

# PROTÓTIPO MICROSILO MUNIDO DE UM DIFUSOR DE OE'S E/OU SEUS CONSTITUINTES PARA O CONTROLE DE *Callosobruchus maculatus* EM FEIJÃO-CAUPI ARMAZENADO

Pedro Henrique Lima Souza<sup>1</sup>; Mariano Oscar A. I. Rojas<sup>2</sup>; Guilherme Lopes de Sousa<sup>3</sup>; Joao Pedro de Azevedo Lopes Silva<sup>4</sup>; Stephanny de Sousa Barrense<sup>5</sup>; Giovana Lopes da Silva<sup>6</sup>; Douglas Rafael e Silva Barbosa<sup>7</sup>.

## Resumo

O caruncho *Callosobruchus maculatus* é a principal praga do feijão-caupi armazenado, causando perdas qualitativas e quantitativas. Considerando as limitações dos fumigantes sintéticos, avaliou-se a bioatividade do isolad óleo essencial carvone difundido por dispositivos inseridos em microsilos como estratégia inovadora e sustentável de manejo. Avaliou-se o carvone difundido por dispositivos em microsilos (5 L) como alternativa ao manejo de *C. maculatus* em feijão-caupi, comparando-se os volumes de 2 mL e 3 mL. A eficiência do composto aplicado no sistema foi avaliada de 24 a 120 h, estimando-se tempos letais via Probit. Observou-se também a cinética de mortalidade através de modelo logístico com latência, além da taxa instantânea de crescimento (ri). Os resultados mostraram efeito dose-dependente: 3 mL alcançou 100% de mortalidade em 72 h (TL<sub>50</sub> =34,77 h; TL<sub>90</sub> =55,98 h), enquanto 2 mL atingiu 100% em 120 h (TL<sub>50</sub> =35,20 h; TL<sub>90</sub> =76,90 h). A ri foi significativamente reduzida frente ao controle, com queda de 28,8% (2 mL) e 36,8% (3 mL), confirmando a supressão populacional. A modelagem indicou início rápido da ação e excelente concordância entre valores observados e estimados, sustentando a eficácia ao longo do tempo. Concluiu-se que carvone em 3 mL é mais rápido e eficiente, e que o sistema microsilos-difusor é promissor, tecnicamente aplicável e com potencial de proteção intelectual, oferecendo base para escalonamento (encapsulamento) e adoção como alternativa sustentável no controle de pragas em grãos armazenados.

<sup>1</sup>Estudante do Curso Técnico Agropecuária do IFMA do *Campus* Codó; E-mail: souzahenrique@acad.ifma.edu.br.

<sup>2</sup> Professor do Curso de Licenciatura em Química do *Campus* Codó; E-mail: ibanez@ifma.edu.br.

<sup>3</sup>Estudante do Curso Técnico em Agropecuária do IFMA do *Campus* Codó; E-mail: lopesguilherme@acad.ifma.edu.br.

<sup>4</sup>Estudante do Curso Técnico em Agropecuária do IFMA do *Campus* Codó; E-mail: pedroazevedo@acad.ifma.edu.br.

<sup>5</sup>Estudante Curso Técnico em Meio Ambiente do IFMA do *Campus* Codó; E-mail: stephannys@acad.ifma.edu.br.

<sup>6</sup> Professor do Curso de Licenciatura em Química do *Campus* Codó; E-mail: ibanez@ifma.edu.br.

<sup>7</sup>Professor do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do *Campus* Codó; E-mail: douglas.barbosa@ifma.edu.br

**Palavras-Chaves:** Microsilo, Difusor; Óleo essencial; Biofumigação.

**Financiamento:** Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA).

## **Introdução**

A conservação do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) é continuamente ameaçada por perdas no armazenamento, sobretudo pela infestação de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae). Dado o papel nutricional e socioeconômico do caupi em regiões tropicais, a adoção de estratégias de proteção pós-colheita de baixo impacto torna-se prioritária. Revisões recentes destacam tanto o valor nutricional do grão quanto a sua vulnerabilidade a insetos-praga em cadeias de suprimento com infraestrutura limitada, reforçando a necessidade de tecnologias simples, eficazes e compatíveis com a sustentabilidade (AFFRIFAH; PHILLIPS; SAALIA, 2021; SHEVKANI et al., 2025).

Entre as alternativas, óleos essenciais e seus monoterpenos têm se destacado como bioinseticidas devido à ação por contato e fumigação, à velocidade de resposta e ao menor risco de resíduos persistentes. Em *C. maculatus*, diferentes óleos e constituintes isolados apresentaram efeitos letais e subletais, reduzindo oviposição e emergência, com desempenho compatível com aplicações fumigantes em grãos armazenados (BARBOSA et al., 2020; BARBOSA et al., 2021a; BARBOSA et al., 2021b; RODRIGUES et al., 2022; SILVA et al., 2025). Estudos de relação estrutura-atividade apontam que monoterpenos oxigenados (p. ex., cetonas e óxidos) tendem a exibir maior toxicidade frente a pragas de produtos armazenados (SIERRA-QUITIAN; PRIETO-RODRÍGUEZ; PATIÑO-LADINO, 2025; PEIXOTO et al., 2015; SONG et al., 2024).

O carvone, principal constituinte de *Mentha spicata*, reúne propriedades desejáveis para uso em ambientes confinados: alta volatilidade, múltiplos alvos fisiológicos e efeito rápido, com relatos de sinergismo quando associada a outros monoterpenos (PEIXOTO et al., 2015; SONG et al., 2024). Evidências com chemótipos ricos em carvone ou com óleos de Lamiaceae mostram reduções expressivas de sobrevivência e de parâmetros populacionais em pragas de grãos, além de bons ajustes a modelos letais clássicos, o que favorece a predição do desempenho em condições de armazenamento (BARBOSA et al., 2021a; BARBOSA et al., 2021b; RODRIGUES et al., 2022; SILVA et al., 2025).

À luz desse cenário, o objetivo do trabalho foi avaliar, em microsilos que simulam o armazenamento, o desempenho do composto isolado carvone liberado por difusores no controle de *C. maculatus* em feijão-caupi, comparando duas concentrações operacionais (2 mL e 3 mL). Integraram-se: (i) mortalidade diária e acumulada; (ii) parâmetros letais

(TL<sub>50</sub>/TL<sub>90</sub>) via Probit; e (iii) modelo logístico com termo de latência para caracterizar início e progressão do efeito, além do impacto populacional. Essa abordagem orientada à aplicação buscou gerar evidências para o uso de difusores em microsilos como solução tecnológica viável e sustentável para o manejo de pragas em grãos armazenados.

### **Metodologia**

Os ensaios foram realizados no Laboratório Multidisciplinar do Instituto Federal do Maranhão com temperatura de 28±2 °C e umidade monitoradas de 60±10%.

#### **Montagem dos Ensaios em Microsilos:**

Microsilos de acrílico (5 unidades) com capacidade de 5 litros foram empregados, os quais foram preenchidos com feijão-caupi (4 kg), equilibrado em relação à umidade de armazenamento (aproximadamente 13%). Então, foi instalado o sistema de difusão dos gases, o qual foi composto de dispositivo difusor (contendo internamente um pedaço de algodão para embebedimento) inserido na superfície inferior do microsilos na região central e a 20 cm da borda. Em cada microsilos foram acopladas bombas de circulação de ar conectadas com a massa de grãos por uma mangueira de silicone, sendo a bomba externa ao disco, essa ligada a um timer e uma fonte de energia.

#### **Disseminação dos Compostos Voláteis e instalação dos dispositivos de difusão:**

O isolado de óleo essencial carvone (97% de pureza) foi adquirido na empresa Merck Group, sendo injetado nos dispositivos de difusão volumes de 2 e 3 mL. A circulação de ar no microsilos foi programada em 4h diárias.

#### **Ensaio Biológico de Eficácia:**

A infestação inicial foi padronizada em 100 insetos adultos de *C. maculatus* por microsilos e estes liberados na superfície superior da massa de grãos. Após a liberação dos insetos, os microsilos foram vedados com fita para garantir o não escape de gases e a mortalidade avaliada após 24, 48 e 72, 96 e 120 horas.

Para a análise estatística dos dados de mortalidade, foram consideradas cinco repetições (unidades de microsilos) em delineamento experimental inteiramente casualizado. Os dados de mortalidade foram usados para estimar tempos letais TL<sub>50</sub> e TL<sub>90</sub> através do modelo de Probit, calcular a mortalidade diária e a mortalidade acumulada. As análises foram realizadas utilizando o programa estatístico R.

#### **Modelo logístico da cinética de mortalidade com latência**

A mortalidade acumulada dos organismos ao longo do tempo foi modelada utilizando uma equação logística com termo de latência, de forma a representar

adequadamente o comportamento dinâmico da curva em função do tempo. O modelo adotado foi:

$$y(t) = \frac{M_tmax}{1 + e^{-k(t-t_{inf})}} \cdot (1 - e^{-\alpha t})$$

Onde:

Parâmetro	Descrição
$y(t)$	Mortalidade acumulada prevista (%) no tempo $t$
$Mtmax(\%)$	Mortalidade máxima teórica atingida (100%).
$k$	Coefficiente logístico de crescimento. Controla a <b>inclinação da curva</b> : valores maiores de $k$ produzem curvas mais íngremes (mortalidade mais rápida).
$t_{inf}$	Tempo de inflexão (em horas), ou seja, o ponto no tempo em que a mortalidade se acelera mais rapidamente — o "meio da curva".
$\alpha$	Termo de latência. Controla o <b>atraso no início da mortalidade</b> . Valores maiores de $\alpha$ direcionam um tempo de latência menor.
$t$	Tempo. Horas após o início do experimento.

O termo  $(1 - e^{-\alpha t})$  introduz um retardo no início da curva, permitindo uma melhor representação de padrões biológicos que envolvem períodos iniciais sem mortalidade, como adaptação ou tolerância inicial ao tratamento.

O modelo foi ajustado individualmente para cada tratamento por meio de regressão não linear usando o algoritmo de Levenberg–Marquardt (nlsLM) (Martínez 2024), disponível no pacote minpack.lm do R. Foram realizadas tentativas sucessivas de inicialização dos parâmetros para garantir a convergência do modelo, especialmente em tratamentos com comportamento mais atípico.

Os parâmetros iniciais utilizados nas tentativas de ajuste foram:

- $Mt = 100$
- $k = 0,1$
- $t_{inf} = 48$
- $\alpha = 0,05$

Os limites definidos para a busca dos parâmetros durante o ajuste foram:

- $0 < k < 5$
- $0 < t_{inf} < 200$

- $0 < \alpha < 1$
- $0 < Mt \leq 100$

O desempenho do ajuste foi avaliado pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ), calculado com base na soma dos quadrados dos resíduos.

### Crescimento populacional.

A taxa instantânea de crescimento populacional ( $r_i$ ) foi calculada após 32 dias da aplicação do óleo essencial nos dispositivos de difusão inseridos internamente nos microsilos. Foram avaliados os cinco tempos de exposição e ainda um tratamento controle. Para o cálculo foi utilizada a equação sugerida por Walthall e Stark (1997):  $r_i = [\ln(N_f/N_0)]/\Delta t$

Em que:

$N_f$  = Número final de insetos;

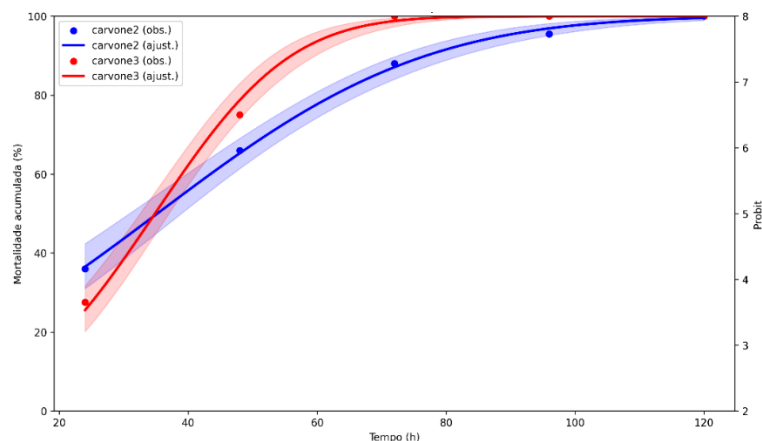
$N_0$  = Número inicial de insetos; e

$\Delta t$  = Número de dias em que o ensaio foi executado.

Para a análise dos dados, estes foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e os dados comparados pelo teste t a 5% de probabilidade através do programa R.

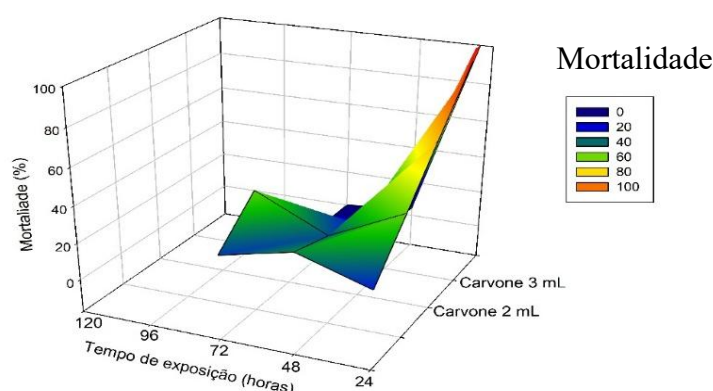
### Resultados e Discussão

A comparação entre os dois tratamentos evidencia maior toxicidade do carvone 3 mL ( $TL_{50}$  de 34,77 h (IC95%: 32,63–37,04 h) e  $TL_{90}$  de 55,98 h (IC95%: 52,67–59,29 h) ) em relação ao carvone 2 mL ( $TL_{50}$  de 35,20 h (IC95%: 31,23–39,16 h) e  $TL_{90}$  de 76,90 h (IC95%: 72,08–81,71 h)). A inclinação da curva foi superior para o carvone 3 mL (slope =  $0,061 \pm 0,004$ ), demonstrando que pequenas variações no tempo de exposição resultaram em aumentos mais expressivos da mortalidade. Em contraste, o carvone 2 mL (slope =  $0,031 \pm 0,002$ ) apresentou progressão mais gradual da mortalidade. Esses resultados confirmam que o aumento da concentração potencializou significativamente a toxicidade contra *C. maculatus*, evidenciando um efeito dose-dependente e reforçando a maior eficácia do tratamento com 3 mL (Figura 1).



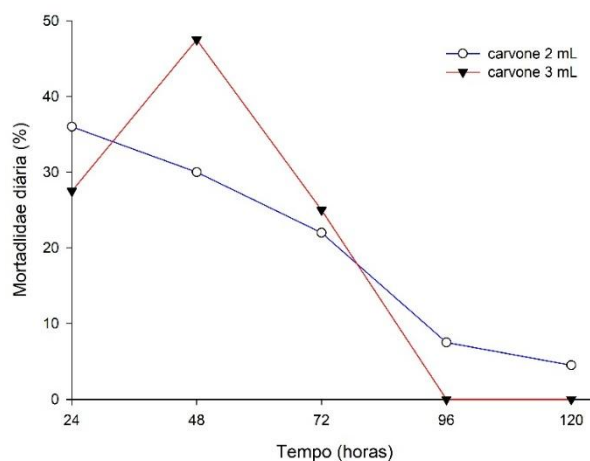
**Figura 1.** Curva tempo–resposta da mortalidade de *Callosobruchus maculatus* exposto a diferentes concentrações do composto isolado de óleo essencial carvone.

A superfície de resposta evidencia a interação entre tempo de exposição e concentração de carvone na mortalidade de *C. maculatus*. Observa-se que o tratamento com 3 mL promoveu aumento mais rápido e intenso da mortalidade, atingindo níveis próximos a 100% em menor intervalo de tempo, enquanto o 2 mL apresentou incremento mais gradual ao longo do período experimental. Este padrão tridimensional reforça a relação concentração–tempo no efeito inseticida de carvone (Figura 2).



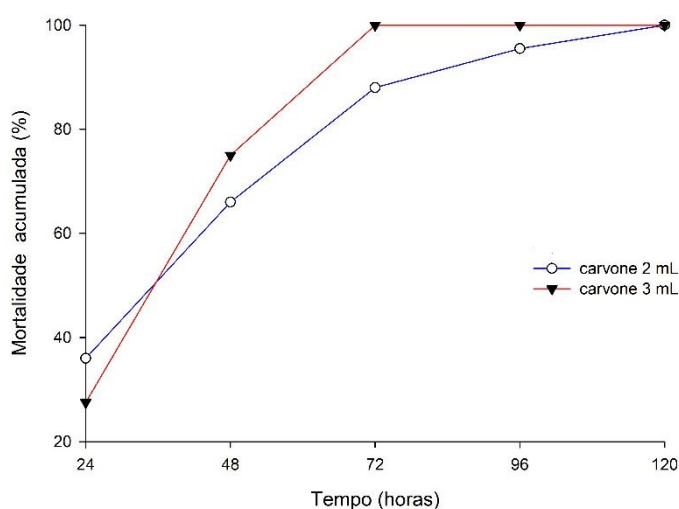
**Figura 2.** Superfície de resposta da mortalidade de *Callosobruchus maculatus* em função da concentração de carvone e do tempo de exposição.

A avaliação da mortalidade diária revelou padrões distintos entre os tratamentos. Para o carvone 2 mL, a mortalidade inicial foi de 36% em 24 h, seguida de valores ainda expressivos em 48 h (30%) e declínio progressivo nos períodos seguintes (22% em 72 h; 7,5% em 96 h; 4,5% em 120 h). Já o carvone 3 mL apresentou maior intensidade nas primeiras 48 h, com destaque para o pico de 47,5% em 48 h, reduzindo-se rapidamente nos intervalos seguintes (25% em 72 h; 0% em 96–120 h). Esses resultados demonstram que o aumento da dose intensificou o efeito inseticida nas primeiras horas, mas com perda mais acentuada do efeito residual em comparação ao menor volume aplicado (Figura 3).



**Figura 3.** Mortalidade diária de *Callosobruchus maculatus* exposto a diferentes concentrações do composto isolado de óleo essencial carvone.

Os resultados de mortalidade acumulada confirmaram a eficácia inseticida dos tratamentos. O carvone 2 mL promoveu mortalidade de 66% em 48 h, 88% em 72 h, 95,5% em 96 h e chegando a 100% em 120 h. Já o carvone 3 mL apresentou efeito mais rápido, com 27,5% em 24 h, atingindo 75% em 48 h e alcançando 100% já em 72 h, mantendo-se nesse patamar até o final do experimento. Esses achados evidenciam que, embora ambos os tratamentos tenham promovido eliminação total da população, o aumento da concentração resultou em efeito letal mais acelerado (Figura 4).



**Figura 4.** Mortalidade acumulada de *Callosobruchus maculatus* exposto a diferentes concentrações do composto isolado de óleo essencial carvone.

O modelo logístico com latência estimou para ambos os tratamentos, o ponto de inflexão em  $t_{inf}=35,1$  h. O início efetivo do efeito foi mais precoce em 2 mL ( $t_{lat} 5\%=0,52$  h) do que em 3 mL (3,16 h), no entanto, a concentração de 3 mL atingiu patamares máximos mais rapidamente. O modelo descreveu a mortalidade acumulada em função do tempo pelas equações:

Carvone 2 mL:

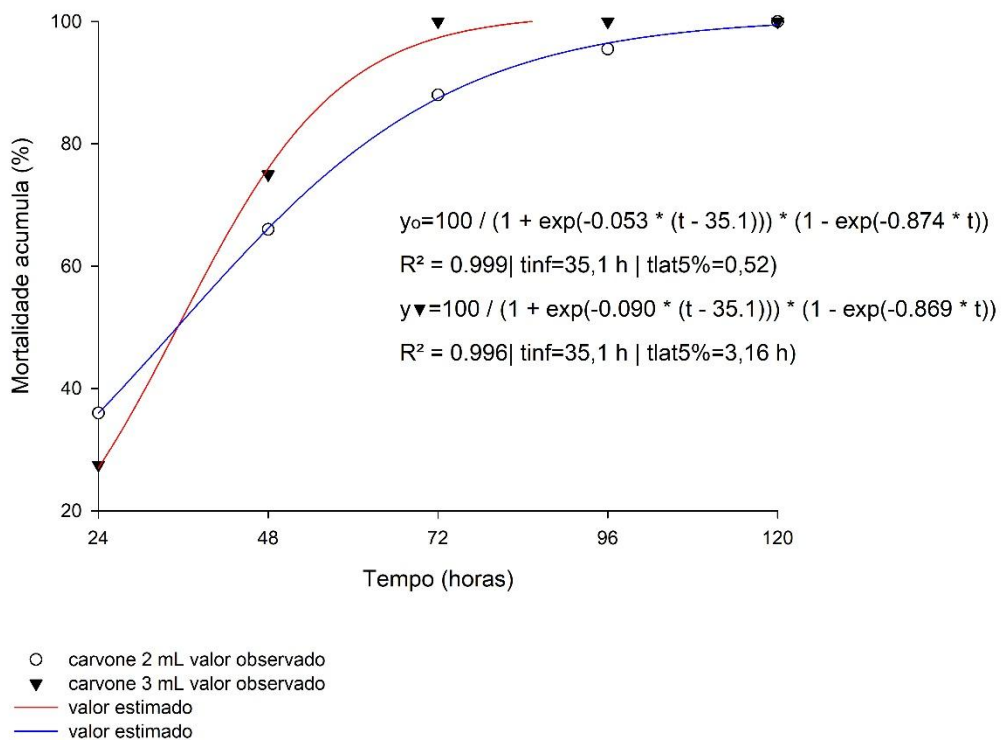
$$y(t) = \frac{100}{1 + e^{-0.053 \cdot (t-35.1)}} \cdot (1 - e^{-0.874 \cdot t})$$

Carvone 3 mL:

$$y(t) = \frac{100}{1 + e^{-0.090 \cdot (t-35.1)}} \cdot (1 - e^{-0.869 \cdot t})$$

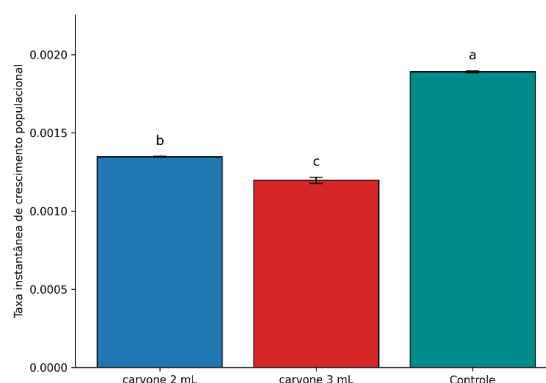
De maneira geral, o ajuste logístico com termo de latência demonstrou elevada qualidade preditiva para ambos os volumes de carvone, com forte concordância entre

valores observados e estimados ( $R^2 = 0,996-0,999$ ). O tratamento com carvone 3 mL exerceu ação mais rápida sobre *C. maculatus*, alcançando 100% de mortalidade já em 72 h, enquanto o carvone 2 mL apresentou incremento mais gradual, atingindo a mortalidade máxima apenas em 120 h. Esses resultados reforçam que o aumento da concentração potencializa a velocidade do efeito inseticida, confirmando a viabilidade do carvone como alternativa promissora e sustentável para o controle de pragas em grãos armazenados (Figura 5).



**Figura 5.** Ajuste do modelo logístico com latência para a mortalidade acumulada de *Callosobruchus maculatus* exposto a diferentes concentrações do composto isolado de óleo essencial carvone.

Com base na análise da taxa instantânea de crescimento populacional ( $r_i$ ) de *C. maculatus*, o controle apresentou média de 0,001891, enquanto para os tratamentos com carvone a taxa de crescimento foi de 0,001347 (carvone 2 mL) e 0,001196 (carvone 3 mL). Isso corresponde a reduções de 28,8% (2 mL) e 36,8% (3 mL) em relação ao controle, indicando efeito inibitório claro e dose-dependente do composto (Figura 6).



**Figura 6.** Taxa instantânea de crescimento populacional ( $r_i$ ) de *Callosobruchus maculatus* exposto a diferentes concentrações do composto isolado de óleo essencial carvone. \*Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### **Conclusão**

O uso de carvone difundido em microsilos mostrou ação inseticida rápida e consistente contra *C. maculatus* no feijão-caupi, promovendo mortalidade progressiva até níveis iguais a 100% e reduzindo significativamente o crescimento populacional. A modelagem confirmou esse desempenho: o ajuste por Probit e o modelo logístico com latência indicaram início precoce do efeito e manutenção da letalidade ao longo do tempo, com desempenho superior para a concentração de 3 mL em relação a 2 mL.

De forma inédita, o estudo valida a plataforma microsililo-difusor como tecnologia aplicável ao armazenamento, apontando potencial para proteção intelectual (sistema microsililo-dispositivo e/ou processo de aplicação e dosagem). Como próximos passos, recomenda-se a validação em maior escala e diferentes condições de armazenagem, o encapsulamento para aumentar estabilidade e vida útil, além de avaliações de custo-benefício, segurança/resíduos e qualidade sensorial dos grãos. Esses avanços podem consolidar o carvone aplicado em difusores específicos como alternativa sustentável para o manejo de pragas em grãos armazenados.

### **Referências**

- AFFRIFAH, N. S.; PHILLIPS, R. D.; SAALIA, F. K. Cowpeas: Nutritional profile, processing methods and products—A review. **Legume Science**, v. 3, e131, 2021.
- BARBOSA, D. R. S. et al. Efficacy of bioactive compounds and their association with different cowpea cultivars against their major stored pest. **Pest Management Science**, v. 76, p. 3885-3894, 2020. DOI: 10.1002/ps.5926.
- BARBOSA, D. R. S. et al. Evaluation of *Cymbopogon flexuosus* and *Alpinia zerumbet* essential oils as biopesticides against *Callosobruchus maculatus*. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 128, p. 1505-1516, 2021. DOI: 10.1007/s41348-021-00511-5. (a)
- BARBOSA, D. R. S. et al. Lethal and sublethal effects of chemical constituents from essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae)

in cowpea stored grains. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 128, p. 203-214, 2021. DOI: 10.1007/s41348-021-00543-x. (b)

PEIXOTO, M. G. et al. Toxicity and repellency of essential oils of *Lippia alba* chemotypes and their major monoterpenes against stored grain insects. **Industrial Crops and Products**, v. 71, p. 31-36, 2015. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.03.084.

RODRIGUES, R. M. B. A. et al. A sustainable approach in the management of *Callosobruchus maculatus*: essential oil of *Protium heptaphyllum* and its major compound d-limonene as biopesticides. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 129, p. 831-841, 2022. DOI: 10.1007/s41348-022-00617-4.

SHEVKANI, K. et al. Cowpeas for sustainable agriculture and nutrition security: an overview of their nutritional quality and agroeconomic advantages. **Discover Food**, v. 5, 109, 2025. DOI: 10.1007/s44187-025-00382-x.

SIERRA-QUITIAN, A. G.; PRIETO-RODRÍGUEZ, J. A.; PATIÑO-LADINO, O. J. Insecticidal activity of monoterpenoids against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*: preliminary structure–activity relationship study. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 26, 3407, 2025. DOI: 10.3390/ijms26073407.

SILVA, O. D. V. et al. Toxicity of essential oils on *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) in grains of *Vigna unguiculata*. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 132, p. 87-96, 2025. DOI: 10.1007/s41348-025-01079-0.

SONG, S. et al. Bioactivities and synergistic effect of *Elsholtzia ciliata* essential oil and its main components against *Lasioderma serricorne*. **Molecules**, v. 29, 1924, 2024. DOI: 10.3390/molecules29091924.