determinar qualitativamente e quantitativamente os terpenos nos óleos essenciais;
- Estimar as Concentrações Letais (CL<sub>50</sub> e CL<sub>90</sub>) dos óleos essenciais visando ao manejo de *S. frugiperda*.

### 3 REFERÊNCIAS

ABD-ELGAWAD, A. M. et al. Chemical Composition, Allelopathic, Antioxidant, and Anti-Inflammatory Activities of Sesquiterpenes Rich Essential Oil of *Cleome amblyocarpa* Barratte & Murb. **Plants**, v. 10, n. 7, p. 1294, 2021.

ADORJAN, B.; BUCHBAUER, G. Biological properties of essential oils: an updated review. **Flavour and fragrance journal**, v. 25, n. 6, p. 407-426, 2010.

ALVES, A. C. L. et al. Insecticidal activity of essential oils on *Spodoptera frugiperda* and selectivity to *Euborellia annulipes*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, 2022.

ARRUDA, D. C. et al. Antileishmanial activity of the terpene nerolidol. **Antimicrobial agents and chemotherapy**, v. 49, n. 5, p. 1679-1687, 2005.

ASHLEY, T. R. Classification and distribution of fall armyworm parasites. **Florida Entomologist**, p. 114-123, 1979.

ASHLEY, T. R. Geographical distributions and parasitization levels for parasitoids of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Florida Entomologist**, p. 516-524, 1986.

ASSEFA, F.; AYALEW, D. Status and control measures of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) infestations in maize fields in Ethiopia: A review. **Cogent Food & Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 1641902, 2019.

BAKKALI, F. et al. Biological effects of essential oils—a review. **Food and chemical toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.

BALDWIN, I. T. et al. Volatile signaling in plant-plant interactions: "talking trees" in the genomics era. **science**, v. 311, n. 5762, p. 812-815, 2006.

BASHA, R. H.; SANKARANARAYANAN, C.  $\beta$ -Caryophyllene, a natural sesquiterpene lactone attenuates hyperglycemia mediated oxidative and inflammatory stress in experimental diabetic rats. **Chemico-biological interactions**, v. 245, p. 50-58, 2016.

BASTOS, V. P. D. et al. Inhaled 1,8-cineole reduces inflammatory parameters in airways of

Ovalbumin-challenged Guinea Pigs. **Basic & clinical pharmacology & toxicology**, v. 108, n. 1, p. 34-39, 2011.

BELTRAME, B. M. et al. *Psidium* L. genus: A review on its chemical characterization, preclinical and clinical studies. **Phytotherapy Research**, v. 35, n. 9, p. 4795-4803, 2021.

BENTIVENHA, J. P. F. et al. Intraguild competition of three noctuid maize pests. **Environmental entomology**, v. 45, n. 4, p. 999-1008, 2016.

BENTIVENHA, J. P. F. et al. Attack and defense movements involved in the interaction of *Spodoptera frugiperda* and *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Pest Science**, v. 90, p. 433-445, 2017.

BEZERRA, J. E. F. et al. Araçá. In: VIEIRA, R. F. et al. **Frutas nativas da região Centro-Oeste do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

BEZERRA, J. E. F. et al. *Psidium* spp.: araçá. In: VIEIRA, R. F. et al. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial plantas para o futuro-região centro-oeste**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2016.

BOYLE, R. R.; MCLEAN, S. Constraint of feeding by chronic ingestion of 1,8-cineole in the brushtail possum (*Trichosurus vulpecula*). **Journal of chemical ecology**, v. 30, p. 757-775, 2004.

BOUYER, J. et al. Phased conditional approach for mosquito management using sterile insect technique. **Trends in Parasitology**, v. 36, n. 4, p. 325-336, 2020

BREHM-STECHER, B. F.; JOHNSON, E. A. Sensitization of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* to antibiotics by the sesquiterpenoids nerolidol, farnesol, bisabolol, and apritone. **Antimicrobial agents and chemotherapy**, v. 47, n. 10, p. 3357-3360, 2003.

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.

CAPINERA, J. L. Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae): EENY098/IN255, rev. 7/2000. **EDIS**, v. 2002, n. 7, 2002.

CAPRA, E. et al. Protein profiling and tps23 induction in different maize lines in response to methyl jasmonate treatment and *Diabrotica virgifera* infestation. **Journal of plant physiology**, v. 175, p. 68-77, 2015.

CARVALHO, R. A. et al. Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. **PLoS One**, v. 8, n. 4, p. e62268, 2013.

CASTANO-DUQUE, L. et al. A maize inbred exhibits resistance against western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera*. **Journal of chemical ecology**, v. 43, p. 1109-1123, 2017.

CHAPMAN, J. W. et al. Does cannibalism in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) reduce the risk of predation?. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 48, p. 321-327, 2000.

CHEN, F. et al. The family of terpene synthases in plants: a mid-size family of genes for specialized metabolism that is highly diversified throughout the kingdom. **The Plant Journal**, v. 66, n. 1, p. 212-229, 2011.

CHIRIBOGA, M. X. et al. Root-colonizing bacteria enhance the levels of (E)- $\beta$ -caryophyllene produced by maize roots in response to rootworm feeding. **Oecologia**, v. 187, p. 459-468, 2018.

DAHAM, S. S. et al. The anticancer, antioxidant and antimicrobial properties of the sesquiterpene  $\beta$ -caryophyllene from the essential oil of *Aquilaria crassna*. **Molecules**, v. 20, n. 7, p. 11808-11829, 2015.

DEGENHARDT, J. et al. Attracting friends to feast on foes: engineering terpene emission to make crop plants more attractive to herbivore enemies. **Current opinion in biotechnology**, v. 14, n. 2, p. 169-176, 2003.

DEGENHARDT, J. et al. Monoterpene and sesquiterpene synthases and the origin of terpene skeletal diversity in plants. **Phytochemistry**, v. 70, n. 15-16, p. 1621-1637, 2009.

DHIFI, W. et al. Essential oil's chemical characterization and investigation of some biological activities: A critical review. **Medicines**, v. 3, n. 4, p. 25, 2016.

DIAS, C. N. et al. Chemical composition and larvicidal activity of essential oils extracted from Brazilian legal Amazon plants against *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae). **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2015, 2015.

EL-AHMADY, S. H. et al. Chemical composition and anti-inflammatory activity of the essential oils of *Psidium guajava* fruits and leaves. **Journal of Essential Oil Research**, v. 25, n. 6, p. 475-481, 2013.

FERNANDES, E. S. et al. Anti-inflammatory effects of compounds alpha-humulene and (-)-*trans*-caryophyllene isolated from the essential oil of *Cordia verbenacea*. **European journal of pharmacology**, v. 569, n. 3, p. 228-236, 2007.

FERREIRA, M. F. S. et al. Terpenos em Myrtaceae: Potenciais para a genética e melhoramento. In: FONTES, M. M. P. et al. **Tópicos Especiais em Genética e Melhoramento III**. Alegre: CAUFES, 2020. Cap. 6, p. 151-193. ISBN 978-65-86981-10-0.

FRANZON, R. C. et al. Araçás do gênero *Psidium*: principais espécies, ocorrência, descrição e usos. In: **Documentos 266**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009.

GALVÃO, J. G. et al. *Lippia gracilis* essential oil in  $\beta$ -cyclodextrin inclusion complexes: an environmentally safe formulation to control *Aedes aegypti* larvae. **Pest management science**, v. 75, n. 2, p. 452-459, 2019.

GHELARDINI, C. et al. Local anaesthetic activity of  $\beta$ -caryophyllene. **Il Farmaco**, v. 56, n. 5-7, p. 387-389, 2001.

GRESSLER, E. et al. Polinização e dispersão de sementes em Myrtaceae do Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 29, p. 509-530, 2006.

GUO, J. et al. Prospects for microbial control of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: a review. **BioControl**, v. 65, p. 647-662, 2020.

GUTIÉRREZ, R. M. P. et al. *Psidium guajava*: a review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. **Journal of ethnopharmacology**, v. 117, n. 1, p. 1-27, 2008.

HOLOPAINEN, J. K. et al. Ecological functions of terpenoids in changing climates. **Natural products**, p. 2913-2940, 2013.

JUERGENS, U. R. et al. Antiinflammatory effects of euclyptol (1.8-cineole) in bronchial asthma: inhibition of arachidonic acid metabolism in human blood monocytes ex vivo. **European journal of medical research**, v. 3, p. 407-412, 1998.

JUERGENS, U. R. Anti-inflammatory properties of the monoterpene 1.8-cineole: current evidence for co-medication in inflammatory airway diseases. **Drug Research**, v. 64, n. 12, p. 638-646, 2014.

KAMATH, J. V. et al. *Psidium guajava* L: A review. **International Journal of Green Pharmacy (IJGP)**, v. 2, n. 1, 2008.

KASAHARA, H. et al. Contribution of the mevalonate and methylerythritol phosphate pathways to the biosynthesis of gibberellins in Arabidopsis. **Journal of Biological Chemistry**, v. 277, n. 47, p. 45188-45194, 2002.

KAVIYAPRIYA, M. et al. Cloning and characterization of insecticidal cry/vip genes from an indigenous *Bacillus thuringiensis* isolate T29 and evaluation of its toxicity to maize fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. **J. Entomol. Zool. Stud**, v. 7, n. 3, p. 1314-1321, 2019.

KOLLNER, T. G. et al. A maize (E)- $\beta$ -caryophyllene synthase implicated in indirect defense responses against herbivores is not expressed in most American maize varieties. **The Plant Cell**, v. 20, n. 2, p. 482-494, 2008.

KURNIAWAN, A. P. et al. Biological agents and their role to increase plant essential oil under water stress. **Review Penelitian Tanaman Industri**, v. 20, n. 2, p. 80-93, 2021.

LANDRUM, L. R. **The genus *Psidium* (Myrtaceae) in the state of Bahia, Brazil**. Herbarium, Natural History Collections, School of Life Sciences, Arizona State University, 2017.

LANGENHEIM, J. H. Higher plant terpenoids: a phytocentric overview of their ecological roles. **Journal of chemical ecology**, v. 20, p. 1223-1280, 1994.

LEGAULT, J.; PICHETTE, A. Potentiating effect of  $\beta$ -caryophyllene on anticancer activity of  $\alpha$ -humulene, isocaryophyllene and paclitaxel. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 59, n. 12, p. 1643-1647, 2007.

LENK, C. et al. Two enzymes responsible for the formation of herbivore-induced volatiles of maize, the methyltransferase AAMT1 and the terpene synthase TPS23, are regulated by a similar signal transduction pathway. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 144, n. 1, p. 86-92, 2012.

LIMA, R. K. et al. Caracterização química do óleo essencial de folhas de goiabeira (*Psidium guajava* L.) e seus efeitos no comportamento da lagarta-do-cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1777-1781, 2009.

MACEDO, J. G. F. et al. Therapeutic indications, chemical composition and biological activity of native Brazilian species from *Psidium* genus (Myrtaceae): A review. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 278, p. 114248, 2021.

MACHADO, L. C. et al. Canibalism in the larval instars of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae): temperature and food quantity. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 44, p. e59401-e59401, 2021.

MARQUES, A. M. et al. Refinement of the karyological aspects of *Psidium guineense* (Swartz, 1788): a comparison with *Psidium guajava* (Linnaeus, 1753). **Comparative Cytogenetics**, v. 10, n. 1, p. 117, 2016.

MENDES, L. A. et al. Larvicidal effect of essential oils from Brazilian cultivars of guava on *Aedes aegypti* L. **Industrial Crops and Products**, v. 108, p. 684-689, 2017.

MENDES, L. A. et al. Spring alterations in the chromatographic profile of leaf essential oils of improved guava genotypes in Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 238, p. 295-302, 2018.

- MOLINA-OCHOA, J. et al. Pathogens and parasitic nematodes associated with populations of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae in Mexico. **Florida Entomologist**, v. 86, n. 3, p. 244-253, 2003.
- MOORE, B. D. et al. Explaining intraspecific diversity in plant secondary metabolites in an ecological context. **New Phytologist**, v. 201, n. 3, p. 733-750, 2014.
- MOSCARDINI, V. F. et al. Efficacy of *Bacillus thuringiensis* (Bt) maize expressing Cry1F, Cry1A. 105, Cry2Ab2 and Vip3Aa20 proteins to manage the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Crop protection**, v. 137, p. 105269, 2020.
- NEGRINI, M. et al. Insecticidal activity of essential oils in controlling fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 86, 2019.
- NICULAU, E. 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.
- NOIA, L. R. et al. Relationship between *Psidium* species (Myrtaceae) by resistance gene analog markers: Focus on nematode resistance. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2017.
- OLIVEIRA, C. C. et al. Anticonvulsant activity of  $\beta$ -caryophyllene against pentylenetetrazol-induced seizures. **Epilepsy & Behavior**, v. 56, p. 26-31, 2016.
- OLIVEIRA, E. R. et al. Toxicity of *Cymbopogon flexuosus* essential oil and citral for *Spodoptera frugiperda*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, p. 408-419, 2018.
- OVERTON, K. et al. Global crop impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. **Crop Protection**, v. 145, p. 105641, 2021.
- PADOVAN, A. et al. The evolution of foliar terpene diversity in Myrtaceae. **Phytochemistry reviews**, v. 13, p. 695-716, 2014.

PÁJARO-CASTRO, N. et al. Potential interaction of components from essential oils with dengue virus proteins. **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, v. 14, n. 3, p. 141-155, 2015.

PALMA, L. et al. Screening of vip genes from a Spanish *Bacillus thuringiensis* collection and characterization of two Vip3 proteins highly toxic to five lepidopteran crop pests. **Biological control**, v. 66, n. 3, p. 141-149, 2013.

PATTNAIK, S. et al. Antibacterial and antifungal activity of aromatic constituents of essential oils. **Microbios**, v. 89, n. 358, p. 39-46, 1997.

PILKINGTON, L. J. et al. “Protected Biological Control”–Biological pest management in the greenhouse industry. **Biological Control**, v. 52, n. 3, p. 216-220, 2010.

PONGPAIBOON, S. Understanding the ethical and environmental implications of genetically modified crops through the Bt insecticidal gene. **International Journal of Research in Engineering, Science and Management**, v. 5, n. 3, p. 26-33, 2022.

PRASANNA, B. M. et al. Fall armyworm in Africa: a guide for integrated pest management. 2018.

PROENÇA, C. E. B. et al. Diversity, phylogeny and evolution of the rapidly evolving genus *Psidium* L. (Myrtaceae, Myrteae). **Annals of Botany**, v. 129, n. 4, p. 367-388, 2022.

RICHARDSON, M. L. et al. Causes and consequences of cannibalism in noncarnivorous insects. **Annual review of entomology**, v. 55, p. 39-53, 2010.

SALLAUD, C. et al. A novel pathway for sesquiterpene biosynthesis from Z,Z-farnesyl pyrophosphate in the wild tomato *Solanum habrochaites*. **The Plant Cell**, v. 21, n. 1, p. 301-317, 2009.

SÁNCHEZ, F. A. P. et al. Advances in control strategies against *Spodoptera frugiperda*. A review. **Molecules**, v. 26, n. 18, p. 5587, 2021.

SILVA, R. C. e et al. Monoterpenes and sesquiterpenes of essential oils from *Psidium* species

and their biological properties. **Molecules**, v. 26, n. 4, p. 965, 2021.

SILVA, L. A. et al. Chemical composition and biological activities of essential oils from Myrtaceae species growing in Amazon: an updated review. **Journal of Essential Oil Research**, v. 35, n. 2, p. 103-116, 2023.

SILVA, C. S. B.; PARRA, J. R. P. New method for rearing *Spodoptera frugiperda* in laboratory shows that larval cannibalism is not obligatory. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 57, p. 347-349, 2013.

SILVEIRA, R. M. et al. Diversidade da composição química dos óleos essenciais de *Eugenia*–Myrtaceae: Uma revisão. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 33276-33303, 2021.

SMITH, W. E. C. et al. A maize line resistant to herbivory constitutively releases (E)- $\beta$ -caryophyllene. **Journal of economic entomology**, v. 105, n. 1, p. 120-128, 2012.

SOUZA, A. G. et al. Chromosome number and nuclear DNA amount in *Psidium* spp. resistant and susceptible to *Meloidogyne enterolobii* and its relation with compatibility between rootstocks and commercial varieties of guava tree. **Plant Systematics and Evolution**, v. 301, p. 231-237, 2015.

SOUZA, T. S. et al. Essential oil of *Psidium guajava*: Influence of genotypes and environment. **Scientia Horticulturae**, v. 216, p. 38-44, 2017.

SPADETO, M. S. et al. Intraspecific C-value variation and the outcomes in *Psidium cattleyanum* Sabine essential oil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, 2022.

TAMIRU, A. et al. A maize landrace that emits defense volatiles in response to herbivore eggs possesses a strongly inducible terpene synthase gene. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 8, p. 2835-2845, 2017.

TAY, W. T. et al. *Spodoptera frugiperda*: ecology, evolution, and management options of an invasive species. **Annual Review of Entomology**, v. 68, p. 299-317, 2023.

TRESSL, R. et al. Characterization of tricyclic sesquiterpenes in hop (*Humulus lupulus* var. Hersbrucker Spaet). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 31, n. 4, p. 892-897, 1983.

TULER, A. C. et al. Flora of Espírito Santo: *Psidium* (Myrtaceae). **Rodriguésia**, v. 68, p. 1791-1805, 2017.

TULER, A. C. et al. Diversification and geographical distribution of *Psidium* (Myrtaceae) species with distinct ploidy levels. **Trees**, v. 33, p. 1101-1110, 2019.

VILANOVA, C. M. et al. *Ocimum gratissimum* L.: uma revisão das atividades farmacológicas da espécie e do seu óleo essencial. **Conexão Ciência**, Formiga – MG, v. 14, n. 1, p. 64-78, 2019.

WAN, J. et al. Biology, invasion and management of the agricultural invader: Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Integrative Agriculture**, v. 20, n. 3, p. 646-663, 2021.

YANG, Z. et al. Anti-infectious bronchitis virus (IBV) activity of 1,8-cineole: effect on nucleocapsid (N) protein. **Journal of Biomolecular Structure and Dynamics**, v. 28, n. 3, p. 323-330, 2010.

ZANDI-SOHANI, N. et al. Insecticidal and repellent activities of the essential oil of *Callistemon citrinus* (Myrtaceae) against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). **Neotropical entomology**, v. 42, p. 89-94, 2013.

**TOXICIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE ESPÉCIES DE *Psidium* (MYRTALES: MYRTACEAE) SOBRE LAGARTAS DE *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

**RESUMO**

A *Spodoptera frugiperda* é uma das principais espécies de insetos-pragas no mundo, ocasionando prejuízos a diversas culturas de importância agrícola, tais como o milho, algodão, arroz e a soja. Dentre os métodos de manejo de insetos-praga, a utilização de óleos essenciais (OEs) destaca-se como promissor e importante para a descoberta de novas moléculas inseticidas. Por sua vez, o gênero *Psidium*, engloba frutíferas que produzem OEs ricos em sesquiterpenos, sendo o  $\beta$ -cariofileno um dos principais compostos. Nesse estudo, objetivou-se avaliar OEs potencialmente ricos em  $\beta$ -cariofileno provenientes de oito espécies de *Psidium*, juntamente com o composto puro, quanto a toxicidade a lagartas de *S. frugiperda*. Os OEs provenientes das cultivares Século XXI e Paluma de *Psidium guajava* e de *Psidium* sp. ocasionaram mortalidade de mais de 70% das larvas, enquanto o  $\beta$ -cariofileno puro apresentou cerca de 30%. Verificou-se que o  $\beta$ -cariofileno teve sua funcionalidade potencializada em sinergia com outros compostos, mesmo em baixas concentrações. Os resultados da estimativa de concentração letal (CL) demonstraram que Paluma > Século XXI. O OE de Paluma (*P. guajava*) apresentou o menor valor estimado de CL<sub>50</sub> de 64500  $\mu$ g/mL e CL<sub>90</sub> de 86900  $\mu$ g/mL. A composição equilibrada dos compostos encontrados nas cultivares Paluma e Século XXI (*P. guajava*), demonstrou maior toxicidade sobre *S. frugiperda*.

**Palavras-chave:** Metabólitos secundários,  $\beta$ -cariofileno, Sesquiterpenos, Atividade inseticida, Lagarta-do-cartucho.

**TOXICITY OF ESSENTIAL OILS FROM *Psidium* SPECIES (MYRTALES: MYRTACEAE) ON FALL ARMYWORM LARVAE *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

**ABSTRACT**

*Spodoptera frugiperda* is one of the main insect pest species in the world, causing damage to various crops of agricultural importance, such as corn, cotton, rice, and soybeans. Among the pest management methods, the use of essential oils (EOs) stands out as promising and important for the discovery of new insecticidal molecules. In turn, the *Psidium* genus encompasses fruit-bearing plants that produce EOs rich in sesquiterpenes, with  $\beta$ -caryophyllene being one of the main compounds. This study aimed to evaluate EOs potentially rich in  $\beta$ -caryophyllene from eight *Psidium* species, along with the pure compound, for their toxicity to *S. frugiperda* larvae. The EOs from the Sécuro XXI and Paluma cultivars of *Psidium guajava* and *Psidium* sp. caused mortality of over 70% of the larvae, while pure  $\beta$ -caryophyllene showed approximately 30% mortality. It was observed that  $\beta$ -caryophyllene had its functionality enhanced in synergy with other compounds, even at low concentrations. The results of lethal concentration estimation (LC) demonstrated that Paluma > Sécuro XXI. The EO from Paluma (*P. guajava*) presented the lowest estimated LC<sub>50</sub> value of 64500  $\mu$ g/mL and LC<sub>90</sub> of 86900  $\mu$ g/mL. The balanced composition of compounds found in the Paluma and Sécuro XXI cultivars (*P. guajava*) showed greater toxicity against *S. frugiperda*.

**Keywords:** Secondary metabolites,  $\beta$ -caryophyllene, Sesquiterpenes, Insecticidal activity, Fall armyworm.

## 4 INTRODUÇÃO

A espécie praga, *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH) (Lepidoptera: Noctuidae), é um inseto polífono, capaz de se alimentar de uma ampla variedade de plantas, incluindo milho, arroz, algodão e soja (OVERTON et al., 2021). No entanto, é especialmente prejudicial às plantações de milho, para a qual é conhecida como lagarta-do-cartucho, causando danos significativos nas plantações e redução na produtividade (GUO et al., 2020). Devido à sua importância global, métodos de manejo de *S. frugiperda*, que não representem riscos ao ambiente e à saúde humana são desejados. (NEGRINI et al., 2019). O uso de OEs pode ser uma dessas opções.

Os óleos essenciais (OEs) são substâncias voláteis derivadas do metabolismo secundário das plantas, compostos principalmente por terpenos, como mono e sesquiterpenos (BAPTISTA-SILVA et al., 2020). Vários estudos têm avaliado a toxicidade de óleos essenciais no manejo de *S. frugiperda* incluindo OEs (NEGRINI et al., 2019; NICULAU et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2018). Além disso, alguns trabalhos sugerem que o composto  $\beta$ -cariofileno pode desempenhar um papel na resistência de variedades de milho às lagartas de *S. frugiperda*, uma vez que a planta demonstrou produção constitutiva desse composto durante a herbivoria (SMITH et al., 2012; TAMIRU et al., 2017).

O gênero *Psidium* L. (Myrtales: Myrtaceae) inclui espécies frutíferas de grande importância, que produzem OEs foliares ricos em sesquiterpenos. Em algumas espécies, o  $\beta$ -cariofileno é o composto majoritário (MACEDO et al., 2021; PADOVAN et al., 2014; PROENÇA et al., 2022; SILVA et al., 2021; SILVA et al., 2023; SPADETO et al., 2022; TULER et al., 2019). Portanto, neste estudo, objetivou-se avaliar os óleos essenciais de *P. guajava* L., *P. cattleianum* Sabine, *Psidium macahense* O. Berg, *Psidium friedrichsthalianum* (O. Berg) Nied, *Psidium myrtoides* O. Berg, *Psidium gaudichaudianum* Proença & Faria, *Psidium guineense* Sw. e uma espécie ainda não identificada de *Psidium* sp., potencialmente ricas em sesquiterpenos, juntamente com o composto  $\beta$ -cariofileno puro, quanto a toxicidade sobre lagartas de *S. frugiperda*.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

Os bioensaios foram conduzidos no Setor de Entomologia do Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo Fitossanitário de Pragas e Doenças (NUDEMAFI) localizado no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES).

## 5.1 Obtenção e extração dos óleos essenciais

Os óleos essenciais foram extraídos das folhas de plantas adultas, de oito espécies de *Psidium*, oriundas da coleção de plantas de *Psidium* do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE/UFES). Da espécie *P. guajava* foram usadas quatro cultivares (Cortibel XIII, Cortibel XV, Paluma e Século XXI). Para *P. cattleianum* amostrou-se três genótipos (Cat 3, Cat 5 e Cat 8). As demais espécies foram: *P. macahense*, *P. friedrichsthalianum*, *P. myrtoides*, *P. gaudichaudianum*, *P. guineense* e uma espécie ainda não identificada de *Psidium* sp., totalizando treze plantas.

Após a coleta do material foliar das respectivas espécies (Tabela 2), as amostras foram armazenadas em sacos de papel devidamente identificadas e transportadas para o Laboratório de Preparo de Amostra Vegetal do CCAUE-UFES. Em seguida, as folhas foram secas à sombra e em temperatura ambiente por uma semana, e depois armazenadas em sacos plásticos e mantidas em freezer a -30°C até a extração do óleo essencial.

O método de obtenção dos OEs foi por hidrodestilação utilizando um aparelho Clevenger, seguindo a metodologia recomendada pela Farmacopeia Brasileira para óleos voláteis (DA FARMACOPEIA, 2019). As extrações tiveram duração de quatro horas, repetidas vezes. Utilizou-se entre 70 g a 120 g de folhas secas em aproximadamente 1500 mL de água tipo 1 (PURELAB Ultra MK2), em um balão de fundo redondo de 2000 mL. Durante o processo, os vapores de água e OEs se misturaram, e após o resfriamento, ocorreu a condensação do óleo essencial e o vapor de água.

Posteriormente, a mistura de OE e água foi transferida para tubos Eppendorf®, submetida a uma centrifugação a 10000 rpm por 10 minutos. O OE foi então cuidadosamente retirado utilizando uma micropipeta e transferido para um novo tubo eppendorf devidamente identificado. Em seguida, os tubos contendo os OEs foram armazenados em um freezer a -20°C, protegidos da luminosidade. Além dos OEs obtidos pela extração também foi utilizado o composto comercial  $\beta$ -cariofileno (Marca: Quinari®; Lote: CAR76HG; Fabricado em outubro de 2020).

Tabela 2. Descrição de material vegetal das oito espécies de *Psidium* coletadas para extração de óleo essencial

Espécie	Local de Coleta	Data de Coleta
<i>P. macahense</i>	Área Experimental – UFES <sup>1</sup>	14 de março de 2019
<i>P. cattleyanum</i> (Cat 8)	Área Experimental – UFES <sup>1</sup>	26 de julho de 2020
<i>P. friedrichsthalianum</i>	Área Experimental – UFES <sup>1</sup>	14 de agosto de 2020
<i>P. myrtoides</i>	Área Experimental – UFES <sup>1</sup>	14 de agosto de 2020
<i>P. gaudichaudianum</i>	Área Experimental – UFES <sup>1</sup>	16 de julho de 2021
<i>P. cattleyanum</i> (Cat 3)	Área Experimental – UFES <sup>1</sup>	10 de maio de 2022
<i>P. cattleyanum</i> (Cat 5)	Área de Viveiro de Mudanças – IFES <sup>2</sup>	10 de maio de 2022
<i>P. guineense</i>	Alto Universitário – UFES <sup>3</sup>	10 de maio de 2022
<i>P. guajava</i> (Cortibel XIII)	Área Experimental – UFES <sup>1</sup>	10 de maio de 2022
<i>P. guajava</i> (Cortibel XV)	Área Experimental – UFES <sup>1</sup>	10 de maio de 2022
<i>P. guajava</i> (Paluma)	Área Experimental – UFES <sup>1</sup>	10 de maio de 2022
<i>P. guajava</i> (Século XXI)	Área Experimental – UFES <sup>1</sup>	10 de maio de 2022
<i>Psidium</i> sp.	Área Experimental – UFES <sup>1</sup>	10 de maio de 2022

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo – *Campus* Alegre, localizado 20S44'56", 41W29'26". <sup>2</sup>Instituto Federal do Espírito Santo – *Campus* Alegre, localizado 20S45'37", 41W27'23". <sup>3</sup>Universidade Federal do Espírito Santo – *Campus* Alegre, localizado 20S45'42", 41W32'10"

## 5.2 Identificação e quantificação dos constituintes dos óleos essenciais

A quantificação (por área relativa) e identificação a dos constituintes presentes nos OEs foliares foram realizadas utilizando a cromatografia a gás com detector de ionização de chama (GC-FID QP2010SE, Shimadzu, Japão) e cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas (GC-MS QP2010SE, Shimadzu, Japão) de acordo com a metodologia de Mendes et al. (2017). Dessa forma, as seguintes condições foram adotadas: o gás arraste utilizado foi o Hélio (He) para os dois detectores com fluxo e velocidade linear de 2,80 mL min<sup>-1</sup> e 50,80 cm seg<sup>-1</sup> (GC-FID) e 1,98 mL min<sup>-1</sup> e 50,90 cm seg<sup>-1</sup> (GC-MS), respectivamente; a temperatura do injetor foi de 220 °C na razão split de 1:30; coluna capilar de sílica fundida (30 m x 0,25 mm); fase estacionária Rtx® 6 -5MS (0,25 µm de espessura do filme); a temperatura do forno teve a seguinte programação: temperatura inicial de 40 °C, a qual permaneceu por 3 minutos e em seguida a temperatura foi aumentada gradativamente a 3 °C min<sup>-1</sup> até atingir 180 °C, em que permaneceu por 10 minutos, tendo um tempo total de análise de 59,67 min; as temperaturas que foram utilizadas nos detectores FID e MS foram de 240 e 200 °C, respectivamente (SOUZA et al., 2017). A amostra utilizada foi retirada do vial em um volume de 1 µL de uma solução de 3% de OE em hexano 95%.

As análises por GC-MS foram realizadas em um equipamento por impacto eletrônico

com energia de 70 eV; velocidade de varredura de 1000; intervalo de varredura de 0,50 fragmentos  $\text{seg}^{-1}$  e fragmentos detectados de 29 a 400 (m/z). As análises por GC-FID foram realizadas por uma chama formada por  $\text{H}_2$  e ar atmosférico com temperatura de 300 °C. Foram utilizados fluxos de 40  $\text{mL min}^{-1}$  e 400  $\text{mL min}^{-1}$  para  $\text{H}_2$  e ar, respectivamente. A identificação dos componentes dos OEs foi realizada pela comparação dos espectros de massas obtidos com os disponíveis no banco de dados da espectroteca (Wiley 7, NIST 05 e NIST 05s) e pelo índice de retenção (IR). Para o cálculo do IR, foi utilizada uma mistura de alcanos saturados  $\text{C}_7\text{-C}_{40}$  (Supelco, Estados Unidos) submetida sob as mesmas condições cromatográficas do OE e foi obtido o tempo de retenção ajustado de cada composto através do GC-FID. Em seguida, os valores calculados para cada composto foram comparados com os da literatura (ADAMS, 2007; EL-SAYED, 2019; LINSTROM; MALLARD, 2018). O percentual relativo de cada composto do OE foi calculado através da razão entre a área integral dos picos e a área total de todos os constituintes da amostra com área relativa acima de 5%. Esses dados foram obtidos pelas análises realizadas em GC-FID.

### **5.3 Multiplicação e manutenção da população de *Spodoptera frugiperda***

A multiplicação e manutenção de *S. frugiperda* foram realizadas em condições padronizadas em sala climatizada a temperatura de  $25 \pm 2$  °C, umidade relativa de 60% e fotofase de 12 horas. Os adultos foram alojados em gaiolas de tubo tipo PVC alimentados por meio de algodão embebido em solução de sacarose a 10%. Para a oviposição, foram utilizadas folhas de papel branco recobrando o interior das gaiolas, sendo retiradas a cada dois dias para a remoção das posturas. As posturas foram mantidas em potes plásticos transparentes até a eclosão dos neonatos. Estes foram transferidos com o auxílio de um pincel de cerdas macias para recipientes plásticos (100 mL) contendo dieta artificial adaptada por Nalim (1991), permanecendo por cinco dias. Posteriormente foram transferidas aproximadamente 40 lagartas para recipiente de acrílico tipo gerbox<sup>®</sup> (dimensões de 11 x 11 x 3 cm) e após 10 dias foram individualizadas em gerbox<sup>®</sup> (3 cm de diâmetro) até a formação de pupa. Com a emergência dos adultos, os mesmos foram transferidos para as gaiolas de multiplicação, dando continuidade ao ciclo.

### **5.4 Atividade inseticida dos óleos essenciais em lagartas de *Spodoptera frugiperda***

Para identificar os OEs com maior potencial inseticida à *S. frugiperda*, testou-se OEs das 13 plantas de *Psidium*, bem como o composto  $\beta$ -cariofileno puro, totalizando 14 tratamentos. Foram preparadas misturas com 10000  $\mu\text{g/mL}$  de OE ou composto isolado,

utilizando 200 µg/mL de acetona e tween<sup>®</sup> 80 a 5 µg/mL em solução aquosa. O controle negativo consistiu na mesma solução aquosa de acetona e tween<sup>®</sup> 80, sem adição de OE ou composto puro. Cada tratamento foi constituído por oito repetições.

Para a realização do experimento, foram utilizadas lagartas de 2º instar, fornecidas pelo Setor de Entomologia do NUDEMAFI. As unidades experimentais foram montadas em placas de Petri de acrílico com tampa (6 cm de diâmetro). Cada placa continha uma porção de dieta artificial idêntica à usada na multiplicação dos insetos. O bioensaio foi realizado com a pulverização de 1 mL da mistura sobre 10 lagartas de *S. frugiperda* e sobre a dieta artificial em cada tratamento, usando um micropulverizador do tipo aerógrafo, com pressão ajustada para 15 lb/pol<sup>2</sup>.

Avaliou-se a mortalidade e o canibalismo das larvas após 24, 48 e 72h da aplicação dos tratamentos. Considerou-se as larvas mortas quando permaneciam na placa, intactas e imóveis, mesmo após estímulo com pincel. O canibalismo foi registrado quando ocorria a presença de larvas mortas com parte do corpo faltando ou quando havia menos de 10 larvas na placa. Os dados de mortalidade e canibalismo foram registrados separadamente, ou seja, as larvas contabilizadas como canibalismo não foram incluídas nos dados de mortalidade.

Os três OEs que causaram maior média de mortalidade das lagartas foram selecionados para estimar a concentração letal (CL). Para as cultivares Século XXI e Paluma de *P. guajava*, preparou-se misturas contendo o OE nas seguintes concentrações: 2000 µg/mL, 4000 µg/mL, 6000 µg/mL, 8000 µg/mL, 10000 µg/mL, 12000 µg/mL e 14000 µg/mL. Para *Psidium* sp., preparou-se as mesmas porcentagens de OE, acrescentando a concentração de 16000 µg/mL. Manteve-se os solventes, unidades amostrais, forma de aplicação e de avaliação como utilizadas anteriormente.

A estabilidade quanto à composição qualitativa e quantitativa dos compostos dos OE, nas cultivares Século XXI e Paluma, foi analisada por dados fenotípicos de sete avaliações independentes. As quais foram obtidas de plantas de lavouras comerciais de Linhares e Mimoso do Sul, no Estado do Espírito Santo, em junho de 2013 (SOUZA et al., 2018), bem como de amostras coletadas em abril, agosto e novembro de 2015 e fevereiro de 2016 na área experimental da UFES em Alegre/ES (MENDES et al., 2018), e amostras coletadas em maio de 2022, também em Alegre/ ES na área experimental da UFES, onde se encontram as plantas para manutenção de coleção de Germoplasma, sem tratamentos culturais. Esses dados foram submetidos à análise por meio de boxplot usando o Programa R, versão 4.2.3 (R, 2023).

Quanto ao rendimento de OEs nas cultivares Século XXI e Paluma, utilizou-se dados das coletas de 2016 (MENDES et al., 2017), de Linhares e de Mimoso do Sul (SOUZA et al.,

2017). Esses dados também foram analisados por boxplot utilizando o programa Excel (Microsoft Office).

## 5.5 Análise estatística dos dados

Realizou-se análise de variância e teste de médias de mortalidade e canibalismo comparadas por meio do teste T a 5% de probabilidade, utilizando o programa R, versão 3.3.2 (R, 2016). A correlação entre os compostos presentes nos OEs e os valores de mortalidade e canibalismo foi estimada com o auxílio do programa R, versão 4.2.3 (R, 2023). A variabilidade na composição dos OEs das plantas foi analisada por *Heatmap* e agrupamento UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*), usando a matriz de distância euclidiana. Utilizou-se o pacote *pheatmap* no programa R, versão 4.1.1 (R, 2021). A análise de regressão logística com modelo Probit, a 5% de probabilidade, utilizando o programa R, versão 3.3.2 (R, 2016), foi usada para estimar a concentração letal média que causou a morte de 50% da população (CL<sub>50</sub>) e concentração letal média para matar 90% da população (CL<sub>90</sub>).

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Óleos essenciais de espécies de *Psidium*

Na composição total dos OEs das 13 plantas estudadas, identificou-se 26 compostos que representaram entre 81,3 a 100% (Tabela 3), considerando área relativa superior a 5%. Observou-se variabilidade na composição dos OEs tanto de forma intraespecífica quanto interespecífica.

Os 26 compostos pertencem a quatro classes terpênicas. Na classe de monoterpênicos hidrocarbonetos (MH), encontrou-se  $\alpha$ -pineno, limoneno e  $\beta$ -cis-ocimeno. Na classe de monoterpenos oxigenados (MO), identificou-se o 1,8-cineol. A classe de sesquiterpênicos hidrocarbonetos (SH) inclui  $\alpha$ -copaeno,  $\beta$ -elemeno,  $\beta$ -cariofileno,  $\alpha$ -humuleno,  $\gamma$ -curcumeno,  $\beta$ -selineno,  $\alpha$ -selineno, valenceno,  $\alpha$ -farneseno,  $\beta$ -bisaboleno,  $\beta$ -himachaleno e  $\delta$ -cadineno. Os sesquiterpenos oxigenados (SO) compreendem E-nerolidol, óxido de cariofileno, geranil isovalerato,  $\delta$ -cadinol, epóxido de aromadendreno, (2Z,6Z)-farnesol,  $\alpha$ -bisabolol, (2E,6Z)-farnesol, (2Z,6E)-farnesol e (2E,6E)-farnesol.

A classe de sesquiterpênicos hidrocarbonetos foi predominante nos OEs, com destaque em *P. macahense*, *P. cattleyanum* (Cat 3) e *P. gaudichaudianum*, que apresentaram 83,3%, 77,9% e 73,1%, respectivamente. Os OEs de *P. myrtoides* e Cortibel XIII apresentaram predominantemente sesquiterpenos oxigenados, representando 46,2% e 37,4% da composição,

respectivamente. Por outro lado, *P. cattleyanum* (Cat 5) e *P. friedrichsthalianum* apresentaram maior teor de monoterpenos, com 39,7% de hidrocarbonetos e 31,1 de oxigenados, respectivamente.

Os compostos mais frequentes nos OEs foram o  $\beta$ -cariofileno, óxido de cariofileno e o 1,8-cineol, os quais desempenharam um papel importante na distinção dos grupos. O  $\beta$ -cariofileno foi encontrado em todas as plantas, exceto em *P. guineense*. Em *P. gaudichaudianum* e *P. cattleyanum* (Cat 3), esse composto foi predominante, apresentando 59,7% e 50%, respectivamente. Alguns compostos ocorreram exclusivamente em determinados indivíduos, como  $\beta$ -cis-ocimeno em *P. cattleyanum* (Cat 5),  $\beta$ -elemeno e valenceno em *P. mahaense*,  $\gamma$ -curcumeno,  $\beta$ -bisaboleno e  $\beta$ -himachaleno em Cortibel XV, geranyl isovalerato em *Psidium* sp.,  $\delta$ -cadinol em *P. cattleyanum* (Cat 3),  $\alpha$ -bisabolol em *P. myrtoides* e (2E,6Z)-farnesol, (2Z,6E)-farnesol e (2E,6E)-farnesol em *P. guineense*.

Tabela 3. Teor percentual de 26 terpenos detectados nos óleos essenciais foliares de 13 indivíduos do gênero *Psidium*, considerando os compostos com Área Relativa >5%.

n	Composto <sup>a</sup>	IR <sub>cal</sub> <sup>b</sup>	IR <sub>tab</sub> <sup>c</sup>	Cultivar / A <sub>relativa</sub> (%) <sup>d</sup>													
				<i>P. guajava</i> (Século XXI)	<i>Psidium sp.</i>	<i>P. guajava</i> (Paluma)	<i>P. cattleyanum</i> (CAT 3)	<i>P. myrtoides</i>	<i>P. guajava</i> (Cortibel XV)	<i>P. gaudichaudianum</i>	<i>P. cattleyanum</i> (CAT 8)	<i>P. guineense</i>	<i>P. guajava</i> (Cortibel XIII)	<i>P. macahense</i>	<i>P. friedrichsthalianum</i>	<i>P. cattleyanum</i> (CAT 5)	
1	α-pineno	929	932	-	9,7	-	6,0	21,4	-	10,4	10,0	-	-	10,0	16,7	32,0	
2	limoneno	1025	1024	-	-	-	-	-	-	10,9	14,9	-	24,5	-	-	-	
3	1,8-cineol	1028	1026	21,2	6,1	23,6	-	-	5,3	-	9,7	-	6,6	-	31,1	27,5	
4	β-cis-ocimene	1038	1032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,7	
5	α-copaeno	1371	1374	-	5,3	-	7,4	-	-	-	-	10,6	-	9,4	-	-	
6	β-elemeno	1390	1389	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,4	-	-	
7	β-cariofileno	1415	1417	20,0	34,7	20,2	50,0	17,3	11,5	59,7	34,2	-	25,9	14,1	16,1	32,8	
8	α-humuleno	1448	1452	-	7,0	-	13,6	15,1	16,3	13,4	9,3	-	-	-	-	-	
9	γ-curcumeno	1480	1481	-	-	-	-	-	7,4	-	-	-	-	-	-	-	
10	β-selineno	1481	1489	9,1	-	6,8	-	-	-	-	-	-	-	24,8	-	-	
11	α-selineno	1490	1498	7,8	-	6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12	valenceno	1493	1496	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,5	-	-	
13	α-farneseno	1494	1505	-	9,7	-	-	-	-	-	-	36,8	-	-	-	-	
14	β-bisaboleno	1506	1505	-	-	-	-	-	10,2	-	-	-	-	-	-	-	
15	β-himachaleno	1509	1500	-	-	-	-	-	5,2	-	-	-	-	-	-	-	
16	δ-cadineno	1520	1522	-	-	-	6,9	-	-	-	-	-	-	7,1	-	-	
17	E-nerolidol	1562	1561	-	-	-	-	-	8,7	-	-	-	22,3	-	-	-	
18	óxido de cariofileno	1578	1582	21,0	-	21,3	9,6	15,5	-	5,6	16,6	-	5,9	-	11,0	-	
19	geranil isovalerato	1602	1606	-	6,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	δ-cadinol	1625	1620	-	-	-	6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21	epóxido de romadendrene	1632	1639	10,4	10,7	11,4	-	8,7	-	-	-	5,4	9,2	-	-	-	
22	(2Z,6Z)-farnesol	1668	1667	-	-	-	-	-	23,4	-	-	-	-	-	6,4	-	
23	α-bisabolol	1685	1685	-	-	-	-	22,0	-	-	-	-	-	-	-	-	
24	(2E,6Z)-farnesol	1713	1714	-	-	-	-	-	-	-	-	10,1	-	-	-	-	
25	(2Z,6E)-farnesol	1720	1722	-	-	-	-	-	-	-	-	10,1	-	-	-	-	
26	(2E,6E)-farnesol	1740	1742	-	-	-	-	-	-	-	-	14,9	-	-	-	-	
				MH%	0	9,7	0	6,0	21,4	0	21,3	24,9	0	24,5	10,0	16,7	39,7
				MO%	21,2	6,1	23,6	0	0	5,3	0	9,7	0	6,6	0	31,1	27,5
				SH%	36,9	56,7	33,5	77,9	32,4	50,6	73,1	43,5	47,4	25,9	83,3	16,1	32,8
				SO%	31,4	16,9	32,7	16,1	46,2	32,1	5,6	16,6	40,5	37,4	0	17,4	0
Total identificado				89,5	89,4	89,8	100,0	100,0	88,0	100,0	94,7	87,9	94,4	93,3	81,3	100,0	

<sup>a</sup> Compostos listados na ordem de eluição utilizando coluna Rtx<sup>®</sup>-5MS. <sup>b</sup> Índice de Retenção calculado a partir de dados obtidos por amostra de alcanos saturados (C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>).

<sup>c</sup> Índice de Retenção tabelado (ADAMS, 2007; EL-SAYED, 2016; NIST, 2011). <sup>d</sup> Foram identificados compostos com áreas relativas >5. <sup>e</sup> Classificação terpênica: Monoterpeno hidrocarboneto (MH), monoterpeno oxigenado (MO), sesquiterpeno hidrocarboneto (SH), sesquiterpeno oxigenado (SO).

Os 13 indivíduos agruparam-se em sete grupos quanto à variabilidade qualitativa e quantitativa da composição dos OEs (Figura 4). Em geral, os agrupamentos consistiam de dois indivíduos. Contudo, *P. guineense* ficou isolado, apresentando características exclusivas, como a ausência de  $\beta$ -cariofileno e a presença dos compostos (2E,6Z)-farnesol, (2Z,6E)-farnesol e (2E,6E)-farnesol. O composto majoritário nesse indivíduo foi o  $\alpha$ -farneseno. O segundo grupo incluiu *P. cattleyanum* (Cat 3) e *P. gaudichaudianum*, que se destacaram pela alta concentração de  $\beta$ -cariofileno e a ausência de 1,8-cineol. *Psidium* sp. e *P. cattleyanum* (Cat 8) formaram o terceiro grupo, que além de  $\beta$ -cariofileno como componente majoritário, também apresentaram 1,8-cineol,  $\alpha$ -pineno e  $\alpha$ -humuleno em quantidades similares

As cultivares de *P. guajava*, Século XXI e Paluma, formaram o quarto grupo, caracterizado pela presença de 1,8-cineol, óxido de cariofileno e  $\beta$ -cariofileno em quantidades similares. Esse grupo também se destaca por ser o único em que ambas apresentam o epóxido de aromadendreno. O quinto grupo foi formado pelas espécies *P. friedrichsthalianum* e *P. cattleyanum* (Cat 5) compõe o quinto grupo, apresentando maiores quantidades de 1,8-cineol em comparação aos outros indivíduos. Com relação às outras cultivares de *P. guajava*, Cortibel XV e Cortibel XIII, agruparam-se e foram as únicas a conter o composto E-nerolidol exibindo valores elevados de 1,8-cineol e presença de  $\beta$ -cariofileno. Por outro lado, *P. myrtoides* e *P. macahense*, apresentaram similaridades na presença dos compostos  $\beta$ -cariofileno e  $\alpha$ -pineno, embora esses não sejam os componentes majoritários nos OEs dessas espécies.

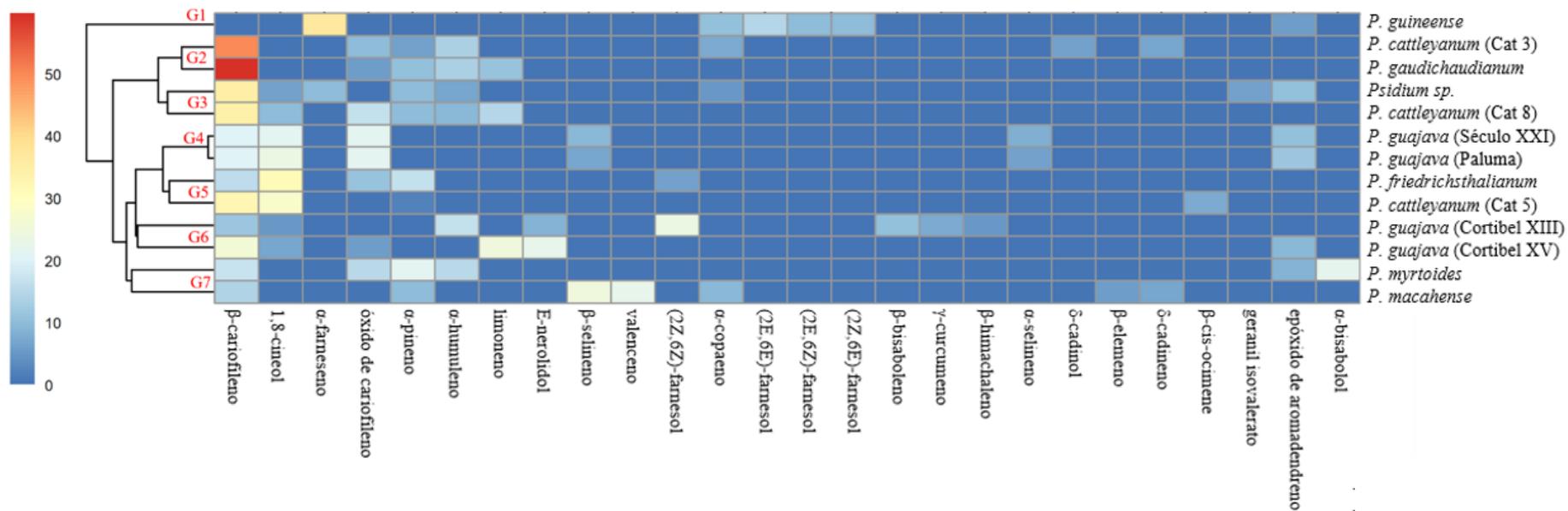


Figura 4. Heatmap de oitos genótipos de *Psidium*, com base na variabilidade de composição de óleos essenciais e 26 compostos em agrupamento hierárquico. A escala de cores representa a área relativa (%) dos compostos, sendo que tons mais intensos de vermelho indicam maior quantidade de composto.

## 6.2 Atividade inseticida dos óleos essenciais em lagartas de *Spodoptera frugiperda*

Em quase todos os tratamentos, com exceção de *P. cattleyanum* (Cat 5), *P. myrtoides* e *P. gaudichaudianum*, a mortalidade das lagartas ocorreu nas primeiras 24h. Com relação a atividade inseticida, verifica-se que os óleos essenciais das cultivares de *P. guajava*, Século XXI e Paluma, e de *Psidium* sp. e causaram mais de 70% de mortalidade, dentre os quais, o tratamento com OEs extraídos da cultivar Século XXI ocasionou a maior taxa de mortalidade. Enquanto os OEs de *P. cattleyanum* (Cat 5) e *P. friedrichsthalianum* apresentaram a menor atividade inseticida às lagartas de *S. frugiperda*, com 10 e 14%, respectivamente. Os demais OEs extraídos e o composto  $\beta$ -cariofileno puro causaram mortalidade inferior a 40% (Tabela 4).

Tabela 4. Mortalidade média (%) das lagartas no tempo de 24, 48 e 72h.

Tratamento	Média da mortalidade		
	24 h	48 h	72 h
<i>P. guajava</i> (Século XXI)	8,6 <sup>a</sup>	0	0
<i>Psidium</i> sp.	7,7 <sup>ab</sup>	0	0
<i>P. guajava</i> (Paluma)	7,1 <sup>b</sup>	0	0
<i>P. cattleyanum</i> (Cat 3)	6,6 <sup>bc</sup>	0	0
<i>P. myrtoides</i>	6,6 <sup>bc</sup>	0,1	0
<i>P. guajava</i> (Cortibel XV)	5,5 <sup>c</sup>	0	0
<i>P. gaudichaudianum</i>	3,9 <sup>d</sup>	0,1	0
<i>P. cattleyanum</i> (Cat 8)	3,9 <sup>d</sup>	0	0
$\beta$ -cariofileno	3,2 <sup>de</sup>	0	0
<i>P. guineense</i>	2,7 <sup>def</sup>	0	0
<i>P. guajava</i> (Cortibel XIII)	2,5 <sup>def</sup>	0	0
<i>P. macahense</i>	2,4 <sup>efg</sup>	0	0
<i>P. friedrichsthalianum</i>	1,4 <sup>fgh</sup>	0	0
<i>P. cattleyanum</i> (Cat 5)	1,0 <sup>gh</sup>	0,1	0
Testemunha	0 <sup>h</sup>	0	0

Letras iguais entre as linhas não diferem entre si pelo Teste de Tukey com  $p < 0,05$ .

Com relação ao comportamento canibal, verifica-se que o  $\beta$ -cariofileno puro causou maior canibalismo (superior a 20%). A segunda maior média de canibalismo (13%) foi obtida com o OE de *P. cattleyanum* (Cat 8), o qual apresentou teor considerável de  $\beta$ -cariofileno

(34,2%), seguido do OE de Cortibel XIII (canibalismo de 11%), que também apresentou alto teor de  $\beta$ -cariofileno (25,9%). Dois OEs apresentaram canibalismo em torno de 10% e baixo teor de  $\beta$ -cariofileno: Cortibel XV, com 11,5% de presença do composto, e o *P. guineense*, no qual o  $\beta$ -cariofileno não foi detectado em sua composição. Os demais OEs apresentaram uma média de canibalismo inferior a 10%. Cabe ressaltar que o canibalismo ocorreu frequentemente nas primeiras 24h, variando de 1% a 19%, e, diferencialmente das médias de mortalidade, persistiu durante toda a avaliação (Tabela 5).

Tabela 5. Média de canibalismo (%) das lagartas no tempo de 24, 48 e 72h.

Tratamento	Média do canibalismo			
	24 h	48 h	72 h	Total
$\beta$ -cariofileno	1,9 <sup>a</sup>	0,2	0,1	2,2
<i>P. cattleyanum</i> (CAT 8)	1,0 <sup>b</sup>	0,1	0,2	1,3
<i>P. guajava</i> (Cortibel XIII)	1,0 <sup>b</sup>	0	0,1	1,1
<i>P. guajava</i> (Cortibel XV)	1,0 <sup>b</sup>	0	0	1,0
<i>P. guineense</i>	0,7 <sup>bcd</sup>	0,1	0,2	1,0
<i>P. gaudichaudianum</i>	0,4 <sup>cde</sup>	0,4	0,1	0,9
<i>P. cattleyanum</i> (CAT 5)	0,9 <sup>bc</sup>	0	0	0,9
<i>P. macahense</i>	0,7 <sup>bcd</sup>	0	0	0,7
<i>P. guajava</i> (Paluma)	0,4 <sup>cde</sup>	0	0,1	0,5
<i>P. cattleyanum</i> (CAT 3)	0,4 <sup>cde</sup>	0	0,1	0,5
<i>P. myrtoides</i>	0,4 <sup>cde</sup>	0	0,1	0,5
<i>Psidium</i> sp.	0,2 <sup>de</sup>	0	0,1	0,3
<i>P. friedrichsthalianum</i>	0,2 <sup>de</sup>	0,1	0	0,3
Testemunha	0 <sup>e</sup>	0,2	0,1	0,3
<i>P. guajava</i> (Século XXI)	0,1 <sup>e</sup>	0	0	0,1

Letras iguais entre as linhas não diferem entre si pelo Teste de Tukey com  $p < 0,05$ .

### 6.3 Variação fenotípica entre efeitos biológicos em *Spodoptera frugiperda* e composição dos óleos essenciais

Considerando a variação fenotípica entre cada terpeno, os efeitos na mortalidade e no canibalismo das lagartas (Figura 5), a mortalidade das lagartas apresentou correlação positiva ( $p \leq 0,05$ ) com os sesquiterpenos epóxido de aromadendreno (0,6) e  $\alpha$ -selineno (0,57). Por outro lado, a classe de compostos monoterpênicos hidrocarbonetos (MH) (-0,6) apresentou uma

correlação negativa ( $p \leq 0,05$ ). Já o canibalismo, apresentou correlação positiva com o composto monoterpene hidrocarboneto (MH) limoneno (0,61).

Correlações significativas entre terpenos foram verificadas entre os monoterpenos  $\alpha$ -pineno com  $\beta$ -cis-ocimeno (0,7) e sesquiterpene E-nerolidol com o monoterpene limoneno (0,7). Entretanto, a maioria das correlações significativas ocorreram entre sesquiterpenos, como:  $\beta$ -selineno e  $\beta$ -elemeno (0,91), valenceno e  $\beta$ -elemeno (1), valenceno e  $\beta$ -selineno (0,91),  $\beta$ -bisaboleno e  $\gamma$ -curcumeno (1),  $\beta$ -himachaleno e  $\gamma$ -curcumeno (1),  $\alpha$ -farneseno e  $\alpha$ -copaeno (0,64),  $\beta$ -himachaleno e  $\beta$ -bisaboleno (1),  $\delta$ -cadineno e  $\alpha$ -copaeno (0,64),  $\delta$ -cadineno e  $\beta$ -elemeno (0,69),  $\delta$ -cadineno e  $\beta$ -selineno (0,58),  $\delta$ -cadineno e valenceno (0,69), óxido de cariofileno e  $\alpha$ -selineno (0,69),  $\delta$ -cadinol e  $\delta$ -cadineno (0,67), epóxido de aromadendreno e  $\alpha$ -selineno (0,58), (2Z,6Z)-farnesol com os compostos  $\gamma$ -curcumeno (0,96),  $\beta$ -bisaboleno (0,96) e  $\beta$ -himachaleno (0,96), (2E,6Z)-farnesol com os compostos  $\alpha$ -copaeno (0,59) e  $\alpha$ -farneseno (0,97), (2Z,6E)-farnesol também com os compostos  $\alpha$ -copaeno (0,59),  $\alpha$ -farneseno (0,97) e (2E,6Z)-farnesol (1), (2E,6Z)-farnesol com os compostos  $\alpha$ -copaeno (0,59),  $\alpha$ -farneseno (0,97), (2E,6Z)-farnesol (1) e (2Z,6E)-farnesol (1).

Também foram observadas correlações negativas, como o composto  $\alpha$ -humuleno (SH) com o composto 1,8-cineol (MO) (-0,56), a classe de MO com o composto  $\alpha$ -humuleno (-0,56), a classe sesquiterpene hidrocarboneto com 1,8-cineol (-0,68) e os sesquiterpenos hidrocarbonetos com os monoterpenos oxigenados (-0,68).

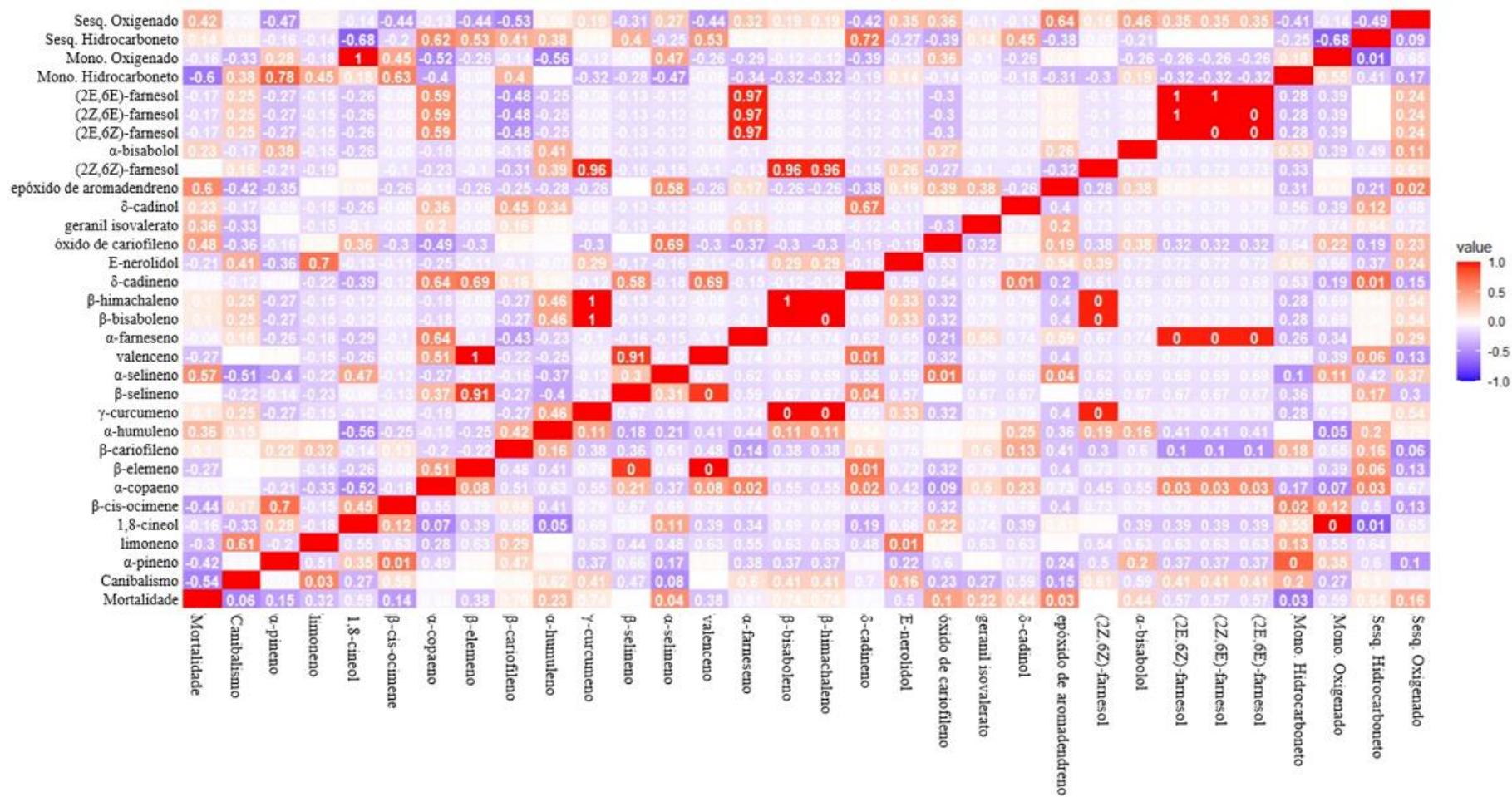


Figura 5. Variação fenotípica de 26 compostos dos óleos essenciais de 13 plantas de *Psidium* em relação aos efeitos biológicos em *Spodoptera frugiperda*. Na parte superior, é apresentada a intensidade da correlação entre os compostos e os efeitos biológicos, sendo que os tons mais intensos de vermelho e valores próximos de 1 indicam uma correlação mais forte. Na parte inferior, são exibidos os valores de significância, considerando os dados estatisticamente significativos ( $p \leq 0,05$ ).

#### 6. 4 Estimativa da concentração letal (CL) dos óleos essenciais

Os OEs que causaram maior mortalidade de larvas foram avaliados quanto à  $CL_{50}$  e  $CL_{90}$ , os quais foram os OEs extraídos de duas cultivares de *P. guajava*, Paluma e Século XXI e o OE de *Psidium* sp. Os OEs de Paluma e Século XXI, causaram maior mortalidade, com menor concentração de OE. O de Paluma apresentou as menores  $CL_{50}$  (0,645%) e  $CL_{90}$  (0,869%) (Tabela 6 e Figura 6). Enquanto, o OE de Século XXI a estimativa da  $CL_{50}$  foi de 0,892% e para a  $CL_{90}$  1,300%.

Tabela 6. Toxicidade de óleos essenciais das cultivares de Paluma, Século XXI e de *Psidium* sp. sobre lagartas de *Spodoptera frugiperda*.

Cultivar	n <sup>a</sup>	Inclinação ± DP <sup>b</sup>	$CL_{50}$ (IC a 95%) <sup>c</sup>	$CL_{90}$ (IC a 95%) <sup>d</sup>	RT ( $CL_{50}$ ) <sup>e</sup>	RT ( $CL_{90}$ ) <sup>f</sup>	$\chi^2$ <sup>g</sup>	P <sup>h</sup>
Paluma	560	5,744 ± 0,174	64500 (61500-67600)	86900 (82700-92200)	1,00	1,00	3,031	0,695
Século XXI	560	3,149 ± 0,318	89200 (84900-93400)	130000 (123600-138000)	1,38	1,49	12,300	0,031
<i>Psidium</i> sp.	640	3,141 ± 0,317	121900 (117600-126400)	162600 (155500-171600)	1,88	1,87	4,607	0,595

<sup>a</sup> Número de larvas usadas. <sup>b</sup> Inclinação da linha com desvio padrão. <sup>c</sup> Concentração média letal para matar 50% da população (em µg/mL) com intervalo de confiança de 95%. <sup>d</sup> Concentração média letal para matar 90% da população (em µg/mL) com intervalo de confiança de 95%. <sup>e</sup> Razão de toxicidade da concentração média letal para matar 50% da população. <sup>f</sup> Razão de toxicidade da concentração média letal para matar 90% da população. <sup>g</sup> Qui-quadrado.

<sup>h</sup> Probabilidade

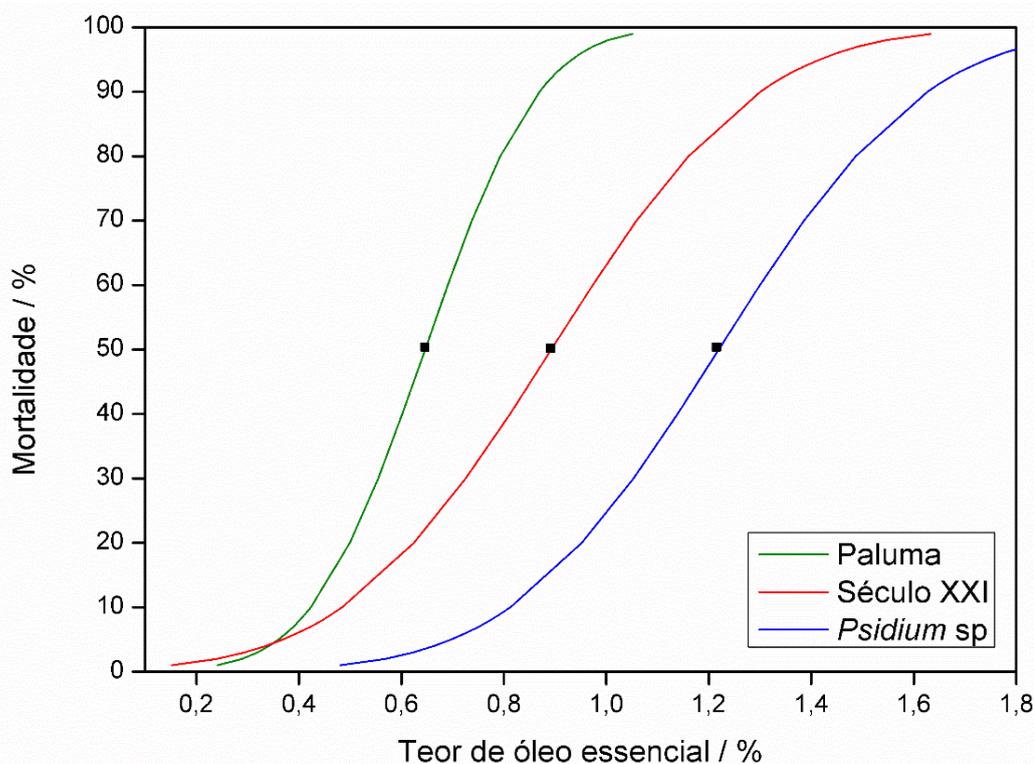


Figura 6. Valores de Concentração Letal (CL) média dos óleos essenciais das cultivares de Paluma, Século XXI e de *Psidium* sp. para a mortalidade de *Spodoptera frugiperda* (o ponto na curva representa a mortalidade de 50% das larvas).

## 6.5 Estabilidade de composição e rendimento de óleos essenciais das cultivares Paluma e Século XXI de *Psidium guajava*

Dada a maior atividade inseticida em *S. frugiperda*, uma série de dados de composição qualitativa e quantitativa de OEs, obtidos de diferentes estudos, foram analisados visando inferir sobre a estabilidade da composição (Tabela 7) e do rendimento (Figura 7) dos OEs de Paluma e Século XXI. Utilizou-se dados de análises independentes variando local e ano, considerando área relativa superior a 5%. Verificou-se 11 terpenos nos OEs foliares das duas cultivares, com variação qualitativa e quantitativa nos terpenos entre avaliações. Os compostos  $\beta$ -cariofileno e óxido de cariofileno foram detectados em todas as avaliações, em ambas as cultivares, com variação de 9,5 a 21,7% para Século XXI e de 11,6 a 20,6% para Paluma. O  $\beta$ -cariofileno apresentou altas concentrações em todas as análises, com queda na produção durante a primavera, na qual o óxido de cariofileno foi o composto majoritário.

Neste trabalho, o 1,8-cineol, o  $\beta$ -cariofileno e o óxido de cariofileno apresentaram composição com razão próxima de 1:1:1. Em avaliações anteriores (MENDES et al., 2018) na cultivar Século XXI, o 1,8-cineol foi detectado apenas no inverno e primavera, enquanto na cultivar Paluma, apenas no verão. Em ambos os casos, foi observada uma pequena quantidade desse composto.

O sesquiterpeno epóxido de aromadendreno teve aumento significativo durante a primavera, atingindo 16,6% e 18,7% nos OEs de Século XXI e Paluma, respectivamente. Entretanto, não foi detectado nos materiais coletados em Linhares - ES e Mimoso do Sul - ES. O composto epóxido de aromadendreno foi detectado nas avaliações com as cultivares de Alegre - ES, independentemente do tempo, variando entre 7,2 a 18,7%, o que mostra forte influência do ambiente na composição do OE.

Apenas Mendes et al. (2018) detectaram os compostos: selin-11-em-4 $\alpha$ -ol, em todas as análises, apresentando uma pequena variação, entre 6,7 a 9,8%; o segundo composto, o  $\gamma$ -eudesmol, foi detectado somente na primavera, tendo apresentado teores de 5,9% para Século XXI e 6,7% para Paluma (Tabela 6 e Figura 4).

Em contrapartida, Souza et al. (2018) foram os únicos a detectarem o composto hinesol em ambas as análises, e o composto selina-6-em-4-ol, encontrado apenas no genótipo de Mimoso do Sul - ES com teor de 9,1% em ambas as cultivares. A cultivar Século XXI apresentou rendimento de OEs entre 0,30 a 0,35%, enquanto Paluma, apresentou rendimento entre 0,37 a 0,56%, em diferentes avaliações.

Tabela 7. Quantificação de 11 compostos dos óleos essenciais das cultivares Paluma e Século XXI de sete avaliações, considerando os compostos com Área Relativa >5%.

Compostos	CT	Século XXI							Paluma						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1,8-cineol	MO	0	0	0	5,5	6,1	0	21,2	0	0	0	0	0	8,4	23,6
$\beta$ -cariofileno	SH	26,9	29,5	25	23,1	6,8	26,6	20	24,1	27,4	25	19,2	5,8	19,4	20,2
$\beta$ -selineno	SO	7,6	8,3	0	7,6	5,3	7,6	9,1	6,9	7,5	5	6,4	5	5,6	6,8
$\alpha$ -selineno	SO	7,2	8,2	0	7	0	6,5	7,8	6,6	7,1	0	5,4	0	4,9	6,5
óxido de cariofileno	SH	11,7	9,5	20,1	11,9	21,4	15,5	21	13,4	11,6	18,2	18	20,6	16,6	21,3
$\gamma$ -eudesmol	SH	0	0	0	0	5,9	0	0	0	0	0	0	6,7	0	0
hinesol	SO	8,2	5	0	0	0	0	0	9,2	6,4	0	0	0	0	0
selina-6-em-4-ol	SO	0	9,1	0	0	0	0	0	0	9,1	0	0	0	0	0
epóxido de aromadendreno	SO	0	0	9,1	7,2	16,6	8,1	10,4	0	0	7,6	9,3	18,7	9,2	11,4
selin-11-em-4 $\alpha$ -ol	SO	0	0	8,5	9	8,4	6,7	0	0	0	9,8	8,6	9,2	7,4	0
$\beta$ -bisabolol	SO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,6	0	0
<b>Total</b>		61,6	69,6	62,7	71,3	70,5	71	89,5	60,2	69,1	65,6	66,9	71,6	71,5	89,8

Classificação terpênica (CT): Monoterpeno hidrocarboneto (MH), monoterpeno oxigenado (MO), sesquiterpeno hidrocarboneto (SH), sesquiterpeno oxigenado (SO). Dados obtidos pelo grupo de pesquisa: 1. Linhares - ES em junho de 2013 (SOUZA et al., 2018), 2. Mimoso do Sul - ES em junho de 2013 (SOUZA et al., 2018), 3. área experimental da UFES (Tabela 2) em abril (outono) de 2015, 4. área experimental da UFES (Tabela 2) em agosto (inverno) de 2015, 5. área experimental da UFES (Tabela 2) em novembro (primavera) de 2015, 6. área experimental da UFES (Tabela 2) em fevereiro (verão) de 2016 (MENDES et al., 2018), 7. Dados da autora (Tabela 2 e Tabela 3).



Figura 8. Boxplot de rendimento dos OEs das cultivares Paluma e Século XXI, com três avaliações para cada cultivar, dados obtidos pelo grupo de pesquisa na região de Linhares - ES e Mimoso do Sul - ES, em junho de 2013 (SOUZA et al., 2017) e na área experimental da UFES (Tabela 2) em fevereiro de 2016 (MENDES et al., 2017).

## 7 DISCUSSÃO

### 7.1 Óleos essenciais de 13 plantas de *Psidium*

Em espécies de *Psidium* são relatados OEs foliares com alto teor de sesquiterpenos, destacando-se a predominância de  $\beta$ -cariofileno (DURÃES et al., 2015; MACEDO et al., 2021). Neste estudo, ocorreu predominância de sesquiterpenos em 11 dos 13 indivíduos analisados, com exceção de *P. friedrichsthalianum* e *P. cattleyanum* (Cat 5). Em 12 indivíduos, o  $\beta$ -cariofileno ocorreu em teores variando entre 11,5 a 59,7%, corroborando os relatos de que este composto pode ser um marcador químico para o gênero (PADOVAN et al., 2014; SOUZA et al., 2018). Variações no teor de  $\beta$ -cariofileno, entre 0 a 59,9%, também foram relatadas por Silva et al. (2021), que analisaram OEs de 18 espécies de *Psidium* de diferentes regiões. Os resultados deste estudo corroboram a existência de variações qualitativas e quantitativas na composição desses terpenos entre diferentes espécies e indivíduos de uma mesma espécie em *Psidium*.

Nas cultivares Século XXI e Paluma, e na espécie de *P. friedrichsthalianum*, o monoterpeno 1,8-cineol foi um dos compostos majoritários. Entretanto, em estudos prévios com os mesmos genótipos (MENDES et al., 2017; MENDES et al., 2018; VASCONCELOS et al., 2021), o 1,8-cineol, embora presente em Século XXI e Paluma, não foi considerado majoritário, revelando um efeito ambiental na expressão fenotípica deste composto. Por outro lado, os sesquiterpenos majoritários ( $\beta$ -cariofileno e óxido de cariofileno) apresentaram constância na expressão fenotípica, variando apenas em teor, a depender do ambiente. Variações quantitativas

para os mesmos compostos também foram verificadas nos OEs de *P. friedrichsthalianum* em relação aos dados da literatura. Nesta espécie, o  $\beta$ -cariofileno foi relatado variando de 19,44 a 36,82% (TUCKER et al., 1995; VASCONCELOS et al., 2019). Assim, os resultados corroboram que fatores genéticos e ambientais atuam na composição qualitativa e quantitativa de OEs em espécies de *Psidium* (MENDES et al., 2017; MENDES et al., 2018; SOUZA et al. 2015).

Souza et al. (2018) caracterizaram os OEs de cultivares de goiabeiras e detectaram três quimiotipos distintos, para os quais as cultivares Século XXI e Paluma apresentaram o mesmo quimiotipo, mas diferiram de Cortibel XIII e Cortibel XV, cada uma com um quimiotipo diferente e independente. As cultivares Paluma e Século XXI também são similares em parâmetros genéticos (COSER, 2012; SOUSA, 2019), morfoagronômicos (COSER, 2012; SILVA, 2017; SILVA, 2020) e epigenéticos (SILVA et al., 2023).

Em *P. guajava*, compostos como o 1,8-cineol,  $\beta$ -cariofileno,  $\beta$ -selineno,  $\alpha$ -selineno e óxido de cariofileno são relatados nos OEs (EL-AHMADY et al., 2013). Mendes et al. (2017) encontraram os mesmos compostos na cultivar Paluma, além do adicional de epóxido de aromadendreno. No mesmo estudo, na variedade Século XXI, foram detectados os mesmos compostos, com exceção do 1,8-cineol (MENDES et al., 2017). Esses resultados são consistentes com os dados obtidos nesse trabalho.

## **7.2 Atividade inseticida dos óleos essenciais em lagartas de *Spodoptera frugiperda***

A maior mortalidade de larvas ter sido causada pelos OEs de cultivares de goiabeiras é relevante, pois essas cultivares são produtivas e de interesse tanto para consumo como para a indústria (COSER, 2012; MOREIRA et al., 2010; SILVA, 2017; VITTI et al., 2020). Isso permite ao agricultor ampliar possibilidades de uso, bem como valorizar a cultura na propriedade. Exemplos de possibilidades de usos de compostos voláteis sesquiterpenos da goiabeira tem sido sugerido por Ling et al. (2022). Estudos realizados por ZAKA et al. (2015) comprovaram que o cultivo de *P. guajava* em pomares de citros tem um efeito positivo na redução da infestação do psilídeo asiático (*Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera, Psyllidae)). Além disso, os compostos voláteis liberados pelas folhas da goiabeira demonstraram atividades repelentes contra os psilídeos adultos. Esses resultados evidenciam o potencial da goiabeira como uma planta aliada no manejo de pragas.

Estudos realizados em climas subtropicais por Ramos et al. (2010) também mostraram que a cultivar Paluma apresenta boa produção e qualidade dos frutos, mesmo após podas drásticas. As duas cultivares, Paluma e Século XXI, apresentam alta produtividade em

comparação com outras espécies, produzindo frutos de polpa espessa, saborosa e com poucas e pequenas sementes, o que os torna ideais para a industrialização (MOREIRA et al., 2010).

Ao realizar os testes, observou-se composição similar dos OEs nas cultivares Paluma e Século XXI, com uma proporção equilibrada (1:1:1;½:½:½) dos compostos 1,8-cineol, óxido de cariofileno e  $\beta$ -cariofileno; epóxido de aromadendreno,  $\beta$ -selineno e  $\alpha$ -selineno, respectivamente, os quais foram eficazes em ambos os testes, com  $CL_{50}$  de 0,645% e 0,892%, respectivamente. Esse resultado demonstra a relevância dos sesquiterpenos na mortalidade das lagartas de *S. frugiperda*.

Demonstra também que essa composição é mais efetiva em comparação ao uso de OEs com alto teor de monoterpenos, como sugerido por Alves et al. (2022), que com um OE com teor de mais de 70% de 1,8-cineol proveniente de *L. microphylla*, obteve a  $CL_{50}$  de 104,52  $mg/mL^{-1}$ , muito superior à  $CL_{50}$  obtida neste trabalho. Adicionalmente, neste estudo, as espécies *P. friedrichsthalianum* e *P. cattleyanum* (Cat 5) que apresentaram os maiores teores de monoterpenos nos OEs, com 47,8% e 67,2% de área relativa, respectivamente, causaram as menores mortalidades, 14% e 10%, respectivamente. Em particular, em *P. friedrichsthalianum*, dos 47,8% de compostos monoterpenos, 31,1% são de 1,8-cineol.

Os sesquiterpenos dos OEs de espécies de *Psidium*, em geral, podem ser mais hidrofóbicos que os compostos monoterpenos comumente detectados, como o 1,8-cineol e  $\alpha$ -pineno (FERREIRA et al., 2020). Ferreira et al. (2020), sugerem que compostos mais apolares, como o  $\beta$ -cariofileno podem ter sua penetração facilitada nas membranas externas o que pode influenciar em sua atividade biológica nas lagartas.

Machado et al. (2021) destacam que o canibalismo é uma resposta comportamental comum em *S. frugiperda*, podendo ser favorecido pela escassez de alimento ou espaço, mas não é uma necessidade biológica. Neste contexto, a média de mortalidade observada para o composto  $\beta$ -cariofileno puro foi superior a 20%, o que pode ser atribuído à sua presença no alimento, afetando a preferência alimentar das larvas. Esse resultado corrobora com Bernardes (2017), onde, em teste com e sem chance de escolha, as lagartas de *S. frugiperda* apresentavam repelência pelas folhas com OEs, e esse efeito de repelência aumentava com o tempo de exposição.

Após a análise de correlação entre os compostos presentes nos OEs e seus efeitos biológicos em *S. frugiperda*, constatou-se uma moderada correlação entre o composto epóxido de aromadendreno (0,6;  $p \leq 0,03$ ) e o composto  $\alpha$ -selineno (0,57;  $p \leq 0,04$ ) com a mortalidade dos insetos. No entanto, não foram encontrados na literatura dados que contradigam ou corroborem esses resultados, uma vez que esses compostos ainda não haviam sido associados

à mortalidade de *S. frugiperda*. Essas correlações fornecem informações importantes sobre a relação entre a composição dos OEs e os efeitos observados em *S. frugiperda*, embora não indiquem necessariamente uma relação causal direta, mas sim associações estatísticas.

Entretanto, é possível conduzir testes com compostos isolados para verificar sua eficácia inseticida, como demonstrado por Niculau et al. (2013) ao testarem os compostos monoterpenos geraniol, linalol, 1,8-cineol, limoneno, carvona e citral, e por este estudo ao avaliar o sesquiterpeno  $\beta$ -cariofileno. Esses dados sugerem que a ação dos OEs como inseticida pode ser resultado da sinergia entre diferentes componentes, mesmo que em quantidades menores (BIBIANO et al., 2022; CHAUBEY, 2012; MELO et al., 2020; MONTEIRO et al., 2021; NTALLI et al.; 2010; SCALERANDI et al.; 2018).

Alguns estudos mencionam que genótipos de milho com características de defesa contra pragas produzem maior quantidade de  $\beta$ -cariofileno após ataques de herbivoria que genótipos sem essa característica (CASTANO-DUQUE et al., 2017; KÖLLNER et al., 2008; SMITH et al., 2012; TAMIRU et al., 2017). No entanto, os resultados desse estudo indicam que o  $\beta$ -cariofileno, quando utilizado puro, apresenta baixa eficácia na mortalidade das larvas de *S. frugiperda* (32%). Esse resultado sugere que, embora o  $\beta$ -cariofileno possa estar relacionado à resistência a herbivoria (SMITH et al., 2012; TAMIRU et al., 2017), sua funcionalidade pode ser potencializada ao agir em sinergia com outros compostos (CHAUBEY, 2012). Ou, quando a via enzimática de produção do  $\beta$ -cariofileno está ativa, outros compostos sesquiterpênicos relacionados, como o óxido de cariofileno, também podem ser sintetizados. Devido às suas propriedades químicas semelhantes, esses compostos podem ampliar a ação larvicida.

De acordo com Moraes; Marinho-Prado (2016), é possível observar diversas manifestações da atividade inseticida dos OEs, como mortalidade, deformações nos diferentes estágios de desenvolvimento, repelência e deterrência. A atividade repelente é a forma mais comum de ação dos OEs, que também atuam em enzimas digestivas e neurológicas, além de interagirem com o tegumento dos insetos (MORAIS; MARINHO-PRADO, 2016). O modo como os OEs agem no sistema nervoso dos insetos está diretamente associado à rapidez na ocorrência da mortalidade, sendo existentes evidências sobre a interferência dos OEs no neuromodulador octopamina (MATTOS et al., 2021; MORAIS; MARINHO-PRADO, 2016).

### **7.3 Estabilidade de composição e rendimento de óleos essenciais das cultivares Paluma e Século XXI de *Psidium guajava***

Na perspectiva de utilização dos OEs das cultivares Paluma e Século XXI, as informações de estabilidade de composição e rendimento dos OEs são relevantes. De 11

compostos detectados em ambas as cultivares, apenas dois ocorreram em todos os locais e anos de avaliações, que foram os sesquiterpenos  $\beta$ -cariofileno e óxido de cariofileno em concentrações variáveis. Dentre os compostos de maior frequência de ocorrência entre as avaliações, destaca-se também o sesquiterpeno epóxido de aromadendreno, correlacionado positivamente com a mortalidade dos insetos. Esses compostos apresentam ramificações das vias de síntese de sesquiterpenos (Figura 3) e possuem alta hidrofobicidade. Em relação aos compostos majoritários, apenas o monoterpeneo 1,8-cineol apresentou variação tanto qualitativa quanto quantitativa.

A variação qualitativa e quantitativa observada nos OEs indica a influência significativa de fatores ambientais na síntese de terpenos em *P. guajava*. O composto  $\beta$ -cariofileno foi majoritário em todas as análises, com alteração maior na primavera, que foi relacionada, segundo os autores, à possibilidade de maior demanda de alguns compostos nas flores em detrimento das folhas, redirecionando a via metabólica (MENDES et al.; 2018).

A cultivar Paluma demonstrou um rendimento maior comparado à Século XXI. No entanto, os resultados sugerem que as mesmas, em geral, exibem maior estabilidade de compostos sesquiterpênicos, para os quais a variação, em geral, ocorre de forma quantitativa que qualitativa.

A compreensão da diversidade química presente nas diferentes espécies de *Psidium* e dos fatores que influenciam essa variedade é importante para se obter OEs com características desejáveis (FERREIRA et al., 2020).

## 8 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo indicam potencial inseticida dos OEs de *Psidium* sobre *S. frugiperda*. Ao avaliar o composto  $\beta$ -cariofileno puro, constatou-se que ele não é o principal agente responsável pela toxicidade dos OEs aos insetos. No entanto, a combinação equilibrada dos compostos 1,8-cineol, óxido de cariofileno e  $\beta$ -cariofileno; epóxido de aromadendreno,  $\beta$ -selineno e  $\alpha$ -selineno, nas proporções 1:1:1; 1/2:1/2:1/2 nas cultivares Paluma e Século XXI causou maior mortalidade das lagartas de 2º instar de *S. frugiperda*.

Esses resultados sugerem que os sesquiterpenos desempenham um papel relevante na ação dos OE na mortalidade das larvas, e o  $\beta$ -cariofileno no comportamento de canibalismo. A sinergia entre os compostos é um possível fator para o efeito inseticida observado, destacando a importância de considerar a composição balanceada desses compostos. Novas pesquisas nessa área podem oferecer informações adicionais para aprimorar ainda mais o potencial desses compostos naturais como alternativas sustentáveis no manejo de pragas.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, R. P. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. 5 online ed. **Texensis Publishing**, 2017.

ALVES, A. C. L. et al. Insecticidal activity of essential oils on *Spodoptera frugiperda* and selectivity to *Euborellia annulipes*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, 2022.

BAPTISTA-SILVA, S. et al. The progress of essential oils as potential therapeutic agents: A review. **Journal of Essential Oil Research**, v. 32, n. 4, p. 279-295, 2020.

BERNARDES, C. O. **Diversidade genética, caracterização e atividade de óleos essenciais em *Psidium* spp.** Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, 2017.

BIBIANO, C. S. et al. Toxicity of essential oils and pure compounds of *Lamiaceae* species against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and their safety for the nontarget organism *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Crop Protection**, v. 158, p. 106011, 2022.

CASTANO-DUQUE, L. et al. A maize inbred exhibits resistance against western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera*. **Journal of chemical ecology**, v. 43, p. 1109-1123, 2017.

CHAUBEY, M. K. A., lethal and synergistic effects of some terpenes against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). **Ecologia Balkanica**, v. 4, n. 1, 2012.

COSER, S. M. **Diversidade em *Psidium guajava* L. por caracteres morfológicos, moleculares e citogenéticos.** Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, 2012.

DA FARMACOPEIA, Coordenação et al. **Farmacopeia Brasileira**: volume 2: 6ª edição. 2019.

DURÃES, E. R. B. et al. Gênero *Psidium*: aspectos botânicos, composição química e potencial

farmacológico. **Revista Processos Químicos**, v. 9, n. 17, p. 33-40, 2015.

EL-AHMADY, S. H. et al. Chemical composition and anti-inflammatory activity of the essential oils of *Psidium guajava* fruits and leaves. **Journal of Essential Oil Research**, v. 25, n. 6, p. 475-481, 2013.

EL-SAYED, A. M. **The Pherobase: Database of Pheromones and Semiochemicals**. Disponível em: <<http://www.pherobase.com>>. Acesso em: 22 agosto. 2022.

FERREIRA, M. F. S. et al. Terpenos em Myrtaceae: Potenciais para a genética e melhoramento. *In*: FONTES, M. M. P. et al. **Tópicos Especiais em Genética e Melhoramento III**. Alegre: CAUFES, 2020. Cap. 6, p. 151-193. ISBN 978-65-86981-10-0.

GUO, J. et al. Prospects for microbial control of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: a review. **BioControl**, v. 65, p. 647-662, 2020.

GUTIÉRREZ, R. M. P. et al. *Psidium guajava*: a review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. **Journal of ethnopharmacology**, v. 117, n. 1, p. 1-27, 2008.

KOLLNER, T. G. et al. A maize (E)- $\beta$ -caryophyllene synthase implicated in indirect defense responses against herbivores is not expressed in most American maize varieties. **The Plant Cell**, v. 20, n. 2, p. 482-494, 2008.

LING, S. et al. Volatile signals from guava plants prime defense signaling and increase jasmonate-dependent herbivore resistance in neighboring citrus plants. **Frontiers in plant science**, v. 13, p. 833562, 2022.

LINSTROM, P. J.; MALLARD, W. G. **NIST Chemistry WebBook**. Disponível em: 11 <<http://webbook.nist.gov/chemistry>>. Acesso em: 22 agosto. 2022.

MACEDO, J. G. F. et al. Therapeutic indications, chemical composition and biological activity of native Brazilian species from *Psidium* genus (Myrtaceae): A review. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 278, p. 114248, 2021.

MACHADO, L. C. et al. Canibalism in the larval instars of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae): temperature and food quantity. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 44, p. e59401-e59401, 2021.

MATTOS, A. P. M. N. et al. O uso de óleos essenciais para o controle de pragas do milho. **Estrabão**, v. 2, p. 139-147, 2021.

MELO, C. R. et al. Synergistic effect of aromatic plant essential oils on the ant *Acromyrmex balzani* (Hymenoptera: Formicidae) and antifungal activity on its symbiotic fungus *Leucoagaricus gongylophorus* (Agaricales: Agaricaceae). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 17303-17313, 2020.

MENDES, L. A. et al. Larvicidal effect of essential oils from Brazilian cultivars of guava on *Aedes aegypti* L. **Industrial Crops and Products**, v. 108, p. 684-689, 2017.

MENDES, L. A. et al. Spring alterations in the chromatographic profile of leaf essential oils of improved guava genotypes in Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 238, p. 295-302, 2018.

MONTEIRO, I. N. et al. Toxicity of the *Lippia gracilis* essential oil chemotype, pinene-cineole-limonene, on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 41, p. 181-187, 2021.

MOORE, B. D. et al. Explaining intraspecific diversity in plant secondary metabolites in an ecological context. **New Phytologist**, v. 201, n. 3, p. 733-750, 2014.

MORAIS, L. A. S.; MARINHO-PRADO, J. S. Plantas com atividade inseticida. In: HALFELD-VIEIRA, B. A. et al. **Defensivos Agrícolas Naturais: Uso e Perspectivas**. Brasília, DF: Embrapa. Cap. 19, p. 542-593, 2016.

MOREIRA, F. R. B. et al. A cultura da goiaba. 2010.

NALIM, D. M. **Biologia, nutrição quantitativa e controle de qualidade de populações de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797)(Lepidoptera: Noctuidae) em duas dietas artificiais**. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1991.

NEGRINI, M. et al. Insecticidal activity of essential oils in controlling fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 86, 2019.

NICULAU, E. 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.

NTALLI, N. G. et al. Synergistic and antagonistic interactions of terpenes against *Meloidogyne incognita* and the nematicidal activity of essential oils from seven plants indigenous to Greece. **Pest management science**, v. 67, n. 3, p. 341-351, 2011.

OLIVEIRA, E. R. et al. Toxicity of *Cymbopogon flexuosus* essential oil and citral for *Spodoptera frugiperda*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, p. 408-419, 2018.

OVERTON, K. et al. Global crop impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. **Crop Protection**, v. 145, p. 105641, 2021.

PADOVAN, A. et al. The evolution of foliar terpene diversity in Myrtaceae. **Phytochemistry reviews**, v. 13, p. 695-716, 2014.

PROENÇA, C. E. B. et al. Diversity, phylogeny and evolution of the rapidly evolving genus *Psidium* L. (Myrtaceae, Myrteae). **Annals of Botany**, v. 129, n. 4, p. 367-388, 2022.

RAMOS, D. P. et al. Produção e qualidade de frutos da goiabeira 'Paluma', submetida à diferentes épocas de poda em clima subtropical. **Revista Ceres**, v. 57, p. 659-664, 2010.

SCALERANDI, E. et al. Understanding synergistic toxicity of terpenes as insecticides: Contribution of metabolic detoxification in *Musca domestica*. **Frontiers in plant Science**, v. 9, p. 1579, 2018.

SILVA, R. C. e et al. Monoterpenes and sesquiterpenes of essential oils from *Psidium* species and their biological properties. **Molecules**, v. 26, n. 4, p. 965, 2021.

SILVA, L. A. et al. Chemical composition and biological activities of essential oils from Myrtaceae species growing in Amazon: an updated review. **Journal of Essential Oil Research**, v. 35, n. 2, p. 103-116, 2023.

SILVA, C. A. **Métodos estatísticos para estudo adaptabilidade e estabilidade e repetibilidade em genótipos de goiabeiras**. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, 2017.

SILVA, M. A. **Variação no conteúdo de DNA, na proporção de CG e em genes de terpeno sintase de espécies de *Psidium* e relação com a produção e composição dos óleos essenciais**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, 2020.

SMITH, W. E. C. et al. A maize line resistant to herbivory constitutively releases (E)- $\beta$ -caryophyllene. **Journal of economic entomology**, v. 105, n. 1, p. 120-128, 2012.

SOUSA, L. L. **Marcadores moleculares para caracterização genética e genômica em espécies de *Psidium***. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, 2019.

SOUZA, A. G. et al. Chromosome number and nuclear DNA amount in *Psidium* spp. resistant and susceptible to *Meloidogyne enterolobii* and its relation with compatibility between rootstocks and commercial varieties of guava tree. **Plant Systematics and Evolution**, v. 301, p. 231-237, 2015.

SOUZA, T. S. et al. Essential oil of *Psidium guajava*: Influence of genotypes and environment. **Scientia Horticulturae**, v. 216, p. 38-44, 2017.

SOUZA, T. S. et al. Chemotype diversity of *Psidium guajava* L. **Phytochemistry**, v. 153, p. 129-137, 2018.

SPADETO, M. S. et al. Intraspecific C-value variation and the outcomes in *Psidium cattleyanum* Sabine essential oil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, 2022.

TAMIRU, A. et al. A maize landrace that emits defense volatiles in response to herbivore eggs possesses a strongly inducible terpene synthase gene. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 8, p. 2835-2845, 2017.

TUCKER, A. O. et al. Volatile leaf oils of American myrtaceae. III. *Psidium cattleianum* Sabine, *P. friedrichsthalianum* (Berg) Niedenzu, *P. guajava* L., *P. guineense* Sw., and *P. sartorianum* (Berg) Niedenzu. **Journal of Essential Oil Research**, v. 7, n. 2, p. 187-190, 1995.

TULER, A. C. et al. Diversification and geographical distribution of *Psidium* (Myrtaceae) species with distinct ploidy levels. **Trees**, v. 33, p. 1101-1110, 2019.

VASCONCELOS, L. C. et al. Phytochemical analysis and effect of the essential oil of *Psidium* L. species on the initial development and mitotic activity of plants. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 26216-26228, 2019.

VASCONCELOS, L. C. et al. Chemical composition, phytotoxicity and cytogenotoxicity of essential oil from leaves of *Psidium guajava* L. cultivars. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e6110917710-e6110917710, 2021.

VITTI, K. A. et al. Agricultural and economic characterization of guava production in Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, p. e-447, 2020.

ZAKA, S. M. et al. Chemotaxis of adults of the Asiatic citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama, to volatile terpenes detected from guava leaves. **Pak. J. Zool**, v. 47, p. 153-159, 2015.