

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD
Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais - FCBA
Programa de Pós-Graduação em
Entomologia e Conservação da Biodiversidade - PPGE CB

ÓLEOS ESSENCIAIS COMO ALTERNATIVA DE
CONTROLE DE *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775)
(Coleoptera: Chrysomelidae, Bruchinae)
EM GRÃOS DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata*):
TOXICIDADE, EFEITO SUBLETAL E QUALIDADE DOS
GRÃOS

Bruno Pereira dos Santos

Dourados-MS
Fevereiro/2026

Universidade Federal da Grande Dourados
Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais
Programa de Pós-Graduação em
Entomologia e Conservação da Biodiversidade

Bruno Pereira dos Santos

ÓLEOS ESSENCIAIS COMO ALTERNATIVA DE CONTROLE DE
Callosobruchus maculatus (Fabr., 1775) (Coleoptera:
Chrysomelidae, Bruchinae) EM GRÃOS DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna
unguiculata*): TOXICIDADE, EFEITO SUBLETAL E QUALIDADE DOS
GRÃOS

Dissertação apresentada à Universidade Federal da
Grande Dourados (UFGD), como parte dos
requisitos exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM ENTOMOLOGIA E
CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE.

Área de Concentração: Biodiversidade e
Conservação

Orientador(a): Gutierres Nelson Silva

Dourados-MS
Fevereiro/2026

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFGD

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S2376 Santos, Bruno Pereira Dos

ÓLEOS ESSENCIAIS COMO ALTERNATIVA DE CONTROLE DE *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Chrysomelidae, Bruchinae) EM GRÃOS DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata*): TOXICIDADE, EFEITO SUBLETAL E QUALIDADE DOS GRÃOS [recurso eletrônico] / Bruno Pereira Dos Santos, Gutierres Nelson Silva. -- 2026.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Gutierres Nelson Silva.

Dissertação (Mestrado em Entomologia e Conservação da Biodiversidade)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2026.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Controle alternativo. 2. Controle alternativo. 3. Inseticidas botânicos. 4. gorgulho-do-feijão. I. Silva, Gutierres Nelson. II. Silva, Gutierres Nelson. III. Título.

ÓLEOS ESSENCIAIS COMO ALTERNATIVA DE CONTROLE DE *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Chrysomelidae, Bruchinae) EM GRÃOS DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata*): TOXICIDADE, EFEITO SUBLETAL E QUALIDADE DOS GRÃOS

Por

Bruno Pereira dos Santos

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de MESTRE EM ENTOMOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
Área de concentração: Entomologia Agroecológica

Documento assinado digitalmente
 GUTIERRES NELSON SILVA
Data: 02/03/2026 16:24:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profº Drº Gutierres Nelson Silva
Presidente – IFMS

Documento assinado digitalmente
 MARCOS GINO FERNANDES
Data: 02/03/2026 17:23:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof º Drº Marcos Gino Fernandes - UFGD
Membro titular

Documento assinado digitalmente
 MICHELE CASTRO DE PAULA DA SILVA
Data: 03/03/2026 08:46:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª Drª Michele Castro de Paula da Silva - UEMS
Membro titular

Dissertação aprovada em: 28 de fevereiro de 2026

BIOGRAFIA

Bruno Pereira dos Santos, nascido em Dourados/MS, em 27 de junho de 1997, filho de Antonia Marta Pereira e José Maria dos Santos.

Sua formação básica teve início na cidade de Dourados, na Escola Estadual Maria da Gloria Muzzi Ferreira em 2003, após dois anos se mudou para Escola Estadual Alício de Araújo, onde permaneceu até o termino do ensino médio em 2014.

Em 2017 ingressou para o curso de Biotecnologia na Universidade Federal da Grande Dourados, participou de monitorias, projetos de extensão, estágio voluntário e finalizando o curso em 2023.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a mim mesmo, que suportei muita coisa e ainda fui simpático.

Minha mãe, que sempre me apoiou a continuar estudando e sempre dizia: “o conhecimento é algo que ninguém tira de você”.

Meu noivo Gabriel, que sempre esteve comigo nessa caminhada e sabe de cadê detalhe desse mestrado, te amo!

Minhas amigas Rayza e Samara, amigas de longa data, obrigado por cada tereré, cada festa, cada encontro para jantar e jogar conversa fora, amo vocês!

Minha amiga Jhully, que está comigo desde a graduação, e só a gente sabe o que é ficar doido e não desistir, amo você!

Obrigado a Karol, que me proporcionou ótimas risadas e caronas duvidosas para a faculdade.

Um obrigado super especial aos meus amigos do LABBIS, Amanda e Leonardo, agradeço por cada conversa, café e momentos em conjunto.

Agradeço a Marcia Bonet, entrou na minha vida de repente e cuida muito bem de mim, AXÉ!

Por fim, agradeço meu orientador, Professor Gutierres por aceitar esse desafio e ter me ajudado, mesmo com a distância sendo uma limitação.

Sumário

CAPÍTULO 1	9
RESUMO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI	13
2.1.1 A importância da cultura do feijão-caupi	13
2.1.2 Descrição da espécie	14
2.1.3 Qualidade fisiológica das sementes	15
2.1.4 <i>Callosobruchus maculatus</i>	16
2.2 ÓLEOS ESSENCIAIS	17
2.2.1 Definição e composição	17
2.2.2 Mecanismo de ação	18
2.2.3 <i>Syzygium aromaticum</i>	18
2.2.5 <i>Origanum vulgare</i>	20
2.2.6 <i>Plukenetia volubilis</i>	21
3. OBJETIVOS	21
3.1 Objetivos geral	21
3.2 Objetivos Específicos	21
4. HIPÓTESES	22
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
CAPÍTULO 2	28
RESUMO	28
1. INTRODUÇÃO	29
2. MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1 Localização	30
2.2 Obtenção dos óleos	30
2.3 Criação de <i>Callosobruchus maculatus</i>	30
2.4 Testes de toxicidade por contato	31

2.5	Testes de toxicidade por fumigação	32
2.6	Testes de repelência	34
2.7	Taxa instantânea de crescimento	35
2.8	Teste de qualidade	36
2.9	Análise estatística e design experimental.....	36
3	RESULTADOS.....	37
3.1	Teste de contato	37
3.2	Teste de fumigação	38
3.3	Teste de repelência.....	39
3.4	Taxa instantânea de crescimento	42
3.5	Teste de qualidade	43
4	DISCUSSÃO	45
5	CONCLUSÃO	49
6	RELEVÂNCIA NA PESQUISA	49
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

RESUMO

Callosobruchus maculatus (Fabricius, 1775) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) é uma das principais pragas do feijão-caupi armazenado, causando perdas significativas de peso, qualidade nutricional e viabilidade dos grãos, especialmente em sistemas de armazenamento de baixa tecnologia. Em busca de alternativas sustentáveis ao uso de inseticidas sintéticos, os óleos essenciais têm se destacado como ferramentas promissoras no manejo de pragas de produtos armazenados. O presente estudo teve como objetivo avaliar a toxicidade por contato, a atividade fumigante e o efeito repelente dos óleos essenciais de *Origanum vulgare* L., 1753, *Hyssopus officinalis* L., 1753, *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry, 1939 e *Plukenetia volubilis* L., 1753 sobre adultos de *C. maculatus*. Os bioensaios foram conduzidos em condições controladas de temperatura, umidade e fotoperíodo no Laboratório de Interação Inseto-Planta na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). No teste de toxicidade por contato, os feijões tratados com diferentes concentrações dos óleos essenciais foram ofertados aos insetos, visando estimar as concentrações letais (CL_{50} e CL_{95}). Nos ensaios de fumigação, os insetos foram expostos aos vapores dos óleos em câmaras herméticas para avaliar a mortalidade por via respiratória. O efeito repelente foi determinado por meio de arenas de escolha, calculando-se o índice de repelência (IR). Adicionalmente, foram avaliadas a taxa instantânea de crescimento populacional e a qualidade dos grãos tratados. Os resultados demonstraram que os óleos essenciais apresentam eficiência distinta conforme sua composição química e a via de exposição. O óleo de *O. vulgare* apresentou a maior toxicidade por contato, com menores valores de CL_{50} e CL_{95} . *H. officinalis* destacou-se pelo maior efeito fumigante e repelente, apresentando índice de repelência inferior a 1. *S. aromaticum* apresentou toxicidade intermediária e baixo efeito repelente, enquanto o *P. volubilis* foi o menos eficiente em todas as avaliações. Em relação aos efeitos subletais, observou-se redução da taxa de crescimento populacional nos tratamentos mais eficientes, indicando interferência no desenvolvimento da espécie. Quanto à qualidade dos grãos, não foram observadas alterações significativas nos parâmetros avaliados.

PALAVRAS-CHAVE: Armazenamento, controle alternativo, inseticidas botânicos, gorgulho-do-feijão.

ABSTRACT

Callosobruchus maculatus (Fabricius, 1775) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) is one of the main directives of stored cowpea, causing significant losses in weight, nutritional quality and grain predictions, especially in low-technology storage systems. In search of sustainable alternatives to the use of synthetic insecticides, essential oils are highlighted as promising tools in the management of stored product directives. The present study aimed to evaluate the contact toxicity, fumigant activity and repellent effect of essential oils from *Origanum vulgare* L., 1753, *Hyssopus officinalis* L., 1753, *Syzygium aromatic* (L.) Merr. & L.M. Perry, 1939, and *Plukenetia volubilis* L., 1753 on *C. maculatus* adults. The bioassays were prolonged under controlled conditions of temperature, humidity and photoperiod at the Insect-Plant Interaction Laboratory at the Federal University of Grande Dourados (UFGD). In the contact toxicity test, beans treated with different concentrations of essential oils were offered to insects, therefore lethal concentrations (LC₅₀ and LC₉₅) were estimated. In fumigation tests, insects were exposed to oil vapors in airtight chambers to assess respiratory mortality. The repellent effect was determined through choice arenas, calculating the repellency index (RI). Additionally, the instantaneous population growth rate and the quality of the treated grains were evaluated. The results revealed that essential oils have different efficiency depending on their chemical composition and route of exposure. *O. vulgare* oil showed greater contact toxicity, with lower LC₅₀ and LC₉₅ values. *H. officinalis* stood out for its greatest fumigant and repellent effect, with a repellency index of less than 1. *S. aromaticum* showed moderate toxicity and a low repellent effect, while *P. volubilis* was the least efficient in all evaluations. In relation to sublethal effects, the reduction of the population growth rate in the most efficient treatments was encouraged, reducing interference in the development of the species. Regarding grain quality, no significant changes were observed in the evaluated parameters.

KEYWORDS: Storage, alternative control, botanical insecticides, bean weevil.

1. INTRODUÇÃO

O controle de pragas em grãos armazenados constitui um dos maiores desafios na cadeia produtiva de leguminosas, especialmente em regiões tropicais, onde as condições climáticas favorecem a proliferação de insetos (Lorini et al., 2015). Entre essas pragas, *Callosobruchus maculatus* (Fabricius, 1775) destaca-se como uma das espécies mais destrutivas do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultura de grande importância socioeconômica para países da África, Ásia e América Latina, incluindo o Brasil. Além de seu valor nutricional, o feijão-caupi representa fonte essencial de renda para pequenos produtores, o que reforça a necessidade de estratégias eficazes e acessíveis de proteção pós-colheita (Moreira et al., 2024).

A infestação por *C. maculatus* ocorre geralmente durante o armazenamento e é frequentemente imperceptível até que os danos se tornem significativos. Suas fêmeas depositam ovos na superfície do grão, e as larvas, ao eclodirem, penetram no interior da semente, consumindo o endosperma e reduzindo drasticamente o peso, a qualidade e o valor comercial dos grãos. Além disso, a emergência dos adultos deixa orifícios característicos, acelera a deterioração e compromete a viabilidade das sementes para o plantio (Murugesan et al., 2021). Tais impactos podem levar a perdas superiores a 60% em condições inadequadas de armazenamento, representando um sério obstáculo à segurança alimentar e à sustentabilidade da produção agrícola (Ragul; Manivannan, 2021).

Historicamente, o controle químico com inseticidas sintéticos tem sido a principal estratégia utilizada para minimizar prejuízos causados por pragas de armazenamento. Entretanto, o uso contínuo e indiscriminado desses produtos tem levado ao surgimento de populações resistentes, à contaminação ambiental e à presença de resíduos tóxicos nos alimentos, além de riscos ocupacionais para os trabalhadores rurais (Nogueira et al., 2022; Cruz et al., 2024). Esses fatores têm motivado a busca por alternativas mais seguras, econômicas e ambientalmente responsáveis, especialmente dentro do contexto da agricultura sustentável e do manejo integrado de pragas (MIP) (Senar, 2018).

Dentre as alternativas emergentes, os óleos essenciais têm ganhado destaque devido à sua composição rica em metabólitos secundários com propriedades inseticidas, repelentes ou inibidoras do desenvolvimento. Estudos recentes indicam que compostos como timol, carvacrol, eugenol e outros monoterpenos e fenóis presentes nos óleos essenciais podem atuar em diferentes vias fisiológicas dos insetos, provocando mortalidade, repelência, redução da fecundidade e interferência no desenvolvimento

larval. Essa diversidade de mecanismos de ação diminui o risco de resistência e amplia o potencial de aplicação desses compostos em sistemas de armazenamento (Silva Junior et al., 2025; (Nunes et al., 2025)).

Além dos efeitos letais e subletais, outra vantagem relevante dos óleos essenciais é sua baixa persistência ambiental e rápida degradação, que resultam em menor impacto ecológico e ausência de resíduos tóxicos nos grãos. Tais características os tornam particularmente atraentes para sistemas agroecológicos e para agricultores familiares que buscam métodos de manejo de pragas de baixo custo e menor risco à saúde (Sanches et al., 2023).

Apesar do potencial promissor, a adoção dos óleos essenciais ainda enfrenta desafios importantes. A volatilidade elevada, a degradação sob luz e temperatura, e a dificuldade de padronização química entre lotes representam obstáculos à sua aplicação prática e comercial. Além disso, a definição de doses ideais, métodos de aplicação, compatibilidade com recipientes de armazenamento e efeitos sobre a germinação das sementes são aspectos que requerem investigação contínua (Gupta et al., 2023).

Diante desses fatores, o estudo do uso de óleos essenciais para o controle de *C. maculatus* é fundamental não apenas para ampliar o conhecimento científico sobre bioinseticidas naturais, mas também para contribuir com soluções sustentáveis que atendam às necessidades da produção agrícola moderna. Desse modo, o objetivo foi avaliar o potencial de óleos essenciais de *Plukenetia volubilis*, *Origanum vulgare*, *Syzygium aromaticum* e *Hyssopus officinalis* como alternativa de controle de *C. maculatus* em grãos de cultivares de feijão-caupi, determinando a toxicidade dos óleos essenciais, por contato, fumigação, repelência, efeitos subletal sobre o crescimento populacional e avaliar a qualidade dos feijões.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI

2.1.1 A importância da cultura do feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) originou-se na África e foi introduzido no Brasil no início do século XVI, por colonizadores portugueses que desembarcaram no estado da Bahia e, posteriormente, expandiu por todo o país, principalmente nas regiões Norte e Nordeste (Silva, 2013).

No Brasil, diversas espécies de feijão são cultivadas, mas, para fins de regulamentação técnica, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) reconhece como feijão apenas as espécies *Phaseolus vulgaris* (L.), conhecida como feijão-comum, e *V. unguiculata* (L.) Walp., o feijão-caupi. Estas duas espécies possuem grande relevância social e econômica no país, sendo amplamente consumidas e cultivadas (Brasil, 2008).

Nos últimos anos, a cultura do feijão tem se expandido para o Centro-Oeste, com destaque para o Estado de Mato Grosso, devido às suas características de resistência à seca e adaptação ao solo, o que o torna uma opção viável para o agronegócio na região (Martins et al., 2023).

O feijão-caupi apresenta resistência a solos pobres e a capacidade de crescer em condições de baixa pluviosidade, características que o tornam ideal para o cultivo em regiões semiáridas (Assunção et al., 2023). Além disso, essa leguminosa é uma excelente fixadora de nitrogênio, contribuindo para a melhoria da fertilidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Souza et al., 2021). Estudos indicam que o feijão-caupi apresenta ampla diversidade genética, o que permite a seleção de cultivares adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas, que se referem às características do solo e do clima de uma determinada região. Estes fatores incluem aspectos como o tipo de solo, relevo, temperatura, umidade, radiação solar, precipitação e ventos (Rego et al., 2023; Pessoa et al., 2023).

O feijão-caupi tem passado de uma cultura de subsistência para uma cultura com valor econômico significativo. No Brasil, a expansão de sua produção está associada à demanda crescente tanto no mercado interno quanto externo (Bastos, 2016). Tradicionalmente consumido no Nordeste, o feijão-caupi tem conquistado novos mercados devido às suas propriedades nutricionais, sendo uma importante fonte de proteína vegetal, vitaminas e minerais (Oliveira et al., 2021).

Esse feijão vem apresentando um crescimento significativo nas exportações, especialmente para países da África, Oriente Médio e Ásia. Em 2022, o Brasil exportou cerca de 47 mil toneladas de feijão-caupi, representando 34% das exportações de feijão do país (Canal rural, 2023). Esse número corresponde a um aumento expressivo em relação aos anos anteriores, refletindo a expansão da produção e fortalecimento da competitividade no mercado internacional (Coêlho, 2021).

Do ponto de vista nutricional, o feijão-caupi é considerado um alimento de elevado valor biológico. Os constituintes químicos incluem 23 a 25% de proteínas e cerca de 62% de carboidratos, abrangendo todos os aminoácidos essenciais. Além disso, apresenta vitaminas hidrossolúveis, como riboflavina, piridoxina e folato, minerais como ferro, zinco e fósforo, grande quantidade de fibras alimentares, baixo teor de óleo (em média 2%) e ausência de colesterol (Pessoa et al., 2023a).

O feijão-caupi tem um papel histórico e cultural significativo no Brasil, especialmente no Nordeste, onde é parte fundamental da dieta e da segurança alimentar de milhões de pessoas. Sua cultura está intimamente ligada às tradições alimentares e práticas agrícolas familiares, sendo cultivado em pequenas propriedades rurais e em sistemas de agricultura familiar. Este cultivo é essencial não apenas para a alimentação, mas também como fonte de renda para muitas famílias, que dependem da venda do excedente da produção (Silva et al., 2018).

2.1.2 Descrição da espécie

O feijão-caupi é uma planta pertencente à família das leguminosas, Fabaceae, e à espécie (*V. unguiculata* (L.) Walp.) (Freire Filho et al., 2005). A espécie apresenta ampla variabilidade morfológica, podendo diferir quanto ao padrão de coloração das sementes ou o tamanho das vagens. São plantas geralmente anuais, eretas ou trepadores, com caule estriados e glabrescentes, isto é, com tendência a perder os pelos que se dispõem nas suas hastes (Bezerra et al., 2008).

Seu ciclo médio pode variar entre 70 e 90 dias, dependendo do período e ambiente. Esse ciclo pode sofrer alterações, sendo classificado como superprecoce, quando a maturação ocorre antes de 60 dias, ou tardio, ocorrendo a maturação acima de 90 dias (Sistema de Produção Embrapa, 2017). O cultivo pode ser realizado em áreas de sequeiro, ou seja, em áreas agrícolas cuja produção depende exclusivamente da água da chuva, sem necessidade de um sistema de irrigação artificial (Souza et al., 2024).

A germinação é epígea e a raiz principal é do tipo pivotante, podendo atingir mais de um metro de profundidade. As raízes laterais também se desenvolvem em profundidade, permitindo uma ampla exploração do solo (Freire Filho et al, 2011). O sistema radicular possui a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico por meio de simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (Fontes; Alves, 2024). O fruto é uma vagem, que pode ser lisa e linear. As sementes apresentam variação de coloração, podendo ser brancas, marrons, amareladas ou exibir uma orla castanha ou negra ao redor do hilo, facilitando sua identificação. Durante a maturação, as vagens secam e se abrem naturalmente por uma sutura lateral, liberando as sementes (Santos; Assis; Linhares, 2024).

2.1.3 Qualidade fisiológica das sementes

O armazenamento de sementes é uma prática amplamente utilizada por produtores de grande, médio e pequeno porte, principalmente no período de entressafra, com o objetivo de preservar a qualidade fisiológica da semente, possibilitando sua utilização na semeadura da safra seguinte e garantindo uniformidade e melhor produtividade na lavoura (Batista et al., 2012). A qualidade das sementes está diretamente relacionada à sua capacidade de germinação, vigor e longevidade. No entanto, durante o processo de armazenamento, podem ocorrer alterações que comprometam essa qualidade, sendo as condições ambientais como temperatura e umidade relativa do ar, bem como os tipos de embalagens empregadas, fatores que exercem grande influência sobre o processo de deterioração (Assis et al., 2023).

Cardoso et al. (2017) apontam que o feijão-caupi pode ser armazenado por até seis meses sem a interferência de trocas gasosas, aspecto relevante a ser considerado na fisiologia das sementes, pois, mesmo em condições de dormência, as sementes mantêm atividade metabólica mínima, realizando respiração. Durante o armazenamento, a taxa respiratória deve ser minimizada, uma vez que seu aumento acelera o consumo das reservas energéticas e promove a liberação de substâncias tóxicas que contribuem para sua deterioração.

As sementes podem ser armazenadas em diferentes tipos de estruturas, como sacarias, armazéns convencionais ou silos. A escolha do local e da embalagem de armazenamento constitui um fator estratégico para a preservação da qualidade fisiológica. Embalagens com alta permeabilidade ao ar e à umidade, como sacos de papel ou de rafia,

facilitam as trocas com o ambiente externo, o que pode favorecer a absorção de umidade e acelerar o processo de deterioração (Silva et al., 2023). Por outro lado, embalagens herméticas, como sacos plásticos aluminizados ou recipientes com atmosfera modificada, contribuem para a manutenção da integridade fisiológica das sementes por um período mais prolongado, reduzindo os processos oxidativos e dificultando a infestação por insetos (Assis et al., 2020).

2.1.4 *Callosobruchus maculatus*

Um dos principais insetos-praga do feijão armazenado é o *C. maculatus*, conhecido como gorgulho-do-feijão. Trata-se de um inseto da ordem Coleoptera e da família Chrysomelidae, com ampla ocorrência em regiões tropicais e subtropicais, devido às condições climáticas favoráveis à sua reprodução (Silva; Sobrinho, 2019).

Os adultos medem entre 2 e 4 mm de comprimento, apresentam coloração escura que varia de marrom-avermelhado a marrom-escuro e podem exibir manchas pretas nos élitros. Possuem antenas curtas e pernas bem desenvolvidas, permitindo que o inseto se mova rapidamente com grande agilidade. As fêmeas tendem a ser maiores e mais escuras que os machos, além de apresentarem diferenças na placa abdominal, características que auxiliam na distinção entre os sexos (Mendoza; Carrillo, 2023).

A reprodução dessa espécie é sexuada, altamente eficiente e rápida, fator que contribui para sua ampla disseminação e capacidade de infestação (França et al., 2021). Após o acasalamento, a fêmea deposita seus ovos diretamente sobre os grãos, fixando-os na superfície das sementes. A eclosão ocorre em poucos dias, liberando larvas que penetram no interior do grão, onde completam seu desenvolvimento. O ciclo de vida, do ovo ao adulto, pode ser concluído em 3 a 4 semanas. As fêmeas possuem alta fecundidade, podendo ovipositar entre 50 e mais de 100 ovos ao longo da vida. Esse alto potencial reprodutivo, aliado ao rápido desenvolvimento, torna *C. maculatus* uma praga de grande relevância no armazenamento de grãos, exigindo estratégias eficazes de controle para evitar perdas econômicas (Garima; Khan; Seal, 2021).

Esses insetos-praga causam danos principalmente no interior dos grãos, em decorrência da oviposição realizada sobre sua superfície, seguida pela penetração das larvas, que se alimentam do endosperma e do embrião das sementes. Esse processo resulta em perfurações visíveis, perda de peso e degradação do valor nutricional. Em grãos de feijão-caupi infestados, a perda de peso pode chegar a 58%, com até 98% dos grãos

apresentando algum tipo de dano (Jehajo; Shah, 2023). Além disso, a infestação compromete significativamente a capacidade germinativa, enquanto sementes não infestadas apresentam germinação média de 48% a 50%, aquelas atacadas pelo inseto caem para apenas 16% a 18%, comprometendo seu uso como semente e tornando o lote inadequado para plantio (Mofunanya; Namgbe, 2016).

2.2 ÓLEOS ESSENCIAIS

2.2.1 Definição e composição

De acordo com a International Organization for Standardization (ISO), óleos essenciais são substâncias voláteis e aromáticas extraídas de diferentes partes das plantas, como flores, folhas, cascas e raízes, geralmente por destilação a vapor ou hidrodestilação. Apresentam características como alta volatilidade e baixa estabilidade em condições de temperaturas elevadas, por conterem moléculas de baixo peso molecular (Bakkali et al., 2008).

Quimicamente, os óleos essenciais são compostos orgânicos complexos, formados principalmente por terpenos e seus derivados, como monoterpenos, álcoois, aldeídos, cetonas, fenóis e ésteres (Silva et al., 2017). Essas substâncias são classificadas metabólitos secundários das plantas, ou seja, não estão diretamente ligadas à sua sobrevivência, mas desempenham funções ecológicas importantes, como defesa contra predadores, atração de polinizadores e proteção contra microrganismos (Souza et al., 2018).

Nos últimos anos, a importância dos óleos essenciais tem crescido de forma significativa, em razão de suas propriedades biológicas, que incluem atividades antimicrobiana, antifúngica, antiviral, antioxidante, repelente e inseticida. Esses compostos são considerados alternativas promissoras aos produtos sintéticos em diferentes áreas, como a farmacologia, cosmética, agricultura e a indústria alimentícia (Benato et al., 2018; Oliveira et al., 2022).

No contexto agrícola, por exemplo, os óleos essenciais têm sido estudados como bioinseticidas naturais no controle de pragas, por apresentarem baixa toxicidade para humanos e menor impacto ambiental, alinhando-se com os princípios da sustentabilidade e da agricultura orgânica (Avelino et al., 2019).

2.2.2 Mecanismo de ação

Os óleos essenciais apresentam múltiplos mecanismos de ação sobre os insetos, afetando o sistema nervoso e/ou processos fisiológicos e comportamentais, o modo de ação resulta em efeitos letais e subletais que compromete a sobrevivência e a reprodução (Sousa et al., 2025).

Um dos principais mecanismos de ação ocorre sobre o sistema nervoso central (Mattos et al., 2021). Muitos compostos presentes nos óleos essenciais, como terpenos, aldeídos, ésteres, fenóis e composto que variam por espécie vegetal, são capazes de inibir a enzima acetilcolinesterase, responsável pela degradação do neurotransmissor acetilcolina nas sinapses, resultando em uma superestimulação das células nervosas, levando a hiperatividade, tremores, paralisia e a morte do inseto (Goulart et al., 2025).

Outro importante mecanismo de ação está relacionado ao efeito fumigante, resultante da alta volatilidade dos óleos essenciais. Quando em fase gasosa, as moléculas penetram pelo sistema traqueal dos insetos e alcançam os tecidos internos, onde interferem no metabolismo respiratório. Compostos como o 1,8-cineol e o eugenol podem inibir enzimas da cadeia transportadora de elétrons mitocondrial, reduzindo a produção de ATP e causando asfixia metabólica (Gomes et al., 2024; Pimenta, 2022).

Os óleos também agem sobre a membrana celular, interagindo com os lipídeos da membrana, provocando aumento da permeabilidade e perda da integridade estrutural, resultando em colapso osmótico e morte celular. Além disso, esses compostos podem inibir enzimas digestivas e oxidativas, interferindo em processos metabólicos vitais (Tamwing, 2024).

Outros efeitos fisiológicos incluem a interferência dos níveis hormonais, especialmente nos hormônios juvenis e ecdisonas, que regulam o crescimento e a muda dos insetos. Essas alterações podem causar deformidades, atraso no desenvolvimento ou inibição completa da metamorfose. Podem interferir na comunicação química entre os indivíduos, prejudicando o reconhecimento de feromônios e a orientação espacial (Marangoni; Moura; Garcia, 2012).

2.2.3 *Syzygium aromaticum*

O cravo-da-índia (*S. aromaticum*) pertence à família Myrtaceae. Trata-se de uma árvore de grande porte, amplamente cultivada em regiões tropicais, nativa das ilhas Molucas, atualmente pertencentes a Indonésia (Silvestri et al., 2010). O craveiro pode atingir até 15 metros e viver mais de 100 anos. Suas flores são pequenas, agrupadas em

cachos terminais, de coloração esbranquiçada e amarelada. O fruto apresenta várias sementes, de formato alongado, avermelhado e comestível. A planta atinge seu auge de produção de botões florais (cravo) entre 15 a 20 anos após o plantio, sendo que a colheita tende a diminuir após 50 a 60 anos (Cortés-Rojas; Souza; Oliveira, 2014).

O cravo-da-índia vem sendo utilizado há séculos por civilizações como a egípcia, chinesa e indiana, devido às suas propriedades antimicrobianas, especialmente na conservação de alimentos. Essa atividade está relacionada à presença de compostos fenólicos, com destaque para o eugenol, seu principal componente ativo. O uso mais comum ocorre por meio do óleo essencial, geralmente obtido por técnicas de destilação simples ou por arraste a vapor (Barros et al., 2024).

O óleo essencial extraído do cravo possui elevado teor de eugenol (70-90%), um metabolito secundário encontrado em diversas partes da planta e considerado o principal responsável por suas propriedades farmacológicas e biológicas, incluindo atividades antimicrobiana, antifúngica, antioxidante, analgésica e anti-inflamatória (Padhy et al., 2022; Zhu et al., 2023). Além disso, o cravo-da-índia vem sendo estudado como bioinseticida, devido à ação do eugenol sobre o sistema nervoso dos insetos, configurando-se como uma alternativa promissora aos inseticidas sintéticos por ser biodegradável, menos tóxico ao meio ambiente e mais seguro à saúde humana (Vale; Tadei, 2018).

2.2.4 *Hyssopus officinalis*

H. officinalis, conhecido como hissopo, hissopo-real ou issopo, é uma planta herbácea pertencente à família Lamiaceae, nativa da região do Mediterrâneo e amplamente cultivada na Ásia e Europa (Sharifi-Rad et al., 2022a). Essa espécie pode ser classificada como arbusto ou subarbusto, dependendo da variedade, podendo atingir entre 30 e 60 centímetros de altura. Suas folhas são opostas, inteiras, lineares, de coloração verde-escuro e medem entre 2 e 2,5 cm de comprimento. No verão, *H. officinalis* produz inflorescências em forma de espigas densas e terminais, com flores de coloração rosada, azul ou branca (Centeno; Bobillo; Beato, 2001).

A planta possui um histórico milenar de uso tradicional devido às suas propriedades terapêuticas, sendo empregada como antisséptico, expectorante, anti-inflamatório e digestivo, tanto na forma de óleo essencial quanto em extratos aquosos. O óleo essencial é extraído principalmente das folhas e flores, apresentando coloração amarelada e aroma intenso (Rashidi; Eikani; Ardjmand, 2018).

Entre os principais componentes do óleo essencial de *H. officinalis*, destacam-se o cineol (ou eucaliptol), um composto volátil com propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias e broncodilatadoras; os monoterpenos β -pineno e α -pineno, conhecidos por sua atividade antioxidante e efeito repelente; além de compostos como cânfora, borneol, linalol e pinocanfona, que contribuem para sua eficácia biológica (Moulodi et al., 2019).

2.2.5 *Origanum vulgare*

Orégano, orégão ou ourego (*O. vulgare*), pertence à família Lamiaceae e é nativo da região do Mediterrâneo e da Ásia Ocidental. Ao longo do tempo, a espécie se espalhou por diversas partes do mundo, sendo atualmente cultivada em regiões temperadas e subtropicais, principalmente na Europa, Ásia Central e América do Norte, tanto por seu uso culinário quanto medicinal (Marques; Bernardi Filho; Santos, 2009).

Essa planta apresenta morfologia típica das Lamiaceae, com caule quadrangular, ereto ou semiereto, que pode atingir de 30 a 80 centímetros de altura. As folhas são opostas, ovadas, com margem inteira ou ligeiramente dentada, medindo cerca de 1 a 4 cm de comprimento. Suas inflorescências são compostas por flores pequenas, com 5 a 8 mm de comprimento, bilabiadas, de coloração rósea, púrpura ou lilás. Essas flores são comestíveis, possuem sabor mais suave do que as folhas e, muitas vezes, são removidas para estimular o crescimento foliar (Maithani; Maithani; Singh, 2023).

O óleo essencial do *O. vulgare* é um dos mais valorizados, devido à sua alta concentração de compostos bioativos. É obtido principalmente das folhas, apresentando coloração amarelada e aroma característico. O composto predominante é o carvacrol, frequentemente responsável por mais de 60% da composição total, seguido do timol, que, embora presente em menor concentração, também exerce relevante atividade biológica. (Ibarra-Espain et al., 2020).

A importância dessa espécie se destaca tanto na área da saúde quanto na agricultura e na indústria alimentícia, sendo amplamente estudada devido às suas atividades antimicrobianas, antifúngica, antioxidante, anti-inflamatória e inseticida (Martins et al., 2024). No setor alimentício, o óleo é aplicado como conservante natural, devido à sua eficácia contra bactérias patogênicas e fungos deterioradores de alimentos. Além disso, pesquisas demonstram que o óleo de *O. vulgare* pode ser utilizado no manejo de pragas agrícolas e no controle de larvas do mosquito *Aedes aegypti* (Carroll et al., 2017).

2.2.6 *Plukenetia volubilis*

A *P. volubilis* também conhecida como amendoim dos Andes, é uma planta oleaginosa nativa da região amazônica, especialmente do Peru, e cultivada em regiões tropicais da América do Sul (Cuadra et al., 2022). Pertence à família Euphorbiaceae, trata-se de uma espécie trepadeira que pode atingir uma altura de 2 metros, com folhas alternadas medindo até 12 centímetros. As flores masculinas são pequenas, brancas e dispostas em cachos, as flores femininas estão localizadas na base da inflorescência. Os frutos apresentam-se em cápsulas que possuem de 4 a 7 pontas, contêm quantidades apreciáveis de alcaloides e lectinas que podem ser tóxicos quando consumidos sem prévio cozimento (Oka et al., 2014).

Do ponto de vista nutricional, a *P. volubilis* é considerada uma excelente fonte de proteína vegetal, contendo aminoácidos essenciais, além de compostos fenólicos e tocoferóis, os quais conferem propriedades antioxidantes. O óleo extraído das sementes apresenta uma composição notavelmente rica em ácidos graxos insaturados, destacando-se os ômega 3, 6 e 9, tendo alto valor nutricional e potencial funcional (Cortina; Hernández-Carrión, 2023).

O amendoim dos Andes, destaca-se como um recurso natural no contexto da saúde humana, devido a sua versatilidade nutricional e farmacológica, servindo de matéria-prima para formulações dermatológicas e cosmeceúticos. Entretanto, a literatura científica que aborda diretamente o uso da *P. volubilis* como bioinseticida ainda é escassa. A maior parte das pesquisas se concentra em seu potencial nutricional, medicinal e cosméticos naturais, por sua ênfase em suas propriedades emolientes, regeneradoras e anti-inflamatórias (Poomanee et al., 2024; Vera et al., 2024).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivos geral

Avaliar o potencial inseticida e os efeitos subletais dos óleos essenciais de *S. aromaticum*, *H. officinalis*, *O. vulgare* e *P. volubilis* como alternativa de controle de *C. maculatus* em grãos de feijão-caupi armazenados.

3.2 Objetivos Específicos

1. Determinar a toxicidade dos óleos essenciais, por contato, em grãos de feijão-caupi infestados com adultos de *C. maculatus*, através de estimativas das concentrações letais para 50 e 95% dos insetos (CL₅₀ e CL₉₅).

2. Determinar a toxicidade dos óleos essenciais, por fumigação, em grãos de feijão-caupi infestados com adultos de *C. maculatus*, através de estimativas das concentrações letais para 50 e 95% dos insetos (CL₅₀ e CL₉₅).

3. Avaliar os efeitos subletais dos óleos essenciais sobre o crescimento populacional de *C. maculatus* em cultivares de feijão-caupi.

4. Avaliar o efeito dos óleos essenciais sobre a qualidade de cultivares de feijão caupi.

4. HIPÓTESES

H1: Os óleos essenciais testados apresentam toxicidade por contato suficiente para provocar mortalidade significativa de adultos de *C. maculatus*, com valores de CL₅₀ e CL₉₅ dentro de faixas consideradas eficientes para bioinseticidas naturais.

H2: Os óleos essenciais apresentam alta eficiência fumigante, produzindo mortalidade de adultos de *C. maculatus* através da ação dos seus compostos voláteis, resultando em CL₅₀ e CL₉₅ compatíveis com o uso em ambientes de armazenamento.

H3: Os óleos essenciais exercem efeitos subletais sobre *C. maculatus*, reduzindo a oviposição, emergência de adultos e taxa de crescimento populacional, mesmo quando aplicados em concentrações abaixo das letais.

H4: Os óleos essenciais não afetam negativamente parâmetros de qualidade dos grãos de feijão-caupi, como germinação, integridade física, peso de mil grãos ou teor nutricional, permanecendo seguros para armazenamento e possível uso como sementes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, Miquéias de Oliveira et al. Effect of drying conditions on physiological quality of cowpea seeds of the cultivar BRS-Tumucumaque. *Revista Caatinga*, v. 36, n. 2, p. 262–270, 2023.
- ASSIS, Miquéias de Oliveira et al. *Colheita, secagem e armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi*. Viçosa: [s.n.], [s.d.].
- ASSUNÇÃO, Sara J. R. et al. Soil quality index of an ultisol under long-term plots in the coastal tablelands in northeastern Brazil. *Revista Caatinga*, v. 36, n. 2, p. 432–444, 2023.
- AVELINO, Larisse Dias et al. Repelência de óleos essenciais e vegetais sobre pulgão-preto *Aphis craccivora* Koch na cultura do feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 14, n. 1, p. 21–26, 2019.
- BAKKALI, F. et al. Biological effects of essential oils: a review. *Food and Chemical Toxicology*, 2008.
- BARROS, Dayane de Melo et al. Atividades biológicas do eugenol e sua potencial utilização na conservação dos alimentos. *Revista Contemporânea*, v. 4, n. 6, p. e4804, 2024.
- BATISTA, Nathalia Aparecida Silva et al. *Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi pelo teste de condutividade elétrica*. Viçosa: [s.n.], [s.d.].
- BASTOS, Edson Alves. *A cultura do feijão-caupi no Brasil*. Teresina: [s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1065493/a-cultura-do-feijao-caupi-no-brasil>. Acesso em: 18 maio 2025.
- BENATO, Eliane Aparecida et al. Óleos essenciais e tratamento térmico no controle pós-colheita de bolor verde em laranja. *Summa Phytopathologica*, v. 44, n. 1, p. 65–71, 2018.
- BEZERRA, Antônio Aécio de Carvalho et al. Morfologia e produção de grãos em linhagens modernas de feijão-caupi submetidas a diferentes densidades populacionais. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 8, n. 1, p. 85–93, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 12, de 28 de março de 2008. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 31 mar. 2008.
- CARDOSO, Milton José et al. *Feijão-caupi: o produtor pergunta, a Embrapa responde*. Brasília: [s.n.], [s.d.].
- CARROLL, John F. et al. Repellency of *Origanum onites* L. essential oil and constituents to the lone star tick and yellow fever mosquito. *Natural Product Research*, v. 31, n. 18, p. 2192–2197, 2017.

CENTENO, Luz Muñoz; BOBILLO, Teresa Santos; BEATO, Teresa Alonso. Plantas medicinales españolas: *Hyssopus officinalis* L. *Ediciones Universidad de Salamanca*, v. 20, p. 135–144, 2001.

COÊLHO, Jackson Dantas. Feijão: produção e mercados. *Caderno Setorial ETENE*, v. 6, 2021.

CORTÉS-ROJAS, Diego Francisco; SOUZA, Claudia Regina Fernandes de; OLIVEIRA, Wanderley Pereira. Clove (*Syzygium aromaticum*): a precious spice. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2014.

CORTINA, A. Rodríguez; HERNÁNDEZ-CARRIÓN, M. Microcapsules of *P. volubilis* seed oil (*Plukenetia volubilis* L.) obtained by spray drying. *Food Research International*, v. 170, 2023.

CRUZ, Igor Luiz Souza da et al. Da história às práticas modernas: a função dos óleos essenciais no controle de insetos. *Revista Mosaico*, v. 15, n. 2, p. 86–96, 2024.

CUADRA, Raquel Taipe et al. Nutritional composition and digestibility of *P. volubilis*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, v. 23, n. 2, 2022.

FONTES, Luiz Eduardo de Moraes Fernandes; ALVES, Charline Zaratín. Coinoculação em sementes de feijão-caupi. Chapadão do Sul: [s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://sei.ufms.br>.

FRANÇA, Solange Maria de et al. Controle de *Callosobruchus maculatus* com pós vegetais. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, v. 20, p. 280–287, 2021.

FREIRE FILHO, Francisco Rodrigues et al. *Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios*. Teresina: [s.n.], [s.d.].

GARIMA, Garima; KHAN, Rafia; SEAL, Dakshina. Cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus*. *EDIS*, n. 5, 2021.

GOMES, Erik Nunes et al. Chemical variability and insect repellent effects. *Journal of Natural Pesticide Research*, v. 8, 2024.

GOULART, Flávia Luana et al. Óleos essenciais como bioinseticidas. *Brazilian Journal of Development*, v. 11, n. 8, p. 1–13, 2025.

GUPTA, Ipsa et al. Plant essential oils as biopesticides. *MDPI*, v. 12, n. 16, 2023.

IBARRA-ESPAIN, José Inés et al. Supplementation with oregano oil. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, v. 11, n. 1, p. 153–166, 2020.

JEHAJO, Nosheen; SHAH, Naheed. Damage caused by *Callosobruchus maculatus*. *Sarhad Journal of Agriculture*, v. 39, n. 3, p. 678–683, 2023.

LORINI, Irineu et al. *Manejo integrado de pragas de grãos armazenados*. Brasília: Embrapa Soja, 2015.

MAITHANI, Ankita et al. *Origanum vulgare* description and applications. *Current Agriculture Research Journal*, v. 11, n. 2, p. 348–361, 2023.

MARANGONI, Cristiane; MOURA, Neusa Fernandes de; GARCIA, Flávio Roberto Mello. Uso de óleos essenciais no controle de insetos. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 6, n. 2, p. 95–112, 2012.

MARQUES, Patrícia Angélica Alves et al. Crescimento e produção em orégano. *Ciência Rural*, v. 39, n. 6, p. 1888–1892, 2009.

MARTINS, Letícia Costa et al. Comparação de secagem de orégano. *Brazilian Journal of Development*, v. 10, n. 7, 2024.

MARTINS, Maria do P. S. C. et al. Characterization of cowpea cultivars. *Revista Caatinga*, v. 36, n. 1, p. 207–214, 2023.

MATTOS, Ana Paula et al. Uso de óleos essenciais no milho. *Estrabão*, v. 2, p. 139–147, 2021.

MENDOZA, Sarita A. Y.; CARRILLO, Pedro S. C. Biologia de *Callosobruchus maculatus*. *Manglar*, v. 20, n. 4, p. 353–361, 2023.

MOFUNANYA, A. A. J.; NAMGBE, E. E. Damage by *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, v. 9, n. 12, p. 96–101, 2016.

MOREIRA, Lissandra Silva et al. Preferência hospedeira de *Callosobruchus maculatus*. *Cadernos de Agroecologia*, v. 19, n. 1, 2024.

MOULODI, Fayegh et al. Essential oil of *Hyssopus officinalis*. *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences*, 2019.

MURUGESAN, R. et al. Insecticidal activity of plant extracts. *Journal of King Saud University*, v. 33, n. 3, 2021.

NOGUEIRA, Tiago da Cruz et al. Intoxicação por agrotóxicos. *Revista Interdisciplinar de Estudos em Saúde*, v. 11, n. 1, p. 14–26, 2022.

NUNES, Suellen de Oliveira et al. Atividade inseticida de óleo essencial. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, v. 23, n. 6, 2025.

OKA, Jaisson M. et al. Caracterização de *P. volubilis*. Congresso Brasileiro de Recursos Genéticos, 2014.

OLIVEIRA, Adolfo Marcito Campos de et al. Produção de alimentos com feijão-caupi. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 14, 2021.

PADHY, Ipsa et al. Mechanisms of eugenol. *Life*, 2022.

PESSOA, Angela M. dos S. et al. Selection in cowpea genotypes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 27, n. 6, p. 496–502, 2023a.

PESSOA, Angela M. dos S. et al. Genetic parameters in cowpea. *Revista Caatinga*, v. 36, n. 2, p. 310–319, 2023b.

PIMENTA, Thiago Alves. Efeito do óleo de cravo sobre insetos. 2022. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Alagoas.

POOMANEE, Worrapan et al. *P. volubilis* extraction. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 15, 2024.

RAGUL, S.; MANIVANNAN, N. Bruchid pest review. *Agricultural Reviews*, v. 45, n. 2, p. 290–296, 2021.

RASHIDI, Sepideh et al. Extraction of hyssop oil. *Journal of Chromatography A*, v. 1579, p. 9–19, 2018.

REGO, Carlos Henrique Queiroz et al. Morphology of cowpea seeds. *Journal of Seed Science*, v. 45, 2023.

SANCHES, Sarah Negrão et al. Óleo essencial como alternativa. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, v. 16, n. 12, 2023.

SANTOS, Maria Eduarda Pereira dos et al. Características agronômicas do feijão-caupi. Mossoró: [s.n.], [s.d.].

SENAR. *Grãos: manejo integrado de pragas*. Brasília: SENAR, 2018.

SHARIFI-RAD, Javad et al. Hyssopus essential oil. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022.

SILVA, Abraão Cícero da et al. Produção de feijão-caupi. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 16, n. 2, 2018.

SILVA, Karmile Maria da. Potencial fisiológico de sementes tratadas. Serra Talhada: [s.n.], [s.d.].

SILVA, Paulo Henrique Soares da; SOBRINHO, Cândido Athayde. Guia de pragas do feijão-caupi. Teresina: [s.n.].

SILVA, Toshik Iarley da et al. Efeito larvicida de óleos essenciais. *Revista Verde*, v. 12, n. 2, p. 256–260, 2017.

SILVA, Vitor Emanuel Conrado da et al. Qualidade de sementes armazenadas. Paraíba: [s.n.], [s.d.].

SILVA JUNIOR, Miguel Ferreira da et al. Toxicidade de citronela. *Revista Ciência Agrícola*, v. 23, 2025.

SILVESTRI, Jandimara Doninelli Fior et al. Composição química do cravo-da-índia. *Revista Ceres*, v. 57, n. 5, p. 589–594, 2010.

SISTEMA DE PRODUÇÃO EMBRAPA. Cultivo de feijão-caupi. Embrapa, 2017.

SOUSA, Ana Caroline Santos de et al. Controle sustentável com óleos essenciais. *Crop Protection*, v. 195, 2025.

SOUZA, Amanda Cordeiro de Melo et al. Fixação biológica de nitrogênio. *Revista Caatinga*, v. 34, n. 2, p. 359–369, 2021.

SOUZA, Elizângela Maria de et al. Composição química de óleos essenciais. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 44, n. 2, 2018.

SOUZA, Sidney dos Santos et al. Viabilidade econômica do feijão-caupi. *Lumen et Virtus*, v. 15, n. 39, p. 2882–2891, 2024.

TAMWING, Gabriela da Silva. Bioatividade de óleo essencial. 2024. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Acre.

VALE, Eunice da Silva Medeiros do; TADEI, Wanderli Pedro. Uso de eugenol no controle de vetores. Manaus: [s.n.], [s.d.].

VERA, Edgar Landines et al. Propriedades nutricionais de *P. volubilis*. *Heliyon*, v. 10, n. 17, 2024.

ÓLEOS ESSENCIAIS COMO ALTERNATIVA DE CONTROLE DE *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Chrysomelidae, Bruchinae) EM GRÃOS DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata*): TOXICIDADE, EFEITO SUBLETAL E QUALIDADE DOS GRÃOS

Bruno Pereira dos Santos¹, Gutierres Nelson Silva²

¹ Mestrando em Entomologia e Conservação da Biodiversidade. Universidade Federal da Grande Dourados. ² Professor do Programa de Pós-graduação em Entomologia e Conservação da Biodiversidade. Universidade Federal da Grande Dourados. Brunosantoshoru27@gmail.com

RESUMO

Callosobruchus maculatus (Fabricius, 1775) é uma das principais pragas do feijão-caupi armazenado, causando perdas significativas na qualidade e viabilidade dos grãos. Nesse contexto, os óleos essenciais têm se destacado como alternativas sustentáveis ao uso de inseticidas sintéticos. O presente estudo avaliou a toxicidade por contato, a atividade fumigante, o efeito repelente e os efeitos subletais dos óleos essenciais de *Origanum vulgare*, *Hyssopus officinalis*, *Syzygium aromaticum* e *Plukenetia volubilis* sobre o inseto-praga, bem como seus impactos na qualidade dos grãos. Os bioensaios foram conduzidos em condições controladas no Laboratório de Interação Inseto-Planta da Universidade Federal da Grande Dourados. Foram realizados testes de toxicidade por contato, fumigação e repelência, além da avaliação da taxa de crescimento populacional e da qualidade dos grãos. Os resultados indicaram que o óleo de *O. vulgare* apresentou maior toxicidade por contato, com menores valores de CL₅₀ e CL₉₅, enquanto o *H. officinalis* se destacou pela maior eficiência fumigante e repelente. O óleo de *S. aromaticum* apresentou efeito intermediário e baixo potencial repelente, e o *P. volubilis* foi o menos eficiente. Observou-se ainda redução na taxa de crescimento populacional nos tratamentos mais eficazes, sem alterações significativas na qualidade dos grãos. Os achados reforçam o potencial de óleos ricos em monoterpenos e fenóis como alternativas sustentáveis para o manejo de *C. maculatus*, especialmente em unidades de armazenamento com baixa infraestrutura.

Palavras-chave: Controle alternativo, inseticidas botânicos, gorgulho-do-feijão, armazenamento.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil figura entre os principais produtores de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultura amplamente desenvolvida por pequenos e médios agricultores e que representa uma importante fonte de sustento para muitas famílias do Nordeste (Brasil, 2008). Após a colheita, o armazenamento adequado dos grãos é essencial para preservar suas características qualitativas e quantitativas ao longo do tempo (Ottoni et al., 2021).

Entretanto, diversos fatores podem comprometer a integridade dos grãos armazenados, levando à perda de suas propriedades originais. Entre esses fatores, destacam-se os insetos-praga associados aos produtos armazenados, responsáveis por danos significativos durante o período de estocagem (Kalpna; Hajam; Kumar, 2022). Dentre as espécies de maior importância econômica, *Callosobruchus maculatus*, conhecido como caruncho-do-feijão, é considerada a principal praga do feijão armazenado. Sua ação provoca redução da qualidade física, perda de peso, diminuição do valor nutritivo e do poder germinativo, além de comprometer as condições higiênicas dos grãos devido à presença de ovos, excrementos e insetos mortos (Mendoza; Carrillo, 2023).

Com longevidade média de sete a nove dias, *C. maculatus* é classificado como praga primária interna, pois suas larvas penetram e se alimentam no interior dos grãos. Essa característica, associada ao elevado potencial biótico, hábito polífago e capacidade de reprodução cruzada, favorece a rápida disseminação das infestações. A oviposição ocorre na superfície dos grãos, e a emergência dos adultos resulta em grãos quebradiços e perfurados, tornando-os inadequados para consumo ou semeadura (França et al., 2021).

Durante décadas, os inseticidas químicos desempenharam papel fundamental no aumento da produtividade agrícola e no controle de pragas. Contudo, o uso indiscriminado e inadequado desses produtos passou a gerar sérios problemas, como acúmulo de resíduos, seleção de populações resistentes e riscos ambientais e à saúde humana. Nesse contexto, cresce a necessidade de métodos alternativos que sejam eficazes, seguros e sustentáveis, capazes de reduzir os impactos negativos sem comprometer a viabilidade das práticas agrícolas (Basso; Siqueira; Richards, 2021).

As plantas produzem e armazenam uma diversidade de compostos orgânicos que, apesar de não participarem diretamente do crescimento ou desenvolvimento, são essenciais para sua defesa e interação com o ambiente. Esses metabólitos secundários exercem funções como proteção contra herbívoros e patógenos, além de participarem de processos ecológicos como atração de polinizadores e dispersão de sementes (Benato et

al., 2018). Entre esses compostos destacam-se os óleos essenciais, misturas complexas de substâncias voláteis extraídas de diferentes partes das plantas — folhas, raízes, cascas e sementes — geralmente por destilação por arraste a vapor. Dotados de aroma e sabor característicos, esses óleos contêm compostos como terpenos, fenóis, aldeídos, cetonas, ésteres e álcoois, muitos dos quais apresentam atividade biológica com ação tóxica, repelente ou fisiologicamente disruptiva em insetos, frequentemente interferindo no sistema nervoso e na respiração celular (Yu, 2025).

Diante da relevância econômica de *C. maculatus* e da necessidade de alternativas menos agressivas ao ambiente e à saúde humana, aliada à ampla disponibilidade de plantas produtoras de óleos essenciais com reconhecido potencial inseticida. Diante disso, este estudo avaliou a toxicidade, o efeito repelente e os efeitos subletais de óleos essenciais sobre *C. maculatus*, bem como seus impactos na qualidade de grãos de feijão-caupi armazenados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Interação Inseto-Planta (LIIP), na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) no ano de 2025, a temperatura de $25,0 \pm 1,0$ °C, $70,0 \pm 10,0\%$ de umidade relativa e fotoperíodo de 12 h.

2.2 Obtenção dos óleos

Os óleos essenciais de *P. volubilis*, *O. vulgare*, *S. aromaticum* e *H. officinalis* foram doados pelo Prof^o Dr^o Marcelo Fossa da Paz, responsável pelo Laboratório de Biotecnologia de Alimentos.

2.3 Criação de *Callosobruchus maculatus*

Os insetos foram mantidos por diversas gerações em grãos de feijão-caupi, acondicionados em recipientes de vidro fechados com tampas plásticas perfuradas e revestidas internamente com tecido fino, permitindo a adequada troca gasosa. Após a oviposição da geração vigente, os adultos morreram naturalmente; em seguida, os grãos contendo os ovos foram separados e procedeu-se à limpeza dos recipientes, com o objetivo de evitar contaminação por fungos.

Figura 1 - Potes de criação contendo grãos de feijão-caupi utilizados para manutenção da colônia de *C. maculatus* em laboratório.



2.4 Testes de toxicidade por contato

Os experimentos foram conduzidos nas mesmas condições de temperatura, umidade e fotófase utilizadas na criação de insetos. Foram testados, individualmente nas concentrações apresentada na tabela 1. A escolha das concentrações foi determinada através de pré-teste.

Tabela 1 - Doses dos óleos essenciais utilizadas no teste de contato $\mu\text{L}/20\text{ g}$.

Espécie vegetal	Doses ($\mu\text{L}/20\text{ g}$)
<i>S. aromaticum</i>	0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0
<i>H. officinalis</i>	0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0
<i>O. vulgare</i>	0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0
<i>P. volubilis</i>	2,0; 4,0; 5,0; 8,0; 12,0; 15,0; 20,0

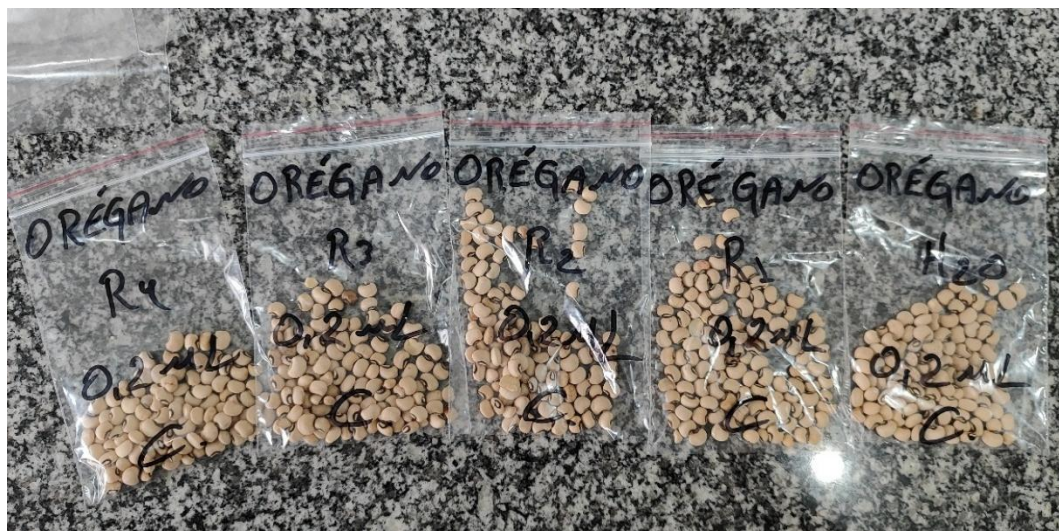
Para cada concentração, foram utilizadas quatro repetições e uma testemunha. Cada parcela constou de 20 g de feijão caupi, acondicionados em recipientes de plásticos de 100 mL com tampa perfurada, revestida com tecido fino para trocas gasosas, e infestada com 15 insetos não sexados de *C. maculatus* com 0-48 h de idade. Os óleos foram adicionados aos grãos com micropipeta e submetidos a agitação manual durante um minuto. Após 48 h da montagem dos experimentos, foi realizada a contagem da

mortalidade e os grãos utilizados foram guardados em sacos plásticos vedados para testes de qualidade.

Figura 2 - Potes plásticos contendo grãos de feijão-caupi tratados com diferentes óleos essenciais para avaliação da toxicidade por contato sobre adultos de *C. maculatus*.



Figura 3 - Grãos de feijão-caupi utilizados nos testes de contato guardados em sacos plásticos.



2.5 Testes de toxicidade por fumigação

Os testes foram realizados visando definir as concentrações letais dos óleos essenciais. As concentrações utilizadas estão presentes na tabela 2.

Tabela 2 - Doses dos óleos essenciais utilizadas no teste de fumigação $\mu\text{L}/20\text{ g}$.

Espécie vegetal	Doses ($\mu\text{L}/20\text{ g}$)
<i>S. aromaticum</i>	6,0; 8,0; 12,0; 15,0; 20,0; 30,0; 50,0
<i>H. officinalis</i>	6,0; 8,0; 12,0; 15,0; 20,0; 30,0
<i>O. vulgare</i>	6,0; 8,0; 12,0; 15,0; 20,0; 30,0; 50,0; 80,0; 120,0
<i>P. volubilis</i>	30,0; 40,0; 60,0; 80,0; 100,0; 130,0; 180,0; 220,0; 250,0; 300,0; 400,0

Utilizou-se câmaras de fumigação de plástico (100 mL) cilíndricas. O composto foi aplicado nas câmaras com pipetador automático, em pedaços de algodão fixados na superfície inferior da tampa. Para evitar o contato direto dos insetos com o composto foi utilizado tecido fino, transparente tipo voil, entre a câmara e a tampa onde se encontra o papel de filtro. Foram utilizados 15 insetos com idade entre 0-48 h, após 48 horas de confinamento, avaliou-se a mortalidade dos adultos.

Figura 4 - Unidade experimental utilizada no teste de fumigação, composta por recipiente plástico contendo grãos de feijão-caupi e tampa adaptada com algodão impregnado com óleo essencial para exposição de *C. maculatus*.



2.6 Testes de repelência

Com base nos resultados dos testes de toxicidade por contato, foram utilizados como tratamentos os valores da CL 20 e CL 30 (tabela 3).

Tabela 3 - Doses dos óleos essenciais utilizadas no teste de repelência nas concentrações de CL 20 e CL 30.

Espécie vegetal	CL20 (µL)	CL30 (µL)
<i>S. aromaticum</i>	0,27	0,37
<i>H. officinalis</i>	0,19	0,28
<i>O. vulgare</i>	0,21	0,27
<i>P. volubilis</i>	7,06	8,90

Os testes individuais de repelência foram realizados em arenas compostas por dois recipientes de 100 mL, fechados e cada um se encontrava em uma extremidade, interligados por um tubo plástico a um recipiente central, também fechado. Foram colocados 20 g de feijão-caupi tratados com as concentrações do óleo em uma das extremidades e na outra ponta da arena, a mesma quantidade de feijão-caupi não tratado, servindo como controle. 15 insetos não sexados de *C. maculatus*, com idade entre 0 e 48 horas, foram liberadas no recipiente central.

Após 48h, os insetos atraídos em cada recipiente foram contados e descartados, e os grãos transferidos para outros recipientes (100 mL) com a finalidade de contabilizar o número de adultos emergidos após 55 dias da infestação. O Índice de repelência (IR) será calculado pela fórmula: $IR = 2G / (G + P)$, onde G = % de insetos atraídos no tratamento e P = % de insetos atraídos na testemunha. Os valores de IR variam entre zero e dois, sendo que IR = 1 indica repelência semelhante entre o tratamento e a testemunha (tratamento neutro), IR > 1 indica menor repelência do tratamento em relação à testemunha (tratamento atraente) e IR < 1 indica a maior repelência do tratamento em relação à testemunha (tratamento repelente). O intervalo de segurança utilizado para considerar se o tratamento é ou não repelente será obtido, usando-se a média dos IR e o respectivo desvio padrão (DP), ou seja, se a média dos IR for menor que 1 - DP, o óleo é repelente; se for maior que 1 + DP o óleo é atraente e se estiver entre 1 - DP e 1 + DP o óleo é considerado neutro.

Figura 5 - Arena de teste de repelência composta por três recipientes interligados, contendo grãos de feijão-caupi tratados e não tratados, utilizada para avaliar a preferência ou evasão de *C. maculatus*.



2.7 Taxa instantânea de crescimento

A taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) de *C. maculatus* foi realizada no delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial 4 x 2 x 2, sendo quatro tipos de óleos essenciais (*O. vulgare*, *H. officinalis*, *S. aromaticum* e *P. volubilis*), duas concentrações (CL₂₀ e CL₃₀) e condição de tratamento (controle e óleo), com três repetições. Para determinar a r_i , utilizou-se os insetos provenientes do experimento de repelência. A r_i foi realizada sob condições constantes de temperatura (30 ± 2 °C), umidade relativa ($70 \pm 5\%$). A progênie adulta dos insetos foi contabilizada após 55 dias de armazenamento. A r_i foi calculada por meio da equação proposta por Walthall e Stark (1997) (Equação 1), utilizando-se o total de insetos obtidos ao final do armazenamento (55 dias) e o número inicial de insetos de cada tratamento.

Equação 1: Taxa instantânea de crescimento.

$$r_i = \frac{\left[\ln \left(\frac{N_f}{N_0} \right) \right]}{\Delta t}$$

Em que:

r_i = Taxa de crescimento

N_f = Número final de insetos;

N_0 = Número inicial de insetos;

Δt = Número de dias em que o ensaio foi executado.

2.8 Teste de qualidade

Para a avaliação do teor de água e da germinação dos grãos de feijão-caupi expostos aos óleos essenciais, adotou-se a concentração letal capaz de provocar 95% de mortalidade dos insetos (CL_{95}), previamente determinada no teste de toxicidade por contato. A utilização dessa concentração justifica-se por representar uma dose considerada eficaz no manejo de *C. maculatus*, permitindo verificar se o nível efetivo de controle do inseto poderia comprometer a qualidade fisiológica dos grãos.

As concentrações utilizadas foram: *P. volubilis* (44,92 μ L), *H. officinalis* (4,43 μ L), *S. aromaticum* (3,46 μ L) e *O. vulgare* (1,45 μ L). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (quatro óleos essenciais e um controle), distribuídos em três repetições.

O teor de água dos grãos de feijão-caupi foi medido a 100 ± 1 °C por 72 h (ASAE – American Society of Agricultural Engineers, 2004). Foi utilizado amostras de 10 g de grãos, para cada tratamento. Os resultados foram expressos em porcentagem de base úmida. A germinação das sementes de feijão-caupi foi avaliada de acordo com as Normas para Sementes Análise, em quatro repetições (BRASIL, 2009). Foram utilizadas 25 amostras de feijões-caupi, em três repetições, para cada tratamento.

2.9 Análise estatística e design experimental

Para os testes de fumigação e contato foram utilizados quatro óleos essenciais: *S. aromaticum*, *O. vulgare*, *H. officinalis* e *P. volubilis* no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. As concentrações letais (CL_{50} e CL_{95}) dos compostos para ambos os testes foram determinadas através do PROC PROBIT do programa SAS version 8.02 (SAS INSTITUTE, 2001). As Razões de Toxicidade (RT) foram obtidas, através do quociente entre a CL_{50} e/ou CL_{95} do óleo de menor toxicidade e as CL_{50} e/ou CL_{95} dos demais óleos, individualmente.

Para os testes de repelência foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (concentração do óleo e o controle), para cada óleo essencial em 3 repetições. As percentagens de insetos atraídos em cada concentração do óleo e controle e ainda as médias do número de insetos emergidos foram avaliadas pelo teste Qui-

quadrado, via PROC FREQ do programa computacional SAS version 8.02 (SAS Institute, 2001).

3 RESULTADOS

3.1 Teste de contato

Os resultados dos bioensaios de concentração–mortalidade por contato com adultos de *C. maculatus* expostos aos óleos essenciais de *P. volubilis*, *O. vulgare*, *S. aromaticum* e *H. officinalis* são apresentados na Tabela 4. As análises de Probit indicaram valores reduzidos de qui-quadrado ($\chi^2 < 7,91$) e elevados valores de probabilidade ($p > 0,09$), evidenciando a boa adequação dos dados ao modelo estatístico e, consequentemente, a confiabilidade das estimativas de concentração letal (CL_{50} e CL_{90}) obtidas.

Observou-se variação na inclinação das curvas de concentração–mortalidade entre os diferentes óleos essenciais, o que reflete uma heterogeneidade toxicológica entre os compostos testados. Inclinações mais elevadas indicam que pequenas alterações na concentração do óleo resultam em variações expressivas na mortalidade dos insetos. O óleo essencial de *H. officinalis* apresentou o menor valor de inclinação ($1,59 \pm 0,21$), sugerindo que este composto necessita de um incremento relativamente pequeno na concentração para promover um aumento significativo na mortalidade dos adultos de *C. maculatus*. Já o óleo essencial de *P. volubilis* apresentou maior valor de inclinação ($2,70 \pm 0,27$), o que indica que necessita maiores incrementos nas concentrações para promover aumento na mortalidade dos insetos. Esse resultado sugere menor uniformidade na resposta dos indivíduos de *C. maculatus* ao óleo de *P. volubilis*, refletindo uma menor sensibilidade populacional em comparação aos demais óleos testados.

Observou-se sobreposição nos intervalos de confiança (IC) das estimativas de CL_{50} , indicando ausência de diferença significativa na toxicidade entre os óleos essenciais de *S. aromaticum* (0,50 μ L/20 g), *O. vulgare* (0,33 μ L/20 g) e *H. officinalis* (0,41 μ L/20 g). Em contrapartida, o óleo essencial de *P. volubilis* apresentou valor de CL_{50} mais elevado (11,04 μ L/20 g) e ausência de sobreposição nos intervalos de confiança, evidenciando sua menor toxicidade em comparação aos demais óleos avaliados. A razão de toxicidade (RT) reforça o desempenho inferior do óleo de *P. volubilis*, que se mostrou cerca de 22 vezes menos tóxico que o óleo de referência na CL_{50} .

Para a CL_{95} , verificou-se sobreposição dos intervalos de confiança entre os óleos essenciais de *O. vulgare* e *H. officinalis*. O óleo essencial de *O. vulgare* apresentou o menor valor de concentração letal (1,45 μ L/20 g), demonstrando ser o mais tóxico na

CL₉₅. Por outro lado, o óleo essencial de *P. volubilis* foi o menos tóxico na CL₉₅, apresentando o maior valor de concentração letal (44,92 µL/20 g).

Tabela 4. Toxicidade por contato (µL/20 g) dos óleos essenciais de *S. aromaticum*, *O. vulgare*, *H. officinalis* e *P. volubilis* sobre *C. maculatus* em grãos de feijão-caupi.

Óleo essencial	n	G L	Inclinação (±EP)	CL ₅₀ (IC95%)	RT ₅₀	CL ₉₅ (IC95%)	RT ₉₅	χ ²	P
<i>S. aromaticum</i>	360	4	1,95±0,17	0,50 (0,41-0,60)	-	3,46 (2,51-5,31)	-	1,1 9	0,8 7
<i>O. vulgare</i>	360	4	2,58±0,23	0,33 (0,28-0,39)	-	1,45 (1,13-2,03)	-	2,2 4	0,6 9
<i>H. officinalis</i>	360	4	1,59±0,21	0,41 (0,24-0,63)	-	4,43 (2,25-17,13)	-	7,9 1	0,0 9
<i>P. volubilis</i>	360	4	2,70±0,27	11,04 (9,67-12,86)	22,0 8	44,92 (33,40-69,00)	12,9 8	1,2 8	0,8 6

n= número de insetos usados no teste; GL= grau de liberdade; EP = erro padrão da média; IC = intervalo de confiança; RT = razão de toxicidade, χ²= Qui-quadrado, P = probabilidade.

3.2 Teste de fumigação

Os resultados de fumigação com adultos de *C. maculatus* expostos aos óleos essenciais de *S. aromaticum*, *O. vulgare*, *H. officinalis* e *P. volubilis* são apresentados na Tabela 5. As análises revelaram valores moderados de qui-quadrado (χ² entre 7,94 e 14,34) e probabilidades próximas ao limite de significância (p > 0,06), indicando ajuste satisfatório do modelo e permitindo considerar as estimativas de CL₅₀ e CL₉₅ estatisticamente confiáveis.

As inclinações das curvas de concentrações variaram entre os diferentes tipos de óleos, refletindo diferenças no padrão de resposta dos insetos durante a exposição via fumigação. O óleo essencial de *O. vulgare* apresentou a menor inclinação (1,39 ± 0,15), indicando que pequenas variações na concentração resultam em respostas menos uniformes entre os insetos expostos. Em contraste, os óleos essenciais de *H. officinalis* (2,40 ± 0,24) e *P. volubilis* (2,14 ± 0,17) apresentaram valores de inclinação mais elevados, sugerindo que incrementos progressivos na concentração promovem aumentos mais consistentes na mortalidade dos adultos de *C. maculatus*.

Para CL₅₀ foi observado a ausência de sobreposição nos intervalos de confiança entre os óleos de *S. aromaticum* (20,25 µL/20 g), *O. vulgare* (37,52 µL/20 g) e *H.*

officinalis (17,32 µL/20 g), indicando diferenças significativas na toxicidade em níveis moderados de exposição. *P. volubilis* apresentou o maior valor de CL₅₀ (125,69 µL/20 g) e intervalo de confiança amplamente separado dos demais, evidenciando sua baixa toxicidade por fumigação. A razão de toxicidade (RT₅₀) reforça este comportamento, uma vez que o *P. volubilis* apresentou-se aproximadamente 7 vezes menos tóxico que o óleo de referência.

Para a CL₉₅, o óleo essencial de *H. officinalis* destacou-se como o mais tóxico na alta mortalidade, apresentando o menor valor de CL₉₅ (83,63 µL/20 g), seguido pelo *S. aromaticum* (156,70 µL/20 g) e pelo *O. vulgare* (572,64 µL/20 g). Porém, o óleo de *P. volubilis* foi novamente o menos eficiente, exibindo a maior CL₉₅ (735,88 µL/20 g) e valores de RT₉₅ indicando que sua toxicidade é cerca de 8,8 vezes inferior à do óleo de referência.

Tabela 5 - Toxicidade por fumigação (µL/20 g) dos óleos essenciais de *S. aromaticum*, *O. vulgare*, *H. officinalis* e *P. volubilis* sobre *C. maculatus* em grãos de feijão-caupi.

Óleo essencial	n	GL	Inclinação (±EP)	CL ₅₀ (IC95%)	RT ₅₀	CL ₉₅ (IC95%)	RT ₉₅	χ ²	P
<i>S. aromaticum</i>	420	5	1,85±0,18	20,25 (17,21- 23,83)	-	156,70 (101,08- 242,91)	-	10,45	0,06
<i>O. vulgare</i>	480	6	1,39±0,15	37,52 (30,41- 46,28)	-	572,64 (296,82- 1104,77)	-	12,00	0,06
<i>H. officinalis</i>	360	4	2,40±0,24	17,32 (15,09- 19,89)	-	83,63 (58,51- 119,54)	-	7,94	0,09
<i>P. volubilis</i>	600	8	2,14±0,17	125,69 (111,48- 141,70)	7,26	735,88 (548,82- 986,70)	8,80	14,34	0,07

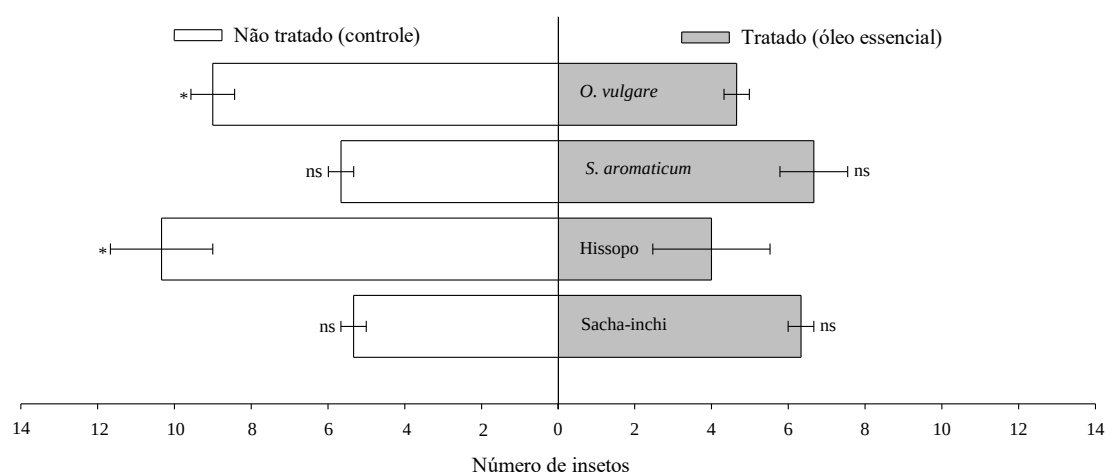
n= número de insetos usados no teste; GL= grau de liberdade; EP = erro padrão da média; IC = intervalo de confiança; RT = razão de toxicidade, χ²= Qui-quadrado, P = probabilidade.

3.3 Teste de repelência

Os resultados dos bioensaios de repelência conduzidos com com adultos de *C. maculatus* expostos aos óleos essenciais de *P. volubilis*, *Hyssopus officinalis*, *S. aromaticum* e *O. vulgare* encontram-se apresentados nas Figura 6 e Figura 7. Nos dois gráficos (CL₂₀ e CL₃₀), observa-se que o número de insetos atraídos aos grãos tratados com os óleos essenciais foi sempre menor do que no controle não tratado.

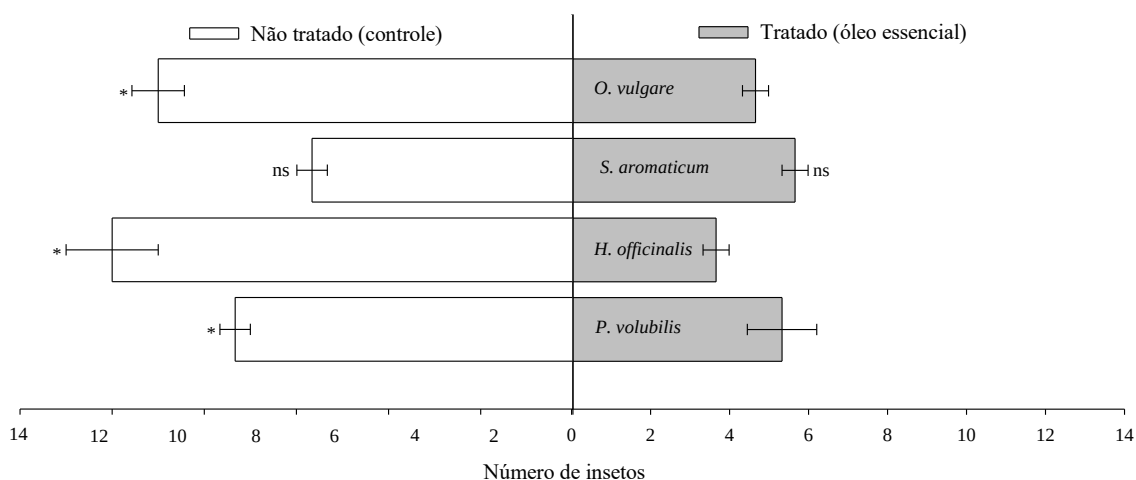
O óleo essencial de *O. vulgare* apresentou redução significativa da atratividade tanto na CL₂₀ quanto na CL₃₀, embora a diferença entre as concentrações não tenha alterado substancialmente o padrão observado. Para o óleo de *S. aromaticum*, apesar de uma diminuição numérica no número de insetos atraídos, o efeito não foi estatisticamente significativo em nenhuma das concentrações. *H. officinalis* destacou-se por apresentar as maiores reduções na atratividade, com diferenças significativas entre o tratamento e o controle em ambos os níveis de concentração. Já o *P. volubilis* apresentou redução moderada, porém não significativa estatisticamente.

Figura 6 - Número de insetos (média $\pm$ erro padrão) atraídos de *C. maculatus* em grãos de feijão-caupi tratados com os óleos essenciais de *S. aromaticum*, *O. vulgare*, *H. officinalis* e *P. volubilis* na CL₂₀.



* Significativo pelo teste de Qui-quadrado ($P < 0,05$).

Figura 7 - Número de insetos (média $\pm$ erro padrão) atraídos de *C. maculatus* em grãos de feijão-caupi tratados com os óleos essenciais de *S. aromaticum*, *O. vulgare*, *H. officinalis* e *P. volubilis* na CL₃₀.



* Significativo pelo teste de Qui-quadrado ($P < 0,05$).

A Tabela 6 foi estabelecida com base no índice de repelência (IR), no qual os valores inferiores a 1 indicam comportamento repelente, enquanto os valores iguais ou superiores a 1 refletem ausência de repelência (neutro).

O óleo essencial de *S. aromaticum*, por sua vez, não apresentou efeito repelente. Tanto na CL₂₀ (IR = 1,02 ± 0,09) quanto na CL₃₀ (IR = 1,00 ± 0,05), o índice manteve-se na faixa neutra, demonstrando que os insetos não modificaram seu comportamento em resposta ao odor do *S. aromaticum*.

O óleo essencial de *P. volubilis* apresentou comportamento distinto entre as duas concentrações testadas. Na CL₂₀, o IR foi de 1,08 ± 0,01, sendo classificado como neutro, o que indica que essa concentração não foi capaz de alterar significativamente a repelência. Entretanto, na CL₃₀, o IR reduziu-se para 0,83 ± 0,05, caracterizando repelência e demonstrando que apenas concentrações mais elevadas do óleo foram eficazes em afastar os adultos.

Os óleos essenciais de *O. vulgare* (CL₂₀ = 0,74 ± 0,07, CL₃₀ = 0,68 ± 0,05) e *H. officinalis* (CL₂₀ = 0,55 ± 0,20, CL₃₀ = 0,54 ± 0,06), demonstraram valores que influenciam significativamente o comportamento dos insetos, reduzindo sua atração pela fonte alimentar tratada. Exercendo repelência mesmo em baixas concentrações, indicando maior sensibilidade comportamental dos insetos a esse composto.

Tabela 6 - Classificação de repelência dos óleos essenciais de *S. aromaticum*, *O. vulgare*, *H. officinalis* e *P. volubilis* em adultos de *C. maculatus* em grãos de feijão-caupi.

Óleo essencial	Concentração	IR* (M ± EP)	Classificação
<i>P. volubilis</i>	CL ₂₀	1,08±0,01	Neutro
	CL ₃₀	0,83±0,05	Repelente
<i>H. officinalis</i>	CL ₂₀	0,55±0,20	Repelente
	CL ₃₀	0,54±0,06	Repelente
<i>S. aromaticum</i>	CL ₂₀	1,02±0,09	Neutro
	CL ₃₀	1,00±0,05	Neutro
<i>O. vulgare</i>	CL ₂₀	0,74±0,07	Repelente
	CL ₃₀	0,68±0,05	Repelente

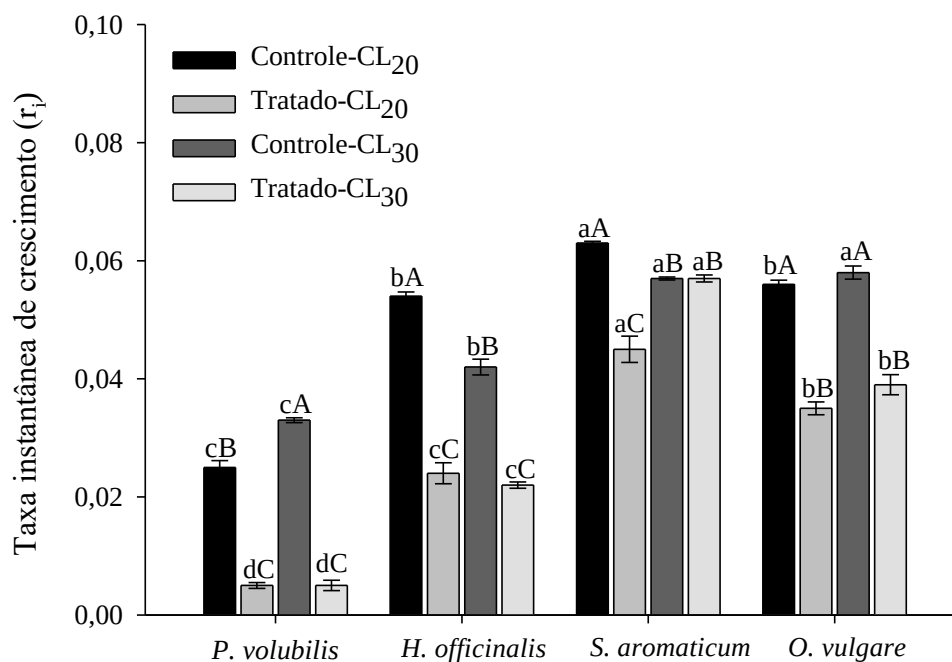
*IR (Índice de repelência) = 2G/G+P (G=% de insetos atraídos no tratamento; P=% de insetos atraídos na testemunha). M: média; EP: erro padrão.

3.4 Taxa instantânea de crescimento

A taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) foi significativamente influenciada pela interação Óleo $\times$ Concentração $\times$ condição de tratamento ($F_{3,32} = 11,97$; $p < 0,0001$). Evidenciando que a resposta populacional do inseto depende da combinação desses fatores. Além disso, foram observadas interações duplas significativas entre Óleo $\times$ Concentração ($F_{3,32} = 11,24$; $p < 0,0001$), Óleo $\times$ Condição de tratamento ($F_{3,32} = 25,45$; $p < 0,0001$) e Concentração $\times$ Condição de tratamento ($F_{1,32} = 12,18$; $p = 0,0014$).

De modo geral, os menores valores de r_i foram observados no tratamento com óleo essencial, independentemente da Concentração (CL₂₀ e CL₃₀), indicando efeito supressivo sobre o crescimento populacional do inseto (Figura 8).

Figura 8. Taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) (média $\pm$ erro padrão) de *C. maculatus* expostos a quatro óleos essenciais, avaliados em duas concentrações (CL₂₀ e CL₃₀).



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, para cada óleo, não diferem entre si quanto às concentrações. Médias seguidas pela mesma letra minúscula, dentro de cada concentração e óleo, não diferem quanto à condição de tratamento (tratado e controle), de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o óleo de *P. volubilis*, observou-se que, na concentração CL₂₀, o r_i foi de 0,025 no controle e reduziu para aproximadamente 0,005 no tratamento com o óleo. Na concentração CL₃₀, o controle apresentou r_i de aproximadamente 0,033, enquanto o tratamento com o óleo essencial manteve valores próximos de 0,005. Esses resultados indicam redução superior a 80% no crescimento populacional sob efeito do óleo, independentemente da concentração.

No óleo de *H. officinalis*, na CL₂₀, o controle apresentou r_i de aproximadamente 0,054, enquanto o tratamento reduziu para cerca de 0,024. Em CL₃₀, os valores foram 0,041 no controle e 0,022 no tratamento. A redução variou entre 45% e 55%, demonstrando efeito insetistático consistente em ambas as concentrações.

Para o óleo de *S. aromaticum*, os maiores valores de r_i foram registrados entre todos os tratamentos. Em CL₂₀, o controle apresentou r_i de aproximadamente 0,063 e o tratamento 0,045. Em CL₃₀, os valores foram próximos de 0,056 tanto para controle quanto para tratamento, não sendo observada redução expressiva nessa concentração. Esses resultados indicam menor eficiência do óleo de *S. aromaticum* na supressão da taxa de crescimento populacional.

No caso do óleo de *O. vulgare*, em CL₂₀, o r_i foi de aproximadamente 0,055 no controle e 0,035 no tratamento. Em CL₃₀, os valores foram 0,058 e 0,039 para controle e tratamento, respectivamente. A redução média observada foi da ordem de 30–35%, indicando efeito moderado sobre o crescimento populacional.

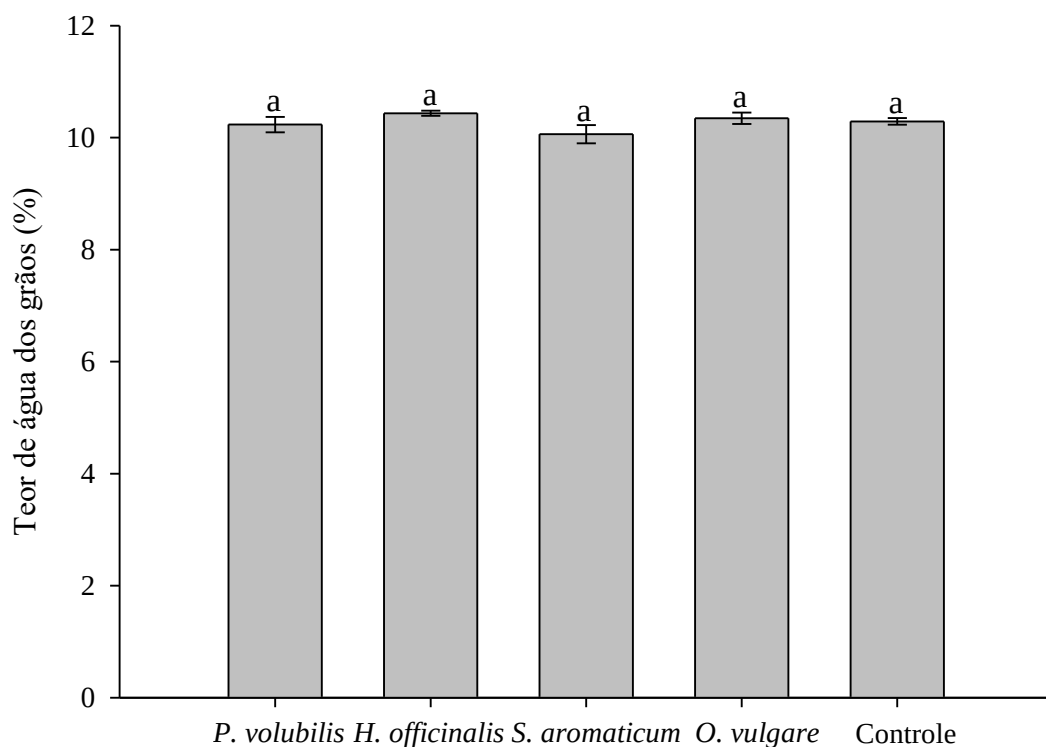
De modo geral, os menores valores de r_i foram observados para *P. volubilis*, seguido por *H. officinalis*, enquanto *S. aromaticum* apresentou os maiores índices de crescimento populacional. *O. vulgare* demonstrou efeito intermediário. Nenhum tratamento resultou em valores negativos de r_i , entretanto, para *P. volubilis*, os valores aproximaram-se de zero, indicando forte supressão da dinâmica populacional.

3.5 Teste de qualidade

O teor de água dos grãos de feijão-caupi não foi significativamente influenciado pelos tratamentos com óleos essenciais aplicados na concentração letal CL₉₅ ($F_{4,10} = 0,9225$; $p = 0,4882$). A análise de variância indicou ausência de efeito dos tratamentos ($p \geq 0,05$), demonstrando que a aplicação dos quatro óleos essenciais, na concentração eficaz para o controle de *C. maculatus*, não alterou o teor de água dos grãos quando comparados ao controle.

As médias do teor de água variaram de 10,06% a 10,43% (base úmida), com média geral de 10,27% (Figura 9). De forma geral, os resultados indicam que os óleos essenciais, quando aplicados na CL₉₅ recomendada para o controle de *C. maculatus*, não comprometem a qualidade fisiológica dos grãos no que se refere ao teor de água, evidenciando que sua utilização não promove alterações indesejáveis nesse parâmetro físico.

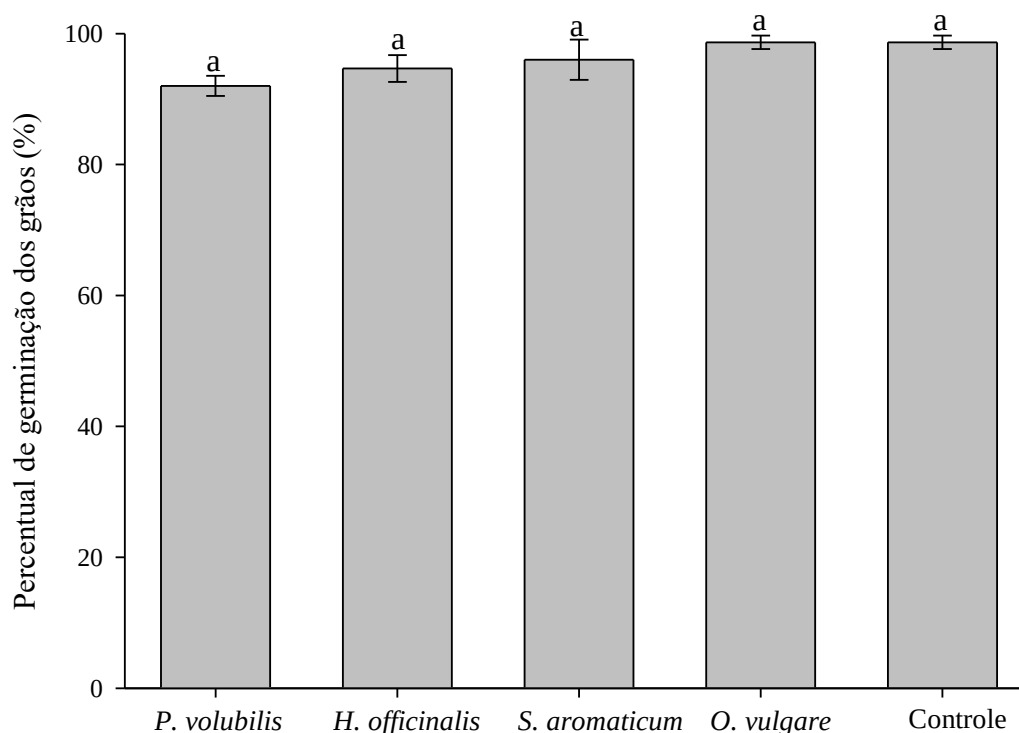
Figura 9. Teor de água (média $\pm$ erro padrão) dos grãos de feijão-caupi, expostos a CL₉₅ dos óleos essenciais.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A porcentagem de germinação dos grãos de feijão-caupi não foi significativamente influenciada pelos tratamentos com óleos essenciais aplicados na concentração CL₉₅ ($F_{4,10} = 1,25$; $p = 0,3511$). A análise de variância indicou ausência de efeito dos tratamentos ($p \geq 0,05$), demonstrando que os quatro óleos essenciais, na concentração eficaz para o controle de *C. maculatus*, não comprometeram a viabilidade fisiológica dos grãos em comparação ao controle. As médias de germinação variaram de 92,0% a 98,67%, com média geral de 96,0% (Figura 10). De modo geral, os resultados indicam que a aplicação dos óleos essenciais na CL₉₅ não afetou negativamente a germinação dos grãos de feijão-caupi, preservando sua qualidade fisiológica mesmo na concentração eficaz para o controle do inseto-praga.

Figura 10. Percentual de germinação (média $\pm$ erro padrão) dos grãos de feijão-caupi, expostos a CL₉₅ dos óleos essenciais.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo assumem relevância adicional ao representarem o primeiro relato na literatura avaliando de forma integrada a toxicidade, os efeitos subletais e o impacto na qualidade dos grãos de feijão-caupi tratados com os óleos essenciais de *O. vulgare*, *H. officinalis*, *S. aromaticum* e *P. volubilis* no controle de *C. maculatus*.

A atividade inseticida observada para os óleos essenciais avaliados demonstra que esses compostos apresentam potencial significativo para o controle de *C. maculatus*, embora com variações marcantes em função da espécie vegetal e da modalidade de exposição. Estudo apontam que diferentes classes de monoterpenos e fenóis apresentam toxicidade diferenciada contra insetos-praga de produtos armazenados (Ferraz et al., 2024; Cagán et al., 2022; Satongrod et al., 2021).

Nos testes de toxicidade por contato, o óleo essencial de *O. vulgare* mostrou-se o mais eficiente, apresentando as menores concentrações letais (CL₅₀ e CL₉₅). Esse resultado deve-se a sua composição química, marcada por elevados teores de carvacrol e timol, compostos altamente tóxicos para diversas espécies de coleópteros, devido sua capacidade causar desnaturação de proteínas e ruptura da membrana celular (Alkan,

2020). Os fenóis monoterpênicos como carvacrol apresentam forte afinidade lipofílica, facilitando a penetração pela cutícula e potencializando a ação no sistema nervoso central dos insetos, o que explica a alta toxicidade observada (Plata-Rueda et al., 2021; Plata-Rueda et al., 2022).

Por outro lado, o óleo de *S. aromaticum*, cujo apresentou toxicidade intermediária. Esse óleo é conhecido por sua ação inseticida contra pragas, mas costuma apresentar menor impacto quando comparado a fenóis mais reativos, a menor eficácia observada pode estar relacionada a menor volatilidade e menor permeabilidade cuticular desse composto (Armijos et al., 2019) (Plata-Rueda et al., 2018).

O óleo de *H. officinalis* exibiu resultados semelhantes á do *S. aromaticum* em níveis moderados de concentração, mas com destaque para maior toxicidade em níveis elevados de mortalidade (CL_{95}), principalmente nos ensaios de fumigação. Compostos como isopinocanfona e β -pineno que podem ser encontrados nesse óleo, apresentam atividades significativa por via respiratória, esse perfil químico explica a eficácia superior do *H. officinalis* na fumigação, modalidade que depende da volatilidade e da capacidade de atingir receptores olfativos e respiratórios (Sharifi-Rad et al., 2022; Li; Qiao; Zhang, 2025).

P. volubilis apresentou a menor eficiência entre os óleos avaliados, resultado que pode estar relacionado ao seu perfil químico predominantemente composto por ácidos graxos e outros componentes de baixa volatilidade e predominância de lipídios de cadeia longa apresentam menor toxicidade por contato, diferente dos óleos essenciais ricos em monoterpenos e compostos altamente voláteis, que apresentam maior capacidade de penetrar a cutícula (Kavallieratos et al., 2025; Shah et al., 2024; Kerbel et al., 2023).

Nos testes de fumigação, o óleo essencial de *H. officinalis* apresentou maior eficiência, destacando-se como composto mais toxico tanto na CL_{50} quanto na CL_{95} , indicando elevada capacidade de atuação por via respiratória. Essa eficácia pode estar atribuída aos seus principais monoterpenos voláteis, como isopinocanfona, β -pineno e mirceno, forte capacidade de penetração nas vias traqueais e alta atividade fumigante (Atazhanova et al., 2024; Moulodi et al., 2019).

O óleo de *S. aromaticum* apresentou um desempenho positivo, esse resultado está diretamente relacionado ao seu principal constituinte, o eugenol, um composto fenólico de volatilidade moderada e reconhecida estabilidade na fase gasosa (Barros et al., 2024). Estudos prévios mostram que o eugenol é capaz de interferir no sistema nervoso central

de insetos via inalação, afetando canais iônicos e processos respiratórios (Vale; Tadei, 2018; Mota; Matos; Maia, 2024).

O. vulgare, embora apresente forte toxicidade por contato, demonstrou desempenho inferior à fumigação, necessitando concentrações mais elevadas para alcançar níveis comparáveis de mortalidade. Esse comportamento é consistente com relatos de que a maior ação por contato direto do que como fumigantes dependendo do tipo de espécie (Chen et al., 2019); (Eltalawy et al., 2024; Jaffar; Lu, 2022).

Por fim, o *P. volubilis* apresentou a menor eficiência em todos os níveis de exposição por fumigação, exibindo CL_{50} e CL_{95} muito superiores às dos demais óleos avaliados. Sua composição, rica em compostos de baixa volatilidade, possivelmente explica a reduzida capacidade de atingir vias respiratórias do inseto e sua limitada ação inseticida por fumigação.

Os resultados dos testes de repelência evidenciam que os óleos essenciais avaliados diferem amplamente em sua capacidade de interferir no comportamento de orientação de *C. maculatus*. O *H. officinalis* destacou-se como o tratamento mais repelente, mantendo valores de IR consistentemente inferiores a 1. Esse resultado sugere que compostos majoritários presentes nessa planta, possuem forte ação sobre os receptores olfativos do inseto, desencadeando respostas comportamentais de evasão mesmo em baixas doses (Plugatar et al., 2023; Pajaro-Castro; Caballero-Gallardo; Olivero-Verbel, 2017).

O. vulgare também apresentou comportamento fortemente repelente em ambas as concentrações, embora com intensidade ligeiramente inferior ao *H. officinalis*. Considerando que carvacrol e timol, são moléculas aromáticas de forte odor e reconhecida ação neurocomportamental, é plausível que esses compostos interfiram na orientação olfativa dos adultos de *C. maculatus*, reduzindo sua preferência pelos grãos tratados (Ibarra-Espain et al., 2020); (Carroll et al., 2017).

S. aromaticum, por outro lado, não apresentou efeito repelente significativo, mantendo valores de IR próximos de 1. Embora o eugenol possua aroma intenso e reconhecida atividade inseticida, sua ação como repelente é mais variável entre espécies de insetos, podendo ser percebido como um estímulo neutro devido à forma como interage com receptores olfativos específicos desses insetos (Yang et al., 2009; Lopez et al., 2025; Barrozo et al., 2025).

O óleo de *P. volubilis* apresentou um padrão intermediário: comportamento neutro na CL_{20} e repelência moderada apenas na CL_{30} . Esse efeito dependente da concentração, possivelmente compostos menos voláteis requer maior quantidade para que o odor seja

suficientemente percebido pelos insetos. Até o momento, não foram encontrados estudos que avaliem o desempenho fumigante de óleos vegetais não voláteis, como o de *P. volubilis*, o que impede comparações diretas com a literatura. Assim, os resultados aqui obtidos representam evidência inicial de sua baixa eficácia.

Os resultados obtidos para a taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) reforçam os efeitos subletais dos óleos essenciais sobre *C. maculatus*, evidenciando que, mesmo quando não promovem mortalidade imediata, esses compostos são capazes de interferir significativamente na dinâmica populacional da espécie (Ebadollah et al., 2025). De modo geral, os menores valores de r_i foram observados para o óleo de *P. volubilis* e para o óleo de *H. officinalis*, indicando maior capacidade de supressão populacional ao longo do tempo. Esse efeito pode estar relacionado à ação fisiológica cumulativa dos compostos presentes nesses óleos, que possivelmente afetam processos como alimentação, oviposição e desenvolvimento, refletindo em menor crescimento populacional (Borzoui; Khaghani; Nouri-Ganbalani, 2021; Ferraz et al., 2024).

Por outro lado, o óleo de *S. aromaticum* apresentou os maiores valores de r_i , sugerindo menor eficiência em reduzir o crescimento populacional, especialmente em concentrações mais elevadas, o que indica que a toxicidade observada nos bioensaios não necessariamente se traduz em impacto prolongado sobre a população (Jumbo et al., 2018). O óleo de *O. vulgare*, por sua vez, apresentou efeito intermediário, promovendo redução moderada no crescimento populacional, o que demonstra que diferentes óleos podem apresentar respostas distintas dependendo do tipo de efeito avaliado (Krzyzowski et al., 2020).

No que se refere à qualidade dos grãos, os resultados obtidos são particularmente relevantes, uma vez que demonstram que a aplicação dos óleos essenciais na concentração CL₉₅ não promoveu alterações significativas no teor de água dos grãos de feijão-caupi, parâmetro fundamental para a conservação pós-colheita, visto que variações no teor de umidade podem comprometer a estabilidade dos grãos durante o armazenamento. Dessa forma, os dados indicam que os tratamentos avaliados não interferem nas características físicas dos grãos, mesmo em concentrações eficazes para o controle do inseto (Sarma, 2021; Xavier et al., 2012).

A ausência de efeito significativo sobre a germinação reforça ainda mais a viabilidade do uso desses óleos essenciais. A manutenção de altas taxas de germinação evidencia que os compostos aplicados não exerceram efeitos fitotóxicos, preservando a integridade fisiológica das sementes (Terzić et al., 2023).

5 CONCLUSÃO

Os óleos essenciais avaliados apresentaram diferentes níveis de eficiência no controle de *C. maculatus*, variando conforme a espécie vegetal e o tipo de bioensaio realizado (contato, fumigação e repelência, taxa instantânea de crescimento e qualidade dos grãos).

O óleo essencial de *O. vulgare* revelou-se o mais tóxico por contato, apresentando as menores concentrações letais (CL_{50} e CL_{95}) entre os tratamentos, o que o torna candidato promissor para aplicações em que o efeito por contato seja desejado. Já o *H. officinalis* destacou-se pela elevada atividade fumigante e pelo efeito repelente consistente, causando maior evasão comportamental dos adultos. O *S. aromaticum* exibiu toxicidade intermediária, sem efeito repelente significativo, e resultou nos maiores valores de taxa instantânea de crescimento (r_i), indicando menor impacto a longo prazo sobre a dinâmica populacional quando comparado aos demais óleos. Por fim, o *P. volubilis* foi o menos eficiente nas modalidades, embora, em concentrações mais elevadas, tenha apresentado alguma atividade repelente.

A aplicação dos óleos essenciais na concentração eficaz (CL_{95}) não provocou alterações significativas nos principais parâmetros de qualidade avaliados dos grãos de feijão-caupi: teor de água e germinação permaneceram compatíveis com o controle, indicando que, nas condições experimentais deste estudo, os tratamentos não comprometeram a qualidade fisiológica das sementes. Esse achado sustenta a viabilidade do uso desses óleos em unidades de armazenamento quando a manutenção da viabilidade das sementes for desejada.

6 RELEVÂNCIA NA PESQUISA

A relevância prática dos resultados obtidos neste estudo é significativa para produtores rurais, especialmente pequenos agricultores e unidades de armazenamento com infraestrutura limitada. Em muitos locais, o controle de temperatura, umidade e a adoção de tecnologias avançadas de manejo pós-colheita são inviáveis ou economicamente inacessíveis, o que aumenta a vulnerabilidade dos grãos ao ataque de pragas como *C. maculatus*.

Nesse contexto, o uso de óleos essenciais surge como uma alternativa promissora, de baixo custo e ambientalmente mais segura, contribuindo para o manejo integrado de pragas em sistemas de armazenamento. Os resultados encontrados indicam que

substâncias de origem vegetal podem ser incorporadas como medidas complementares ou mesmo substitutivas ao uso de inseticidas sintéticos, especialmente em comunidades onde o acesso a insumos químicos é restrito.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKAN, Mustafa. Chemical composition and insecticidal potential of different *Origanum* spp. (Lamiaceae) essential oils against four stored product pests. *Turkiye Entomoloji Dergisi*, v. 44, n. 2, p. 149–163, 2020.
- ARMIJOS, Maria José González et al. Fumigant toxicity of eugenol and its negative effects on biological development of *Callosobruchus maculatus* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*, v. 36, n. 1, p. 5–15, 2019.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE). Moisture measurement—unground grain and seeds. St. Joseph, 2004.
- ATAZHANOVA, Gayane et al. The genus *Hyssopus*: traditional use, phytochemicals and pharmacological properties. 2024.
- BARROS, Dayane de Melo et al. Atividades biológicas do eugenol e sua potencial utilização na conservação dos alimentos. *Revista Contemporânea*, v. 4, n. 6, e4804, 2024.
- BARROZO, Mayara Macêdo et al. Repellent activity of the botanical compounds thymol, carvacrol, nootkatone and eugenol against *Amblyomma sculptum* nymphs. *Pathogens*, v. 14, n. 9, 2025.
- BASSO, Cristiana; SIQUEIRA, Ana Carolina Fraga; RICHARDS, Neila Silvia Pereira dos Santos. Impactos na saúde humana e no meio ambiente relacionados ao uso de agrotóxicos: uma revisão integrativa. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 8, 2021.
- BENATO, Eliane Aparecida et al. Óleos essenciais e tratamento térmico no controle pós-colheita de bolor verde em laranja. *Summa Phytopathologica*, v. 44, n. 1, p. 65–71, 2018.
- BORZOU, E.; KHAGHANI, R.; NOURI-GANBALANI, G. Lethal and sublethal effects of *Eucalyptus camaldulensis* and *Mentha piperita* essential oils on the khapra beetle (Coleoptera: Dermestidae) in terms of feeding inhibition, oviposition, and seed damage. *Environmental Entomology*, v. 50, n. 3, p. 692–698, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1093/ee/nvab023>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 12, de 28 de março de 2008. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 31 mar. 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS, 2009.
- CAGÁN, Ludovít et al. Essential oils: useful tools in storage-pest management. *Plants*, v. 11, n. 22, 2022.

CARROLL, John F. et al. Repellency of the *Origanum onites* L. essential oil and constituents to the lone star tick and yellow fever mosquito. *Natural Product Research*, v. 31, n. 18, p. 2192–2197, 2017.

CHEN, Zhenzhen et al. Acaricidal activity of plant-derived essential oil components against *Psoroptes ovis* in vitro and in vivo. *Parasites & Vectors*, v. 12, n. 1, 2019.

EBADOLLAHI, A.; et al. Insecticidal efficacy of *Satureja hortensis* L. and *Satureja khuzistanica* Jamzad essential oils against *Callosobruchus maculatus* (F.). *Plants*, v. 14, n. 19, 2025.

ELTALAWY, Hassan M. et al. Repellency, fumigant toxicity, antifeedant and residual activities of *Coridothymus capitatus* and its main component carvacrol against red flour beetle. *Molecules*, v. 29, n. 17, 2024.

FERRAZ, Maria Suely Siqueira et al. Toxicity of *Piper hispidinervum* essential oil to *Callosobruchus maculatus* and cowpea bean quality. *Plants*, v. 13, n. 22, 2024.

FRANÇA, Solange Maria de et al. Controle de *Callosobruchus maculatus* com pós vegetais e inertes. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 20, p. 280–287, 2021.

IBARRA-ESPAIN, José Inés et al. Supplementation of broiler diets with propolis and oregano oil and its effect on production parameters, leukocytes, metabolites and breast meat antioxidant stability. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, v. 11, n. 1, p. 153–166, 2020.

JAFFAR, Saleem; LU, Yongyue. Toxicity of some essential oil constituents against *Bactrocera dorsalis*. *Insects*, v. 13, n. 10, 2022.

JUMBO, L. O. V.; et al. Toxicity to, oviposition and population growth impairments of *Callosobruchus maculatus* exposed to clove and cinnamon essential oils. *PLoS ONE*, v. 13, n. 11, 2018.

KALPNA; HAJAM, Younis Ahmad; KUMAR, Rajesh. Management of stored grain pest with special reference to *Callosobruchus maculatus*: a review. *Heliyon*, 2022.

KAVALLIERATOS, Nickolas G. et al. The potency of essential oils in combating stored-product pests: from nature to nemesis. *Plants*, v. 14, n. 2, 2025.

KERBEL, S. et al. Insecticidal activity of crude olive pomace oils against stored-product pests. *African Entomology*, v. 31, 2023.

KRZYŻOWSKI, Michał et al. The effect of *Rosmarinus officinalis* essential oil on biochemical, behavioral and physiological parameters of *Callosobruchus maculatus*. *Insects*, v. 11, n. 6, 2020.

LI, Hui; QIAO, Sheng; ZHANG, Shuaibing. Essential oils in grain storage: a comprehensive review of insecticidal and antimicrobial constituents, mechanisms and applications. *Journal of Stored Products Research*, v. 111, 2025.

LOPEZ, April D. et al. Repellency of essential oils and plant-derived compounds against *Aedes aegypti*. *Insects*, v. 16, n. 1, 2025.

MENDOZA, Sarita A. Yacila; CARRILLO, Pedro S. Castillo. Biología de *Callosobruchus maculatus* en semillas de *Vigna unguiculata*. *Manglar*, v. 20, n. 4, p. 353–361, 2023.

MOTA, Eduarda Souza da; MATOS, Darley Calderaro Leal; MAIA, Mateus Alho. Explorando o potencial antitermítico de *Syzygium aromaticum*. *Revista Contemporânea*, v. 4, n. 12, p. 1–22, 2024.

MOULODI, Fayegh et al. Chemical composition and antioxidant and antimicrobial properties of *Hyssopus officinalis* L. *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences*, 2019. No prelo.

OTTONI, Guilherme et al. Crescimento e produção de feijão-caupi BRS Tumucumaque em diferentes densidades populacionais. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 14, 2021.

PAJARO-CASTRO, Nerlis; CABALLERO-GALLARDO, Karina; OLIVERO-VERBEL, Jesus. Neurotoxic effects of linalool and β -pinene on *Tribolium castaneum*. *Molecules*, v. 22, n. 12, 2017.

PLATA-RUEDA, Angelica et al. Terpenoid constituents of cinnamon and clove essential oils: toxic and behavioral effects on *Sitophilus granarius*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 156, p. 263–270, 2018.

PLATA-RUEDA, Angelica et al. *Origanum vulgare* essential oil against *Tenebrio molitor*: composition, insecticidal activity and behavioral response. *Plants*, v. 10, n. 11, 2021.

PLATA-RUEDA, Angelica et al. Chemical composition and insecticidal properties of *Origanum vulgare* essential oil against *Sitophilus granarius*. *Agronomy*, v. 12, n. 9, 2022.

PLUGATAR, Yuri Vladimirovich et al. Study of essential oil composition and morphology of *Hyssopus officinalis*. *Horticulturae*, v. 9, n. 4, 2023.

SARMA, A. K. Effect of essential oils on viability and nutritional quality of stored cowpea seeds. *International Journal of Botany Studies*, v. 6, n. 5, p. 1145–1148, 2021.

SATONGROD, B. et al. Fumigant toxicity of *Wedelia trilobata* essential oil against *Callosobruchus maculatus*. *International Journal of Agricultural Technology*, v. 17, n. 4, p. 1591–1604, 2021.

SHAH, J. A. et al. Odourless vegetable oils as insect repellents for food packaging protection. *Journal of Plant Diseases and Protection*, v. 131, n. 5, p. 1549–1559, 2024.

SHARIFI-RAD, Javad et al. *Hyssopus* essential oil: phytochemistry, biological activities and safety profile. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022.

TERZIĆ, D. et al. Impact of essential oils on seed quality and seed-borne pathogens of *Althea officinalis* seeds of different ages. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 10, n. 1, 2023.

VALE, Eunice da Silva Medeiros do; TADEI, Wanderli Pedro. Formulário de eugenol e seu uso, em condições de laboratório, no controle de *Aedes aegypti* vetor da dengue, chikungunya e zika. Manaus: [S.n.].

WALTHALL, W. K.; STARK, J. D. Comparison of population-level ecotoxicological endpoints. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 16, n. 5, p. 1068–1073, 1997.

YANG, Jeong-Oh et al. Repellency and electrophysiological response of essential oils against *Riptortus clavatus*. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, v. 52, n. 6, p. 668–674, 2009.

YU, Jianmei. Chemical composition of essential oils and applications in grain storage. *Molecules*, 2025.

WALTHALL, W. K.; STARK, J. D. Comparison of two population-level ecotoxicological endpoints: the intrinsic (rm) and instantaneous (ri) rates of increase. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 16, n. 5, p. 1068–1073, 1997.

XAVIER, M. V. A.; et al. Viabilidade de sementes de feijão-caupi após o tratamento com óleo essencial de citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowitt). *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, v. 14, p. 250–254, 2012.

YANG, Jeong-Oh et al. Repellency and Electrophysiological Response of Caraway and Clove Bud Oils against Bean Bug *Riptortus clavatus*. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, v. 52, n. 6, p. 668–674, nov. 2009.

YU, Jianmei. Chemical Composition of Essential oils and their potential applications in postharvest storage of cereal grains. *Molecules* Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), fev. 2025.