



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE BIOCIÊNCIAS

QUÉREN HAPUQUE SILVA PEREIRA DE ALCÂNTARA VILARIM

ATIVIDADE INSETICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE FOLHAS DE *Eplingiella fruticosa* (Salzm. Ex Benth) Harley & J.F.B. Pastore SOBRE *Sitophilus zeamais* Mots., 1855 (Coleoptera: Curculionidae)

RECIFE

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE BIOCÊNCIAS

BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

QUÉREN HAPUQUE SILVA PEREIRA DE ALCÂNTARA VILARIM

ATIVIDADE INSETICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE FOLHAS DE *Eplingiella fruticosa* (Salzm. Ex Benth) Harley & J.F.B. Pastore SOBRE *Sitophilus zeamais* Mots., 1855 (Coleoptera: Curculionidae)

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Henrique Napoleão

Coorientador: MSc. Patryck Érmerson Monteiro dos Santos

RECIFE

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Vilarim, Quéren Hapuque Silva Pereira de Alcântara .

Atividade inseticida do óleo essencial de folhas de *Eplingiella fruticosa* (Salzm. Ex Benth) Harley & J.F.B. Pastore sobre *Sitophilus zeamais* Mots., 1855 (Coleoptera: Curculionidae) / Quéren Hapuque Silva Pereira de Alcântara Vilarim. - Recife, 2024.

63 p. : il., tab.

Orientador(a): Thiago Henrique Napoleão

Coorientador(a): Patryck Érmerson Monteiro dos Santos

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas - Bacharelado, 2024.

Inclui referências.

1. Controle de insetos-praga. 2. Inseticidas. 3. Óleos essenciais. 4. Lamiaceae. 5. *Eplingiella fruticosa*. I. Napoleão, Thiago Henrique. (Orientação). II. Santos, Patryck Érmerson Monteiro dos. (Coorientação). IV. Título.

570 CDD (22.ed.)

QUÉREN HAPUQUE SILVA PEREIRA DE ALCÂNTARA VILARIM

ATIVIDADE INSETICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE FOLHAS DE *Eplingiella fruticosa* (Salzm. Ex Benth) Harley & J.F.B. Pastore SOBRE *Sitophilus zeamais* Mots., 1855 (Coleoptera: Curculionidae)

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovado em: ____/____/____.

COMISSÃO EXAMINADORA

Profº. Dr. Thiago Henrique Napoleão (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dra. Patrícia Maria Guedes Paiva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

MSc. Juliane Nancy de Oliveira Silva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Ao SENHOR, meu Deus, por dirigir os meus passos durante toda a minha vida e trajetória, e aos meus pais e amigos, que me apoiaram em todos os momentos e me deram forças para concluir este trabalho.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu Deus por ter me dado forças para trilhar a jornada da graduação, assim como me dado coragem para enfrentar todos os desafios e por me mostrar o seu cuidado e a sua presença em todos os momentos. A Ele consagro este trabalho. Porque dEle, por Ele e para Ele são todas as coisas; glória, pois, a Ele eternamente. Amém!

Aos meus pais, Ana Patrícia Silva Pereira Vilarim e Moisés de Alcantara Vilarim, à minha irmã Mariany e a todos os meus familiares por sempre estarem ao meu lado me apoiando, me incentivando e orando pela minha vida e pelo meu futuro.

Aos meus amigos da eternidade, que cresceram comigo e acompanharam minha jornada mesmo antes de iniciar a graduação, por todas as palavras de conforto, por todas as vezes que oraram por mim e diziam: “Vai dar tudo certo!”. Sem o apoio de vocês tudo isto não seria possível, nossa amizade durará a eternidade.

Aos meus amigos de graduação Marcelye, Daniel, Aline, Victor e tantos outros, por fazerem desses anos de estudos mais leves e gratificantes, apesar das provas, trabalhos para entregar, apresentações para elaborar e eventos científicos para participar. Assim como aos meus companheiros de laboratório, em especial Emanoelli (Manuh), Gabriel (Gab) e Jefferson (prefeito) por sempre estarem trazendo alegria onde passam e por estarem comigo durante essa trajetória (sem vocês os dias no laboratório seriam menos interessantes).

Ao professor Thiago Henrique Napoleão, meu orientador, por todo o ensinamento, apoio e orientação, por ser tão presente quando eu precisava de alguma ajuda, e por todo o profissionalismo e competência.

A Patryck, meu coorientador, a Alícia, a Ju e a Ângela por me ensinarem os primeiros passos da vida no laboratório e por todo o conhecimento científico e pessoal que vocês puderam agregar na minha vida.

A professora Patrícia Paiva por abrir as portas do Laboratório de Bioquímica de Proteínas (BIOPROT) para mim no cenário pós quarentena e retorno das aulas

presenciais, quando eu ainda não sabia o que faria ou qual área atuar. A professora Thâmarah por toda orientação, amizade, apoio e ajuda no desenvolvimento dos projetos e pesquisas.

Ao Laboratório BIOPROT por toda infraestrutura e espaço físico para o desenvolvimento de pesquisas e projetos, contribuindo para o avanço da ciência no Brasil. Assim como a todos os integrantes do laboratório (pós-doutorandos, doutorandos, mestrandos e graduandos), aos funcionários da UFPE e a todos que contribuíram de forma direta ou indireta na minha formação acadêmica e pessoal.

Meus sinceros agradecimentos a todos!

“Entrega o teu caminho ao Senhor; confia nele, e o mais ele fará”.

(Bíblia [...], 2011, Sl 37,5, p. 593)

RESUMO

Sitophilus zeamais, conhecido popularmente como gorgulho-do-milho, é o inseto-praga mais destrutivo de produtos armazenados. O uso de inseticidas sintéticos para o seu controle levou ao surgimento de populações resistentes e, por isso, se tornam necessárias novas alternativas mais eficazes e menos prejudiciais ao meio ambiente e às espécies não-alvo. Os óleos essenciais são biodegradáveis e têm pouco ou nenhum impacto sobre o meio ambiente, sendo assim a alternativa mais promissora aos inseticidas sintéticos. Esse estudo determinou a composição química e avaliou a atividade inseticida do óleo essencial de folhas de *Eplingiella fruticosa* sobre o gorgulho-do-milho. O óleo foi obtido por hidrodestilação e a identificação e quantificação dos constituintes foi realizada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM). A atividade inseticida do óleo foi avaliada contra adultos de *S. zeamais* usando os testes de contato e ingestão. O composto majoritário também foi avaliado quanto a sua toxicidade por contato na concentração encontrada na composição do óleo puro. Os principais compostos identificados no óleo foram 1,8-Cineol (23,58%), seguido por (*E*)-Cariofileno (14,22%), α -Pineno (7%) e Espatulenol (6,79%). O óleo foi inseticida contra *S. zeamais* por contato sendo a concentração letal para matar 50% e 90% (CL₅₀ e CL₉₀) dos insetos de 2,98 e 5,81 mg/mL em 24 horas e 1,94 e 4,28 mg/mL em 48 horas, respectivamente. O composto majoritário (1,8-cineol) causou mortalidade de 24% da população dos insetos. Quando ingerido pelos insetos, o óleo provocou mortalidade total em todas as concentrações testadas (a partir de 4,15 mg/mL). O estudo revelou que o óleo essencial de folhas de *E. fruticosa* possui um potencial promissor para o desenvolvimento de um inseticida botânico para o controle de *S. zeamais*.

Palavras-chave: Lamiaceae; gorgulho-do-milho; inseticidas botânicos; óleos essenciais; inseto-praga.

ABSTRACT

Sitophilus zeamais, popularly known as maize weevil, is the most destructive pest of stored products. The use of synthetic insecticides for its control has led to the emergence of resistant populations and, therefore, new alternatives that are more effective and less harmful to the environment and non-target species are necessary. Essential oils are biodegradable and have little or no impact on the environment, therefore the most promising alternative to synthetic insecticides. This study determined the chemical composition and evaluated the insecticidal activity of the essential oil from *Eplingiella fruticosa* leaves against the maize weevil. The oil was obtained by hydrodistillation and the identification and quantification of the constituents was carried out by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC/MS). The insecticidal activity of the oil was evaluated against *S. zeamais* adults using contact and ingestion tests. The major compound was also evaluated for its contact toxicity at the concentration found in the pure oil composition. The main compounds identified in the oil were 1,8-cineole (23.58%), followed by (*E*)-caryophyllene (14.22%), α -pinene (7%) and spathulenol (6.79%). The oil was an insecticide against *S. zeamais* by contact, with a lethal concentration to kill 50% and 90% (LC₅₀ and LC₉₀) of insects of 2.98 and 5.81 mg/mL in 24 hours and 1.94 and 4.28 mg/mL in 48 hours, respectively. The major compound (1,8-cineole) caused mortality of 24% of the insect population. When ingested by insects, the oil caused total mortality at all concentrations tested (from 4.15 mg/mL). The study revealed that the essential oil from *E. fruticosa* leaves has promising potential for the development of a botanical insecticide to control *S. zeamais*.

Keywords: Lamiaceae; maize weevil; botanical insecticides; essential oils; pest-insect.

LISTA DE FIGURAS

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Figura 1. <i>Sitophilus zeamais</i> . Ovo (A), larva (B), pupa (C) e adulto (D).....	19
Figura 2. Ciclo de vida do <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky, 1885.....	20
Figura 3. Modo de ação dos inseticidas.....	22
Figura 4. <i>Eplingiella fruticosa</i> . (A) Folhas; (B Flores); (C) Inflorescências; (D) Sementes.....	27

LISTA DE TABELAS

ARTIGO

Tabela 1. Composição química do óleo essencial de *Eplingiella fruticosa* (Salzm. Ex Benth) Harley & J.F.B. Pastore..... 36

Tabela 2. Concentrações letais (CLs) do óleo essencial de folhas de *E. fruticosa* sobre adultos de *S. zeamais*..... 37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OE - Óleo essencial

GC/MS - Cromatógrafo gasoso acoplado a espectrômetro de massas

AChE - Acetilcolinesterase

BOD - Biochemical oxygen demand

UR - Umidade relativa

ppm - Partes por milhão

mg - Miligrama

mL - Mililitro

μL - Microlitro

CL - Concentração letal

CL₅₀ - Concentração letal para matar 50% da população.

CL₉₀ - Concentração letal para matar 90% da população

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1. INSETOS.....	16
2.1.1. Insetos de produtos armazenados.....	17
2.1.2. <i>Sitophilus zeamais</i>	18
2.1.2.1. Os prejuízos de <i>Sitophilus zeamais</i> na produção de milho.....	20
2.2. CONTROLE DE INSETOS-PRAGAS DE PRODUTOS ARMAZENADOS UTILIZANDO INSETICIDAS.....	21
2.2.1. Inseticidas sintéticos.....	22
2.2.2. Inseticidas naturais.....	25
2.3. ÓLEOS ESSENCIAIS.....	25
2.4. <i>Eplingiella fruticosa</i>	27
3. OBJETIVOS.....	29
3.1. Objetivo Geral.....	29
3.2. Objetivos Específicos.....	29
4. RESULTADOS.....	30
5. CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

Os insetos são os organismos mais diversos e abundantes do planeta, desempenhando papéis cruciais em várias esferas, incluindo a socioeconômica, ambiental e cultural (Stork, 2018; Hoover; Ovinge, 2018; Duffus; Christie; Morimoto, 2021). Contudo, algumas espécies representam ameaças significativas por transmitirem doenças a humanos e animais domésticos e causarem danos econômicos como pragas (Fransozo et al., 2016; Gullan et al., 2017). Entre essas pragas, os insetos de produtos armazenados destacam-se por atacarem as grandes *commodities* agrícolas e causarem danos aos principais grãos de importância global (Phillips; Throne, 2010).

O gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1855 (Coleoptera: Curculionidae), é o inseto mais importante e mais destrutivo de produtos armazenados (Lima et al., 2021). Este inseto ataca principalmente o milho, sua fonte primária de alimento, mas também pode causar prejuízos em outros grãos, como arroz, trigo, sorgo, cevada e feijão, bem como em frutas e produtos alimentícios industrializados (Botton et al., 2005; Han et al., 2017). Anualmente, o ataque do gorgulho-do-milho acarreta em perdas de 15 a 30% na produção de milho nos períodos de pré e pós-colheita, resultando em grãos com odor e sabor indesejáveis, além de diminuição do valor nutricional e de mercado, causando perdas quantitativas e qualitativas (Tefera et al., 2011; Gautam et al., 2021; Cortese et al., 2022).

O controle de *S. zeamais*, assim como de outros insetos-pragas de grãos armazenados, ocorre principalmente pela aplicação de inseticidas de origem sintética, como organofosforados, organoclorados, carbamatos e piretroides (Phillips; Throne, 2010; Boyer et al., 2012). No entanto, o uso excessivo desses inseticidas contribuiu para o desenvolvimento de resistência em populações de *S. zeamais*, um problema documentado desde a década de 1990 no Brasil (Guedes et al., 1994, 1995; Fragoso et al., 2003, 2005, 2007). Além disso, alguns inseticidas são tóxicos, como a fosfina (Pimentel et al., 2009), e produzem efeitos deletérios a organismos não-alvo, ecossistemas e saúde humana e animal (Zhang et al., 2015; Freitas et al., 2016).

Por isso, estratégias alternativas aos inseticidas sintéticos utilizando produtos naturais vêm sendo exploradas nos últimos anos, com destaque para os óleos essenciais (OEs). Os OEs, por serem uma mistura de vários compostos voláteis derivados do metabolismo secundário das plantas, são biodegradáveis e interferem em diversos aspectos bioquímicos e fisiológicos dos insetos, reduzindo a capacidade de criação de resistência e diminuindo o impacto ambiental (Chaudhari et al, 2021; Lima et al., 2021; Achimón et al., 2022).

Eplingiella fruticosa (Salzm. ex Benth.) Harley & J.F.B. Pastore é um arbusto aromático endêmico do semiárido brasileiro, encontrado nos estados de Alagoas, Bahia, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe (Flora do Brasil, 2020). Pertencente à família Lamiaceae, é conhecido popularmente como “alecrim do tabuleiro”, “alecrim do campo” e “alecrim do vaqueiro” (Beserra-Filho et al., 2019; Melo et al., 2020; Oliveira et al., 2021). Tradicionalmente utilizada pela população local para o tratamento de dores e infecções respiratórias (Agra et al., 2008; Oliveira et al., 2021), *E. fruticosa* tem sido objeto de estudos que destacam seu potencial bioativo. Entre suas propriedades estão efeito antinociceptivo (Menezes et al., 2007), cardiovascular positivo (Santos et al., 2007), neuroprotetor (Beserra-Filho et al., 2019) e anti-hiperalgésico em dor crônica (Melo et al., 2020). Além disso, o OE extraído de suas folhas demonstrou atividade inseticida sobre *Aedes aegypti* L., 1762 (Silva et al., 2008) e *Acromyrmex balzani* Emery, 1890 (Silva et al., 2019), destacando seu potencial no controle de pragas.

Visando contribuir para o desenvolvimento de estratégias eficazes no manejo de insetos-praga, o presente estudo teve como objetivo avaliar a composição química e a atividade inseticida sobre *Sitophilus zeamais* do OE das folhas de *Eplingiella fruticosa* e do seu composto majoritário (1,8 cineol), em sua concentração observada na composição química do óleo puro.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. INSETOS

Os insetos, pertencentes ao filo Arthropoda, subfilo Hexapoda e Classe Insecta, são o grupo de organismos mais abundantes e diversos do planeta, com o corpo dividido em cabeça, tórax e abdome, e três pares de pernas (Rafael et al., 2012; Gullan; Craston, 2017; Brusca; Brusca, 2018; Stork, 2018). Compreendem mais de um milhão de espécies descritas que estão divididas em 28 ordens, ocupando ambientes terrestres e aquáticos (Grimaldi et al., 2005; Footitt; Adler, 2009; Brusca; Brusca, 2018).

Essenciais em diversos papéis ecológicos, os insetos são fundamentais na reciclagem de nutrientes, polinização, herbivoria, controle biológico, predação e parasitismo (Novotny et al, 2006; Libersat; Delago; Gal, 2009; Baldock et al., 2015; Gullan et al., 2017; Souza et al, 2019). Além disso, possuem grande importância socioeconômica (como na produção de mel e seda) (Sutherland et al., 2010; Hoover; Ovinge, 2018), ambiental (como bioindicadores) (Oliveira et al., 2014) e cultural (como fonte de inspiração artística, simbolismo em diversas culturas e como protagonistas de histórias e mitologias antigas) (Gullan; Craston, 2017; Duffus; Christie; Morimoto, 2021)

Entretanto, algumas espécies podem ser prejudiciais, atuando como transmissores de doenças aos humanos e animais domésticos (Gullan; Craston et al., 2017; Dai et al., 2024; Dumont; Yatata-Djeumen, 2024), e como pragas urbanas e agrícolas (Brusca; Brusca, 2018). Esses insetos são considerados pragas quando a população cresce descontroladamente e causa danos significativos às culturas agrícolas, interferindo na produção e no armazenamento, resultando em perdas substanciais de alimentos e renda para os agricultores, afetando a segurança alimentar e a economia local (Imenes; Ide, 2002; Gullan; Craston et al., 2017).

2.1.1. Insetos de produtos armazenados

Os insetos-pragas de produtos armazenados atacam principalmente as grandes *commodities* agrícolas (produtos originários do setor primário e possuem baixo valor agregado), como milho, soja e trigo, causando infestações e danos aos grãos, além de afetarem outros derivados agrícolas não alimentares em escala global (Phillips; Throne, 2010; Singh et al. 2021).

Os danos causados pelos insetos-praga aos grãos e subprodutos podem ser quantitativos e qualitativos (Ahmad et al., 2021), e podem variar de 9% em países desenvolvidos a 20% para os países subdesenvolvidos, correspondendo a cerca de um terço da produção mundial de alimentos, avaliados em mais de 100 bilhões de dólares por ano (Parajuli et al., 2021).

Os insetos-praga de grãos podem ser classificados conforme ao seu hábito alimentar, sendo considerados pragas primárias (internas e externas) ou secundárias (quando não conseguem perfurar os grãos e precisam que estes sejam danificados para se alimentarem). As pragas primárias são as mais prejudiciais, pois possuem a capacidade de infestar grãos inteiros (Lorini, 2014; Ahmad et al., 2021). Esses insetos exibem características como polifagia (capacidade de se alimentar de uma grande variedade de alimentos), infestação cruzada (habilidade de se mover entre diferentes tipos de grãos ou produtos armazenados) e elevado potencial biótico (Gallo et al., 2002; Hagstrum; Subramanyam, 2009; Ahmad et al., 2021; Santos et al., 2021).

Os coleópteros representam a ordem mais numerosa de insetos (Oliveira et al., 2014; Gullan et al., 2017) e incluem os principais insetos-praga que afetam produtos armazenados, os quais geralmente pertencem às famílias Curculionidae, Bostrichidae, Tenebrionidae, Cucujidae, Silvanidae, Bruchidae, Anobiidae e Anthribidae (Faroni; Sousa, 2006). Entre os representantes estão: *Callosobruchus maculatus* Fabricius, 1775 (Coleoptera: Bruchidae), *Callosobruchus chinensis* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Bruchidae), *Tribolium castaneum* Herbst, 1797 (Coleoptera: Tenebrionidae), *Tribolium confusum* Duval, 1868 (Coleoptera: Tenebrionidae), *Rhyzopertha dominica* Fabricius, 1792 (Coleoptera: Bostrichidae), *Acanthoscelides obtectus* Say, 1831 (Coleoptera: Bruchidae), *Lasioderma serricorne* Fabricius, 1792 (Coleoptera: Anobiidae), *Oryzaephilus surinamensis* Linnaeus, 1758

(Coleoptera: Silvanidae) e *Prostephanus truncatus* Horn, 1878 (Coleoptera: Bostrichidae) (Phillips; Throne, 2010).

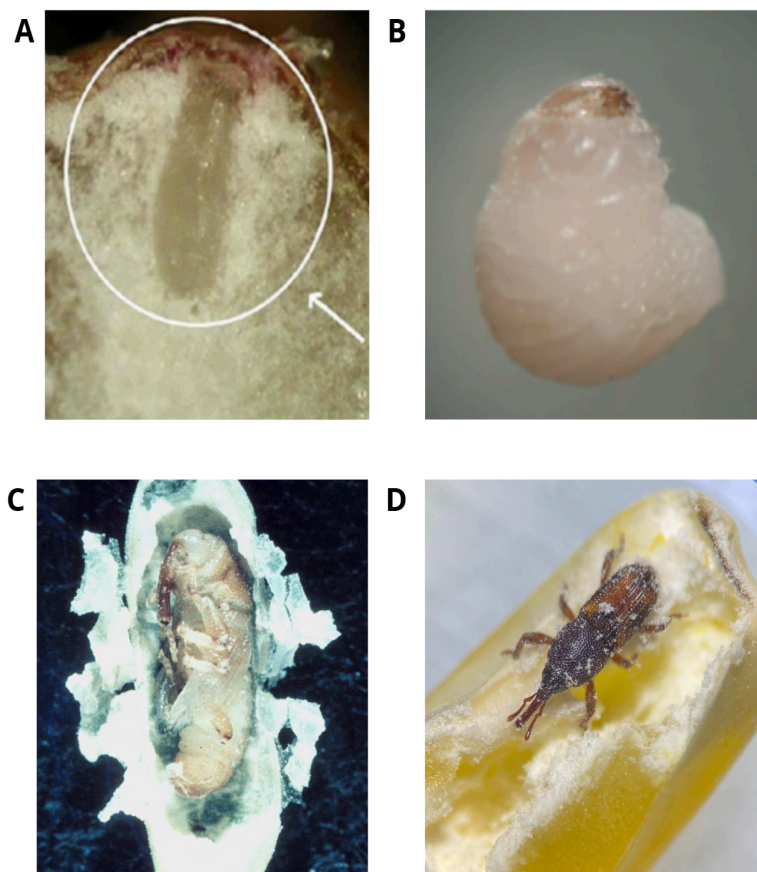
A família Curculionidae se destaca como a mais relevante no contexto de pragas de produtos armazenados, possuindo aproximadamente 30 espécies reconhecidas por seu potencial destrutivo na agricultura. Entre elas, os representantes do gênero *Sitophilus* são amplamente reconhecidos como as pragas mais significativas, incluindo espécies como *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855, *Sitophilus oryzae* Linnaeus, 1763 e *Sitophilus granarius* Linnaeus, 1758 (Faroni; Sousa, 2006).

2.1.2. *Sitophilus zeamais*

S. zeamais, conhecido popularmente como gorgulho-do-milho, é um inseto cosmopolita de regiões tropicais e subtropicais, considerado a praga primária mais importante de produtos armazenados do mundo (Lima et al., 2021). Apresenta infestação cruzada e elevado potencial biótico (Anthunes; Dionello, 2010; Barros et al., 2021). A espécie possui como fonte primária de alimento o milho, contudo pode atacar outros grãos como arroz, trigo, sorgo, cevada e feijão (Lorini, 2007; Hernández et al., 2013), assim como frutas e alimentos industrializados (Botton et al., 2005; Han et al., 2017).

A espécie é holometabola, apresentando metamorfose completa (Arrahman et al., 2022). Os ovos (Figura 1A) possuem um polo mais estreito e oval, com coloração branca leitosa, largura de 0,3 mm e um comprimento de 0,7 mm (Lecato; Flaherty, 1974; Anthunes; Dionello, 2010; Arrahman et al., 2022). As larvas são ápodas (Figura 1B), medindo entre 2 a 3 mm, com corpo de coloração amarela-clara e cabeça marrom-escura do tipo curculioniforme. As pupas (Figura 1C) são brancas (Lorini, 2007; Anthunes; Dionello, 2010; Arrahman et al., 2022). Os adultos (Figura 1D) são castanhos-escuros, possuindo manchas mais claras nos élitros, com comprimento variando de 2 a 3,5 mm. As fêmeas possuem rostro alongado e afilado, enquanto os machos possuem rostro mais curto e grosso (Lorini, 2007, 2015; Antunes; Dionello, 2010).

Figura 1. *Sitophilus zeamais*. Ovo (A), larva (B), pupa (C) e adulto (D).



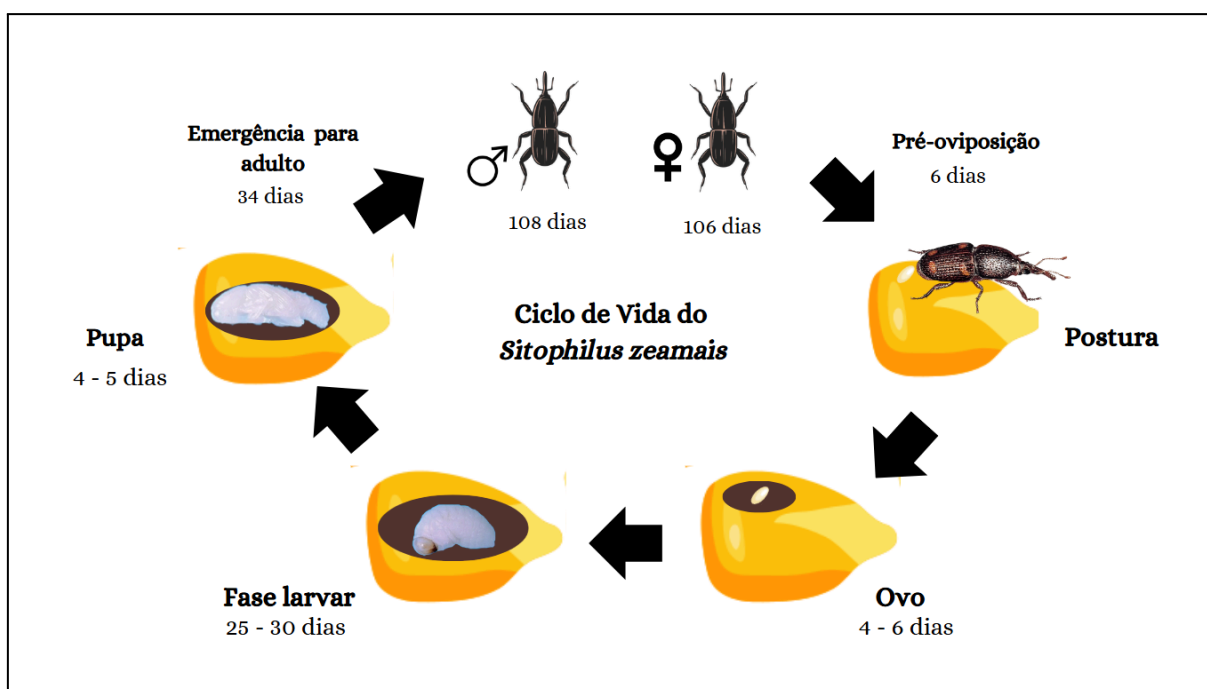
Fonte: (A) Arrahman et al. (2022), (B) Lorini et al. (2015), (C) Antunes, L. E. G. (2010), (D) Autora (2024).

O ciclo de vida da espécie (Figura 2) inicia-se com a oviposição dos ovos pelas fêmeas no grão de milho, através da abertura de um orifício no sulco central utilizando seu rostro. Em seguida, utilizando o oviscapto (prolongação do abdome das fêmeas), o ovo é colocado no grão, enquanto uma substância mucilaginosa é secretada para selar o orifício, assegurando o fechamento do orifício. Quando múltiplos ovos são depositados no mesmo grão, pode ocorrer canibalismo entre larvas e apenas uma larva completa seu desenvolvimento (Anthunes; Dionello, 2010; Lorini et al., 2015).

As fêmeas podem sobreviver por aproximadamente 140 dias e durante sua vida podem colocar aproximadamente 282 ovos. Apresentando, em média, 6 dias de período de pré-oviposição e 104 dias de oviposição. Já os machos podem

sobreviver por até 142 dias. O período de incubação dos ovos varia entre 3 a 6 dias. Após a eclosão dos ovos, as larvas passam por quatro estágios de desenvolvimento até atingir a fase de pupa, após a qual ocorre a emergência do adulto. O tempo médio de emergência dos insetos adultos é de aproximadamente 34 dias, e assim como as larvas, os adultos também se alimentam dos grãos atacados (Botton et al., 2005; Anthunes; Dionello, 2010; Wei et al., 2014; Lorini et al., 2007, 2015).

Figura 2. Ciclo de vida do *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1885



Fonte: Autora (2024)

2.1.2.1. Os prejuízos de *Sitophilus zeamais* na produção de milho

O milho (*Zea mays* L.) é a terceira cultura mais importante do mundo, depois do arroz e do trigo, destacando-se em área de produção e produtividade por hectare. O milho desempenha um papel crucial na mitigação da pobreza e no enfrentamento de crises alimentares (Barros et al., 2021; Kebede et al., 2024), além de ser uma fonte importante de biocombustíveis, como o etanol (Erenstein et al., 2022), e servir como modelo em estudos genéticos e genômicos devido à sua diversidade genética e facilidade de manipulação (Kushanov et al., 2022; Singh et al., 2023).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho (Souza, 2018) e, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a estimativa de

produção da safra brasileira de milho para 2023/2024 é de 111.635,8 de toneladas (CONAB, 2024). Entretanto, a infestação pelo gorgulho do milho, pode causar perdas anuais significativas, variando entre 15 e 30% na produção do milho durante a pré e a pós-colheita. Os grãos danificados podem apresentar odores e sabores indesejáveis, perda de valor nutricional e redução de seu valor comercial (Tefera et al., 2011; Gautam et al., 2021), fazendo com que os danos sejam classificados como quantitativos e qualitativos (Phillips; Throne, 2010; Antunes et al., 2011; Cortese et al., 2022). Além de perdas diretas, as infestações por *S. zeamais* resultam na elevação de temperatura e umidade, favorecendo o crescimento de fungos, incluindo espécies toxigênicas como o fungo *Aspergillus flavus* (Muñoz-Cardenas et al., 2017; Bernal; Medina, 2018; Mandap et al., 2024).

Diante destes prejuízos, o controle de *S. zeamais* é realizado de forma massiva, sendo os principais métodos o físico e o químico. Os métodos físicos consistem na manipulação de fatores físicos para reduzir ou eliminar completamente a população da praga, por meio da aeração, regulação dos níveis de temperatura do ambiente, uso de pós inertes, remoção física, luz, radiação e som. Os métodos químicos são realizados através de inseticidas, sejam eles sintéticos ou naturais, sendo vistos como ferramentas de manejo mais eficientes por serem mais fáceis de serem introduzidos e aplicados (Phillips; Throne, 2010; Boyer; Zhang; Lempérière, 2012; Lorini et al., 2015; Ahmad et al., 2021).

2.2. CONTROLE DE INSETOS-PRAGAS DE PRODUTOS ARMAZENADOS UTILIZANDO INSETICIDAS

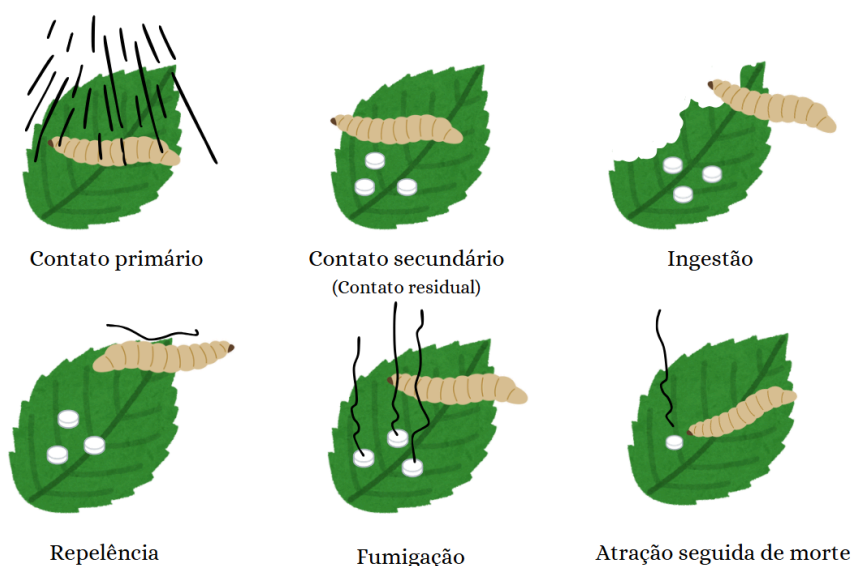
Após o término da Segunda Guerra Mundial, o mundo testemunhou um rápido crescimento na produção agrícola e na capacidade de armazenamento de alimentos, impulsionado pelo avanço industrial e tecnológico. Esta era de industrialização agrícola trouxe consigo não apenas aumento na produção, mas também desafios significativos relacionados ao manejo de pragas de produtos armazenados. Com a expansão das áreas cultivadas e o aumento da produção de grãos, cereais e outros produtos alimentícios em larga escala, as condições ideais para o desenvolvimento e proliferação de insetos-praga foram criadas nos silos,

armazéns e ao longo das cadeias de distribuição (Hagstrum; Phillips; Cuperus, 2012; Gullan; Craston, 2017).

Atualmente, são gastos bilhões de dólares para o controle de insetos (Brusca; Brusca, 2018) e desde meados do século XX os inseticidas têm desempenhado um papel crucial no manejo dessas pragas (Oberemok et al., 2015). Os inseticidas podem ser caracterizados como substâncias químicas sintéticas, naturais ou de origem biológica que são utilizadas para manejar a população de insetos. Esse manejo pode resultar na morte dos insetos ou na prevenção de comportamentos que são prejudiciais (Morais; Prado, 2016).

Os inseticidas podem agir de várias maneiras, incluindo contato direto, contato residual (ou secundário), ingestão, repelência, fumigação e atração seguida de morte (Figura 3). O modo de ação dos inseticidas pode ser classificado em cinco grupos, de acordo com o sítio de ação: (1) sistema nervoso e/ou a musculatura, (2) crescimento ou o desenvolvimento, (3) intestino médio, (4) metabolismo respiratório e (5) desconhecido ou inespecífico (Henrique, 2019).

Figura 3. Modo de ação dos inseticidas



Fonte: Autora (2024) adaptado de Henrique (2019).

2.2.1. Inseticidas sintéticos

Os inseticidas sintéticos possuem um grande espectro de modo de ação, apresentando ação letal não específica e, em grande parte, afetando o sistema nervoso dos insetos (Gullan; Cranston, 2017). São compostos que podem causar distúrbios digestivos e exercer ação tóxica em vários órgãos, levando a convulsões, excitação, paralisia e morte (Moreira; Mansur; Figueira-Mansur, 2012; Matias, 2016).

Segundo Moraes e Prado (2016), os altos níveis de produtividade agrícola não poderiam ser mantidos sem o uso dos inseticidas sintéticos. Esses inseticidas são os mais utilizados para o controle de insetos-pragas desde o fim da Segunda Guerra Mundial, marcando o início da chamada Segunda Geração de Inseticidas, que inclui os organoclorados, organofosforados, carbamatos e piretróides. Esses produtos foram desenvolvidos pelas indústrias químicas após a descoberta e síntese de moléculas com ação inseticida.

Dentre os inseticidas, o organoclorado diclorodifeniltricloroetano (DDT) foi a substância química sintética com ação inseticida mais utilizada e estudada do século XX (Moraes; Prado, 2016). Assim como foi a mais aplicada para o controle da população do gorgulho-do-milho no Brasil até a sua proibição em 1985 (Guedes et al., 1995), quando foi substituída pelos organofosforados e carbamatos, porque o DDT se mostrou perigoso para organismos não-alvo como mamíferos, aves e répteis, além da resistência adquirida por diversas espécies de insetos (Moreira; Mansur; Figueira-Mansur, 2012; Obemerok et al., 2015).

Os organofosforados são o grupo de inseticidas mais utilizados do mundo (Lozowicka, 2016). Esses compostos atuam tanto por contato quanto por ingestão nos insetos, principalmente inibindo a enzima acetilcolinesterase (AChE) de hidrolisar a acetilcolina, o que leva ao acúmulo desse neurotransmissor na fenda sináptica, resultando em hiperatividade nervosa e, eventualmente, colapso do sistema nervoso dos insetos (Moreira; Mansur; Figueira-Mansur, 2012).

Os carbamatos são derivados do ácido carbâmico e também são utilizados como inseticidas, no entanto, apresentam um espectro de atividade limitado, atuando de maneira semelhante aos organofosforados e inibindo a AChE; porém, a ligação com a enzima é menos estável (Moreira; Mansur; Figueira-Mansur, 2012).

O uso generalizado de organofosforados e carbamatos levou a impactos ambientais significativos. Um exemplo foi o desastre ocorrido na Índia em 1984, onde uma explosão em uma fábrica liberou o isocianato de metila, afetando mais de 3800 pessoas. Este incidente ilustra os riscos associados à produção de compostos

como o carbaril, presente na composição de ambos os grupos de inseticidas, que podem contribuir para os impactos ambientais e de saúde pública observados. Apesar desses desafios, os organofosforados e carbamatos continuam sendo amplamente utilizados (Oberemok et al., 2015; Lozowicka, 2016).

No entanto, no contexto do controle de insetos-pragas em produtos armazenados, o uso desses compostos foi descontinuado devido à ineficácia no controle e à resistência desenvolvida pelos insetos. Eles foram substituídos por piretróides, como pirimifós-metil e deltametrina (Guedes et al., 1995).

Introduzidos na década de 1970, os piretroides são substâncias de contato derivadas da piretrina. Eles causam reações características nos insetos ao penetrar rapidamente no sistema nervoso e atuar nos canais iônicos das sinapses nervosas, mantendo os canais de sódio abertos. Isso resulta na despolarização e eventual bloqueio da condução nervosa, levando à paralisia (Moreira; Mansur; Figueira-Mansur, 2012).

Contudo, a resistência de *S. zeamais* a inseticidas piretroides têm sido documentada desde a década de 1990 (Ribeiro et al., 2003; Fragoso et al., 2003, 2005, 2007). No Brasil, essa resistência foi observada em populações de *S. zeamais* frente a piretroides como cipermetrina e deltametrina (Derera et al., 2014; Mossa et al., 2018), assim como organofosforados como malation e fenitrothion (Guedes et al., 1994, 1995). Além disso, inseticidas como a fosfina, amplamente utilizados, são extremamente tóxicos (Pimentel et al., 2009).

Lorini (2002), ao avaliar a resistência de insetos a inseticidas, independentemente de serem químicos ou orgânicos, identificou três mecanismos fundamentais: (1) a diminuição da permeabilidade do inseticida através da cutícula do inseto, (2) a capacidade dos insetos de desintoxicar ou metabolizar o inseticida através de enzimas específicas, e (3) a redução da sensibilidade no local de ação do inseticida dentro do sistema nervoso do inseto. Essas adaptações permitem que os insetos sobrevivam a exposições que seriam letais para populações não resistentes.

O uso excessivo de inseticidas sintéticos é o fator chave que contribuiu para o aumento de populações resistentes e para a eliminação dos inimigos naturais dos insetos, exacerbando os impactos negativos sobre os ecossistemas e representando uma séria ameaça à saúde humana e animal (Zhang et al., 2015; Freitas et al., 2016).

2.2.2. Inseticidas naturais

Antes da Segunda Guerra Mundial e da implementação de substâncias químicas para o controle de insetos-praga, os inseticidas naturais eram amplamente utilizados. O Brasil foi reconhecido como um grande exportador e produtor de inseticidas botânicos, como piretro, rotenona e nicotina. Contudo, esses inseticidas foram gradualmente descartados por serem mais caros, menos disponíveis e sensíveis à luz (Menezes, 2005; Moraes; Prado, 2016).

Contudo, em detrimento da resistência observada à inseticidas sintéticos, compostos de origem vegetal voltaram a ser avaliados para o desenvolvimento de inseticidas naturais, pois são biodegradáveis, possuem alta seletividade, baixo resíduo, não exercem ou têm poucos efeitos deletérios em organismos não-alvo (Wei et al., 2014; Mossa et al., 2018).

Os inseticidas botânicos, subcategoria dos inseticidas orgânicos e naturais, são derivados do metabolismo das plantas e fazem parte da defesa química contra insetos herbívoros (Côrrea; Salgado, 2011; Moraes; Prado, 2016). Dentre as diversas famílias de plantas estudadas por suas propriedades inseticidas, destacam-se principalmente: Asteraceae, Fabaceae, Lamiaceae, Meliaceae, Myrtaceae e Rutaceae (Turchen; Júnior; Guedes, 2020). Seus representantes podem ser utilizados na forma de extratos aquosos, pós, solventes orgânicos ou óleos essenciais, devido aos seus diversos modos de ação e à menor frequência de impactos nocivos ao meio ambiente e à saúde humana (Isman, 2006). Essas substâncias presentes nas plantas podem atuar como inibidores de alimentação, crescimento e desenvolvimento, repelentes, e podem causar mortalidade dos insetos através do contato e por vias respiratórias (Menezes, 2005; Côrrea; Salgado, 2011).

2.3. ÓLEOS ESSENCIAIS

Óleos essenciais (OE) são substâncias complexas, voláteis e de aroma característico, produzidos a partir do metabolismo secundário vegetal. Diversas partes da planta podem ser utilizadas para a obtenção do OE, como a raízes, caules, folhas, flores, cascas, frutos e sementes, que podem ser extraídos pelos

métodos de hidrodestilação, extração por solventes orgânicos, destilação a vapor, extração por fluido supercrítico, prensagem a frio e enfloração (Bakkali et al., 2008; Silveira et al., 2012). A destilação a vapor, utilizando o aparelho tipo Clevenger, é um método clássico amplamente utilizado, tanto em escala artesanal quanto industrial (Regnault-Roger; Vincent; Arnason, 2012).

A composição química e o rendimento dos OEs variam significativamente de acordo com a planta, sua idade, a parte utilizada na extração (folha, flor ou semente, por exemplo) e o método de extração utilizado. Apesar de ser determinada predominantemente por fatores genéticos, os fatores bióticos e abióticos (como temperatura, luminosidade, sazonalidade, disponibilidade de água, entre outros) também influenciam alterações significativas na composição (Morais, 2009).

Em um único OE, podem estar presentes de 20 a 60 metabólitos secundários diferentes, podendo ter suas propriedades biológicas relacionadas com os componentes majoritários (Bakkali et al., 2008; Phillips; Throne, 2010; Chaudhari et al., 2021). As principais classes de metabólitos secundários presentes em OEs incluem fenilpropanoides, terpenos e terpenoides (Ootani et al., 2013; Maurya et al., 2021).

Historicamente, os OE são utilizados em várias culturas para fins medicinais, cosméticos e culinários, datando de civilizações antigas como os egípcios, gregos e romanos (Figueiredo et al., 2008; Kubeczka, 2020; Irshad et al., 2020). Nos últimos anos, os interesses científico e comercial por esses óleos têm aumentado significativamente devido às suas propriedades antimicrobianas, antioxidantes, anti-inflamatórias e inseticidas (Huang et al., 2014; Santos et al., 2019; Daniel et al. 2020; Becker et al., 2024).

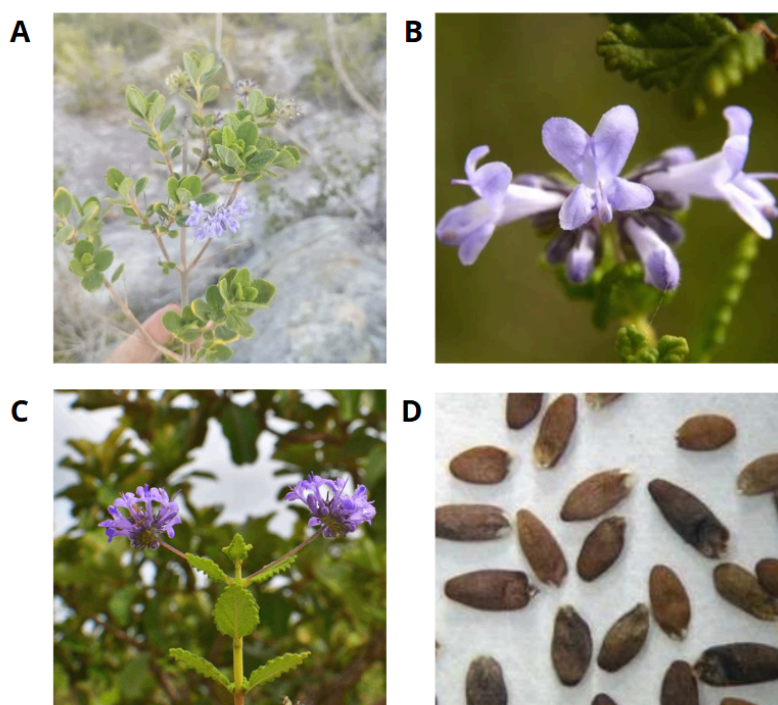
Diversos estudos comprovam a eficácia dos OE como inseticidas, que atuam contra uma variedade de insetos através de diferentes vias, como a de fumigação, o contato direto e a ingestão (Coitinho et al., 2011; Santos et al. 2019; Lima et al. 2021). A ação inseticida dos OE deve-se à presença de compostos bioativos, que interferem em diversos aspectos bioquímicos e fisiológicos dos insetos. Além disso, os OE são biodegradáveis e apresentam uma baixa probabilidade de induzir resistência, por serem misturas complexas de diferentes metabólitos (Zimmermann et al. 2021; Chaudhari et al., 2021).

Portanto, os OE são considerados uma alternativa eficiente, ecologicamente correta, mais sustentável e menos tóxica para o controle de pragas, em comparação com os inseticidas sintéticos (Chaudhari et al., 2021; Mssillou et al. 2022).

2.4. *Eplingiella fruticosa*

Eplingiella fruticosa (Salzm. ex Benth.) Harley & J.F.B. Pastore é uma planta aromática, pertencente à família Lamiaceae, popularmente conhecida como “alecrim do tabuleiro”, “alecrim do campo” e “alecrim do vaqueiro” (Beserra-Filho et al., 2019; Melo et al., 2020; Oliveira et al., 2021). A planta pode ser encontrada nas formas de arbusto ou subarbusto, com folhas pequenas e de coloração verde-musgo (Figura 4A), característica de plantas xeromórficas adaptadas a condições áridas e semiáridas (Flora do Brasil, 2020).

Figura 4. *Eplingiella fruticosa*. (A) Folhas; (B) Flores; (C) Inflorescências; (D) Sementes.



Fonte: A: Autora (2024). B e C: Monteiro; Melo (2020). D: Silva, D. C. (2017).

As folhas possuem lâmina foliar com comprimento variando entre 12 a 15 mm e largura entre 6 a 10 mm, além de um pecíolo de até 3 mm. As flores são zigomorfas, apresentando um tubo fortemente curvado e lóbulos subulados não

clavados e túbulo glabro (Figura 4B), sendo essa a característica que a diferencia das outras espécies do gênero. Suas flores são de cor azul-violeta. A planta também possui inflorescências do tipo cimosa pedunculada (Figura 4C), com brácteas foliáceas. Suas sementes são estreitas, em forma de elipse (Figura 4D), de coloração castanho-escuro, tornando-se muito viscosas quando molhadas (Harley; Pastore, 2012; Santos, 2016; Flora do Brasil, 2020).

A espécie é considerada uma planta endêmica e nativa do Brasil, podendo ser encontrada nos domínios fitogeográficos da Caatinga e Mata Atlântica, com ocorrência observada na região Nordeste nos estados de Alagoas, Bahia, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe (Harley, 2014; Silva, 2017; Flora do Brasil, 2020). Anteriormente, a espécie era descrita cientificamente como *Hyptis fruticosa*, contudo após estudos moleculares e morfológicos, foi reclassificada taxonomicamente como do gênero *Eplingiella*, juntamente com mais duas espécies (*E. cuniloides* e *E. brightoniae*, estas ocorrendo apenas no estado da Bahia) (Menezes et al., 2007; Santos et al., 2007; Silva et al., 2008).

No Nordeste do Brasil, as folhas de *E. fruticosa* são amplamente utilizadas como planta medicinal para o tratamento de dores em forma de infusão (Agra et al., 2008; Santos; Andrade; Silva, 2016). O extrato etanólico de suas folhas apresentou atividade antinociceptiva, inibindo a propagação da dor orofacial de nervos periféricos e centrais de camundongos (Lima et al., 2013), e atividades antioxidante e anti-inflamatória, ao inibir a formação de edema e migração de leucócitos para a cavidade peritoneal em ratos (Andrade et al., 2010).

Os OEs obtidos a partir de suas folhas são ricos em terpenos e apresentam algumas atividades biológicas descritas, como atividade antinociceptiva (Menezes et al., 2007) e efeitos cardiovasculares positivos em ratos (Santos et al., 2007). Quando associado a β -ciclodextrina, foi observado perfil neuroprotetor em modelo de doença de Parkinson em camundongos (Beserra-Filho et al., 2019) e efeito anti-hiperalgésico em dor crônica (Melo et al., 2020). O OE também apresentou ação inseticida em larvas de *Aedes aegypti* L., 1762 (Silva et al., 2008) e em operários de *Acromyrmex balzani* Emery, 1890 (Silva et al., 2019).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

- Analisar a composição química e avaliar a atividade inseticida do óleo essencial de folhas de *Eplingiella fruticosa* (Salzm. Ex Benth) Harley & J.F.B. Pastore sobre *Sitophilus zeamais* (Motschulsky, 1885).

3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar o óleo essencial obtido de folhas de *E. fruticosa* quanto a sua composição química;
- Avaliar a toxicidade de contato e ingestão do óleo essencial de *E. fruticosa* sobre adultos de *S. zeamais*;
- Avaliar a atividade inseticida do composto majoritário em sua proporção encontrada na composição química do óleo puro.

4. RESULTADOS

Os resultados dessa pesquisa são apresentados na forma de artigo.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE INSETICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE FOLHAS DE *Eplingiella fruticosa* (Salzm. Ex Benth) Harley & J.F.B. Pastore SOBRE *Sitophilus zeamais* Mots., 1855 (Coleoptera: Curculionidae)

RESUMO: *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae), comumente conhecido como "gorgulho-do-milho", é uma praga primária significativa que causa danos quantitativos e qualitativos a diversos grãos armazenados. O uso excessivo de inseticidas sintéticos e o surgimento de populações de pragas resistentes a eles tornaram necessário explorar novos inseticidas que sejam eficazes contra as pragas e menos prejudiciais ao meio ambiente e às espécies não alvo. Os óleos essenciais surgiram como alternativas ecológicas aos inseticidas sintéticos porque são biodegradáveis e têm pouco ou nenhum efeito adverso sobre o meio ambiente. *Eplingiella fruticosa* é um arbusto amplamente utilizado pela população do Nordeste do Brasil como planta medicinal para o tratamento de dores. É comumente conhecido como "alecrim do campo" e apresenta uma grande variação na composição química dos óleos essenciais produzidos em suas folhas. Este estudo investigou a atividade inseticida do óleo essencial das folhas de *Eplingiella fruticosa* sobre *Sitophilus zeamais*, assim como analisou sua composição química, com ênfase na investigação da eficácia do composto majoritário em sua proporção observada da composição do óleo puro. A análise cromatográfica identificou 21 compostos, com destaque para o 1,8-Cineol (23,58%), seguido pelo (*E*)-Cariofileno (14,22%) e α -Pineno (7%) e espatulenol (6,79%). No ensaio de toxicidade por contato, o óleo essencial apresentou valores de CL₅₀ e CL₉₀ de 2,98 e 5,81 mg/mL, respectivamente, após 24 horas, e de 1,94 e 4,28 mg/mL, respectivamente, após 48 horas. O composto majoritário (1,8-cineol) causou uma mortalidade de 24% pela via de contato quando avaliado em sua concentração presente no óleo puro. A ingestão do óleo provocou mortalidade total dos insetos adultos em todas as concentrações testadas, sendo a menor concentração de 4,15 mg/mL. Este estudo demonstrou que o óleo essencial de *E. fruticosa* possui potencial para o desenvolvimento de inseticidas botânicos.

PALAVRAS-CHAVE: *Eplingiella fruticosa*, gorgulho-do-milho, inseticidas botânicos, óleos essenciais.

ABSTRACT: *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae), commonly known as the 'maize weevil', is a significant primary pest that causes quantitative and qualitative damage to various stored grains. The excessive use of synthetic insecticides and the emergence of insect-pest populations resistant to them have made it necessary to explore new insecticides that are effective against pests and least harmful to the environment and non-target species. Essential oils have emerged as eco-friendly alternatives to synthetic insecticides because they are

biodegradable and have little or no adverse effects on the environment. *Eplingiella fruticosa* is a shrub widely used by the population of Northeastern Brazil as a medicinal plant for the treatment of pain. It is commonly known as 'alecrim do campo' and has a wide variation in the chemical composition of the essential oils produced in its leaves. This study aims to evaluate the insecticidal activity of essential oil from the leaves of *E. fruticosa* against *S. zeamais*, as well as analyzed its chemical composition, with emphasis on investigating the efficacy of the major compound in its observed proportion of the pure oil composition. Chromatographic analysis identified 21 compounds, with 1,8-Cineole (23.58%), (*E*)-Caryophyllene (14.22%), α -Pinene (7%) and Spatulanol (6.79%) being the major components. In the contact toxicity assay, the essential oil exhibited LC_{50} and LC_{90} values of 2.98 and 5.81 mg/mL, respectively, after 24 hours, and 1.94 and 4.28 mg/mL, respectively, after 48 hours. The major compound (1,8-cineole) caused 24% mortality via contact at its concentration present in the pure oil. Ingestion of the oil resulted in complete mortality of adult insects at all tested concentrations, including the lowest concentration of 4.15 mg/mL. This study demonstrates that essential oil of *E. fruticosa* has the potential for the development of botanical insecticide.

KEYWORDS: *Eplingiella fruticosa*, maize weevil, botanical insecticides, essential oils.

INTRODUÇÃO

O gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) é a praga mais importante e destrutiva de produtos armazenados, afetando principalmente grãos de milho, mas também podem causar danos significativos em grãos como: arroz, trigo, sorgo, cevada e feijão, frutas e produtos alimentícios industrializados (Yuya et al., 2009; Han et al., 2017; Oliveira et al., 2020).

O ataque desse inseto-praga pode ocasionar entre 15 e 30% da perda anual de grãos de milho durante os períodos de pré e pós-colheita. Além disso, os grãos e sementes danificados tendem a apresentar alterações no odor, sabor, perda de valor nutricional e da massa do grão, desvalorização comercial e redução da taxa germinativa de sementes (Tefera et al., 2011; Gautam et al., 2021).

O controle de *S. zeamais* é realizado por métodos físicos (como aeração e regulação da temperatura ambiente) e por métodos químicos, realizados através de inseticidas (como piretroides, organofosforados e fosfina). Estes últimos são amplamente reconhecidos por sua alta eficiência e aplicabilidade superior em comparação aos métodos físicos (Phillips; Throne, 2010; Boyer et al., 2012). No

entanto, o uso excessivo desses inseticidas passou a induzir a resistência de populações de *S. zeamais*, além de acarretar efeitos adversos para o meio ambiente, saúde humana e dos animais (Derera et al., 2014; Mossa et al., 2018).

Por isso, métodos alternativos para o controle de insetos-pragas estão sendo explorados, como por exemplo, a utilização de extratos vegetais e proteínas (lectinas) (Martins et al., 2022; Albuquerque et al., 2020; Oliveira et al., 2020), nematoides e fungos entomopatogênicos (Mbata et al., 2018), e óleos fixos e essenciais (Barros et al., 2022; Achimón et al., 2022). Os óleos essenciais (OEs) destacam-se pelo seu alto potencial como biopesticidas, pois atuam por múltiplos mecanismos bioquímicos e fisiológicos nos insetos-praga, conferindo-lhes uma ampla gama de atividades inseticidas. Os OEs são biodegradáveis, o que reduz o impacto ambiental e, significativamente, não induzem resistência nos insetos devido à complexa mistura de diversos componentes bioativos presentes em sua composição (Chaudhari et al., 2021; Lima et al., 2021). Esse perfil multifacetado torna os OEs uma alternativa promissora e sustentável para o manejo integrado de pragas, contribuindo para a redução da dependência de pesticidas sintéticos (Achimón et al., 2022).

Eplingiella fruticosa (Salzm. ex Benth.) Harley & J.F.B. Pastore é um arbusto aromático pertencente à família Lamiaceae, conhecido popularmente como “alecrim do tabuleiro”, “alecrim do campo” e “alecrim do vaqueiro” (Beserra-Filho et al., 2019; Melo et al., 2020; Oliveira et al., 2021). Endêmica do semiárido brasileiro, a espécie pode ser encontrada nos estados de Alagoas, Bahia, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe (Flora do Brasil, 2020). Tradicionalmente utilizada pela população local para o tratamento de dores e infecções respiratórias (Agra et al., 2008; Oliveira et al., 2021), *E. fruticosa* tem sido objeto de estudos que destacam seu potencial bioativo, incluindo propriedades antinociceptivas (Menezes et al., 2007), efeitos cardiovasculares positivos (Santos et al., 2007), propriedades neuroprotetoras (Beserra-Filho et al., 2019) e ações anti-hiperalgésicas (Melo et al., 2020) atribuídas ao OE de suas folhas.

A composição química do OE de *E. fruticosa* apresenta grande variação, sendo influenciada por diversos fatores, como variações genéticas, interações bióticas e fatores abióticos como sazonalidade, temperatura e luminosidade (Franco et al., 2011a, b; Silva et al., 2017, 2018). O objetivo do presente estudo foi avaliar tanto a composição química quanto a atividade inseticida do óleo essencial das

folhas de *E. fruticosa* sobre o inseto-praga *S. zeamais*, incluindo a investigação do efeito do composto majoritário na concentração observada na composição do óleo puro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta do Material Botânico e Extração do Óleo Essencial

As folhas de *E. fruticosa* foram coletadas em setembro de 2022 no Parque Nacional do Catimbau (Buíque, Pernambuco, Brasil) com autorização (nº. 72024) do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). A extração do óleo essencial foi realizada no Laboratório de Bioquímica de Proteínas (BIOPROT), do Departamento de Bioquímica da Universidade Federal de Pernambuco, através do processo de hidrodestilação em um aparelho do tipo Clevenger. Após a coleta, as folhas frescas de *E. fruticosa* foram trituradas e em seguida, submetidas ao processo de hidrodestilação por 2 h sob a temperatura de 100 °C. O óleo essencial obtido foi coletado e armazenado em frasco do tipo âmbar, hermeticamente fechado e mantido sob refrigeração constante. Posteriormente, foi realizada a determinação do rendimento (m/m) do óleo essencial, através da seguinte fórmula: $To = (Vo/Bm) \times 100$, onde, To é o teor de óleos essenciais em base úmida, Vo é o volume do óleo essencial obtido após o processo de extração e Bm é o valor de biomassa vegetal utilizada no processo de extração do óleo essencial (Santos et al., 2004).

Caracterização do Óleo Essencial

Para a caracterização do óleo essencial de *E. fruticosa* foi preparada uma solução do óleo essencial utilizando hexano com alto grau de pureza, 99% (Sigma-Aldrich, EUA). Alíquotas de 1 µL dessa solução foram submetidas à análise via cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas, para identificação dos compostos presentes nas amostras, e cromatografia gasosa, para a quantificação. As condições de análise basearam-se em Santos *et al.* (2012), com algumas modificações. O equipamento utilizado nas análises via GC-MS é do tipo quadrupolo Agilent, modelo 5977B, equipado com uma coluna capilar de sílica fundida HP-5ms não polar (Agilent J&W) (30 m × 0,25 mm i. d.; espessura do filme

0,25 mm). O gás utilizado para arraste foi o hélio, com uma taxa de fluxo total de 0,225 L/min. As temperaturas do injetor e do detector foram mantidas em 250 °C e 280 °C, respectivamente. A programação de temperatura do forno consistiu em iniciar em 40 °C, manter por 1 minuto e, em seguida, aumentar para 300 °C a uma taxa de 6 °C/minuto. Esta temperatura final foi mantida por 6 min. As alíquotas de 1 µL de cada amostra foram introduzidas individualmente na coluna com o injetor utilizando um *split* de 1:200. O potencial de ionização foi de 70 eV, enquanto o intervalo de varredura foi de m/z 40 a 550 com uma taxa de 0,5 varredura por segundo. Nestas condições também foi injetado um padrão de hidrocarbonetos C9-C26. A identificação da composição dos óleos essenciais utilizou os tempos de retenção dos compostos das amostras e daqueles presentes no padrão de hidrocarbonetos para o cálculo do índice de retenção de Kratz (Van den Dool; Kratz, 1963), comparando-se os índices calculados para cada composto com os respectivos valores na literatura (Adams 2007), também avaliando a similaridade dos espectros de massa obtidos experimentalmente com aqueles presentes na literatura (Adams, 2007) e em bibliotecas (NIST, WILEY). A quantidade relativa dos compostos identificados foi obtida através de cromatografia gasosa com detector de ionização em chama. O equipamento utilizado nas análises foi o TRACE GC Ultra (Thermo Scientific), equipado com uma coluna DB-5 não-polar (60 m × 0,25 mm i. d.; espessura do filme 0,25 mm) utilizando as mesmas condições de análises via GC-MS. A quantificação foi realizada em triplicata, obtendo-se uma média para os teores de cada composto, com respectivos desvios padrões, a partir da área relativa dos picos nos cromatogramas, sendo essa área associada à composição relativa dos compostos presentes nas amostras de óleos essenciais.

Inseto

Criação de *Sitophilus zeamais*

As colônias de *S. zeamais* são mantidas no Insetário do BIOPROT em recipientes de vidro (1 L) cobertos com tecido poroso, para permitir as trocas gasosas, mantidos em incubadora de demanda biológica de oxigênio (B.O.D.) sob temperatura de 28 ± 2 °C, umidade relativa (UR) de $70 \pm 10\%$ e escotofase de 24 h.

Os insetos são alimentados com grãos de milho secos e limpos, sem contaminação por outras espécies de insetos e cultivo sem uso de inseticidas químicos sintéticos.

Bioensaios com *Sitophilus zeamais*

Avaliação da toxicidade por contato

Os bioensaios de toxicidade por contato foram realizados em placas de Petri (90 x 15 mm). Inicialmente, 0,5 µL do óleo essencial foram aplicados sobre adultos de *S. zeamais*, nas concentrações de 2,42, 4,03, 8,07, 12,11 e 16,14 mg/mL. Adicionalmente, foram aplicados 0,5 µL do composto majoritário observado na composição química do óleo essencial, dissolvido em Tween 80 a 1%, na mesma concentração em que foi encontrado no óleo puro. Para o tratamento controle, foi aplicado 0,5 µL de Tween 80 a 1%. Os ensaios foram realizados em quintuplicata, utilizando 20 insetos por repetição. Após a aplicação do óleo, o tempo de morte dos indivíduos foi cronometrado. Posteriormente foi estabelecido o tempo médio de mortalidade para cada concentração e as concentrações letais necessárias para causar 50% (CL₅₀) e 90% (CL₉₀) de mortalidade foram estimadas.

Avaliação da toxicidade por ingestão

A avaliação da toxicidade por ingestão (Ribeiro et al., 2020) foi realizada em placas de Petri (90 x 15 mm) contendo discos de uma dieta artificial, preparados com diferentes concentrações do óleo essencial de *E. fruticosa* (4,15, 6,25, 8,325, 10,4 e 12,5 mg/mL). O controle foi preparado com farinha de trigo sem o óleo essencial. Os ensaios foram realizados em quadruplicata. Inicialmente foi preparada uma dieta artificial com 4 mL do óleo essencial de *E. fruticosa*, em diferentes concentrações, e 2 g de farinha de trigo sem fermento. As misturas foram homogeneizadas e posteriormente, foram preparados 5 discos em cada placa de Petri, com 200 µL cada. As placas de Petri contendo os discos foram levadas para a estufa a 50 °C por 5 h para a secagem dos discos e em seguida, o peso das placas de Petri foi registrado. Insetos com peso determinado (20 indivíduos) foram adicionados às placas de Petri. Os ensaios foram realizados em câmaras climáticas do tipo BOD sob temperatura de 28 ± 2 °C, escotofase de 24h e UR de 70 ± 10%. Após 7 dias de

experimento, foram avaliados o peso das placas contendo a dieta artificial, o peso dos insetos, bem como, a taxa de mortalidade.

Análise estatística

Os resultados foram expressos como média $\pm$ desvio padrão. Também foram realizadas, análise de variância (ANOVA), seguida de pós-teste de Tukey para comparação múltipla de médias. Os resultados que apresentaram um nível de significância de $p < 0,05$ foram considerados significantes. As taxas de mortalidade obtidas nos ensaios foram submetidas à análise de probitos para a determinação das concentrações letais (CL_{50} a CL_{90}).

RESULTADOS

O óleo essencial extraído de folhas de *E. fruticosa* apresentou rendimento de 5,8%. A análise por GC-MS revelou a presença de 41 compostos bioativos (Tabela 1) correspondendo a 90,53% da composição química do óleo essencial, sendo 40,55% de monoterpenos, 50,57% de sesquiterpenos e 0,24% de diterpenos. Os compostos majoritários foram o 1,8-Cineol (23,58%), (*E*)-Cariofileno (14,22%), α -Pineno (7%) e Epatulenol (6,79%).

Tabela 1. Composição química do óleo essencial de *Eplingiella fruticosa* (Salzm. Ex Benth) Harley & J.F.B. Pastore.

Composto	Índice de retenção calculado	Índice de retenção da literatura	Quantidade relativa (%)	Desvio padrão (%)
α -Tujeno	924	924	0,15	0,01
α-Pineno	930	932	7,00	0,34
Canfeno	944	946	0,24	0,03
Sabineno	970	969	0,89	0,04
β - Pineno	972	974	5,86	0,08
Mirceno	989	988	0,62	0,02
δ -3-Careno	1006	1008	0,09	0,01
1,8-Cineol	1026	1026	23,58	1,05
m-Cimeneno	1080	1082	0,26	0,01
Linalool	1090	1095	0,16	0,08
trans-Pinocarveol	1129	1135	0,11	0,06
Cânfora	1134	1141	0,44	0,09
Terpinen-4-ol	1171	1174	0,28	0,08
α -Terpineol	1185	1186	0,28	0,22
Carvacrol	1299	1298	0,09	0,04

α -Copaeno	1373	1374	1,36	0,30
β -Elemeno	1389	1389	1,56	0,35
(E)-Cariofileno	1417	1417	14,22	0,45
α -Guaieno	1436	1437	0,45	0,04
cis-Muuroala-3,5-dieno	1443	1448	0,33	0,21
trans-Muuroala-3,5-dieno	1447	1451	0,28	0,35
α -Humuleno	1451	1452	2,54	0,08
allo-Aromadendreno	1457	1458	0,46	0,34
Germacreno D	1479	1480	1,78	0,50
Biciclogermacreno	1495	1500	5,03	0,16
γ -Cadineno	1512	1513	0,59	0,18
δ -Cadineno	1521	1522	0,09	0,06
Trans-Cadina-1,4-dieno	1530	1533	0,10	0,05
α -Cadineno	1535	1537	2,82	0,15
Elemol	1547	1548	0,20	0,19
Germacreno B	1554	1559	0,39	0,45
Espatuleno	1577	1577	6,79	0,26
Óxido de cariofileno	1582	1582	3,14	0,11
1,10-di-epi-Cubenol	1613	1618	0,57	0,48
γ -Eudesmol	1629	1630	1,31	0,52
α -Muurolol	1644	1644	1,03	0,52
β -Eudesmol	1648	1649	0,61	0,46
α -Cadinol	1652	1652	4,27	0,31
α -Bisabolol	1680	1685	0,21	0,10
Shyobunol	1688	1688	0,05	0,02
13-epi-Óxido de Manool	2013	2009	0,24	0,01
Total identificado (%) : 90,53				
Fonte: Autor				

O óleo essencial de folhas de *E. fruticosa* apresentou toxicidade por contato em adultos de *S. zeamais*. A maior concentração testada (16,14 mg/mL) promoveu a mortalidade de toda a população dos insetos em 2,1 min. As concentrações letais (CL_{50} e CL_{90}) foram determinadas para os períodos de 24 e 48 horas e foram de 2,98 e 5,81 mg/mL e de 1,94 e 4,28 mg/mL, para as CL_{50} e CL_{90} , respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Concentrações letais (CLs) do óleo essencial de folhas de *E. fruticosa* sobre adultos de *S. zeamais*.

Concentrações Letais (CLs)	Dose em mg/mL (24h)	Dose em mg/mL (48h)
10	1,53	0,71
20	1,92	1,01
30	2,27	1,29
40	2,61	1,60
50	2,98	1,94
60	3,40	2,34
70	3,92	2,81

80	4,62	3,40
90	5,81	4,28

Fonte: Autor

O composto majoritário, 1,8-cineol (eucaliptol), também foi avaliado quanto a sua atividade inseticida na sua concentração observada na composição do óleo puro (23,58%), causando a mortalidade de 24% da população dos insetos após 48 h por via de contato.

Quando incorporado à dieta dos insetos, o óleo essencial extraído das folhas de *E. fruticosa* induziu mortalidade de toda a população de *S. zeamais* em todas as concentrações testadas, após 7 dias de tratamento, incluindo a menor concentração de 4,15 mg/mL.

DISCUSSÃO

Composição Química do óleo

A composição química do óleo essencial de folhas de *E. fruticosa* é bastante variada na literatura, onde são observados, principalmente, os compostos 1,8-cineol (4,7% - 18,7%), α -pineno (5,27% - 12,32%), β -pineno (5,10% - 8,56%), β -cariofileno (4,9% - 13%), (*E*)-cariofileno (14,16%), espatulenol (10,23%), biciclogermacreno (7,31% - 12,68%), cânfora (3,6% - 11,4%), limoneno (7,21% - 9,44%) e óxido de cariofileno (4,4% - 8,7%) (Menezes et al., 2007; Silva et al. 2008; Franco et al., 2011; Silva et al., 2019; Melo et al. 2020). No presente estudo, esses compostos também foram identificados, embora em proporções diferentes

Silva et al. (2017) analisaram diferentes espécimes de *E. fruticosa* de uma mesma região quanto a sua diversidade genética e associaram seus resultados, de diversidade intermediária, com o levantamento dos estudos que analisaram a composição química do óleo essencial da espécie. Eles concluíram que a composição química e o rendimento do óleo essencial de *E. fruticosa* são fortemente influenciados por fatores genéticos. Além disso, outros parâmetros, como condições geográficas (sazonalidade, umidade, solo), o método de extração escolhido e parte da planta utilizada para a extração, também exercem influência significativa sobre a composição ou concentração dos metabólitos presentes nos óleos essenciais (como a

quantidade de monoterpenos e sesquiterpenos) (Franco et al., 2011; Melo et al., 2020).

Silva et al. (2019), ao analisarem a atividade inseticida de quatro genótipos do óleo essencial de *E. fruticosa*, observaram diferenças na porcentagem dos tipos de terpenos em sua composição, onde os genótipos chamados EFRU01 e EFRU02 apresentaram 45,7% e 41,4% de monoterpenos, enquanto EFRU03 e EFRU04 apresentaram 80,5% e 84,7% de sesquiterpenos. Essas variáveis podem influenciar as vias metabólicas e a síntese de determinados compostos em detrimento de outros (Darjazi, 2013; Hussain et al., 2008 apud Silva et al., 2019).

Toxicidade por contato

A rápida ação tóxica do OE das folhas de *E. fruticosa* por meio de contato sobre *S. zeamais* sugere que os compostos presentes na composição química do óleo são absorvidos pela quitina ou exoesqueleto dos insetos, interferindo nas trocas gasosas. Este mecanismo é característico de substâncias com ação inseticida por contato (Côrrea; Salgado, 2011; Santos et al., 2017, 2019), pois a absorção dos compostos voláteis pela cutícula dos insetos pode desestabilizar as membranas celulares e bloquear os espiráculos, resultando em asfixia e morte rápida.

Atividade inseticida de OE das folhas de *E. fruticosa* já foi demonstrada sobre larvas de *Aedes aegypti* L, 1762. O estudo identificou compostos majoritários como 1,8-cineol, espatulenol, β -cariofileno, biciclogermacreno e cânfora, com uma CL_{50} de 502 ± 2.70 ppm (Silva et al., 2008). Além disso, o OE também mostrou eficácia contra operários da formiga *Acromyrmex balzani* Emery, 1890, em testes que envolveram quatro genótipos diferentes de *E. fruticosa* (Silva et al., 2019). Entre os genótipos avaliados, aqueles com CL_{50} de 4,54 e 4,87 μ L/L foram os mais eficazes, destacando-se pela menor CL_{50} e pela maior concentração de monoterpenos. Em contrapartida, genótipos com maior concentração de sesquiterpenos apresentaram CL_{50} de 6,60 e 6,78 μ L/L.

Estudos sobre a ação rápida e tóxica de outros óleos essenciais corroboram esses achados. Ribeiro et al. (2020) avaliaram a atividade inseticida do OE de *Croton rudolphianus* Müll. em *S. zeamais*, obtendo valores de CL_{50} de 70.64 μ L/mL. Semelhantemente, Santos et al. (2019) investigaram o efeito do OE de *Croton pulegioidorus* sobre seis diferentes populações de *S. zeamais*, observando uma

variação nas CL_{50} das populações entre 3,40 a 14,49 $\mu\text{L/g}$ de milho, atribuída à variabilidade na tolerância e suscetibilidade dos insetos a inseticidas.

Esses achados destacam a importância de entender os mecanismos de ação dos OEs e a variação na eficácia entre diferentes populações de pragas. A composição química dos óleos, particularmente a concentração de monoterpenos e sesquiterpenos, influencia significativamente a eficácia inseticida (Silva et al., 2019).

O ensaio inseticida realizado neste estudo mostrou que o 1,8-cineol, embora seja o principal composto majoritário, não é o principal responsável pela atividade inseticida do OE de *E. fruticosa*, já que resultou em apenas 24% de mortalidade dos insetos. Isso sugere que a eficácia do OE pode ser atribuída ao sinergismo entre os diferentes compostos presentes (majoritários e minoritários), e não apenas ao principal componente majoritário (Chaudhari et al., 2021).

Os compostos majoritários identificados no OE de *E. fruticosa* demonstram diversas propriedades biológicas que podem explicar sua atividade inseticida. O 1,8-cineol, um monoterpeno, é conhecido por sua atividade larvicida e fumigante, além de inibir o citocromo P450 em *Musca domestica* (Rossi; Palacios, 2015; Gharib et al., 2024). Também apresenta toxicidade por ingestão e fumigação em *S. zeamais* e *Nasutitermes corniger* (Lima et al., 2021), e inibe a enzima acetilcolinesterase (AChE) (Kahkeshani et al., 2018). O α -pineno, outro monoterpeno, demonstrou toxicidade por contato em *Tribolium castaneum*, *Lasioderma serricorne* e *Liposcelis bostrychophila* (Sun et al., 2020). Entre os sesquiterpenos, o (*E*)-cariofileno mostrou atividade ovicida contra *A. aegypti* (Silva et al., 2015), enquanto o espatulenol, apresentou atividade inseticida sobre o pulgão *Metopolophium dirhodum* Walker, 1849 (Benelli et al., 2020).

A interação sinérgica desses compostos pode potencializar a eficácia inseticida do OE de folhas de *E. fruticosa*. Este fenômeno destaca a importância de considerar a interação entre todos os componentes dos OEs para o desenvolvimento de inseticidas naturais eficazes (Abbsassy; Abdelgaleil; Rabie, 2009; Tak; Isman, 2017; Johnson et al., 2022).

Toxicidade por ingestão

Os resultados dos ensaios de toxicidade por ingestão em *S. zeamais* revelaram que a via de ingestão é mais eficaz, pois induziu uma mortalidade rápida

dos insetos em todas as concentrações. Isso pode ser explicado pelo fato de que, quando ingerido, o OE atua diretamente no trato digestivo do inseto, evitando a barreira da quitina e do exoesqueleto, facilitando sua eficácia tóxica (Achimón et al., 2022).

Comparado a outros estudos, os resultados deste trabalho destacam uma eficácia superior. Lira et al. (2015) reportaram que o OE de inflorescências de *Alpinia purpurata* K. Schum. não causou mortalidade significativa em *S. zeamais* nas concentrações testadas (18,75 e 37,5 mL/g), embora tenha levado à perda de biomassa e valores negativos na conversão alimentar. Por outro lado, Pimentel et al. (2022) observaram que o OE de *Piper corcovadensis* apresentou uma CL_{50} de 16.04 mg/g e foi eficaz em reduzir a biomassa e inibir atividades de tripsina e α -amilase no gorgulho-do-milho. Em contraste, o OE de folhas *E. fruticosa* relatado no presente estudo, provocou mortalidade total em concentrações mais baixas, sugerindo um potencial inseticida mais acentuado. Esse desempenho pode ser atribuído à sua composição química, que pode ter propriedades mais potentes ou mecanismos de ação mais eficientes comparados aos óleos analisados por Lira et al. (2015) e Pimentel et al. (2022).

CONCLUSÃO

O óleo essencial extraído das folhas de *E. fruticosa* demonstrou ação inseticida sobre *S. zeamais*. Quando aplicado por contato, o óleo exibiu uma ação rápida e tóxica, além de induzir a mortalidade de *S. zeamais* quando incorporado na dieta dos insetos. O estudo revelou que o 1,8-cineol não foi o principal responsável pela ação inseticida do OE, em vez disso, foi possivelmente o sinergismo entre os compostos majoritários e minoritários que contribuíram para a eficácia do óleo. Esses resultados indicam que o OE de folhas de *E. fruticosa* possuem um potencial promissor para o desenvolvimento de um inseticida botânico contra *S. zeamais*.

REFERÊNCIAS

- ABBASSY, M.A.; ABDELGALEIL, S.A.M.; RABIE, R.Y.A. Insecticidal and synergistic effects of *Majorana hortensis* essential oil and some of its major constituents. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v. 131, n. 3, p. 225-232, 2009.

- ACHIMÓN, F.; PESCHIUTTA, M.L.; BRITO, V.D.; BEATO, M.; PIZZOLITTO, R.P.; ZYGADLO, J.A.; ZUNINO, M.P. Exploring Contact Toxicity of Essential Oils against *Sitophilus zeamais* through a Meta-Analysis Approach. **Plants**, v. 11, n. 22, p. 3070, 2022.
- ADAMS, R.P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/quadrupole mass spectroscopy**. 4 ed. Allured publishing corporation, 2007.
- AGRA, M. F.; SILVA, K.N.; BASÍLIO, I.J.L.D.; FREITAS, P.F.; FILHO, J.M.B. Survey of medicinal plants used in the region Northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 18, n. 3, p. 472–508, 2008
- ALBUQUERQUE, L. P.; PROCÓPIO, T.F.; GUEDES, C.C.S.; PONTUAL, E.V.; PAIVA, P.M.G.; NAPOLEÃO, T.H. Antinutritional effects of the chitin-binding lectin from *Microgramma vacciniifolia* rhizome (MvRL) on *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 88, p. 101652, 2020.
- BARROS, F. A.; RADUNZ, M.; SCARIOT, M.A.; CAMARGO, T.M.; NUNES, C.F.P.; SOUZA, R.R.; GILSON, I.K.; HACKBART, H.C.S.; RADUNZ, L.L.; OLIVEIRA, J.V.; TRAMONTIN, M.A.; RADUNZ, A.L.; MAGRO, J.. Efficacy of encapsulated and non-encapsulated thyme essential oil (*Thymus vulgaris* L.) in the control of *Sitophilus zeamais* and its effects on the quality of corn grains throughout storage. **Crop Protection**, v. 153, p. 105885, 2022.
- BENELLI, G.; PAVELA, R.; DRENAGGI, E.; DESNEUX, N.; MAGGI, F. Phytol, (E)-nerolidol and spathulenol from *Stevia rebaudiana* leaf essential oil as effective and eco-friendly botanical insecticides against *Metopolophium dirhodum*. **Industrial crops and products**, v. 155, p. 112844, 2020.
- BESERRA-FILHO, J.I.A; MACÊDO, A.M.; LEÃO, A.H.F.F.; BISPO, J.M.M.; SANTOS, J.R.; MELO, A.J.O.; MENEZES, P.P.; DUARTE, M.C.; ARAÚJO, A.A.S.; SILVA, R.H.; JÚNIOR, L.J.Q.; RIBEIRO, A.M. *Eplingiella fruticosa* leaf essential oil complexed with β -cyclodextrin produces a superior neuroprotective and behavioral profile in a mice model of Parkinson's disease. **Food and Chemical Toxicology**, v.124, p. 17-29, 2019.
- BOYER, S.; ZHANG, H.; LEMPÉRIÈRE, G. A review of control methods and resistance mechanisms in stored-product insects. **Bulletin of entomological research**, v. 102, n. 2, p. 213-229, 2012.

- CHAUDHARI, A. K.; SINGH, V. K.; KEDIA, A.; DAS, S.; DUBEY, N. K. Essential oils and their bioactive compounds as eco-friendly novel green pesticides for management of storage insect pests: prospects and retrospects. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 18918-18940, 2021.
- DERERA, J.; PIXLEY, K.V.; GIGA, D.P.; MAKANDA, I. Resistance of maize to the maize weevil: III. Grain weight loss assessment and implications for breeding. **Journal of Stored Products Research**, v. 59, p. 24-35, 2014.
- FLORA DO BRASIL. 2020. *Eplingiella* in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: . Acesso em: 12 de maio de 2024
- FRANCO, C. R. P.; ALVES, P.B.; ANDRADE, D.M.; JESUS, H.C.R; SILVA, E.J.S.; SANTOS, E.A.B; ANTONIOLLI, A.R.; JÚNIOR, L.J.Q. Essential oil composition and variability in *Hyptis fruticosa*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 21, p. 24-32, 2011a.
- FRANCO, C. R. P.; ANTONIOLLI, A.R.; GUIMARÃES, A.G.; ANDRADE, D.M.; JESUS, H.C.R.; ALVES, P.B.; BANNET, L.E.; PATRUS, A.H.; AZEVEDO, E.G.; QUEIROZ, D.B.; JÚNIOR, L.J.Q. Bioassay-guided evaluation of antinociceptive properties and chemical variability of the essential oil of *Hyptis fruticosa*: Antinociceptive property of *Hyptis fruticosa* essential oil. **Phytotherapy research: PTR**, v. 25, n. 11, p. 1693–1699, 2011b.
- FRANSOZO, A.; NEGREIROS-FRANSOZO, M. L. **Zoologia dos invertebrados**. Grupo Gen-Editora Roca Ltda., 2016.
- GAUTAM, J.; LAMSAL, N. A study on maize weevil (*Sitophilus zeamais*) management at farmers' condition in Mid Western Nepal. **Nepalese Journal of Agricultural Sciences**, p. 54, 2021.
- GHARIB, A.M.; EL-SHEWY, A.M.; HAMOUDA, S.S.A.; GAD, H.A.; ABDELGALEIL, S.A.M. Insecticidal, biochemical and histological effects of monoterpenes against *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v.27, n.2, p. 102256, 2024.
- GULLAN, P.J.; CRANSTON, P.S. **Insetos: fundamentos da entomologia**. 5ª edição. Editora Guanabara Koogan. 2017.
- GRIMALDI, D.; ENGEL, M.S. **Evolution of the Insects**. Cambridge University Press. 1ª edição. 2005

- HAN, G.D.; KUM, H.J.; CHUN, Y.S.; NA, J.; KIM, W.. Repellency and attractancy of plant extracts against *Plodia interpunctella* and *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 74, p. 33-35, 2017.
- JOHNSON, A.J; VENUKUMAR, V.; VARGHESE, T.S.; VISWANATHAN, G.; LEELADEVI, P.S.; REMADEVI, R.K.S.; BABY, S. Insecticidal properties of *Clausena austroindica* leaf essential oil and its major constituent, trans-anethole, against *Sitophilus orizae* and *Tribolium castaneum*. **Industrial Crops and Products**, v. 182, p. 114854, 2022.
- KAHKESHANI, N.; HADJIAKHOONDI, A.; NAVIDPOUR, L.; AKBARZADEH, T.; SAFAVI, M.; RAZKENARI, E.K.; KHANAVI, M. Chemodiversity of *Nepeta menthoides* Boiss. & Bohse. essential oil from Iran and antimicrobial, acetylcholinesterase inhibitory and cytotoxic properties of 1,8-cineole chemotype. **Natural product research**, v. 32, n. 22, p. 2745-2748, 2018.
- LIMA, T.A.; BAPTISTA, N.M.Q.; OLIVEIRA, A.P.S.; SILVA, P.A.; GUSMÃO, N.B.; CORREIA, M.T.S.; NAPOLEÃO, T.H.; SILVA, M.V.; PAIVA, P.M.G. Insecticidal activity of a chemotype VI essential oil from *Lippia alba* leaves collected at Caatinga and the major compound (1,8-cineole) against *Nasutitermes corniger* and *Sitophilus zeamais*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 177, p. 104901, 2021.
- LIRA, C. S; PONTUAL, E.V.; ALBUQUERQUE, L.P.; PAIVA, L.M.; PAIVA, P.M.G; OLIVEIRA, J.V.; NAPOLEÃO, T.H.; NAVARRO, D.M.A.F. Evaluation of the toxicity of essential oil from *Alpinia purpurata* inflorescences to *Sitophilus zeamais* (maize weevil). **Crop protection (Guildford, Surrey)**, v. 71, p. 95–100, 2015.
- LIU, Z. L.; GOH, S. H.; HO, S. H. Screening of Chinese medicinal herbs for bioactivity against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst). **Journal of Stored Products Research**, v. 43, n. 3, p. 290-296, 2007.
- MARTINS, J. C.; SILVA, E.M.; SILVA, R.S.; FERREIRA, S.R.; PICANÇO, M.C. Óleo de copaíba e o extrato de Neem podem ser uma alternativa potencial para o controle comportamental do *Sitophilus zeamais*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, 2022.
- MBATA, G. N.; IVEY, C.; SHAPIRO-ILAN, D. The potential for using entomopathogenic nematodes and fungi in the management of the maize

- weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky)(Coleoptera: Curculionidae). **Biological control**, v. 125, p. 39-43, 2018.
- MELO, A. J. O.; HEIMARTH, L.; CARVALHO, A.M.S.; QUINTANS, J.S.S.; SERAFINI, M.R.; ARAÚJO, A.A.S.; ALVES, P.B.; RIBEIRO, A.M.; SHANMUGAN, S.; JÚNIOR, L.J.Q.; DUARTE, M.C. *Eplingiella fruticosa* (Lamiaceae) essential oil complexed with β -cyclodextrin improves its anti-hyperalgesic effect in a chronic widespread non-inflammatory muscle pain animal model. **Food and chemical toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association**, v. 135, n. 110940, p. 110940, 2020.
- MENEZES, I. A. C.; MARQUES, M.S.; SANTOS, T.C.; DIAS, K.S.; SILVA, A.B.L.; MELLO, I.C.M.; LISBOA, A.C.C.D.; ALVES, P.B.; CAVALCANTI, S.C.H.; MARÇAL, R.M.; ANTONIOLLI, A.R. Antinociceptive effect and acute toxicity of the essential oil of *Hyptis fruticosa* in mice. **Fitoterapia**, v. 78, n. 3, p. 192–195, 2007.
- MOSSA, A. T H.; MOHAFRASH, S. M.; CHANDRASEKARAN, N. Safety of natural insecticides: toxic effects on experimental animals. **BioMed research international**, 2018.
- OLIVEIRA, A. P. S.; NETO, A.C.A.; PONTUAL, E.V.; LIMA, T.A.; CRUZ, K.C.V.; COELHO, L.C.B.B.; FERREIRA, M.R.A.; SOARES, L.A.L.; NAPOLEÃO, T.H.; PAIVA, P.M.G. Evaluation of the insecticidal activity of *Moringa oleifera* seed extract and lectin (WSMoL) against *Sitophilus zeamais*. **Journal of stored products research**, v. 87, p. 101615, 2020.
- OLIVEIRA, E. A.; OLIVEIRA, L. M.; LORDELO, M. S.; SALES, R. P. Estudos ecogeográficos de *Eplingiella fruticosa* (Salzm. Ex Benth. Harley& JFB Pastore): Uma espécie medicinal do semiárido do Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. 1-12, 2021.
- PIMENTEL, C. S.; ALBUQUERQUE, B.N.L.; ROCHA, S.K.L.; SILVA, A.S.; SILVA, A.B.V.; NETO, A.C.A.; AGUIAR, J.C.R.O.F.; PAIVA, P.M.G.; PRINCIVAL, J.L.; NAPOLEÃO, T.H.; NAVARRO, D.M.A.F. Insecticidal activity of the essential oil of *Piper corcovadensis* leaves and its major compound (1-butyl-3,4-methylenedioxybenzene) against the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Pest management science**, v. 78, n. 3, p. 1008 -1017, 2022

- PHILLIPS, T. W.; THRONE, J. E. Biorational approaches to managing stored-product insects. **Annual review of entomology**, v. 55, p. 375-397, 2010.
- RIBEIRO, I. A. T. A.; SILVA, R. S.; SILVA, A. G.; MILET-PINHEIRO, P.; PAIVA, P. M. G.; NAVARRO, D. M. D. A. F.; CORREIA, M. T. S. Chemical characterization and insecticidal effect against *Sitophilus zeamais* (maize weevil) of essential oil from *Croton rudolphianus* leaves. **Crop protection**, v. 129, p. 105043, 2020.
- ROSSI, Y.E.; PALACIOS, S.M. Insecticidal toxicity of *Eucalyptus cinerea* essential oil and 1,8-cineole against *Musca domestica* and possible uses according to the metabolic response of flies. **Industrial Crops and Products**, v. 63, p. 133-137, 2015.
- SANTOS, A. S.; ALVES, S.M.; FIGUEIRÊDO, F.J.C.; NETO, O.G.R. **Descrição de sistema e de métodos de extração de óleos essenciais e determinação de umidade de biomassa em laboratório**. 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/402448/1/com.tec.99.pdf>
- SANTOS, M.R.V.; CARVALHO, A. A.; MEDEIROS, I. A.; ALVES, P.B.; MARCHIORO, M.; ANTONIOLLI, A. R. Cardiovascular effects of *Hyptis fruticosa* essential oil in rats. *Fitoterapia*, v. 78, n. 3, p. 186–191, 2007.
- SANTOS, P.E.M.; SILVA, A.B.; LIRA, C.R.I.M.; MATOS, C.H.C.; OLIVEIRA, C.R.F. Contact toxicity of essential oil of *Croton pulegioidorus* Baill on *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Revista Caatinga*, v. 32, n. 2, p. 329-335, 2019
- SANTOS, P.E.M. **Composição química e bioatividade do óleo essencial de *Croton pulegioidorus* Baill. sobre as espécies de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky, 1885) e *Nasutitermes corniger* (Motschulsky, 1855)**. Dissertação (Mestrado em Bioquímica e Fisiologia) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 73, 2021.
- SILVA, W. J.; DÓRIA, G.A.A.; MAIA, R.T.; NUNES, R.S.; CARVALHO, G.A.; BLANK, A.F.; ALVES, P.B.; MARÇAL, R.M.; CAVALCANTI, S.C.H. Effects of essential oils on *Aedes aegypti* larvae: alternatives to environmentally safe insecticides. **Bioresource technology**, v. 99, n. 8, p. 3251–3255, 2008.
- SILVA, R.C.S.; PINHEIRO, P.M.; SILVA, P.C.B.; SILVA, A.G.; SILVA, M.V.; NAVARRO, D.M.A.F.; SILVA, N.H. (*E*)-Caryophyllene and α -Humulene: *Aedes aegypti* Oviposition Deterrents Elucidated by Gas Chromatography-Electrophysiological Assay of *Commiphora leptophloeos* Leaf Oil. **PLoS One**, v. 10, n. 12, p. e0144586, 2015

- SILVA, D. C.; DINIZ, L.E.C.; BLANK, A.F.; NIZIO, D.A.C.; PINTO, J.A.O.; PEREIRA, K.L.G.; ARRIGONI-BLANK, M.F. Assessment of genetic diversity of a native population of *Eplingiella fruticosa*: a plant with therapeutic potential. **Genetics and molecular research: GMR**, v. 16, n. 3, 2017.
- SILVA, D.C.; BLANK, A.F.; NIZIO, D.A.C.; SAMPAIO, T.S.; NOGUEIRA, P.C.L.; BLANK, M.F.A. Chemical diversity of essential oils from native populations of *Eplingiella fruticosa*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, p. 205-214, 2018.
- SILVA, D. C.; ARRIGONI-BLANK, M.F.; BACCI, L.; BLANK, A.F.; FARO, R.R.N.; PINTO, J.A.O.; PEREIRA, K.G.P. Toxicity and behavioral alterations of essential oils of *Eplingiella fruticosa* genotypes and their major compounds to *Acromyrmex balzani*. **Crop protection (Guildford, Surrey)**, v. 116, p. 181–187, 2019.
- SUN, J.; FENG, Y.; WANG, Y.; LI, J.; ZOU, K.; LIU, H.; HU, Y.; XUE, Y.; YANG, L.; DU, S.; WU, Y. Investigation of pesticidal effects of *Peucedanum terebinthinaceum* essential oil on three stored-product insects. **Records of Natural Products**, v. 14, n. 3, p. 189, 2020.
- TAK, J.H.; ISMAN, M.B. Penetration-enhancement underlies synergy of plant essential oil terpenoids as insecticides in the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 42432, 2017.
- TEFERA, T.; KANAMPIU, F.; GROOTE, H.; HELLIN, J.; MUGO, S.; KIMENJU, S.; BEYENE, Y.; BODDUPALLI, P.M.; SHIFERAW, B.; BANZIGER, M. The metal silo: An effective grain storage technology for reducing post-harvest insect and pathogen losses in maize while improving smallholder farmers' food security in developing countries. **Crop protection**, v. 30, n. 3, p. 240-245, 2011.
- VAN DEN DOOL, H. A. N. D.; KRATZ, P. D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **Journal of chromatography**, 1963.
- XIE, Y.S.; BODNARYK, R.P.; FIELDS, P.G.. A rapid and simple flour-disk bioassay for testing substances active against stored-product insects. **Canadian Entomology**, v. 128, p. 865-875, 1996.
- YUYA, A. I.; TADESSE, A.; AZEREFEGNE, F.; TEFERA, T.. Efficacy of combining Niger seed oil with malathion 5% dust formulation on maize against the maize

weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 45, n. 1, p. 67-70, 2009.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo investigou a composição e a eficácia inseticida do OE extraído das folhas de *E. fruticosa* contra o gorgulho-do-milho, *S. zeamais*. A análise química revelou a presença de 41 compostos bioativos, possuindo 40,55% de monoterpenos, 50,57% de sesquiterpenos e 0,24% de diterpenos, com destaque para 1,8-cineol (23,58%), (*E*)-cariofileno (14,22%), α -pineno (7%) e espatulenol (6,79%) como os componentes majoritários.

Os ensaios inseticidas demonstraram que o OE possui uma ação rápida e tóxica quando aplicado por contato, além de induzir a mortalidade de *S. zeamais* quando incorporado à dieta dos insetos. Notavelmente, os resultados indicaram que o 1,8-cineol, apesar de ser um componente significativo, não é o único agente responsável pela ação inseticida. Em vez disso, o sinergismo entre os diversos compostos majoritários e minoritários pareceu ser crucial para a eficácia observada.

Essas descobertas ressaltam o potencial promissor do óleo essencial de *E. fruticosa* para o desenvolvimento de inseticidas botânicos. A utilização de OEs como agentes de controle de pragas oferece uma alternativa sustentável e ecologicamente correta aos inseticidas sintéticos, contribuindo para a redução da resistência a inseticidas e minimizando os impactos ambientais negativos.

REFERÊNCIAS

AGRA, M. F.; SILVA, K.N.; BASÍLIO, I.J.L.D.; FREITAS, P.F.; FILHO, J.M.B. Survey of medicinal plants used in the region Northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 18, n. 3, p. 472–508, 2008.

AHMAD, R.; HASSAN, S.; AHMAD, S.; NIGHAT, S.; DEVI, Y.K.; JAVEED, K.; USMANI, S.; ANSARI, M.J.; ERTURK, S.; ALKAN, M.; HUSSAIN, B. Stored grain pests and current advances for their management. **Postharvest technology-recent advances, new perspectives and applications**, 2021.

ANDRADE, A.M.; OLIVEIRA, J.P.R.; SANTOS, A.L.L.M.; FRANCO, C.R.P.; ANTONIOLLI, A.R.; ESTEVAM, C.S.; THOMAZZI, S.M. Preliminary study on the anti-inflammatory and antioxidant activities of the leave extract of *Hyptis fruticosa* Salzm. ex Benth., Lamiaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, p. 962-968, 2010.

ANTUNES, L.E.G.; DIONELLO, R.G. **Bioecologia de *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1885 (Coleoptera: Curculionidae)**. 2010. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_2/Sitophilus/index.htm>. Acesso em: 17 de junho de 2024.

ANTUNES, L.E.G.; VIEBRANTZ, P.C.; GOTTARDI, R.; DIONELLO, R.G. Características físico-químicas de grãos de milho atacados por *Sitophilus zeamais* durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 615-620, 2011.

ARRAHMAN, A; MIRSAM, H.; DJAENUDDIN, N.; SURIANI; PAKKI, S.; SAENONG, M.S.; SEBAYANG, A. An in-depth study on *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae) pests on corn plants. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1107, n. 1, p. 012060–012060, 2022.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMARM M. Biological effects of essential oils - A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.

BALDOCK, K.C.R.; GODDARD, M.A.; HICKS, D.M.; KUNIN, W.E.; MITSCHUNAS, N.; OSGATHORPE, L.M.; POTTS, S.G.; ROBERTSON, K.M.; SCOTT, A.V.; STONE, G.N.; VAUGHAN, I.P.; MEMMOTT, J. Where is the UK's pollinator biodiversity? The importance of urban areas for flower-visiting insects. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1803, p. 20142849, 2015.

BARROS, F.A.P.; RADUNZ, M.; SCARIOT, M.A.; CAMARGO, T.M.; NUNES, C.F.P.; SOUZA, R.R.; GILSON, I.K.; HACKBART, H.C.S.; RADUNZ, L.L.; OLIVEIRA, J.V.; TRAMONTIN, M.A.; RADUNZ, A.L.; MAGRO, J.D. Efficacy of encapsulated and non-encapsulated thyme essential oil (*Thymus vulgaris* L.) in the control of *Sitophilus zeamais* and its effects on the quality of corn grains throughout storage. **Crop protection**, v. 153, p. 105885, 2022.

BECKER, A.J.; BRAGA, A.; MAGALHÃES, V.; MEDEIROS, L.M.; RAMOS, P.B.; MONSERRAT, J.M.; HEINZMANN, B.M.; SCHMIDT, D.; JUNIOR, W.W.; BALDISSEROTTO, B. Examination of the antioxidant effects of linalool and *Lippia alba* essential oil in the Pacific whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, subjected to eyestalk ablation. **Aquaculture**, v. 592, p. 741215, 2024.

BERNAL, J.S., MEDINA, R.F. Agriculture sows pests: how crop domestication, host shifts, and agricultural intensification can create insect pests from herbivores. **Current Opinion in Insect Science**, v. 26, p. 76-81, 2018.

BESERRA-FILHO, J.I.A.; MACÊDO, A.M.; LEÃO, A.H.F.F.; BISPO, J.M.M.; SANTOS, J.R.; MELO, A.J.O.; MENEZES, P.P.; DUARTE, M.C.; ARAÚJO, A.A.S.; SILVA, R.H.; JÚNIOR, L.J.Q.; RIBEIRO, A.M. *Eplingiella fruticosa* leaf essential oil complexed with β -cyclodextrin produces a superior neuroprotective and behavioral profile in a mice model of Parkinson's disease. **Food and Chemical Toxicology**, v.124, p. 17-29, 2019.

BÍBLIA SAGRADA. 2ª edição, Barueri - São Paulo: Sociedade Bíblica do Brasil, 2011.

BOTTON, M.; LORINI, I; AFONSO, A.P.S. Ocorrência de *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae) danificando a cultura da videira no Rio Grande do Sul. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 355-356, 2005.

BOYER, S.; ZHANG, H.; LEMPÉRIÈRE, Guy. A review of control methods and resistance mechanisms in stored-product insects. **Bulletin of entomological research**, v. 102, n. 2, p. 213-229, 2012.

BRUSCA, R.; BRUSCA, G.J. **Invertebrados**, 2ª edição, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 2007.

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

COITINHO, R.L.B.C.; OLIVEIRA, J.V.; JUNIOR, M.G.C.G.; CÂMARA, C.A.G. Toxicidade por fumigação, contato e ingestão de óleos essenciais para *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1885 (Coleoptera: Curculionidae). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.1, p. 172-178, 2011.

CONAB. **Série Histórica de Área Plantada, Produtividade e Produção, Relativa às Safras 2023/24 de Grãos de Milho.** Conab - Companhia Nacional de Abastecimento, 2023. Disponível em: . Acesso em: 17 de maio de 2024.

CÔRREA, J.C.R.; SALGADO, H.R.N. Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 13, p. 500-506, 2011.

CORTESE, D.; DA SILVA, M. M. M.; DE OLIVEIRA, G. S.; MUSSURY, R. M.; FERNANDES, M. G. Repellency and Reduction of Offspring Emergence Potential of

Some Botanical Extracts against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) in Stored Maize. **Journal Insects**, v.13, n. 1, p. 1-11, 2022.

DAI, X.; WU, X. JIANG. J.; RONG, L. Modeling the impact of non-human host predation on the transmission of Chagas disease. **Mathematical Biosciences**, v. 374, p. 109230, 2024.

DANIEL, P.S.; LOURENÇO, E.L.B.; CRUZ, R.M.S.; GONÇALVES, C.H.S.; ALMAS, L.R.M.; HOSCHIED, J.; SILVA, C.; JACOMASSI, E.; BRUM, L.; ALBERTON, O. Composition and antimicrobial activity of essential oil of yarrow ('*Achillea millefolium*' L.). **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 3, p. 545-550, 2020.

DERERA, J.; PIXLEY, K.V.; GIGA, D.P.; MAKANDA, I. Resistance of maize to the maize weevil: III. Grain weight loss assessment and implications for breeding. **Journal of Stored Products Research**, v. 59, p. 24-35, 2014

DUFFUS, N.E.; CHRISTIE, C.R.; MORIMOTO, J. Insect cultural services: how insects have changed our lives and how can we do better for them. **Insects**, v. 12, n. 5, p. 377, 2021.

DUMONT, Y.; YATAT-DJEUMEN, I.V. About contamination by sterile females and residual male fertility on the effectiveness of the sterile insect technique. Impact on disease vector control and disease control. **Mathematical Biosciences**, v. 370, p. 109165, 2024.

ERENSTEIN, O.; JALETA, M.; SONDER, K.; MOTTALEB, K.; PRASANNA, B.M. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. **Food security**, v. 14, n. 5, p. 1295-1319, 2022.

FARONI, L.R.D.; SOUSA, A.H. Aspectos biológicos e taxonômicos dos principais insetos-praga de produtos armazenados. **Tecnologia de armazenagem em sementes. Campina Grande: UFCG**, v. 1, p. 371-402, 2006.

FIGUEIREDO, A. C.; BARROSO, J. G.; PEDRO, L. G.; SCHEFFER, J. J. Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 23, n. 4, p. 213-226, 2008.

FLORA DO BRASIL. 2020. *Eplingiella* in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB132604>>. Acesso em: 12 de maio de 2024

FOOTTIT, R. G.; ADLER, P. H. **Insect biodiversity: science and society**. John Wiley & Sons, 2009.

FRAGOSO, D.B.; GUEDES, R.N.C.; REZENDE. Glutathione S-transferase detoxification as a potential pyrethroid resistance mechanism in the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 109, p. 21–29, 2003.

FRAGOSO, D.B.; GUEDES, R.N.C.; PETERNELLI, L.A. Developmental rates and population growth of insecticide resistant and susceptible populations of *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 41, p. 271–281, 2005.

FRAGOSO, D.B.; GUEDES, R.N.C.; OLIVEIRA, M.G.A. Partial characterization of glutathione S-transferases in pyrethroid-resistant and -susceptible populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, p. 167–170, 2007.

FRANCO, C. R. P.; ALVES, P.B.; ANDRADE, D.M.; JESUS, H.C.R; SILVA, E.J.S.; SANTOS, E.A.B; ANTONIOLLI, A.R.; JÚNIOR, L.J.Q. Essential oil composition and variability in *Hyptis fruticosa*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 21, p. 24-32, 2011a.

FRANCO, C. R. P.; ANTONIOLLI, A.R.; GUIMARÃES, A.G.; ANDRADE, D.M.; JESUS, H.C.R.; ALVES, P.B.; BANNET, L.E.; PATRUS, A.H.; AZEVEDO, E.G.; QUEIROZ, D.B.; JÚNIOR, L.J.Q. Bioassay-guided evaluation of antinociceptive properties and chemical variability of the essential oil of *Hyptis fruticosa*:

Antinociceptive property of *Hyptis fruticosa* essential oil. **Phytotherapy research: PTR**, v. 25, n. 11, p. 1693–1699, 2011b.

FREITAS, R.C.P.; FARONI, L.R.D.; HADDI, K.; JUMBO, L.O.V.; OLIVEIRA, E.E. Allyl isothiocyanate actions on populations of *Sitophilus zeamais* resistant to phosphine: toxicity, emergence inhibition and repellency. **Journal of Stored Products Research**, v. 69, p. 257–264, 2016.

GAUTAM, J.; LAMSAL, N. A study on maize weevil (*Sitophilus zeamais*) management at farmers' condition in Mid Western Nepal. **Nepalese Journal of Agricultural Sciences**, p. 54, 2021

GRIMALDI, D.; ENGEL, M.S. **Evolution of the insects**. Cambridge University Press, 1ª edição, 2005.

GUEDES, R.N.C.; LIMA, J.O.G.; SANTOS, J.P.; CRUZ, C.D. Inheritance of deltamethrin resistance in a Brazilian strain of maize weevil (*Sitophilus zeamais* Mots). **International Journal of Pest Manag.**, v. 40, n. 1, p. 103–106, 1994.

GUEDES, R.N.C.; LIMA, J.O.G.; SANTOS, J.P.; CRUZ, C.D. Resistance to DDT and pyrethroids in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 31, n. 2, p. 145–150, 1995.

GULLAN, P.J.; CRASTON, P.S. **Insetos: Fundamentos da Entomologia**. 5ª edição Rio de Janeiro: Roca, 2017.

HARLEY, R.M.; PASTORE, J.F.B. A generic revision and new combinations in the Hyptidinae (Lamiaceae), based on molecular and morphological evidence. **Phytotaxa**, v. 58, p. 1-55, 2012.

HAGSTRUM, D. W; SUBRAMANYAM, B. **Stored-product insect resource**. [s.l.] AACC International, 2009

HAGSTRUM, D.W.; PHILLIPS, T.W.; CUPERUS, G. Stored product protection. **Kansas State University, Manhattan, KS. KSRE Publ**, 2012

HENRIQUE, F. **Inseticidas: aliados no controle de insetos-praga**. Boas práticas agronômicas, 2019. Disponível em: <https://boaspraticasagronomicas.org.br/inseticidas-aliados-no-controle-de-insetos-praga/> Acesso em: 12 de junho de 2024.

HERNÁNDEZ, C.C.; SALDÍVAR, S.O.S.; LARA, S.G. Susceptibility of different types of sorghums during storage to *Sitophilus zeamais* Motschulsky. **Journal of Stored Products Research**, v. 54, p. 34-40, 2013.

HOOVER, S.E.; OVINCE, L.P. Pollen collection, honey production, and pollination services: managing honey bees in an agricultural setting. **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 4, p. 1509-1516, 2018.

HUANG, M. Y.; WU, Y. H.; LI, J. M.; LI, X. Essential oils as green pesticides: Potential and constraints. **Molecules**, v. 19, n. 12, p. 20839-20859, 2014.

IMENES, S. L.; IDE, S. Principais grupos de insetos pragas em plantas de interesse econômico. **O Biológico**, São Paulo, v. 64, n. 2, p. 235-238, 2002.

IRSHAD, M.; SUBHANI, M.A.; ALI, S.; HUSSAIN, A. Biological importance of essential oils. **Essential Oils: Oils of Nature**, v. 1, p. 37-40, 2020.

ISMAN, M. B. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop Protection**, v. 19, n. 8-10, p. 603-608, 2000.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. **Annual review of entomology**, v. 51, n. 1, p. 45-66, 2006.

KEBEDE, L.M.; GARBABA, C.A.; KUYU, C.G.; ATNAFU, B.; MENDESIL, E. Evaluation of the performance of maize storage facilities for control of storage insect pests in Ethiopia. **Journal of Stored Products Research**, v. 107, p. 102336, 2024.

KUBECZKA, K.H. History and sources of essential oil research. **Handbook of essential oils**. CRC Press, 3ª edição, p. 3-39, 2020.

KUSHANOV, F.N.; TURAEV, O.S.; MUHAMMADIYEV, O.A.; UMAROV, R.F.; RAKHIMOVA, N.M.; MAMADALIYEVA, N.N. Maize (*Zea mays* L.) as a Model System for Plant Genetic, Genomic, and Applied Research. **Model Organisms in Plant Genetics**, p. 49, 2022.

LIBERSAT, F.; DELAGO, A.; GAL, R. Manipulation of host behavior by parasitic insects and insect parasites. **Annual review of entomology**, v. 54, p. 189-207, 2009.

LIMA, T.A.; BAPTISTA, N.M.Q.; OLIVEIRA, A.P.S.; SILVA, P.A.; GUSMÃO, N.B.; CORREIA, M.T.S.; NAPOLEÃO, T.H.; SILVA, M.V.; PAIVA, P.M.G. Insecticidal activity of a chemotype VI essential oil from *Lippia alba* leaves collected at Caatinga and the major compound (1,8-cineole) against *Nasutitermes corniger* and *Sitophilus zeamais*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 177, p. 104901, 2021.

LORINI, I.; BECKEL, H. Mecanismos de Resistência das pragas de grãos armazenados. **Passo Fundo: Embrapa Trigo**, 2002.

LORINI, I. Manual técnico para manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados. **Passo Fundo: Embrapa Trigo**, 2007.

LORINI, I. **Manejo integrado de pragas de produtos armazenados**. Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/109897/1/Palestra-Irineu-Lorini-EDITORADA.pdf>>. Acesso em: 9 de junho de 2024.

LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; HENNING, A.A.; HENNING, F.A. **Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas**. 3ª edição, Brasília: Embrapa, 2015.

MANDAP, J.A.L.; HELLMICH, R.L.; BUSMAN, M.; MAIER, D.E.; MUNKVOLD, G.P. Protection from stores grain insects using transgenic maize hybrids and implications for *Aspergillus flavus* and aflatoxin contamination. **Journal of Stored Products Research**, v. 106, p. 102258, 2024.

MAURYA, A.; PRASAD, J.; DAS, S.; DWIVEDY, A.K. Essential oils and their application in food safety. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, p. 653420, 2021.

MELO, A. J. O.; HEIMARTH, L.; CARVALHO, A.M.S.; QUINTANS, J.S.S.; SERAFINI, M.R.; ARAÚJO, A.A.S.; ALVES, P.B.; RIBEIRO, A.M.; SHANMUGAN, S.; JÚNIOR, L.J.Q.; DUARTE, M.C. *Eplingiella fruticosa* (Lamiaceae) essential oil complexed with β -cyclodextrin improves its anti-hyperalgesic effect in a chronic widespread non-inflammatory muscle pain animal model. **Food and chemical toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association**, v. 135, n. 110940, p. 110940, 2020.

MENEZES, I. A. C.; MARQUES, M.S.; SANTOS, T.C.; DIAS, K.S.; SILVA, A.B.L.; MELLO, I.C.M.; LISBOA, A.C.C.D.; ALVES, P.B.; CAVALCANTI, S.C.H.; MARÇAL, R.M.; ANTONIOLLI, A.R. Antinociceptive effect and acute toxicity of the essential oil of *Hyptis fruticosa* in mice. **Fitoterapia**, v. 78, n. 3, p. 192–195, 2007.

MONTEIRO, F.K.S.; MELO, J.I.M. Flora da Paraíba, Brasil: Subfamília Nepetoideae (Lamiaceae). **Rodriguésia**, v. 71, p. e01762018, 2020.

MORAIS, L.A.S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 2, p. S3299-S3302, 2009. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/577686>>. Acesso em: 09 de junho de 2024.

MORAIS, L.A.S.; PRADO, J.S.M. **Plantas com atividade inseticida**. Embrapa, 2016.

MOREIRA, M.F.; MANSUR, J.F.; FIGUEIRA-MANSUR, J. R. Resistência e inseticidas: estratégias, desafios e perspectivas no controle de insetos. **Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Entomologia Molecular, Rio de Janeiro, RJ: INCT**, 2012.

MSSILLOU, I.; SAGHROUCHNI, H.; SABER, M.; ZANNOU, A.J.; BALAHBIB, A.; BOUYAHYA, A.; ALLALI, A.; LYOUSSEI, B.; DERWICH, E. Efficacy and role of essential oils as bio-insecticide against the pulse beetle *Callosobruchus maculatus* (F.) in post-harvest crops. **Industrial crops and products**, v. 189, p. 115786, 2022.

MUÑOZ-CARDENAS, K.; ERSIN, F.; PIJNAKKER, J.; HOUTEN, Y.V.; HOOGERBRUGGE, H.; LEMAN, A.; PAPPAS, M.L.; DUARTE, M.V.A.; MESSELINK, G.J.; SABELIS, M.W.; JANSSEN, A. Supplying high-quality alternative prey in the litter increases control of an above-ground plant pest by a generalist predator. **Biological Control**, v. 105, p. 19-26, 2017.

NOVOTNY, V.; DROZD, P.; MILLER, S.E.; KULFAN, M.; JANDA, M.; BASSET, Y.; WEIBLEN, G.D. **Why are there so many species of herbivorous insects in tropical rainforests?** Science, v. 313, n. 5790, p. 1115-1118, 2006.

OBEREMOK, V.V.; LAIKOVA, K.V.; GNINENKO, Y.I.; ZAITSEV, A.S.; NYADAR, P.M.; ADEYEMI, T.A. A short history of insecticides. **Journal of plant protection research**, v. 55, n. 3, p. 221-226, 2015.

OLIVEIRA, M.A.; GOMES, C.F.F.; PIRES, E.M.; MARINHO, C.G.S.; LUCIA, T.M.C.D. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. **Revista Ceres**, v. 61, p. 800-807, 2014.

OOTANI, M.A.; AGUIAR, R.W.; RAMOS, A.C.C.; BRITO, D.R.; SILVA, J.B.; CAJAZEIRA, J.P. Use of Essential oils in Agriculture. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 4, n. 2. p. 162-174, 2013.

PARAJULI, S.; ADHIKARI, A.; PAUDEL, S.; OLI, D.; BHANDARI, S.; SHRESTHA, J. Use of biorational insecticides for the management of storage insect pests: A review. **Peruvian Journal of Agronomy**, v. 6, p. 132-146, 2022.

PHILLIPS, T.W.; THRONE, J.E. Biorational approaches to managing stored-product insects. **Annual Review of Entomology**, 2010.

PIMENTEL, M. A. G.; FARONI, L.R.D'A.; GUEDES, R.N.C.; SOUSA, A.H.; TÓTOLA, M.R. Phosphine resistance in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 45, n. 1, p. 71–74, 2009.

RAFAEL, J.A.; MELO, G.A.R.; CARVALHO, C.J.B.; CASARI, S.A.; CONSTANTINO, R. Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia. Holos Editora: 1ª edição, 2012.

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

SANTOS, M.R.V.; CARVALHO, A. A.; MEDEIROS, I. A.; ALVES, P.B; MARCHIORO, M.; ANTONIOLLI, A. R. Cardiovascular effects of *Hyptis fruticosa* essential oil in rats. *Fitoterapia*, v. 78, n. 3, p. 186–191, 2007.

SANTOS, P.E.M.; SILVA, A.B.; LIRA, C.R.I.M.; MATOS, C.H.C.; OLIVEIRA, C.R.F. Contact toxicity of essential oil of *Croton pulegioidorus* Baill on *Sitophilus zeamais* Motschulsky. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 329-335, 2019.

SANTOS, P.E.M. **Composição química e bioatividade do óleo essencial de *Croton pulegioidorus* Baill. sobre as espécies de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky, 1885) e *Nasutitermes corniger* (Motschulsky, 1855).** Dissertação (Mestrado em Bioquímica e Fisiologia) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 73, 2021.

SANTOS, C.A.B.; ANDRADE, W.M.; SILVA, J.S.B. **Sustentabilidade do Bioma Caatinga**. Paulo Afonso: SABEH, 2018. *E-book*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/355400095_SUSTENTABILIDADE_do_Bioma_Caatinga_E-BOOK>. Acesso em: 3 de junho de 2024.

SILVA, W. J.; DÓRIA, G.A.A.; MAIA, R.T.; NUNES, R.S.; CARVALHO, G.A.; BLANK, A.F.; ALVES, P.B.; MARÇAL, R.M.; CAVALCANTI, S.C.H. Effects of essential oils on *Aedes aegypti* larvae: alternatives to environmentally safe insecticides. **Bioresource technology**, v. 99, n. 8, p. 3251–3255, 2008.

SILVA, D. C.; DINIZ, L.E.C.; BLANK, A.F.; NIZIO, D.A.C.; PINTO, J.A.O.; PEREIRA, K.L.G.; ARRIGONI-BLANK, M.F. Assessment of genetic diversity of a native population of *Eplingiella fruticosa*: a plant with therapeutic potential. **Genetics and molecular research: GMR**, v. 16, n. 3, 2017.

SILVA, D.C. Diversidade química, genética e estudo do potencial formicida de óleos essenciais de *Eplingiella fruticosa* (Salzm. Ex Benth) Harley & JFB Pastore. Tese (Doutorado em Agricultura e Biodiversidade) - Universidade Federal de Sergipe. São Cristovão, p. 71, 2017.

SILVA, D.C.; BLANK, A.F.; NIZIO, D.A.C.; SAMPAIO, T.S.; NOGUEIRA, P.C.L.; BLANK, M.F.A. Chemical diversity of essential oils from native populations of *Eplingiella fruticosa*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, p. 205-214, 2018.

SILVA, D. C.; ARRIGONI-BLANK, M.F.; BACCI, L.; BLANK, A.F.; FARO, R.R.N.; PINTO, J.A.O.; PEREIRA, K.G.P. Toxicity and behavioral alterations of essential oils of *Eplingiella fruticosa* genotypes and their major compounds to *Acromyrmex balzani*. **Crop protection (Guildford, Surrey)**, v. 116, p. 181–187, 2019.

SILVEIRA, J.C.; BUSATO, N.V.; COSTA, A.O.S.; JUNIOR, E.F.C. Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, 2012.

SINGH, K.D.; MOBOLADE, A.J.; BHARALI, R.; SAHOO, D.; RAJASHEKAR, Y. Main plant volatiles as stored grain pest management approach: A review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 4, p. 100127, 2021.

SINGH, V.K.; PUNDIR, S.; CHATURVEDI, D.; KAUR, A.; PANDEY, A.; MANDAL, S.; KUMAR, R.; SINGH, R.K.; BHATI, H.P.; DHANDA, P.S.; YADAV, A.; KOLE, C.; KAUSHIK, P. Enhancing Maize (*Zea mays* L.) Crop through Advanced Techniques: A Comprehensive Approach. **New Prospects of Maize**, 2024.

SOUZA, B.; CIVIDANES, T.M.S.; CIVIDANES, F.J.; SOUSA, A.L.V. Predatory insects. **Natural Enemies of Insects Pests in Neotropical Agroecosystems: Biological Control and Functional Biodiversity**. Springer, 2019.

STORK, N.E. **How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth?** Annual Review of Entomology, 2018.

SUTHERLAND, T.D.; YOUNG, J.H.; WEISMAN, S.; HAYASHI, C.Y.; MERRITT, D.J. Insect Silk: One name, many materials. **Annual review of entomology**, v. 55, n. 1, p. 171-188, 2010.

TEFERA, T.; KANAMPIU, F.; GROOTE, H.; HELLIN, J.; MUGO, S.; KIMENJU, S.; BANZIGER, M. The metal silo: An effective grain storage technology for reducing post-harvest insect and pathogen losses in maize while improving smallholder farmers' food security in developing countries. **Crop protection**, v. 30, n. 3, p. 240-245, 2011.

TURCHEN, L.M.; JÚNIOR, L.C.; GUEDES, R.N.C. Plant-derived insecticides under meta-analyses: status, biases, and knowledge gaps. **Insects**, v. 11, n. 8, p. 532, 2020.

WEI, L.; HUA, R.; LI, M.; HUANG, Y.; LI, S.; HE, Y.; SHEN, Z. Chemical composition and biological activity of star anise *Illicium verum* extracts against maize weevil, *Sitophilus zeamais* adults. **Journal of Insect Science**, v. 14, n.1., p. 80, 2014.

YUYA, A. I.; TADESSE, A.; AZEREFEGNE, F.; TEFERA, T.. Efficacy of combining Niger seed oil with malathion 5% dust formulation on maize against the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 45, n. 1, p. 67-70, 2009.

ZHANG, C.; HU, R.; SHI, G.; JIN, Y.; ROBSON, M.G.; HUANG, X. Overuse or underuse? An observation of pesticide use in China. **Science of the Total Environment**, v. 538, p. 1-6, 2015.

ZIMMERMANN, R.C.; ARAGÃO, C.E.C.; ARAÚJO, P.J.P.; BENATTO, A.; CHAABAN, A.; MARTINS, C.E.N.; AMARAL, W.; CIPRIANO, R.R.; ZAWADNEAK, M.A.C. Insecticide activity and toxicity of essential oils against two stored-product insects. **Crop protection**, v. 144, p. 105575, 2021.